

Факултет Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

„Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним
шипкама“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Рударско инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Бојан (Милан) Мартиновић, маг. инж. рударства

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

Инжењерство нафте и гаса

3. Година завршетка

претходног нивоа студија: 2016.

4. Година уписа на докторске студије: 2020/21.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Рударско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **Душан Даниловић**

Звање: **ванредни професор**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. 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 2022=2,4, ISSN 2227-7390
2. Zahirovic I., Danilovic D., Suput-Vranjin M., Tripkovic M. (2023) Laboratory Testing of Nanosilica- Reinforced Silicate and Polyacrylamide Gels, SPE Journal, vol. 28 no. 3, 1241-1249, IF 2022=3,6, ISSN 1086-055X.
3. Martinovic B., Djekic D., Danilovic D., Isaev P. (2022) Linear-motor plunger pump increases lifting efficiency, Oil & Gas Journal, vol. 120 no. 12, 30-37, IF 2022=0,1, ISSN 0030-1388.
4. Zahirovic I., Skrobonja P., Danilović D. (2022) Application of Gel for Water Shutoff: A Case Study of Kelebija Oil Field, SPE Production & Operations 37(02):1-6, DOI: 10.2118/209590-PA, IF 2022=1,2, ISSN 1930-1855.
5. 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, DOI: 10.1504/IJOGCT.2021.10040560, IF 2022=0,6, ISSN 1753-3309.

Обавештавамо вас да је **Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета**

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној _____ размотрило предложену тему и закључило да је
тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја
за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

На основу члана 67. и 114. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 30. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 29.02.2024. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Бојана Мартиновића, маг. инж. рударства**.
2. Одобрава се именованом израда докторске дисертације под насловом *„Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“*.
3. Тема докторске дисертација је оригинална идеја, од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.
4. За ментора се именује др Душан Даниловић, ванр. проф.
5. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Биљана Аболмасов, ред. проф.

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Ментору
- Именованом
- Одељењу за студентска питања

Универзитет у Београду

Рударско – геолошки факултет

Наставно-научном већу

Предмет: Научна заснованост теме докторске дисертације кандидата Бојана Мартиновића, мастер инжењера рударства

Одлуком бр 1/441 од 25.12.2023. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Бојана Мартиновића, мастер инжењера рударства, под насловом „Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“.

На основу приложеног материјала уз захтев кандидата Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1 Биографски подаци

Бојан Мартиновић је мастер инжењер рударства и руководиоца сектора за технологију производње у Научно-технолошком центру НИС-а, са преко 10 година искуства. Дипломирао је на студијском програму за Инжењерство нафте и гаса на Рударско геолошком факултету, Универзитета у Београду, где тренутно похађа докторске студије.

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 РМ Lucas enterprices Ltd, од јануара 2013. до јануара 2016. године, био је одговоран за припрему извештаја о бушотинама, управљање базом података и пројектовање 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-у, 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 "Сахматка 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 М50.

1.2. Научноистраживачи рад

Кандидат је докторске студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, на студијском програму Рударско инжењерство, уписао школске 2020/21. године и положио све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом 10,00.

Р. бр	Ознака предмета	Назив	Оцена
1.	13-3ФПТМ	Феномени преноса топлоте и масе	10
2.	13-3ГГИС	Геостатистика и геоинформациони системи	10
3.	13-3ФХПП	Физичка хемија површинских процеса и заштита животне средине	10
4.	13-3ПММР	Примена метода меког рачунарства у рударском инжењерству	10
5.	13-ЗИДД1	Израда докторске дисертације	10
6.	13-ЗИДД2	Израда докторске дисертације	10
7.	13-3ЕСМЕ	Енергетски системи и моделирање у енергетици	10
8.	13-3АЕРО	Аерозагађење	10
9.	13-ЗИДД3	Израда докторске дисертације	10
10.	13-3АНЖЦ	Анализа животног циклуса	10
11.	13-ЗИДД4	Израда докторске дисертације	10
12.	13-3МВСУ	Мултиваријабилни системи управљања	10

Рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a)

- 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 2022=2,4, ISSN 2227-7390.

Рад у међународном часопису (M23)

- 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 2022=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*, DOI: 10.1504/IJOGCT.2021.10040560, IF 2022=0,6, ISSN 1753-3309.
- Martinovic B., Djekic D., Isaev P. (2022) Linear-motor plunger pump increases lifting efficiency, *Oil and Gas Journal*, <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 and Gas Journal*, IF 2022=0,1; ISSN 0030-1388.
- 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>, -.

Рад у домаћем часопису (M50)

- 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 CO₂ injection in high water production reservoir in the Pannonian basin. *Подземни Радови*, 42, 1–18. <https://doi.org/10.5937/podrad2342001a>

1.3. Радно искуство

Каријеру је отпочео као млађи производни инжењер у НИС Газпром Нефт-у на нафтном пољу Велебит где је водио теренски тим, стичући не само техничке вештине већ и способности вођења тима у реалним условима.

Након тога каријеру наставља као производни инжењер у РМ Lucas Enterprises Ltd где је био одговоран за припрему извештаја о бушотинама, управљање базом података и дизајнирање дубинске производне опреме.

Као главни специјалиста за аналитику у НИС Газпром Нефт-у ради на пројектовању опреме за СРП и ЕСП, анализи проблема са системом механичке производње. Као вођа тима за аналитику развијао је структурне алгоритме за решавање производних проблема и одржавао обуку за оптимизацију дубинске пумпе инжењерским одељењима.

Сада обавља функцију руководиоца сектора за технологију производње у НТЦ НИС Нафтагас-у где се бави управљањем производње, развијањем оперативне стратегије и учествује у изради технолошке стратегије компаније.

Поред радног искуства, континуирано је радио на проширивању својих професионалних вештина и знања кроз учешће у различитим стручним обукама. Током 2017. и 2018. године завршио је обуку за NEXT training OLGA wells dynamics у Aberdeen-у и NEXT training OLGA flow assurance course у Паризу. Такође 2017. године, стекао је сертификат "Lean Six Sigma" у Новом Саду, као и завршио обуку за управљање пројектима у Project manager training academy CPM, у Новом Саду. Своје знање о перформансама бушотина побољшао је кроз PML Well flow performance training (NODAL) 2013. године, а исте године је завршио и PML PLT и WTI trening, као и обуку о дизајну ЕСП пумпи на пројекту Salym у "CMS Prodex", Нови Сад. Све ове обуке су значајно допринеле његовом професионалном развоју и омогућиле му да се прилагоди брзим променама у нафтној и гасној индустрији.

1.4. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

С обзиром на стечено образовање и укупну досадашњу научну и стручну активност кандидата, сматрамо да кандидат Бојан Мартиновић мастер инжењер рударства има све потребне квалификације за успешан рад на предложеној теми докторске дисертације из следећих разлога:

- Положио је све испите у року на докторским студијама са просечном оценом 10,00;
- Поседује одговарајуће стручно образовање;
- Поседује богато практично искуство;
- Током свог истраживачког рада бавио се проблематиком која је директно везана за предложену тему дисертације;
- Поседује потребне способности, вештине и компетенције за озбиљан научно-истраживачки рад из области која је предмет дисертације;
- Показује амбицију за научно усавршавање и изразиту иницијативу за научноистраживачки рад.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

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 упореди 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.

Размотрени су бројни радови који се баве применама МЛ у области анализе динамограма и употребом различитих МЛ модела у другим индустријама. Међутим, нису нађене референце у којима је објашњено на шта се модел фокусира када доноси одлуку.

У наставку је дата оквирна листа релевантних литературних извора и резултата на којим се ова тема заснива:

Референтна литература:

1. Alemi, M.; Jalalifar, H.; Kamali, G.R.; Kalbasi, M. A mathematical estimation for artificial lift systems selection based on ELECTRE model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2011, Vol. 78, No. 1, pp.193–200. DOI: 10.1016/J.PETROL.2011.05.014
2. Golan, M.; Whitson, H.C. *Well Performance* 2nd Edition. Dep. Pet. Tech. Appl. Geophys., Norw. Univ. Sci. Technol. 1995.
3. Boomer, P.M.; Podio, A.L. *The Beam Lift Handbook*. PETEX, 2015.
4. Zhang, A.; Gao, X. Fault diagnosis of sucker rod pumping systems based on Curvelet Transform and sparse multi-graph regularized extreme learning machine. *Int. J. Comput. Intell. Syst.* 2018, 11, 428–437. DOI: 10.2991/ijcis.11.1.32

5. Bello, O.; Dolberg, E.; Teodoriu, C.; Karami, H.; Devegowdva, D. Transformation of academic teaching and research: development of a highly automated experimental sucker rod pumping unit. *J. Pet. Sci. Eng.* 2020, 190, 107087. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.107087
6. Gibbs, S.; Neely, A. Computer diagnosis of down-hole conditions in sucker rod pumping wells. *J. Pet. Technol.* 1966, 18, 91–98. DOI: 10.2118/1165-PA
7. Ordonez, B.; Cudas, A.; Moreno, U. Improving the Operational Conditions for the Sucker-rod Pumping System. 2009, 1259–1264.
8. Li, K.; Gao, X.-W.; Tian, Z.; Qiu, Z. Using the curve moment and the PSO-SVM method to diagnose downhole conditions of a sucker rod pumping unit. *Pet. Sci.* 2013, 10, 73–80.
9. Xu, P.; Xu, S.; Yin, H. Application of self-organizing competitive neural network in fault diagnosis of suck rod pumping system. *J. Pet. Sci. Eng.* 2007, 58, 43–48.
10. Cheng, H.; Yu, H.; Zeng, P.; Osipov, E.; Li, S.; Vyatkin, V. Automatic Recognition of Sucker-Rod Pumping System Working Conditions Using Dynamometer Cards with Transfer Learning and SVM. *Sensors* 2020, 20, 5659.
11. Bezerra, M.A.D.; Schnitman, L.; BarettoFilho, M. de A.; de Souza, J.A.M.F. Pattern Recognition for Downhold Dynamometer Card in Oil Rod Pump System using Artificial Neural Networks. *Proc. 11th Int. Conf. Enterp. Inf. Syst. ICEIS 2009, Milan, Italy.* 351–355.
12. Zhao, H.; Wang, J.; Gao, P. A Deep Learning Approach For Condition-based Monitoring And Fault Diagnosis Of Rod Pump. *Serv. Trans. Internet Things (STIOT)*, 2017, 1(1), 32–42.
13. Ali, S.; Abuhmed, T.; El-Sappagh, S.; Muhammad, K.; Alonso-Moral, J. M.; Confalonieri, R.; Guidotti, R.; Del Ser, J.; Díaz-Rodríguez, N.; Herrera, F. Explainable artificial intelligence (XAI): What we know and what is left to attain trustworthy artificial intelligence. *Information Fusion*, 2023, 99, 101805.
14. Brożek, B.; Furman, M.; Jakubiec, M. et al. The black box problem was revisited. Real and imaginary challenges for automated legal decision-making. *Artif Intell Law* 2023. <https://doi.org/10.1007/s10506-023-09356-9>
15. Voulodimos, A.; Doulamis, N.; Doulamis, A.; Protopapadakis, E. Deep learning for computer vision: A brief review. *Comput. Intell. Neurosci.* 2018.
16. O’Mahony, N.; Campbell, S.; Carvalho, A.; Harapanahalli, S.; Hernandez, G. V.; Krpalkova, L.; Walsh, J. Deep learning vs. traditional computer vision. In *Advances in Computer Vision: Proceedings of the 2019 Computer Vision Conference (CVC)*, Volume 11, 2020, pp. 128-144.
17. Selvaraju, R. R.; Cogswell, M.; Das, A.; Vedantam, R.; Parikh, D.; Batra, D. Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, 2017, pp. 618-626.
18. Kemler, E.N. Factors influencing pumping-well loads. *OGJ* 1954, March 8, 92–6.
19. Gipson, F.W.; Swaim, H.W. The beam pumping design chain. *Proc. 31st annual Southwestern Petroleum short course. Lubbock, Texas.* 1984, p. 296–376.

20. American Petroleum Institute. API RP 11L recommended practice for design calculations for sucker rod pumping systems (Conventional Units). 4th ed. American Petroleum Institute; 1988.
21. Soza, R.L. Review of Downhole Dynamometer Testing. SPE 35217 presented at the Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, March 1998.
22. Economides, M.J.; Hill, D.A.; Ehlig Economides, C. Petroleum Production Systems. Prentice Hall, 1994.
23. Russell, J.H. Jr. Interpretation of Dynamometer Cards. World Oil, July 1953.
24. Fagg, L.W. Dynamometer charts and well weighing. Pet Trans AIME 1950, 189, 165–74.
25. Milovzorov, G.; Ilyin, A.; Shirobokov, P. Diagnostics of the condition of sucker-rod pumping units after the analysis of dynamogram cards. MATEC Web of Conferences 298, 00137, 2019.
26. API. API bul 11L2 Catalog of analog computer dynamometer cards. 1st ed. Dallas (Texas): American Petroleum Institute; December 1969.
27. Podio, A.L.; McCoy, J.N.; Rowlan, O.L.; Becker, D. Dynamometer analysis plots improve ability to troubleshoot and analyze problems. Proc. 50th annual Southwestern Petroleum short course. Lubbock, Texas. 2003, p.160–176.
28. Takacs, G. Sucker-Rod Pumping Handbook: Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping. Elsevier Science: New York, NY, USA, 2015.
29. Tripp, H. A review: Analyzing beam-pumped wells. J. Pet. Technol. 1989, 41, 457–458.
30. McCoy, J.N.; Rowlan, O.L.; Podio, A.L. Pump card analysis simplified and improved. Proc. 52nd annual Southwestern Petroleum short course. Lubbock, Texas. 2005, p. 154–164.
31. Zhang, R.; Yin, Y.; Xiao, L.; Chen, D. Calculation Method for Inflow Performance Relationship in Sucker Rod Pump Wells Based on Real-Time Monitoring Dynamometer Card. Geofluids, 2020.
32. Derek, H.J.; Jennings, J.W.; Morgan, S.M. EXPROD: Expert Advisor Program for Rod Pumping. SPE 17318, 1988.
33. Takacs, G. USE OF CONVENTIONAL DYNAMOMETER CARDS IN THE ANALYSIS OF SUCKER-ROD PUMPED INSTALLATIONS. 2000.
34. Nascimento, J.; Maitelli, A.; Maitelli, C.; Cavalcanti, A. Diagnostic of Operation Conditions and Sensor Faults using Machine Learning in Sucker-Rod Pumping Wells. Sensors 2021, 21, 4546.
35. Sharaf, S.A.; Bangert, P.; Fardan, M.; et al. Beam-Pump Dynamometer Card Classification Using Machine Learning. SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Bahrain, 2019.
36. Dreyfus, G. Neural Networks Methodology and Applications. Springer, 2nd Edition, 2004.
37. Souza, A.M.F.D.; Bezerra, M.A.D.; Filho, M.D.A.B.; Schnitman, L. Using artificial neural networks for pattern recognition of downhole dynamometer card in oil rod pump system. Proc. 8th WSEAS Int. Conf. Artif. Intell. Knowl. Eng. Data Bases AIKED'09, Milan, Italy. 2009.

38. He, Y. et al. Application of CNN-LSTM in Gradual Changing Fault Diagnosis of Rod Pumping System.
39. Serradilla, O.; Zugasti, E.; Ramirez de Okariz, J.; Rodriguez, J.; Zurutuza, U. Adaptable and Explainable Predictive Maintenance: Semi-Supervised Deep Learning for Anomaly Detection and Diagnosis in Press Machine Data. *Appl. Sci.* 2021, 11, 7376.
40. Wang, K.; Wang, Y. How AI Affects the Future Predictive Maintenance: A Primer of Deep Learning. In *Advanced Manufacturing and Automation VII*; Springer: Singapore, 2018; pp. 1–9.
41. Jimenez-Cortadi, A.; Irigoien, I.; Boto, F.; Sierra, B.; Rodriguez, G. Predictive Maintenance on the Machining Process and Machine Tool. *Appl. Sci.* 2020, 10, 224.
42. Xu, C. et al. Artificial Intelligence in Geosciences 2022, p. 157- 161.
43. Hong, S.R.; Hullman, J.; Bertini, E. Human Factors in Model Interpretability: Industry Practices, Challenges, and Needs. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.* 2020, 4, CSCW1.
44. Teixeira, A.F.; Secchi, A.R. Machine learning models to support reservoir production optimization. *IFAC-PapersOnLine*, 2019, vol. 52, Iss. 1, pp. 498–501.
45. Martyushev, D.A.; Ponomareva, I.N.; Zakharov, L.A.; Shadrov, T.A. Application of machine learning for forecasting formation pressure in oil field development, p. 140-149.
46. Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695.
47. Xu, Y., Qian, W., Li, N., & Li, H. (2022). Typical advances of artificial intelligence in civil engineering. *Advances in Structural Engineering*, 25(16), 3405-3424.
48. Koroteev, D., & Tekic, Z. (2021). Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future. *Energy and AI*, 3, 100041.
49. Sircar, A., Yadav, K., Rayavarapu, K., Bist, N., & Oza, H. (2021). Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry. *Petroleum Research*, 6(4), 379-391.
50. Li, H., Yu, H., Cao, N., Tian, H., & Cheng, S. (2021). Applications of artificial intelligence in oil and gas development. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28, 937-949.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

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. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Научне методе које ће се применити у истраживању су:

- **Анализа садржаја и компаративна анализа:** проучавање и систематизација теоријских и практичних сазнања и техничко-технолошких решења из области примене машинског учења у дијагностици рада клипне пумпе на клипним шипкама.
- **Прикупљање података:** Ова метода укључује систематско прикупљање и организовање 6000 динамограм картица и производних података пумпи. Ово ће укључити детаљно сортирање динамограма према уоченим проблемима и сакупљање релевантних оперативних података као што су брзина пумпања, дужина хода клипа, пречник пумпе, дужина клипа, дужина цилиндра и слично.
- **Креирање модела машинског учења:** Ова метода укључује развој и програмирање једанаест различитих модела машинског учења, укључујући два модела трансформатора вида и девет конволуцијских неуронских мрежа. Сваки модел ће бити прилагођен за специфичну класу проблема динамограма.
- **Евалуација модела:** Ова метода укључује процену сваког модела дубоког учења како би се утврдила његова предиктивна тачност и ефикасност. Ово укључује тестирање модела на скупу података и анализу њихове способности да тачно класификују и дијагностикују проблеме у динамограмима.
- **Упоредна анализа:** Ова метода подразумева поређење резултата добијених од модела машинског учења са резултатима дијагностике динамограма од стране млађих и старијих инжењера. Циљ је идентификовати снаге и слабости машинских модела у односу на експерте.
- **Визуализација и интерпретација података:** Примена Grad-Cam методе за визуализацију региона на динамограмима на које се модели фокусирају током анализе. Ово ће помоћи у објашњавању 'црне кутије' машинског учења и пружити увид у то како модели доносе одлуке.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Очекује се да истраживачки рад током израде ове дисертације резултира следећим научним доприносима:

- 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.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

Истраживање у оквиру рада на овој дисертацији ће се развијати кроз следећих пет сегмената:

- Теоријска основа и преглед литературе: Овај део ће обухватити детаљан преглед и анализу теоријских концепата у области дубоког учења и његове примене у анализи динамограма у нафтној индустрији. Пажња ће бити посвећена и проучавању релевантних научних и стручних радова који се баве сличним тематикама.
- Прикупљање и обрада података: Овај сегмент подразумева систематско прикупљање динамограма и пратећих оперативних података о раду нафтних бушотина. Подаци ће бити анализирани и припремљени за даљу обраду у оквиру модела машинског учења.
- Развој и имплементација модела дубоког учења: У овом делу ће бити представљен процес развоја, конфигурације и тренирања различитих модела дубоког учења, укључујући и моделе трансформатора вида и конволуцијских неуронских мрежа.

Циљ је стварање ефикасних модела за аутоматизовану класификацију и анализу динамограма.

- Анализа и упоредно вредновање резултата: У овом делу ће се извршити анализа резултата добијених од модела дубоког учења и њихово упоредно вредновање са резултатима које су постигли инжењерски експерти. Такође, биће испитана тачност, ефикасност и применљивост модела у реалним условима рада.
- Дискусија, анализа резултата и формулисање закључака: Последњи део дисертације биће посвећен дискусији о добијеним резултатима, анализи утицаја модела на праксу у нафтној индустрији и формулисању закључака о значају и будућим перспективама примене дубоког учења у анализи динамограма.

План истраживања обухватиће низ активности: од теоријског истраживања, прикупљања и обраде података, до развоја модела, затим анализа и упоредно вредновање резултата.

Из свега наведеног предлаже се следећа структура рада:

1. Приказ теоријских основа;
2. Преглед и систематизација релевантне литературе;
3. Методологија;
4. Прикупљање и анализа прикупљених података;
5. Развој и имплементација модела дубоког учења;
6. Резултати и дискусија;
7. Закључак;
8. Предлог за даља истраживања.

Сазнања у току истраживања могу утицати да се у извесној мери одступи од наведених активности.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Кандидат Бојан Мартиновић, мастер инжењер рударства испуњава све законом прописане услове за израду докторске дисертације. До сада је објавио 1 рад у часописима са СЦИ листе (категорије M21a) из области коју разматра дисертација.

На основу прегледаног материјала из Пријаве докторске дисертације, на основу увида у досадашње резултате постигнуте на докторским студијама, чланови Комисије сматрају да је предложена тема докторске дисертације под називом „Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“ адекватна. Оваква тема предложене докторске дисертације је у потпуности научно заснована, а према предмету анализе докторска дисертација припада научној области рударство.

На основу наведеног, предлажемо Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета да кандидату Бојану Мартиновићу, мастер инжењеру рударства одобри рад на изради докторске дисертације под насловом „Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“, а да за ментора именује др Душана Даниловића, ванредног професора Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

У Београду 29.01.2024.

Чланови Комисије:

др Душан Даниловић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

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

др Мирослав Црногорац, доцент,
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Александар Маџаревић, доцент,
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Александар Миливојевић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет