

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: **проф. др Душан Даниловић**

Звање: **Ванредни професор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет**

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

1. Zahirovic I., Danilovic D., Suput-Vranjin M., Tripkovic M. (2023). Laboratory Testing of Nanosilica-Reinforced Silicate and Polyacrylamide Gels. *SPE Journal*, 28 (3), 1241-1249, ISSN 1086-055X, <https://doi.org/10.2118/214294-PA>, M21a, IF 3,6.
2. Martinović B., Bijanić M., Danilović D., Petrović A., Delibasić B. (2023). Unveiling Deep Learning Insights: A Specialized Analysis of Sucker Rod Pump Dynamographs, Emphasizing Visualizations and Human Insight. *Mathematics*, 11(23), 4782, ISSN 2227-7390, <https://doi.org/10.3390/math11234782>, M21a+, IF 2,4.
3. 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), 295-300, ISSN 1930-1855, <https://doi.org/10.2118/209590-PA>, M21, IF 1,2.
4. Tomić L., Karović Maričić V., Danilović D. (2021) 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*, 47(1), 8596-8610, ISSN 1556-7036, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1936303>, M22, IF 2,902.
5. Ivezić D., Živković M., Manić D., Madžarević A., Pavlović B., Danilović D. (2023). Evaluation of the effects of wastewater heat pump integration into district heating systems by simulation. *Thermal Science*, 27 (3B), 2443-2454, ISSN 0354-9836, <https://doi.org/10.2298/TSCI220813168I>, M22, IF 1,1.

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: **проф. др Зоран Глигорић**

Звање: **Редовни професор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет**

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

1. Urošević, K.; Gligorić, Z.; Janković, I.; Gluščević, B.; Beljić, Č. (2025). Simulation of MCDM Process—Stope and Fan Pattern Selection in an Underground Mine with Uncertainty. *Mathematics*, 13, 786. <https://doi.org/10.3390/math13050786>, SCIE, M21a, IF 2,3.
2. Halilović, D.; Gligorić, M.; Gligorić, Z.; Pamučar, D. (2023). An Underground Mine Ore Pass System Optimization via Fuzzy 0–1 Linear Programming with Novel Torricelli–Simpson Ranking Function. *Mathematics*, 11, 2914. <https://doi.org/10.3390/math11132914>, SCIE, M21a+, IF 2,3.
3. Urošević, K.; Gligorić, Z.; Miljanović, I.; Beljić, Č.; Gligorić, M. (2021). Novel Methods in Multiple Criteria Decision-Making Process (MCRAT and RAPS)—Application in the Mining Industry. *Mathematics*, 9, 1980. <https://doi.org/10.3390/math9161980>, SCIE, M21a, IF 2,592.
4. Gligorić, Z., Görçün, Ö.F., Gligorić, M., Pamucar, D., Simic, V., Küçükönder, H. (2024). Evaluating the deep learning software tools for large-scale enterprises using a novel TODIFFA-MCDM framework. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 102079, <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.102079>, SCIE, M21a, IF 6,1.
5. Gligorić, Z., Gligorić, M., Miljanović, I., Lutovac, S., Milutinović, A. (2023). Assessing Criteria Weights by the Symmetry Point of Criterion (Novel SPC Method)-Application in the Efficiency Evaluation of the Mineral Deposit Multi-Criteria Partitioning Algorithm. *CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 136(1), <https://doi.org/10.32604/cmes.2023.025021>, SCIE, M21, IF 2,2.

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: **проф. др Александар Миливојевић**

Звање: **Редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет**

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

1. Stamenić, M., Bacoş, T. B., Milivojević, A., Adžić, V., Ciopec, M., Nemeş, N. S., Negrea, A., & Cioablă, A. E. (2025). α -Al₂O₃ Functionalized with Lithium Ions Especially Useful as Inert Catalyst Bed Supports. *Molecules*, 30(3), 577. <https://doi.org/10.3390/molecules30030577>, M22, IF 5,1.
2. Simonović, I., Marinković, A., Milković, D., Mišković, Ž., Trajković, I., Milošević, M., & Milivojević, A. (2025). Tribological performance of selective laser sintered pa12 sliding bearings under dry sliding conditions. *Science of Sintering*, (00), 40-40. <https://doi.org/10.2298/SOS250723040S>, M22, IF 1,3.
3. León, D., Amez, I., Radojević, M., Manić, N., Stojiljković, D., Milivojević, A., García-Torrent, J., & Castells, B. (2024). Emissions and Fire Risk Assessment of Nitrocellulose as a Sustainable Alternative in Pyrotechnic Compositions. *Fire*, 7(8), 265, ISSN 2571-6255. <https://doi.org/10.3390/fire7080265>, M21, IF 3,0.
4. Milivojević, A., Adžić, M., Adžić, V., & Stamenić, M. (2024). Methodology of experimental optimization of atmospheric burners for household appliances. *Thermal Science*, 28 (1), 569-577. <https://doi.org/10.2298/TSCI230410156M>, M23, IF 1,1.
5. Dimić, A., Vencl, A., Ristivojević, M., Mitrović, R., Mišković, Ž., Milivojević, A. (2022). Influence of the running-in process on the working ability of contact surfaces in lubricated sliding conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 236(4), 691-700. <https://doi.org/10.1177/13506501211027711>, M22, IF 2.

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени докторске дисертације кандидата Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, бр. 1/353 од 28. 09. 2026. године донетој на седници одржаној 24. 09. 2026. године, именовани смо за Комисију за оцену докторске дисертације Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства, под насловом:

Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”

и након прегледа достављене докторске дисертације, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ

1.1. Биографски подаци о кандидату

Лола Томић, рођена је 18. маја 1995. године у Подгорици. Завршила је Осму београдску гимназију, природно-математички смер 2013. године. Исте године уписала је основне академске студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, Рударски одсек, студијски програм Инжењерство нафте и гаса. Дипломски рад под називом „Могућности производње нафте из неконвенционалних лежишта”, одбранила је 2017. године и стекла стручни назив дипломирани инжењер рударства. Школске 2017/18. године уписала је мастер академске студије, студијски програм Инжењерство нафте и гаса. Мастер рад под називом „Анализа критеријума могућности геолошког складиштења угљен-диоксида” одбранила је 2018. године и стекла стручни назив мастер инжењер рударства. Школске 2018/19. године уписала је докторске академске студије, студијски програм Рударско инжењерство, где је положила све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 10,00. Тема докторске дисертације под називом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”* прихваћена је 20. 05. 2024. године на Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду (заведено под бројем 61206-1569/2-24).

Од фебруара 2018. године, запослена је на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, најпре као сарадник у настави за ужу научну област Инжењерство нафте и гаса на Катедри за експлоатацију нафте, гаса и технику дубинског бушења, а од 2019. године као асистент. У наставном процесу, Лола Томић, активно учествује и припреми и извођењу практичног дела наставе на предметима из области разраде нафтних и гасних лежишта и повећања искоришћења нафтних лежишта.

Као аутор и коаутор, Лола Томић, објавила је дванаест научно-стручних радова публикованих на домаћим и међународним скуповима, као и домаћим и међународним научно-стручним часописима, укључујући и рад објављен на SCI листи.

Члан је међународног студентског SPE Chapter-а, Комитета младих професионалаца Националног нафтног комитета Србије – Светског нафтног савета и Савеза инжењера рударства и геологије Србије. У јуну 2022. године похађала је летњу школу у Дубровнику под називом „Petroleum Engineering Summer School”.

Научноистраживачки рад јој је из области моделовања, разраде и експлоатације нафтних и гасних лежишта, повећања искоришћења нафтних лежишта, геолошког складиштења угљен диоксида и fuzzy вишекритеријумског одлучивања.

1.2. Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације кандидата Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства је: *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”*.

Дисертација садржи:

- 203 стране рачунарски обрађеног текста А4 формата укључујући и додатке, 182 стране рачунарски обрађеног текста, А4 формата, без додатака;
- 134 графичких илустрација, дијаграма и шема;
- 92 табеле у тексту;
- 251 литературних навода у списку литературе;
- 3 прилога – Изјава о ауторству, Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

1.3. Хронологија одобравања и израде дисертације

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној, 21. 03. 2024. године, донело је Одлуку о именовању Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације, кандидата Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”*, документ број 1/89 од 22. 03. 2024. године.

На седници Наставно-научног већа, Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду, одржаној 18. 04. 2024. године, усвојен је позитиван Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, кандидата Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства, под називом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”*, за ментора је именована др Весна Каровић Маричић, редовни професор Универзитета у Београду, Рударско-геолошког факултета. Одлуком број 1/146 од 22. 04. 2024. године дато је одобрење на предложену тему докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 20. 05. 2024. године, донело је Одлуку број 61206-1569/2-24 којом се даје сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета о прихватању теме докторске дисертације кандидата Лоле Д. Томић, под називом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”* и одређивању проф. др Весне Каровић Маричић за ментора.

Кандидат Лола Д. Томић, мастер инжењер рударства, дана 03. 09. 2026. године, поднела је Молбу бр 1/320 за именовање Комисије за оцену докторске дисертације под називом: *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”*. На основу Молбе, Катедра за експлоатацију нафте, гаса и технику дубинског бушења, је својом Одлуком (бр. 1/327 од 07. 09. 2026.) предложила Наставно-научном већу

Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду, формирање Комисије за оцену докторске дисертације кандидата. Наставно-научно веће је на седници одржаној 24. 09. 2026. године, донело одлуку (бр. 1/353 од 28. 09. 2026.) о именовању Комисије, чиме су се стекли услови за писање Извештаја о урађеној докторској дисертацији.

1.4. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторка дисертација кандидата Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства, припада научној области Рударско инжењерство, односно ужој научној области Инжењерство нафте и гаса (Студијски програм Рударско инжењерство, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет). За ментора дисертације одређена је др Весна Каровић Маричић, редовни професор Универзитета у Београду Рударско-геолошког факултета, уже научне области Инжењерство нафте и гаса.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Тема ове докторске дисертације је *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”*.

Предмет истраживања у докторској дисертацији је развој интегралног модела којим се врше избор најповољнијег гасног лежишта за складиштење угљен диоксида и оптимизација процеса утискивања CO_2 у одабрано лежиште. За селекцију лежишта примењује се модел мултидимензионалног одлучивања, а на основу резултата развијеног модела врши се избор оптималне опције утискивања и складиштења упоредном применом нумеричке симулације и вишекритеријумског одлучивања.

Циљ дисертације је креирање хибридног мултидимензионално-симулационог модела где се применом различитих критеријумских параметара врши вредновање исцрпљених гасних лежишта у циљу избора најповољнијег лежишта за утискивање и складиштење угљен диоксида, као и оптимизације процеса утискивања. Креирани мултидимензионално-симулациони модел представља систематску интеграцију fuzzy логике, вишекритеријумских метода и метода нумеричке симулације у области вештачке интелигенције.

Предмет и циљ ове докторске дисертације обрађени су кроз више међусобно повезаних фаза, које заједно чине целовит истраживачки процес.

У првом кораку процене могућности и избора гасног лежишта као подземног складишта угљен диоксида извршено је прикупљање података и анализа бројних критеријума од којих зависи успешност реализације процеса складиштења, пре свега са техничког и сигурносног аспекта. Анализирани параметри представљају кључне критеријуме који утичу на избор потенцијалног геолошког складишта угљен диоксида и на тај начин је омогућена карактеризација лежишта која представља основу за објективни избор критеријума за следећу фазу вишекритеријумског модела.

У другом кораку урађена је анализа критеријума за седам исцрпљених и делимично исцрпљених гасних лежишта која се налазе у Србији, који су од кључног значаја за избор најповољнијег гасног лежишта за складиштење угљен диоксида. Параметри од којих зависи избор потенцијалне геолошке формације за складиштење угљен диоксида обухватају: тип лежишта, порозност, пропусност, дубину, ефективну дебљину колектор стена, однос укупне и ефективне дебљине лежишта и запремину лежишта, тј. капацитет складиштења. За вишекритеријумску анализу коришћена је fuzzy TOPSIS (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) метода. За разлику од класичних метода које користе строге граничне вредности, коришћење троугластих fuzzy бројева омогућава моделовање неизвесности и непрецизности улазних података, при чему је смањен утицај недовољне расположивости података. Резултат овог дела је евалуација (рангирање) алтернатива, тј. лежишта.

Трећа фаза обухватала је нумеричку симулацију процеса утискивања и складиштења угљен диоксида у одабрано гасно лежиште „Л”. У овој фази дефинисано је неколико сценарија. За сваки сценарио дефинисане су количине утискивања угљен диоксида, као и максимални дозвољени притисак који је једнак почетном лежишном притиску. Разматрано је више сценарија утискивања са аспекта различитих количина утиснутог угљен диоксида, различитих инјекционих бушотина, као и њиховог распореда и локације у лежишту. Добијени резултати симулационог модела су кумулативне количине утиснутог угљен диоксида до вредности максимално дозвољеног притиска, дистрибуција угљен диоксида у лежишту, као и доминантни механизми акумулирања угљен диоксида, односно понашање угљен диоксида у лежишту за време утискивања и након престанка.

У четвртој фази поново се приступило вишекритеријумској анализи. Излазни параметри симулационог модела користили су се као улазни параметри за вишедимензионални модел. До сада се под оптимизацијом утискивања подразумевао сценарио у којем би се могла утиснути највећа количина угљен диоксида. Међутим, под оптимизацијом је битно укључити и динамичке параметре у различитим временским периодима и они су пресудни када је реч о количинама утискивања и складиштења угљен диоксида.

Коначан резултат је избор оптималне стратегије утискивања угљен диоксида. Оптимална стратегија утискивања базира се на анализи кумулативне количине утиснутог угљен диоксида, као и на доминантним механизмима акумулирања који су од кључног значаја за безбедно задржавање угљен диоксида у геолошким формацијама.

На основу добијених резултата развијен је модел за избор геолошког складиштења, који представља подршку у стратешком одлучивању и решавању проблема када је присутан велики број алтернатива и критеријума. Модел карактерише флексибилност и адаптабилност што се огледа у једноставности промене улазних параметара, при чему га је могуће применити за анализу на било којем лежишту.

Дисертација је структурисана кроз девет међусобно повезаних целина, које обухватају уводна разматрања, антропогене емисије угљен диоксида и водећа решења за ублажавање климатских промена, теоретске основе геолошког складиштења угљен диоксида, метода вишекритеријумског одлучивања и нумеричке симулације, развој хибридног мултидимензионално-симулационог модела за избор гасног лежишта за складиштење, резултате развијеног модела дискусију и интерпретацију резултата, као и закључна разматрања. На тај начин, дисертација пружа свеобухватан увид у процес геолошког складиштења угљен диоксида, са значајним доприносом како у научној области, тако и у практичној примени.

3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ И ПОЛАЗНИ ПОДАЦИ

Креирање мултидимензионално-симулационог модела којим се врше избор најповољнијег гасног лежишта за складиштење и оптимизација процеса утискивања угљен диоксида у одабрано лежиште представља основни циљ који је дефинисан у докторској дисертацији. На основу тога, истраживање представљено у овој докторској дисертацији заснива се на следећим хипотезама:

- утискивање угљен диоксида у геолошке формације представља оптимално решење смањења емисија штетних гасова у атмосферу;
- посматрано са аспекта сигурности и постизања веће ефикасности складиштења, најповољније је утискивати угљен диоксид у исцрпљена гасна лежишта са експанзионим режимом;
- досадашњи избор лежишта за утискивање угљен диоксида заснивао се углавном на примени конвенционалне вишекритеријумске анализе што представља непотпун приступ за избор оптималног подземног складишта;

- геолошке параметре на основу којих се доноси одлука о складиштењу угљен диоксида карактерише неодређеност и често недовољна расположивост података за карактеризацију лежишта на одговарајући начин. Из тог разлога, примена fuzzy вишекритеријумских модела представља веома ефикасан приступ за минимизирање или елиминисање поменутог проблема;
- вишекритеријумски модели базирани на fuzzy логици елиминишу субјективност и повећавају ефикасност и прецизност приликом решавања комплексних проблема;
- досадашњи избор оптималне стратегије утискивања и складиштења угљен диоксида базирао се на максималним количинама утиснутог угљен диоксида, што представља непотпун и нерелевантан приступ за дефинисање оптималне стратегије;
- израда композитног симулационог модела омогућава праћење динамике понашања угљен диоксида у лежишту за време и након престанка његовог утискивања.

4. ОПИС САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Лоле Д. Томић, садржи следећа поглавља:

1. Увод;
2. Антропогене емисије угљен диоксида и водећа решења за ублажавање климатских промена;
3. Геолошко складиштење угљен диоксида;
4. Методе вишекритеријумског одлучивања;
5. Нумеричка симулација;
6. Хибридни мултидимензионално-симулациони модел избора гасног лежишта за складиштење угљен диоксида;
7. Резултати хибридног мултидимензионално-симулационог модела;
8. Дискусија и интерпретација резултата;
9. Закључак.

4.1. Приказ појединачних поглавља

Ова докторска дисертација, поред уобичајених елемената као што су сажетак на српском и енглеском језику, кључне речи, захвалност, садржај, списак слика, табела и литературе, Изјава о ауторству, Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу, обухвата и девет тематски заокружених поглавља која чине њену основну структуру.

У оквиру првог поглавља дати су опис и значај проблематике која је предмет истраживања, основне полазне хипотезе, циљ истраживања и научни допринос докторске дисертације, као и преглед и систематизација релевантне литературе.

У другом поглављу представљен је преглед антропогених емисија угљен диоксида на глобалном нивоу, у Европској унији, као и детаљан приказ емисија CO₂ у Србији.

У трећем поглављу детаљно је приказано складиштење угљен диоксида у геолошке формације. Ово поглавље обухвата преглед критеријума и вредности лежишних параметара и особина лежишног флуида који представљају основу за процену погодности и избор потенцијалне геолошке формације за складиштење угљен диоксида.

У четвртом поглављу приказане су методе вишекритеријумског и fuzzy вишекритеријумског одлучивања, са посебним акцентом на fuzzy TOPSIS методу која је примењена у оквиру развијеног модела.

У петом поглављу дате су теоријске основе нумеричке симулације које се односе на типове лежишних модела, основни концепт математичког моделовања лежишта угљоводоника, као и карактеризацију лежишта, статичко и динамичко моделовање.

У шестом поглављу дати су алгоритам и опис развијеног интегралног мултидимензионално-симулационог модела за избор најповољнијег гасног лежишта за складиштење угљен диоксида и оптимизацију стратегије утискивања CO₂ у одабрано лежиште.

У седмом поглављу приказани су резултати примене развијеног модела који је подељен у четири фазе. Прва фаза обухвата прикупљање података и статистичку анализу петрофизичких параметара лежишта. Друга фаза се односи на примену fuzzy TOPSIS вишекритеријумске методе за избор оптималног гасног лежишта за складиштење CO₂. Трећа фаза обухвата нумеричку симулацију процеса утискивања и складиштења CO₂ у прворангирано лежиште из претходног корака и четврта фаза подразумева оптимизацију стратегије утискивања и складиштења применом fuzzy TOPSIS вишекритеријумске методе, при чему се као критеријуми користе динамички параметри добијени у лежишној симулацији.

У осмом поглављу дата је дискусија и интерпретација добијених резултата.

У деветом поглављу представљени су закључци истраживања, научни допринос дисертације, предности и ограничења развијеног модела, као и правци будућих истраживања и могућности даљег развоја модела.

Дисертација се завршава списком коришћене литературе и биографијом аутора, чиме се заокружује целокупан садржај рада. Референтна литература обухвата најзначајније научне и стручне публикације из области геолошког складиштења угљен диоксида, нумеричке симулације и вишекритеријумског одлучивања. Литература је систематично коришћена у циљу формирања теоријско-методолошке основе истраживања, а детаљно је приказана у поглављу Литература, са укупно наведених 251 референци.

5. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС

5.1. Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација кандидата Лоле Д. Томић, бави се актуелним изазовима у области геолошког складиштења угљен диоксида, што представља једно од најзначајнијих перспективних решења смањења емисија антропогеног угљен диоксида на путу остварења нулте емисије до 2050. године.

Научни допринос представља креирање хибридног мултидимензионално-симулационог модела, где се применом различитих критеријумских параметара врши вредновање исцрпљених гасних лежишта у циљу избора најповољнијег лежишта за утискивање угљен диоксида, као и оптимизације процеса утискивања.

Научни допринос представља напредак у односу на досадашња научна достигнућа у области геолошког складиштења угљен диоксида, а огледа се у елиминисању субјективности и повећавању ефикасности и прецизности приликом избора најповољнијег лежишта и оптимизације процеса утискивања. Докторска дисертација пружа нове увиде у могућности примене вишекритеријумских метода базираних на fuzzy логици у области геолошког складиштења угљен диоксида. Креирање хибридног мултидимензионално-симулационог модела представља систематску интеграцију fuzzy логики, вишекритеријумских метода и метода нумеричке симулације у области вештачке интелигенције. На такав начин представља значајан научни допринос постојећим приступима у овој области. Новина ове дисертације је што се разматрају исцрпљена гасна лежишта у Србији за подземно складиштење угљен диоксида. У нашој литератури и пракси први пут се представља овакав модел за избор складишта угљен диоксида и оптимизацију процеса његовог утискивања.

Поред тога, додатни научни допринос развијеног модела за складиштење угљен диоксида јесте то што представља подршку у стратешком одлучивању и решавању комплексних проблема када је присутан велики број алтернатива и критеријума. Креирани модел карактеришу флексибилност и адаптивност што се огледа у једноставности промене улазних параметара, при чему га је могуће применити на било којем лежишту.

Нови развијени мултидимензионално-симулациони модел има бројне предности у односу на постојеће моделе. Пре свега, избор најповољнијег лежишта за складиштење детаљном анализом параметара обезбеђује дугорочно и сигурно складиштење, без потенцијалних путева миграције/цурења угљен диоксида. Такође, досадашњи избор оптималне стратегије утискивања и складиштења угљен диоксида базирао се на максималним количинама утиснутог угљен диоксида, што представља непотпун и нерелевантан приступ за дефинисање оптималне стратегије. У докторској дисертацији оптимизација се врши на основу динамике понашања угљен диоксида за време и након престанка утискивања што значајно утиче на количине утискивања, као и на обезбеђивање сигурног складиштења, и то представља додатни научни допринос.

Оригиналност докторске дисертације Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства, под називом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”*, проверена је у складу са поступком дефинисаним у Правилнику о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду. Провером у софтверу *iThenticate* утврђено је да подударане по сличности износи 6%. Имајући у виду да је кандидат Лола Д. Томић, током писања докторске дисертације узела у обзир све академске норме у погледу навођења и цитирања литературних извора, Комисија сматра да докторска дисертација у потпуности представља резултат оригиналног научноистраживачког рада кандидата.

5.2. Оцена способности кандидата за самостални рад

Кандидат Лола Д. Томић је током израде докторске дисертације показала да поседује потребне способности и вештине за самосталан научноистраживачки рад. Креирање мултидимензионално-симулационог модела, прикупљање и анализа великог броја података са реалних гасних лежишта, као и интерпретација резултата, захтевају изражену аналитичност, систематичност и способност критичког размишљања у решавању комплексних инжењерских проблема. Посебно се истиче њена способност синтезе и интерпретације података, што, уз наведене компетенције, потврђује њену истраживачку зрелост.

Кандидат Лола Д. Томић, је докторску дисертацију концизно и садржајно презентовала кроз све сегменте модела, процеса и резултата у истраживању. Сходно оствареним резултатима и научном и истраживачком раду, може се констатовати да је кандидат, Лола Д. Томић, мастер инжењер рударства, у сваком погледу испунила услове који је квалификују као способну за даљи самостални научноистраживачки рад.

5.3. Остварени научни допринос

Циљ дисертације под називом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”* је да се научним методама и применом различитих критеријумских параметара изврши вредновање исцрпљених гасних лежишта у циљу избора најповољнијег лежишта за утискивање угљен диоксида, као и оптимизације процеса утискивања.

Основно достигнуће докторске дисертације јесте развој методологије која представља систематску интеграцију fuzzy логике, вишекритеријумских метода и метода нумеричке симулације у области вештачке интелигенције.

За разлику од постојећих конвенционалних приступа који се базирају на анализи статичких геолошких параметара, или искључиво на лежишној симулацији, развијени хибридни

мултидимензионално-симулациони модел интегрише статистичку анализу, fuzzy вишекритеријумско одлучивање и лежишну симулацију у јединствен процес доношења одлуке, у којем резултати сваке фазе представљају улазне податке за наредну фазу модела. На овај начин омогућена је свеобухватна анализа процене могућности геолошког складиштења угљен диоксида и оптимизација стратегије његовог утискивања у одабрано лежиште.

Научни допринос представља напредак у односу на досадашња научна достигнућа у области геолошког складиштења угљен диоксида, а огледа се у елиминисању субјективности и повећавању ефикасности и прецизности приликом избора најповољнијег лежишта и оптимизације процеса утискивања. Докторска дисертација пружа нове увиде у могућности примене вишекритеријумских метода базираних на fuzzy логици у области геолошког складиштења угљен диоксида. На такав начин представља значајан научни допринос постојећим приступима у овој области. Новина ове дисертације је што се разматрају исцрпљена гасна лежишта у Србији за подземно складиштење угљен диоксида. У нашој литератури и пракси први пут се представља овакав модел за избор складишта угљен диоксида и оптимизацију процеса његовог утискивања.

Поред тога, додатни научни допринос развијеног модела за складиштење угљен диоксида јесте то што представља подршку у стратешком одлучивању и решавању комплексних проблема када је присутан велики број алтернатива и критеријума. Креирани модел карактеришу флексибилност и адаптивност што се огледа у једноставности промене улазних параметара, при чему га је могуће применити на било којем лежишту.

Развијени мултидимензионално-симулациони модел има бројне предности у односу на постојеће моделе. Пре свега, избор најповољнијег лежишта за складиштење детаљном анализом параметара обезбеђује дугорочно и сигурно складиштење, без потенцијалних путева миграције/цурења угљен диоксида. Такође, досадашњи избор оптималне стратегије утискивања и складиштења угљен диоксида базирао се на максималним количинама утиснутог угљен диоксида, што представља непотпун и нерелевантан приступ за дефинисање оптималне стратегије. У докторској дисертацији оптимизација се врши на основу динамике понашања угљен диоксида за време и након престанка утискивања што значајно утиче на количине утискивања, као и на обезбеђивање сигурног складиштења, и то представља додатни научни допринос.

5.4. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати истраживања остварени у овој докторској дисертацији, представљају значајан допринос како на теоријском, тако и на практичном нивоу. Развијени хибридни модел интегрише статистичку анализу, fuzzy вишекритеријумско одлучивање и лежишну симулацију у јединствен процес доношења одлуке, при чему је омогућена свеобухватна анализа процене могућности геолошког складиштења угљен диоксида и оптимизација стратегије његовог утискивања у одабрано лежиште. Предложени модел који се базира на упоредној примени нумеричке симулације и вишекритеријумског одлучивања је универзалан и његова флексибилност и адаптивност огледа се у једноставности промене улазних параметара, при чему га је могуће применити за анализу на било којем лежишту.

Резултати истраживања докторске дисертације показују да се поуздан избор геолошког складишта угљен диоксида не може заснивати искључиво на анализи појединачних геолошких параметара, већ захтева интеграцију више међусобно повезаних фаза. Развијени модел представља значајан искорак у односу на досадашње приступе који се завршавају избором геолошке формације или анализом појединачног сценарија утискивања. Његова вредност није само у примени појединачних метода, већ у њиховом повезивању и коришћењу резултата једне фазе као улазних података за наредну. На тај начин модел омогућава свеобухватну процену погодности геолошког складишта, уз истовремено разматрање неизвесности улазних података, статичких карактеристика лежишта и динамичког понашања CO₂, што представља основу за поузданије доношење одлука у области геолошког складиштења. Ипак, примена

модела захтева квалитетне улазне податке, одговарајућу геолошку карактеризацију и пажљиво дефинисање симулационих сценарија, јер поузданост коначних резултата зависи од квалитета свих наведених фаза.

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и постављене циљеве истраживања, као и 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 вишекритеријумског одлучивања у области геолошког складиштења угљен диоксида.

Комисија констатује да би имплементација развијеног хибридног модела значајно допринела квалитету одлучивања при избору одговарајућег гасног лежишта за складиштење угљен диоксида, као и оптимизацији процеса складиштења у одговарајућу формацију. Увођење оваквог приступа омогућена је свеобухватна процена могућности геолошког складиштења угљен диоксида и оптимизација стратегије његовог утискивања што значајно доприноси бољем сагледавању целокупног процеса, смањењу субјективности експертских процена и смањењу ослањања на конвенционалне методе.

5.5. Очекивана примена резултата у пракси

Резултати истраживања ове докторске дисертације имају значајан практични потенцијал и могу се применити у реалним рударским и индустријским условима, нарочито у области геолошког складиштења угљен диоксида. Развијени интегрисани модел може значајно унапредити ефикасност и безбедност у процесу доношења одлука о избору одговарајућих исцрпљених и делимично исцрпљених гасних лежишта за геолошко складиштење угљен диоксида, као и за дефинисање оптималне стратегије његовог утискивања. Очекује се да ће резултати истраживања моћи да се користе при пројектовању геолошке формације у циљу складиштења угљен диоксида и смањењу емисија антропогеног CO₂.

Креирани модел карактеришу флексибилност и адаптивност што се огледа у једноставности промене улазних параметара, при чему га је могуће применити на било којем лежишту и представља подршку у стратешком одлучивању и решавању комплексних проблема када је присутан велики број алтернатива и критеријума. С обзиром на то да у Србији не постоји пројекат складиштења угљен диоксида у геолошке формације, применом овог модела може се извршити прелиминарна селекција и рангирање потенцијалних геолошких формација за складиштење CO₂, при чему се узимају у обзир неизвесности улазних података и различит значај појединачних критеријума.

Оптимизација процеса утискивања и складиштења угљен диоксида врши се на основу динамике понашања угљен диоксида за време и након престанка утискивања што значајно утиче на количине утискивања, као и на обезбеђивање сигурног складиштења. Оваквом анализом, применом предложеног модела, омогућава се да се у фази пројектовања процене потенцијални ризици, ограничења утискивања и дугорочна стабилност складишта, што директно утиче на повећање ефикасности складиштења угљен диоксида, смањење ризика приликом утискивања, као и смањење трошкова.

Иако су резултати истраживања добијени су на основу расположивих података исцрпљених гасних лежишта и дефинисаних симулационих сценарија, методолошки оквир је применљив и на друга лежишта, уз прилагођавање улазних параметара и сценарија утискивања на конкретном лежишту. На тај начин истраживање представља основу за даљи развој алата за техничку и инжењерску подршку одлучивању у области геолошког складиштења угљен диоксида.

5.6. Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради докторске дисертације, коришћена референтна литература обухвата широк спектар релевантних извора из области геолошког складиштења угљен диоксида, виšekритеријумских метода одлучивања и лежишне симулације. Посебна пажња усмерена је избору савремених научних радова, стручних публикација, стандарда и званичних статистичких извора, који представљају основу за разумевање и развој интегрисаног приступа избора најпогоднијег гасног лежишта за складиштење угљен диоксида и оптимизацију стратегије утискивања.

Кандидат, Лола Д. Томић, мастер инжењер рударства, током свог истраживачког рада и израде докторске дисертације, објавила је више радова из предметне области. Тиме се потврђује да је упознала и проучила значајан део релевантне литературе која се односи на анализу критеријума за избор геолошког складишта угљен диоксида, избор лежишта за складиштење применом виšekритеријумских метода одлучивања, као и анализу доступних технологија хватања угљен диоксида из индустријског и енергетског сектора.

Избор и анализа литературе показују да кандидат поседује темељно познавање досадашњих научних и стручних достигнућа. Све референце прецизно су наведене у поглављу Литература, које садржи укупно 251 библиографских јединица, чиме се обезбеђује транспарентност и проверљивост извора на којима се заснива истраживање.

6. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Током израде дисертације и истраживања у оквиру исте, кандидат је аутор или коаутор више научних радова у међународним часописима, часописима националног значаја, зборницима скупова међународног и националног значаја. У наставку су приказани сви радови кандидата. Први наведени рад у категорији M22, на ком је кандидат први аутор, уско је повезан са истраживањем приказаним у предметној дисертацији и верификује научни допринос кандидата Лоле Томић.

Рад у истакнутом међународном часопису M22

- **Tomić L.**, Karović Maričić V., Danilović D. (2021). 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*, 47(1), 8596-8610, ISSN 1556-7036, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1936303>, M22, IF 2,902.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини M33

- Karović Maričić, V., Leković, B., Danilović, D., Crnogorac, M., **Tomić, L.** (2019). Technological Advances in Application of Methods For Heavy Oil Reservoir Exploitation. In *7th International Symposium Mining and Environmental Protection, Vrdnik, Srbija*, 25. - 28. Sep, pp. 351 - 358. ISBN: 978-86-7352-354-5
- **Tomić, L.**, Karović Maričić, V., Danilović, D., Leković, B., Crnogorac, M. (2021). Available technological procedures for capturing CO₂ in the industrial and power generation sectors. In: *8th International Conference Mining and Environmental Protection, Sokobanja, Srbija*, 22.-25. Sept. ISBN: 978-86-7352-372-9

Саопштења са међународног скупа штампано у изводу M34

- Crnogorac, M., Danilović, D., Karović Maričić, V., **Tomić, L.** (2019). An overview of artificial lift selection methods with case of selection using multi-criteria decision-making methods. In: *1st International Conference on Advanced Production and Processing, Novi Sad*, 10. - 11. Oct. ISBN: 978-86-6253-102-5

Рад у врхунском часопису националног значаја M51

- **Tomić, L.**, Karović Maričić, V., Danilović, D., & Crnogorac, M. (2018). Criteria for CO₂ storage in geological formations. *Underground Mining Engineering*, 32: 61-74. Doi: 10.5937/PodRad1832061T
- **Tomić, L.**, Karović Maričić, V., Danilović, D., Leković, B., Crnogorac, M. (2019). Application of the PROMETHEE and VIKOR methods for selecting the most suitable carbon dioxide geological storage option. *Underground Mining Engineering* 34: 43-57. Doi: 10.5937/PodRad1934043T
- **Tomić, L.**, Danilović, D., Karović Maričić, V., Leković, B., Crnogorac, M. (2020). Application of membrane technology for separation CO₂ from natural gas. *Underground Mining Engineering* 36: 61-68. Doi: 10.5937/podrad2036061t
- Danilović, D., Ilić, M., Crnogorac, M., & **Tomić, L.** (2022). Gas-lift wells optimization at the oil field "K". *Underground Mining Engineering*, 41: 31-42. Doi: 10.5937/podrad2241031D
- Ilić, M., Danilović, D., Crnogorac, M., Karović Maričić, V., **Tomić, L.**, & Mirjanić, A. (2024). Well completion of suspended and abandoned wells for the production of thermal and electrical energy. *Underground Mining Engineering*, 1(45), 95-104. Doi: 10.5937/podrad2445095I
- Mirjanić, A., Crnogorac, M., Danilović, D., Ilić, M., Karović Maričić, V., & **Tomić, L.** (2024). Optimal artificial lift methods for small oil field production. *Underground Mining Engineering*, 1(45), 115-130. Doi: 10.5937/podrad2445115M

Рад у националном часопису M53

- Ilić, M., Živković, M., Danilović, D., Crnogorac, M., Karović Maričić, V., & **Tomić, L.** (2023). Određivanje teorijskog termičkog potencijala napuštenih naftnih i gasnih bušotina. *Tehnika*, 74: 667-672. Doi: 10.5937/tehnika2306667I

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу M63

- Црногорац, М., Даниловић, Д., **Томић, Л.** (2020). Управљање производњом нафте – нови алат на бази фази логике. *IX Научно – стручни скуп предузетништво, инжењерство, менаџмент, Зрењанин, 24. Октобар*. ISBN: 978-86-84289-90-4

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства, под насловом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”* урађена је према одобреној пријави и представља самостално и оригинално научно дело.

Израдом докторске дисертације и постигнутим резултатима истраживања, кандидат Лола Д. Томић успешно је потврдила напредно разумевање и висок ниво знања у области моделовања и оптимизације геолошког складиштења угљен диоксида. Њен досадашњи научноистраживачки рад указује на темељно познавање савремених методолошких приступа, као и њену способност да самостално решава сложене научне и инжењерске проблеме.

Кроз своје истраживање, кандидат Лола Д. Томић је не само допринела научној заједници кроз оригиналне и иновативне методе, већ је и доказала способност да на високом нивоу анализира

проблематику складиштења угљен диоксида у геолошке формације и прикаже начин избора адекватне формације за складиштење и оптимизацију процеса утискивања CO₂.

На основу прегледа докторске дисертације, Комисија за оцену докторске дисертације закључује да докторска дисертација кандидата Лоле Д. Томић под насловом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”* испуњава све законске услове за јавну одбрану.

Предлог Комисије наставно-научном већу

На основу свега изложеног, сматрамо да докторска дисертација кандидата Лоле Д. Томић, мастер инжењера рударства, под насловом *Хибридни мултидимензионално-симулациони модел утискивања угљен диоксида у гасно лежиште „Л”* представља оригинално научно дело из научне области Рударско инжењерство, односно уже научне области Инжењерство нафте и гаса.

Предлажемо Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати позитиван Извештај о урађеној докторској дисертацији и да кандидата Лолу Д. Томић позове на усмену одбрану пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 05. 10. 2026.

Чланови комисије:

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

др Зоран Глигорић, редовни професор
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

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