

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 одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ Филип (Душан) Арнаут, магистар инжењерства геологије
(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму Геологија

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„Примена модела вођених подацима у геофизици“

из научне области: Гео-науке

Универзитет је дана 20.05.2024. год. својим актом под бр. 61206-1570/2-24 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Примена модела вођених подацима у геофизици“

Име и презиме ментора др Весна Цветков, ред. проф.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 27.03.2025. год. одлуком факултета под бр. 1/70, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1. др Драгана Ђурић, ванр. проф.		Геофизика	Рударско-геолошки факултет у Београду
2. др Драган Станков, ванр. проф.		Примењена математика	Рударско-геолошки факултет у Београду
3. др Александра Коларски, научни сарадник		Геофизика	Институт за физику у Београду
4. .			
5. .			

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности: 29.04.2025. год.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници

одржаној дана: 26.06.2025. год.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 26.06.2025. год.

одлуком факултета под бр. 1/182, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1. др Драгана Ђурић, ванр. проф.		Геофизика	Рударско-геолошки факултет у Београду
2. др Драган Станков, ванр. проф		Примењена математика	Рударско-геолошки факултет у београду
3. др Александра Коларски, виши научни сарадник		Геофизика	Институт за физику у Београду
4.			
5.			

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Александар Цвјетић

- Прилози:**
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

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

На основу члана 40. Закона о високом образовању, члана 114. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 43. и 44. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 26.06.2025. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену докторске дисертације **Филипа Арнаута, мастер инж. геологије**, под насловом *„Примена модела вођених подацима у геофизици“*, уз образложење да је завршена докторска дисертација у складу са одобреном темом, као и да наводи садржани у извештају потврђују да су се стекли услови за одбрану докторске дисертације.
2. Универзитет у Београду је дана 20.05.2024. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.
3. Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:
 - Arnaut, F., Kolarski, A., Srećković, V.A., Mijić, Z., 2023. Ionospheric Response on Solar Flares through Machine Learning Modeling. Universe, 9, 474. <https://doi.org/10.3390/universe9110474> (IF:2,5) M22
 - Arnaut, F., Kolarski, A., Srećković, V.A., 2023. Random Forest Classification and Ionospheric Response to Solar Flares: Analysis and Validation. Universe, 9, 436. <https://doi.org/10.3390/universe9100436> (IF:2,5) M22
 - Arnaut, F., Đurić, D., Đurić, U., Samardžić-Petrović, M., Peshevski, I., 2024b. Application of geophysical and multispectral imagery data for predictive mapping of a complex geotectonic unit: a case study of the East Vardar Ophiolite Zone, North Macedonia. Earth Science Informatics <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01243-4> (IF:2,7) M22
4. Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације именованог у саставу: др Драгана Ђурић, ванр. проф.; др Драган Станков, ванр. проф.; др Александра Коларски, виши научни сарадник Универзитета у Београду – Институт за физику, Београд.
5. Комисија за одбрану бира председника из реда својих чланова.
6. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности од Већа научних области техничких наука.
7. О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Д Е К А Н

др Александар Цвјетић, ред. проф.

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Комисији
- Именованом
- Одељењу за студентска и наставна питања

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ

Име и презиме: др Драгана Ђурић

Звање: ванредни професор

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

1. M21a (IF 3.8) **Dragana Đurić**, Ana Mladenović, Milica Pešić-Georgiadis, Miloš Marjanović, Biljana Abolmasov, 2017. Using multiresolution and multitemporal satellite data for post-disaster landslide inventory in the Republic of Serbia, *Landslides*, 14, pp. 1467 - 1482, 1612-5118, <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0847-2>
2. M23 (IF 0.9) Filip Arnaut, Vesna Cvetkov, **Dragana Đurić**, Mileva Samardžić-Petrović, 2023. Short-term forecasting of PM10 and PM2.5 concentrations with Facebook's Prophet Model at the Belgrade-Zeleno brdo, *Geofizika journal*, ISSN: 0352-3659, Electronic ISSN: 1846-6346, Vol.40 No.2, doi: <https://doi.org/10.15233/gfz.2023.40.7>
3. M22 (IF 2.7) Arnaut, F., **Đurić, D.**, Đurić, U. Samardžić-Petrović M., Peshevski I, 2024. Application of geophysical and multispectral imagery data for predictive mapping of a complex geo-tectonic unit: a case study of the East Vardar Ophiolite Zone, North-Macedonia. *Earth Sci Inform* (2024). <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01243-4>
4. M22 (IF 1.9) Đurić, U., **Đurić, D.**, Marjanović, M., Abolmasov, B., & Vasiljević, I. ,2024. The 'Umka' landslide. *Journal of Maps*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/17445647.2024.2418580>
5. M22 (IF 2.5) Krušić, J.; Pastor, M.; Tayyebi, S.M.; **Đurić, D.**; Đurić, T.; Samardžić-Petrović, M.; Marjanović, M.; Abolmasov, B. 2024. Comparison of Different Numerical Methods in Modeling of Debris Flows—Case Study in Selanac (Serbia). *Appl. Sci.* 2024, 14, 9059. <https://doi.org/10.3390/app14199059>

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ

Име и презиме: др. Драган Станков

Звање: ванредни професор

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

1. M22 (IF 0.843) **Stankov, D.** (2021). The reciprocal algebraic integers having small house. *Experimental Mathematics*, 32(4), 673-682. <https://doi.org/10.1080/10586458.2021.1982425>
2. M22 (IF 0.8) **Stankov, D.** (2023). The number of nonunimodular roots of a reciprocal polynomial. *Comptes Rendus. Mathématique*, 361(G1), 423-435. DOI: 10.5802/crmath.422
3. M22 (IF 0.723) **Stankov, D.** (2020). The number of unimodular roots of some reciprocal polynomials. *Comptes Rendus. Mathématique*, 358(2), 159-168. DOI: 10.5802/crmath.28
4. M23 (IF 0.5) **Stankov, D.** (2019). A necessary and sufficient condition for an algebraic integer to be a Salem number. *Journal de théorie des nombres de Bordeaux*, 31(1), 215-226. DOI: 10.5802/jtnb.1076
5. M23 (IF 0.479) **Stankov, D.** (2016). On the distribution modulo 1 of the sum of powers of a Salem number. *Comptes Rendus. Mathématique*, 354(6), 569-576. DOI: 10.1016/j.crma.2016.03.012

ДЕКАН
Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ

Име и презиме: др. Александра Коларски

Звање: виши научни сарадник

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

1. M21 (IF 4.9) **Kolarski, A.**, Veselinović, N., Srećković, V. A., Mijić, Z., Savić, M., & Dragić, A. (2023). Impacts of extreme space weather events on september 6th, 2017 on ionosphere and primary cosmic rays. *Remote Sensing*, 15(5), 1403. <https://doi.org/10.3390/rs15051403>
2. M23 (IF 0.3) **Kolarski, A.**, Sreckovic, V. A., Langovic, M., & Arnaut, F. (2023). Energetic solar flare events in relation with subionospheric impact on 6–10 September 2017: Data and modeling. *Contrib. Astron. Obs. Skaln. Pleso*, 53, 138-147. <https://doi.org/10.31577/caosp.2023.53.3.138>
3. M22 (IF 2.3) Arnaut, F., **Kolarski, A.**, Srećković, V. A., & Mijić, Z. (2023). Ionospheric Response on Solar Flares through Machine Learning Modeling. *Universe*, 9(11), 474. <https://doi.org/10.3390/universe9110474>
4. M22 (IF 2.9) **Kolarski, A.**, Srećković, V. A., & Mijić, Z. R. (2022). Response of the Earth's lower ionosphere to solar flares and lightning-induced electron precipitation events by analysis of VLF signals: similarities and differences. *Applied Sciences*, 12(2), 582. <https://doi.org/10.3390/app12020582>
5. M23 (IF 1.475) Nina, A. M., Čadež, V. M., Lakićević, M. D., Radovanović, M. M., **Kolarski, A. B.**, & Popović, L. Č. (2019). Variations in ionospheric D-region recombination properties during increase of its X-ray heating induced by solar X-ray flare. *Thermal Science*, 23(6 Part B), 4043-4053. <https://doi.org/10.2298/TSCI190501313N>

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. 1/70 од 01.04.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Филипа Арнаута под насловом

„Примена модела вођених подацима у геофизици“.

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату и дисертацији

1.1. Биографски подаци о кандидату

Филип Арнаут рођен је 14. јула 1997. године у Београду, где је завршио основну и средњу електротехничку школу „Раде Кончар“, смер електротехничар електронике. Основне академске студије на Универзитету у Београду на Рударско-геолошком факултету, на студијском програму Геофизика, уписује 2016. године и завршава 2020. године са просеком од 8,29/10,00 и одбрањеним дипломским радом на тему „Примена укрштеног квадратног диспозитива за детекцију примарне зоне раста корена дрвета врбе“ са оценом 10,00. У септембру 2020. године уписао је мастер академске студије на студијском програму Геофизика, Рударско-геолошког факултета, које завршава у јулу 2021. године са просечном оценом од 9,36/10,00 и одбрањеним мастер радом на тему „Корелабилност соларног ветра са сеизмичким догађајима у зони Балканског полуострва“ са оценом 10,00. У октобру 2021. године уписао је докторске академске студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Геологија, са усмерењем на области Геофизике. Испите предвиђене докторским студијама положио је са просеком оцена 10,00/10,00.

Од 2018. године Филип Арнаут је активан члан Српског геолошког друштва, од ког добија прву награду на Конкурсу за најбољи рад младих геолога и студената у 2021. години за рад „Примена укрштеног квадратног диспозитива за детекцију примарне зоне раста корена дрвета врбе“. На конгресу V Meeting on Astrophysical Spectroscopy A&M Data-Astronomy and Earth Observations одржаном на Палићу, 12-15. септембра 2023. године Филип Арнаут добија награду за најбољи презентовани рад у форми постера под називом „Multilayer Perception Hyperparameter Fine-Tuning for Ionospheric VLF Amplitude Data Exclusion“. За школске године 2022/2023 и 2023/2024, Филип Арнаут је добио стипендије од стране Друштва истраживачких геофизичара (Society of Exploration

Geophysicists-SEG): Norman and Shirley Domenico scholarship и Chevron scholarship. На XVIII конгресу геолога Србије, Дивчибаре, 1-4. јун 2022. године Филип Арнаут учествује као студент волонтер. На Међународној конференцији о најновијим трендовима у геонаучним истраживањима и примене (International Conference on Recent Trends in Geoscience Research and Applications 2023), одржаној у Београду, 23-27. октобра 2023. године Филип Арнаут учествује као члан организационог одбора.

Истраживачко звање истраживач-приправник остварује у септембру 2022. године на Департману за геофизику, Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду. Од маја 2023. године Филип Арнаут је запослен у Институту за Физику у Београду, Универзитета у Београду, тренутно као истраживач сарадник у Лабораторији за астрофизику и физику јоносфере.

1.2. Основни подаци о дисертацији

Докторска дисертација под насловом „Примена модела вођених подацима у геофизици“ написана је на 124 стране. Организована је у 6 поглавља, има 34 слике, 9 табела и листу од 135 референци. Дисертација припада научној области Геологија, односно ужој научној области Геофизика.

1.3. Хронологија одобравања докторске дисертације

Кандидат Филип Арнаут је 2024. године пријавио тему за израду докторске дисертације (бр. Пријаве 1/6 од 29.01.2024. године) под називом „Примена предиктивних алгоритама машинског учења и прогнозирања временских серија на просторне и временске геофизичке податке“.

Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета предложена је Комисија за оцену подобности теме и кандидата. Наставно-научно веће, на својој седници од 05.03.2024., именovalo је Комисију за оцену у следећем саставу:

1. Др Весна Цветков, редовни професор, Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет
2. Др Драган Станков, ванредни професор, Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет
3. Др Александра Коларски, научни сарадник, Универзитет у Београду, Институт за физику

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета усвојило је Извештај Комисије за оцену подобности теме и кандидата (22.04.2024.године) и одобрава се израда докторске дисертације под насловом "Примена модела вођених подацима у геофизици". За ментора дисертације именована је др Весна Цветков, редовни професор Рударско-геолошког факултета у Београду.

Кандидат Филип Арнаут је дана 20.03.2024. године одбранио приступни рад.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (Решење бр. 61206-1570/2-24 од 20.05.2024. год).

Кандидат је 25.02.2025. године, бр. пријаве 1/130 предао докторску дисертацију на преглед и оцену. Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду именovalo је Комисију за оцену докторске дисертације, под називом

„Примена модела вођених подацима у геофизици“ (Одлука бр. 1/70 од 01.04.2025. године) у следећем саставу:

1. Др Драгана Ђурић, ван. проф. Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет
2. Др Драган Станков, ван. проф. Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет
3. Др Александра Коларски, научни сарадник Института за физику у Београду.

Кандидат је студијски програм на докторским студијама започео академске 2021/2022 године.

2. Предмет и циљ дисертације

Предмет истраживања ове докторске дисертације обухвата примену савремених метода науке о подацима, пре свега метода машинског учења и анализа временских серија, на просторне и временске геофизичке податке. Истраживање је засновано на актуелним научним и технолошким достигнућима у области Геонаука, са посебним фокусом на Геофизику, као и на интензивном развоју модела вођених подацима (data-driven models), који све више допуњују и проширују могућности класичних физичких модела.

Геофизика као научна дисциплина проучава физичке процесе и својства Земље, а у последњој деценији, развој алгоритама машинског учења и технолошки напредак у складиштењу и обради великих количина података омогућили су нове приступе анализи геофизичких информација. У том контексту, моделовање вођено подацима отвара простор за добијање нових увида, идентификацију скривених образаца и аутоматизацију анализа које су до сада захтевале значајан маунелни рад и експертско знање.

Циљ ове докторске дисертације је да прикаже примену одабраних метода машинског учења и метода за прогнозу временских серија на реалне геофизичке, геолошке и атмосферске податке. Кроз пет студија случаја истражује се потенцијал ових метода да допринесу бољем разумевању природних процеса, ефикаснијој обради података и развоју нових алата за истраживање у геонаукама. Изабрани предмети истраживања су:

- Примена класификационих алгоритама машинског учења у циљу прогнозе просторне дистрибуције офиолита источне Вардарске зоне у Северној Македонији;
- Геостатистичка анализа података магнетне суцептибилности из бушотина на флотацијском јаловишту рудника „Рудник“;
- Прогноза концентрација загађујућих материја у ваздуху у Београду применом модела временских серија;
- Класификација јоносферских сигнала врло ниских фреквенција ВЛФ (Very Low Frequency, VLF) ради детекције поремећаја узрокованих соларним активностима;
- Примена регресионих метода машинског учења за одређивање параметара ниске јоносфере током јоносферских поремећаја.

У оквиру ових истраживања, коришћени су различити модели машинског учења (класификација, регресија, импутација), модели прогнозирања временских серија (нпр. Facebook Prophet), као и статистичке методе анализе просторних података. Сви примери

укључују примену на реалним подацима, прикупљеним у конкретним геофизичким и геоокожним условима.

Дисертација такође наглашава потенцијал за даљу примену и унапређење ових метода у домену геонаука, како у академским тако и у индустријским окружењима, са циљем унапређења процеса истраживања, мониторинга и процене ризика повезаних са геофизичким и јоносферским појавама.

3. Основне хипотезе и полазни подаци

Развој метода вођених подацима, нарочито машинског учења и анализа временских серија, отвара могућности за унапређење истраживачких процеса у различитим доменима природних наука, укључујући геофизику, геологију и науку о атмосфери. У оквиру овог истраживања, полази се од претпоставке да примена савремених модела машинског учења може значајно допринети унапређењу просторних анализа литолошких јединица, посебно у случајевима када је доступна ограничена количина теренских података. У том контексту, очекује се да ће алгоритми попут модела случајне шуме и к-најближих суседа омогућити поуздано предвиђање просторног распореда официјелних јединица на основу познатих карактеристика околине, при чему се испитује и значај уједначености класа циљне променљиве за успешност класификације.

Даље се разматра могућност корелације између магнетне суспендибилности и присуства тешких метала у телима флотацијског јаловишта. Високорезолуциона мерења суспендибилности, у комбинацији са геохијемичким и минералошким анализама, пружају основу за прецизно идентификовање зона обогаћења, чиме се отвара простор за унапређење планирања даљих истраживања и праћења стања животне средине у рударским подручјима.

У области заштите животне средине, посебно се истиче значај прогнозе квалитета ваздуха. Сматра се да алгоритми за временске серије, као што је Facebook Prophet, могу послужити као поуздана основа за моделирање и предвиђање концентрација загађујућих материја у урбаним срединама. На тај начин се омогућава правовремена реакција надлежних служби и информисање најугроженијих категорија становништва.

Када је реч о проучавању јоносферских поремећаја, претпоставља се да се анализом сигнала врло ниских фреквенција могу аутоматизовати процеси детекције сметњи и других поремећаја на поменутиим сигналимa као што су нпр. поремећаји изазвани соларним флеровима. Очекује се да ће модели класификације омогућити ефикасно раздвајање регуларних и поремећених сигнала, чиме се знатно убрзава обрада великих количина података.

Такође се полази од идеје да се кључни јоносферски параметри ниске јоносфере, попут висине границе рефлексије и њене оштрине, могу прецизно моделовати регресионим техникама машинског учења, што би представљало значајну алтернативу комплексним физичким моделима. Тиме би се омогућило брже и лакше тумачење јоносферских промена услед соларне активности, што је од посебног значаја за разумевање електромагнетних појава у блиској Земљиној околини.

Кроз интеграцију наведених метода и анализа, истраживање тежи да покаже како савремене технике обраде података омогућавају стицање увида који нису доступни конвенционалним приступима, чиме се отвара нова димензија у истраживању Земљиног окружења и одговарајућих природних процеса.

4. Опис садржаја дисертације

Докторска дисертација под насловом „Примена модела вођених подацима у геофизици“ написана је на 124 стране, укључујући и списак литературе (15 страна). Организована је у 6 поглавља, а структура је следећа:

1. Увод
2. Теоријске основе и методологија
3. Резултати
4. Дискусија и будућа истраживања
5. Закључак
6. Литература

Поглавље 1 је увод у тему дисертације и објашњава основне појмове и контекст истраживања. Почиње од тога шта је геофизика – наука која проучава физичке процесе и особине Земље, користећи методе које се ослањају на физичке и геолошке параметре. Ти подаци могу бити временски, просторни или комбинација та два, у зависности од тога како су прикупљени и који је циљ истраживања.

Затим се уводи концепт модела вођених подацима, што значи да се феномени не моделују класично – помоћу физичких закона и једначина – већ директно на основу стварних, измерених података. Нагласак је на томе да се траже везе и обрасци међу подацима, чак и када те везе нису одмах очигледне. Ипак, успешност овог приступа зависи од тога колико су подаци квалитетни и колико их има.

У том контексту се објашњава зашто су методе попут машинског учења, анализе временских серија и друге статистичке технике важне – јер омогућавају да се ефикасније анализирају комплексни геофизички и сродни подаци. Укратко, поглавље поставља теоријски оквир и даје увод у модерни, подацима вођен приступ истраживањима која се тичу Земље и њеног окружења.

Поглавље 2 се бави теоријским основама и методолошким приступом моделовању вођеном подацима, које представља скуп статистичких метода усмерених ка анализи и интерпретацији измерених података у циљу моделовања одређених процеса. Овај приступ је део шире области науке о подацима и заснива се на коришћењу стварних, расположивих података ради генерисања нових информација, предикција или аутоматизације процеса. Развој рачунарских технологија и повећање доступности великих количина података омогућили су ширу примену ових метода у различитим научним дисциплинама и индустријама.

У оквиру поглавља врши се дистинкција између моделовања вођеног подацима и нумеричког моделовања заснованог на физичким законима. Посебна пажња посвећена је приказу прелазних случајева, као што је геофизичка инверзија, која користи нумеричке методе, али је по својој природи заснована на измереним подацима, те се сврстава у моделовање вођено подацима. Насупрот томе, директно моделовање припада домену модела заснованих на физици, јер не користи измерене податке већ унапред дефинисане моделе.

Поглавље даље разматра актуелне методе моделовања, са посебним освртом на методе вештачке интелигенције, укључујући машинско учење и дубоко учење, које имају

широку примену у областима попут класификације, регресије, анализе и прогнозе временских серија. Такође су приказане конкретне примене ових метода у геонаукама, укључујући класификацију литологија, минералних сировина и вегетационих покривача. У методолошком делу приказане су кључне фазе рада са подацима: обрада, трансформација, избор модела, квантификација грешака и валидација. Посебан сегмент посвећен је прогнозирању временских серија, које се у савременим истраживањима све чешће користи за процену будућих вредности на основу претходних временских података, са широком применом у епидемиологији, енергетици, економији и другим областима.

На крају, поглавље истиче да ће у овој дисертацији модели бити представљени кроз радни ток моделовања, уместо кроз комплексну математичку нотацију. Овакав приступ омогућава јасније разумевање процеса моделовања и доприноси бољој транспарентности примењених метода, чиме се адресира честа критика о „затворености“ модела машинског учења.

Поглавље 3 је посвећено приказу резултата спроведених истраживања, који су систематизовани и представљени у складу са припадајућим тематским целинама. Свака целина обухвата конкретну област примене модела вођених подацима, при чему су анализе и налази представљени у оквиру четири засебна сегмента.

Први сегмент (3.1) обухвата примену модела вођених подацима на анализу концентрација загађујућих материја у ваздуху, са циљем сагледавања динамике загађења и идентификације значајних образаца у временским низовима.

Други сегмент (3.2) односи се на просторну класификацију офиолита источне Вардарске зоне, где су коришћени геолошки и геофизички подаци за одређивање просторне дистрибуције и карактеризацију литолошких јединица.

Трећи део (3.3) разматра примену метода моделовања у контексту физике јоносфере, са посебним освртом на обраду и интерпретацију мерених података у циљу разумевања јоносферских процеса.

Четврти сегмент (3.4) приказује резултате примене статистичких метода на податке магнетне суспектибилности прикупљене на јаловишту рудника „Рудник“, са циљем идентификације просторне варијабилности и потенцијалних аномалија.

На овај начин, поглавље обухвата разноврсне примене модела вођених подацима у оквиру геонаука, илуструјући методолошку ширину и могућности примене у различитим истраживачким контекстима.

Поглавље 4 је посвећено анализи и интерпретацији добијених резултата, као и разматрању могућности за даљи развој и унапређење истраживања у оквиру обрађених области. Структура поглавља прати организацију претходног поглавља с резултатима, те су и овде разматрања систематизована према тематским целинама које одговарају областима примене: геофизика, физика атмосфере и физика јоносфере.

Иако се анализирани примери разликују по контексту и природи података, заједничка карактеристика свих је примена модела вођених подацима на реална мерења. Дискусија обухвата увид у ефикасност и поузданост модела, могућности њихове интерпретације, као и потенцијал за практичну примену. Истакнуте су предности модела у смислу екстракције додатних информација из постојећих података, аутоматизације сложених аналитичких процеса и замене конвенционалних метода, посебно у

случајевима када су класичне процедуре временски захтевне или ограничене доступношћу података.

На основу приказаних резултата, формулисани су и предлози за будућа истраживања, са циљем проширења методолошког оквира, побољшања тачности модела и ширења примене на нове области унутар геонаука и сродних дисциплина.

У **поглављу 5** су сажети кључни налази и резултати докторске дисертације. Главна тема рада је примена модела вођених подацима у различитим научним областима – пре свега у геофизици, физици атмосфере и физици јоносфере. Циљ је био да се прикаже на који начин ови модели могу да помогну у анализи комплексних података, откривању нових информација и унапређењу постојећих метода. Поглавље прво укратко описује циљеве рада и подсећа на то да су кроз шест различитих примера обрађене теме из више научних области. Потом се сваком примеру посвећује кратка анализа – објашњава се шта је рађено, какви су резултати добијени, који су изазови уочени и који су правци за будућа истраживања.

Објашњава се како је алгоритам за прогнозу коришћен да се предвиди концентрација загађујућих материја у ваздуху, али и како су се модели користили да поуне недостајуће податке. Други пример говори о класификацији геолошких структура, док су трећи и четврти посвећени анализи и моделовању јоносферских података. Последњи пример се бави применом статистичких метода на податке из рударског окружења.

Циљ овог поглавља је да се читалац подсети шта је све урађено током истраживања, који су донели примене модела вођених подацима, као и да се истакне значај даљег развоја ове области у контексту геонаука.

Последње **поглавље** у дисертацији представља списак коришћене литературе.

5. Остварени резултати и научни допринос дисертације

Докторска дисертација доноси значајан научни допринос у примени модела вођених подацима у области геонаука са фокусом на геофизику, физику атмосфере и физику јоносфере. На основу изведених истраживања, могу се извојити следећи кључни научни доприноси:

1. Просторни положај офиолита Источне вардарске зоне: у оквиру дисертације, примењене су методе машинског учења како би се одредио просторни положај офиолита у Источној вардарској зони Северне Македоније. Овим истраживањем добијен је увид у поузданост модела вођених подацима и квантификовани су резултати предиктивних способности ових модела. Такође, креиране су карте које указују на потенцијалне локације офиолита, које нису раније биле картографисане, као и дефинисање значаја атрибута који утичу на класификацију офиолита.
2. Примена статистичких метода на податке магнетне суспектибилности: примена статистичких метода на податке магнетне суспектибилности је омогућила издвајање зона повишене магнетне суспектибилности и њену статистичку верификацију сличности или различитости од слојева пре или након датог слоја. Ово ће допринети картирању зона обogaћивања, као и планирању додатних минералoшких и геохемијских истраживања.

3. Прогноза квалитета ваздуха уз помоћ Facebook Prophet модела: овим истраживањем је извршена провера квалитета Facebook Prophet модела за прогнозирање квалитета ваздуха на основу различитих дужина улазних временских серија. Квантификацијом одступања прогнозираних вредности према различитим дужинама серија, истраживање је показало потребу за додатним унапређењем овог модела.
4. Аутоматизација процеса отклањања сметњи у ВЛФ сигнаlima: примена модела насумичних шума за аутоматизацију отклањања сметњи у ВЛФ сигнаlima показала је значајну примену у побољшању квалитета података. Такође, тестирана је потреба за применом других модела, као што су неуронске мреже, за додатно побољшање овог процеса.
5. Оптимизација процеса моделовања параметара ниске јоносфере: модели вођени подацима су примењени за оптимизацију процеса моделовања параметара ниске јоносфере, као што су оштрина и висина границе рефлектовања ВЛФ сигнала. Тестирана су одступања добијена помоћу ових модела у поређењу са резултатима нумеричког моделовања, чиме је доказана примена машинског учења за решавање ових сложених проблема.

Овим истраживањем, дисертација доприноси развоју области машинског учења и његовој примени на геонаучне проблеме. Поред примера из области геофизике, физике атмосфере и физике јоносфере, рад је разматрао разноврсне методе као што су статистичке методе, анализе временских серија и моделирање података, што отвара могућности за даља истраживања и нове примене у будућности.

Укупни резултати показују значајну примењивост ових модела у разним научним дисциплинама и истичу потенцијал за даље усавршавање и примену у свим областима које се баве анализом сложених научних података.

6. Објављени и саопштени резултати

Филип Арнаут је објавио укупно 21 научноистраживачки рад у домаћим и страним часописима и презентовао радове на научним конференцијама, при чему су радови везани за докторску дисертацију: .

Категорија M22:

1. **Arnaut, F.**, Kolarski, A., Srećković, V.A., Mijić, Z., 2023. Ionospheric Response on Solar Flares through Machine Learning Modeling. Universe, 9, 474. <https://doi.org/10.3390/universe9110474> (IF:2,5)
2. **Arnaut, F.**, Kolarski, A., Srećković, V.A., 2023. Random Forest Classification and Ionospheric Response to Solar Flares: Analysis and Validation. Universe, 9, 436. <https://doi.org/10.3390/universe9100436> (IF:2,5)
3. **Arnaut, F.**, Đurić, D., Đurić, U., Samardžić-Petrović, M., Peshevski, I., 2024b. Application of geophysical and multispectral imagery data for predictive mapping of a complex geo-tectonic unit: a case study of the East Vardar Ophiolite Zone, North-Macedonia. Earth Science Informatics 17, 1625–1644. <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01243-4> (IF:2,7)

Категорија M23:

1. **Arnaut, F.**, Kolarski, A., Srećković, V.A., 2024. Machine Learning Classification Workflow and Datasets for Ionospheric VLF Data Exclusion. *Data*, 9, 17. <https://doi.org/10.3390/data9010017> (IF:2,2)
2. **Arnaut, F.**, Cvetkov, V., Đurić, D., Samardžić-Petrović, M., 2023. Short-term forecasting of PM10 and PM2.5 concentrations with Facebook's Prophet Model at the Belgrade-Zeleno brdo. *Geofizika*, 40, 162–177. <https://doi.org/10.15233/gfz.2023.40.7> (IF:0,9)
3. **Arnaut, F.**, Đurđević, V., Kolarski, A., Srećković, V.A., Jevremović, S., 2024a. Improving Air Quality Data Reliability through Bi-Directional Univariate Imputation with the Random Forest Algorithm. *Sustainability* 16, 7629. <https://doi.org/10.3390/su16177629> (IF:3,3)
4. **Arnaut, F.**, Kolarski, A., Srećković, V.A., Langović, M., Jevremović, S.: Standardization framework of ionospheric Very Low Frequency (VLF) signal amplitude classes for machine learning-based anomaly detection: from calm ionospheric conditions to solar activity-induced dynamics. 2025, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 55, 2, 13-23, DOI: 10.31577/caosp.2025.55.2.13 (IF:0,3)

Категорија M52:

1. Simić, V., Petrović, S., **Arnaut, F.**, Cvetkov, V., Kostović, M., Radulović, D., Stojanović, J., Jovanović, V., Todorović, D., Nikolić, N., Senčanski, J., Bogdanović, G. & Marilović, D. 2024. 'Projekat PRIZMA: Karakterizacija i tehnološki postupci za reciklažu i ponovnu upotrebu flotacijske jalovine rudnika „Rudnik”', *Zapisnici Srpskog geološkog društva*. Beograd: Srpsko geološko društvo.

Категорија M33:

1. **Arnaut F.**, Kolarski, A., 2023. Multilayer Perception Hyperparameter Fine-Tuning for Ionospheric VLF Amplitude Data Exclusion. V Meeting on Astrophysical Spectroscopy - A&M DATA – Astronomy & Earth Observations, 12-15 September, Palić, Republic of Serbia.
2. **Arnaut, F.**, Kolarski, A., 2023. Feature Importance Analysis in Random Forest Regression for Air Quality Forecasting in Belgrade, Serbia. International Conference on Recent Trends in Geoscience Research and Applications 2023, 23-27 October, 2023, Belgrade, Republic of Serbia and virtual.
3. **Arnaut F.**, 2024. River Proximity Data as A Predictor for Ophiolite Classification: A Machine Learning Approach with OSM Data. XII Congress of BGS GEOPHYSICS FOR THE BETTER WORLD, Kopaonik Mt., Republic of Serbia, 27-31 May, 2024 (saopštenje štampano u celini sa kongresa- zbornik neobjavljen).

Категорија M34:

1. **Arnaut F.**, Kolarski, A., 2023. Alternative Evaluation Metrics for Machine Learning Model Selection in Ionospheric VLF Amplitude Data Exclusion. V Meeting on Astrophysical Spectroscopy - A&M DATA – Astronomy & Earth Observations, 12-15 September, Palić, Republic of Serbia.
2. **Arnaut, F.**, Kolarski, A., 2023. Machine Learning Approach for Distinguishing Daytime and Nighttime Ionospheric Conditions on VLF Signals Related to Solar Flares During 2011. XX Serbian Astronomical Conference, 16-20 October, 2023, Belgrade, Republic of Serbia.

7. Закључак

У овом раду разматрани су процеси примене метода машинског учења и анализе података у различитим научним областима геонаука, као што су геофизика, физика атмосфере и физика јоносфере. Кандидат је предложио иновативне приступе за решавање проблема који укључују класификацију геолошких јединица, прогнозу квалитета ваздуха, аутоматизацију отклањања сметњи у ВЛФ сигнаlima и оптимизацију параметара ниске јоносфере, све уз примену савремених алата машинског учења и статистичких метода. Резултати добијени у овим истраживањима доприносе значајном унапређењу разумевања и примене ових метода у геонаукама, али и у другим сродним дисциплинама.

Кандидат је у дисертацији показао дубоко познавање области, као и способност самосталног истраживања, примене напредних метода и критичког разматрања добијених резултата. Резултати су јасно презентовани и показују висок степен оригиналности и значаја за научну заједницу.

Кандидат је из дисертације објавио седам радова у часописима са SCI листе, један рад у домаћем часопису и пет саопштења на научним скуповима.

Комисија закључује да је дисертација израђена у складу са одобреном пријавом и да представља оригинално научно дело. С обзиром на добијене резултате и испуњене формалне услове, препоручујемо да се дисертација „Примена модела вођених подацима у геофизици“ прихвати као докторска дисертација из области геонаука и да се закаже јавна одбрана.

У Београду,
23.04.2025.

Чланови комисије:

Др Драгана Ђурић, ван. проф.
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Драган Станков, ван. проф.
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Александра Коларски, виши научни сарадник
Института за физику у Београду