

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:

„Примена модела вођених подацима у геофизици“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Гео - науке

#### ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Филип (Душан) Арнаут, маг. инж. геологије

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

Геофизика

Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

3. Година завршетка

претходног нивоа студија: 2021. год.

4. Година уписа на докторске студије:

2021/22. год.

5. Назив студијског програма  
докторских студија:

Геологија

## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Весна Цветков

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. 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. ISSN 0352-3659, IF (2023)=1.0 M23
2. Stranković, N., Gerya, T., **Cvetkov, V.**, Cvetković, V. (2023): Did the Western and the Eastern Vardar ophiolites originate through a single intra-oceanic subduction? Insight from numerical modelling. *Gondwana Research* 124, 124-140. ISSN 1342-937X, IF (2023)=6.1 M21a
3. Velki, M., Márton, E., **Cvetkov V.**, Kövér, S. (2023): Paleomagnetic contribution to resolving the tectonic evolution of the Drina-Ivanjica Unit, Internal Dinarides. *Geologica Carpathica* 74, 5, 423-440. ISSN 1335-0552, IF (2023)=1.3 M23
4. Márton, E., Toljić, M., **Cvetkov, V.** (2022): Late and post-collisional tectonic evolution of the Adria-Europe suture in the Vardar Zone. *Journal of Geodynamics* 149, 101880. ISSN 0264-3707, IF (2022)=2.3 M22
5. Petrović, D., **Cvetkov, V.**, Vasiljević, I., Cvetković, V. (2015): A new geophysical model of the Serbian part of the East Vardar ophiolite: Implications for its geodynamic evolution. *Journal of Geodynamics* 90, 1-13. ISSN 0264-3707, IF(2015)=1.92 M22

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 18.04.2024. године, донело је

## О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Филипа Арнаута, мастер инж. геологије**.
2. Одобрава се именованом израда докторске дисертације под насловом *„Примена модела вођених подацима у геофизици“*.
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 Весна Цветков, ред. 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

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Извештај комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Филипа Арнаута, маг. инж. геол.

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду број 1/49 од 05.03.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Филипа Арнаута, маг. инж. геол., под називом:

**„Примена предиктивних алгоритама машинског учења и прогнозирања временских серија на просторне и временске геофизичке податке“.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **1. Подаци о кандидату**

#### **1.1. Биографски подаци**

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 као истраживач приправник у Лабораторији за астрофизику и физику јоносфере.

## 1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Школске 2021/2022. године кандидат Филип Арнаут, маг. инж. геол., уписује докторске академске студије на Универзитету у Београду – Рударско-геолошки факултет, на студијском програму Геологија. Сходно интересовањима везаним за примену класификационих и регресионих метода машинског учења као и метода прогнозирања временских серија на просторне и временске геосерије кандидат је изабрао и положио предмете који одговарају унапређењу знања за рад на предложеној докторској дисертацији. Преглед положених испита на докторским студијама приложен је у следећој табели:

| Назив предмета                 | Ознака   | Оцена | ЕСПБ |
|--------------------------------|----------|-------|------|
| Физика Земљине унутрашњости    | 20-3ФЗУН | 10    | 10   |
| Специјалне области физике      | 20-3СПОФ | 10    | 10   |
| Посебна поглавља из математике | 20-3ППМА | 10    | 10   |
| Области теоријске геофизике 1  | 20-3ОТФ1 | 10    | 10   |
| Области примењене геофизике 1  | 20-3ОГФ1 | 10    | 10   |
| Теренски и лабораторијски рад  | 20-3ТЛРГ | 10    | 10   |
| Области теоријске геофизике 2  | 20-3ОТФ2 | 10    | 10   |
| Области примењене геофизике 2  | 20-3ОГФ2 | 10    | 10   |
| Семинарски рад                 | 20-3СРГЕ | 10    | 10   |
| Израда докторске дисертација   | 20-ЗИД1Г | 10    | 20   |
| Студијски истраживачки рад     | 20-3ЦР1Г | 10    | 10   |
| Израда докторске дисертације   | 20-ЗИД2Г | 10    | 20   |
| Студијски истраживачки рад     | 20-3СР2Г | 10    | 10   |

Кандидат Филип Арнаут је остварио укупно 150/180 ЕСПБ бодова са просечном оценом од 10/10.

Током студија Филип Арнаут је присуствовао студентским конференцијама и радионицама:

- Конгрес студената технике „Енергетика и климатске промене“ одржан на Златибору 10-13. март 2019. године;
- DIM ESEE 2 Spinoff Workshop „Innovation in Exploration“ 3<sup>rd</sup>-5<sup>th</sup>, May 2022, Telkibánya, Hungary;
- 7<sup>th</sup> SEG Europe & Eurasia Virtual Student Conference student conference, 21 March 2023, организована од стране Society of Exploration Geophysicists (SEG) са презентацијом под називом *Lateral stationarity of 2D geoelectrical data*.

Од јануара 2024. године члан је пројекта „Characterization and technological procedures for recycling and reusing of the Rudnik mine flotation tailings (**REASONING**)“ у оквиру програма ПРИЗМА који финансира Фонд за науку Републике Србије.

Током докторских студија је одржао два предавања на теме „Алтернативни електрометријски диспозитиви и испитивања“ и „1D моделовање VES података“ у оквиру предмета „Основи електрометрије“ и „Електрометрија“ студентима треће и четврте године Основних академских студија на Катедри за геофизику. Кандидат је такође помагао око спровођења теренске наставе на катедри за Геофизику.

Од 2019. године Филип Арнаут се активно бави научноистраживачким радом. У том периоду Филип Арнаут је објавио 21 научноистраживачких рад у домаћим и страним часописима и презентовао радове на научним конференцијама.

### Објављени научни радови кандидата:

#### 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>
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>

#### 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>
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>
3. Kolarski, A., Srećković, V.A., **Arnaut, F.**, 2023. Low intensity solar flares' impact: numerical modeling. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 53. <https://doi.org/10.31577/caosp.2023.53.3.176>
4. Kolarski, A., Srećković, V.A., Langović, M., **Arnaut, F.**, 2023. Energetic solar flare events in relation with subionospheric impact on 6-10 September 2017: data and modeling. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 53. <https://doi.org/10.31577/caosp.2023.53.3.138>
5. **Arnaut, F.**, Sretenović, B., Cvetkov, V., 2022. Improvement of 1D geoelectric sounding by narrowing the equivalence range and identification, quantification and

reduction of lateral effects using the tri-potential technique. *Geofizika*, 39, 297–320.  
<https://doi.org/10.15233/gfz.2022.39.15>

Категорија M24:

1. **Arnaut, F.**, Vučković, D., Vasiljević, I., Cvetkov, V., 2021. Correlability of solar wind with seismic events in the Balkan peninsula zone. *Annales geologiques de la Peninsule balkanique*, 82, 69–83. <https://doi.org/10.2298/gabp211029008a>

Категорија M51:

1. **Arnaut F.**, 2021. Primena ukrštenog kvadratnog dispozitiva za detekciju primarne zone rasta korena drveta vrbe. *Zapisnici Srpskog geološkog društva za 2020. godinu*, 29-43.
2. **Arnaut F.**, Sretenović B., 2021. 2D Electrical imaging investigations at the Neolithic settlement „Pločnik”, *Bulletin of the Natural History Museum*, 14, 46-64.
3. Sretenović, B., **Arnaut, F.**, Vasiljević, I., Cvetkov, V., 2019. 2D Geoelectrical Resistivity Tomography Application at the Former City Waste Dump “Ada Huja” - Eco-geological Problem. *Podzemni Radovi*, 34, 59-76.

Категорија M52:

1. **Arnaut F.**, Sretenović B., 2021. Landslide Investigations Using the geoelectrical Scanning Method and Ground Penetrating Radar -case Studies. *Tehnika*, 72(4), 419-425.

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.

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.

Категорија M63:

1. **Arnaut F.**, Cvetkov, V., Đurić, D., 2023. Prognoziranje iznadprosečnih vrednosti kvaliteta vazduha u Novom Sadu korišćenjem Random Forest Modela. 10. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine “Docent Dr Milena Dalmacija”, Novi Sad, 30.3.2023- 31.3.2023.
2. **Arnaut F.**, Sretenović B., Damjanović V., Cvetkov V., 2022. Elektrometrijska ispitivanja vodoizvorišta Makiš. 9. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „Docent Dr Milena Dalmacija”, Novi Sad 31.03.2022- 01.04.2022.
3. **Arnaut F.**, Cvetkov V., Đurić D., 2022. Primena jednostavnih metoda predviđanja na podatke vertikalnog elektrometrijskog sondiranja. XVIII Kongres Geologa Srbije. Divčibare 1- 4 Jun 2022l, 33-34.

Остало:

1. **Arnaut F.**, Sretenović B., 2021. Some examples of electrical imaging (ERT) and ground penetrating radar (GPR) in solving civil engineering problems. *Geologica Macedonica*, 35(2), 73-84.
2. Sretenovic, B., **Arnaut, F.**, 2019. Inadequacy of 1D, 2D and 3D Resistivity Inverse Modelling in the Presence of Electrical Anisotropy. *Earth Sciences*, 8, 102. <https://doi.org/10.11648/j.earth.20190802.14>

### 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада и стеченог искуства, сматрамо да кандидат Филип Арнаут, маг. инж. геол., испуњава све неопходне предуслове и да може приступити изради докторске дисертације.

У складу са Правилником о докторским студијама Рударско-геолошког факултета, кандидат је дана 20.03.2024. године успешно одбранио предложену тему докторске дисертације на Рударско-геолошком факултету, о чему је сачињен записник који је приложен уз овај извештај.

## 2. Предмет и циљ истраживања

Предложена тема докторске дисертације припада научној области Геонаука, ужој научној области Геофизика, за коју је матична установа Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет.

Геофизика проучава физичке процесе, појаве и физичка својства Земље и околног простора. У ту сврху користи скуп геофизичких метода заснованих на анализи и тумачењу физичких параметара и својстава који су повезани са њиховим геолошким, петролошким и другим карактеристикама значајним за циљ истраживања. Добијени геофизички подаци могу бити просторни и/или временски у односу на потребе и примењену геофизичку методу истраживања, као и у односу на начин прикупљања података.

Примена модела вођених подацима (*Data driven models*) представља процес моделовања одређеног система са измереним, реалним подацима, за разлику од традиционалног моделовања заснованог на физици саме појаве и моделовању кроз математичке једначине (*Physics based models*). У основи модела вођених подацима је анализа свих доступних података који су везани за предмет истраживања са посебном пажњом посвећеном проналажењу веза између разнородних података код којих узајамна интеракција није експлицитна. Оно што ограничава овај вид моделовања је квалитет и квантитет измерених података. Моделовање вођеним подацима је у основи машинског учења, прогнозирања временских серија, неуронских мрежа и бројних других статистичких метода и заједно са методама припреме, складиштења и трансформације података има велики потенцијал примене на геофизичке податке.

У складу са предметом научног истраживања циљ ове докторске дисертације јесте примена изабраних метода машинског учења и прогнозирања временских серија на просторне и временске геофизичке податке. Овакав приступ ће омогућити прикупљање

додатних информација из података који нису доступни стандардним методама истраживања, као и аутоматизацију одређених процеса који захтевају велики труд и уложено време истраживача. У ту сврху издвојено је пет предмета истраживања и то:

- 1) Примена класификационих метода машинског учења за прогнозирање просторног положаја офиолита источне Вардарске зоне на простору Северне Македоније;
- 2) Примена метода геостатистике на податке магнетне суцептибилности и температуре прикупљене из четири бушотине на флотацијском јаловишту рудника „Рудник“;
- 3) Примена метода прогнозирања временских серија на податке квалитета ваздуха у Београду;
- 4) Примена класификационих метода машинског учења за класификацију јоносферског поремећеног врло ниско фреквентног сигнала (Very Low Frequency, VLF);
- 5) Примена регресионих метода машинског учења за одређивање параметара ниске јоносфере.

### 3. Полазне хипотезе

Из претходно дефинисаног предмета и циљева докторске дисертације постављене су следеће хипотезе:

- 1) Картирање литолошких јединица често захтева обиман теренски рад истраживача различитог профила, дуготрајну обраду података са терена и финалну израду карти на основу добијених података. Методе машинског учења омогућавају да се модел машинског учења „научи“ о просторном распореду одређених литолошких јединица на једном делу картираног подручја на основу доступних података, након чега се примењује усвојена логика на онај део подручја на коме се не зна просторни распоред дате литолошке јединице. У ту сврху примениће се класификациони модели машинског учења на податке из источне Вардарске зоне (Северна Македонија) ради прогнозирања просторног распореда офиолита. Модели који ће се користити је модел случајне шуме (*Randomfores*) и к-најближих суседа, а полазна хипотеза се налази у домену проверавања односа бинарне циљне променљиве и њеног утицаја на предиктивну способност модела. Другим речима, треба дати одговор на питање да ли модели са мање података за учење, а уједначенијим односом класа циљне променљиве приказује боље резултате класификације за гео-просторне податке.
- 2) Мерења магнетне суцептибилности високе резолуције и мониторинг температуре уз мерење и праћење физичко-хемијских услова и дистрибуције минералних асоцијација, тешких метала и пратећих елемената по вертикалном профилу (са дубином) тела флотацијског јаловишта рудника „Рудник“ обезбедиће велики скуп података на који ће се применити геостатистичке методе у циљу корелације магнетне суцептибилности, геохемијских и минералолошких мерених података са концентрацијом тешких метала у јаловишту. Лабораторијска мерења магнетне суцептибилности ниског поља на узоркованом материјалу из четири бушотине дубине 30 метара на сваких 10 центиметара омогућиће разграничење зона обогаћења, као и планирање додатних минералолошких и геохемијских истраживања у зонама

повећане магнетне сусептибилности, које указује на високо обogaћење тешким металима.

- 3) Прогнозирање временских серија квалитета ваздуха је значајно са аспекта добијања будућих вредности квалитета ваздуха на датој локацији. Таква информација је веома битна за особе које болују од болести дисајног тракта, као и за најмлађу и најстарију популацију које су највише угрожене високим загађењем ваздуха. За сада не постоји утемељена, стабилна и у потпуности тачна метода прогнозирања вредности квалитета ваздуха. У овој докторској дисертације тестираће се Facebook prophet алгоритам за прогнозирање временских серија на податке квалитета ваздуха са мерне станице Београд-Зелено брдо. Иако је овај алгоритам првенствено развијен за потребе прогнозирања употребе друштвених мрежа нашао је широку примену у многим привредним и научно-истраживачким гранама. У дисертацији ће се тестирати успешност поменутог алгоритма за прогнозирање квалитета ваздуха, што припада научној области у оквиру физике атмосфере.
- 4) Регистрација података ниске јоносфере, радио таласима врло ниских фреквенција (VLF сигнали, 3-30 kHz) се врши у високој минутној резолуцији. Поред техничких сметњи и сметњи које су својствене за већину сигнала мерених у природи, VLF сигнал је додатно оптерећен утицајем ефеката соларних флорова, као једним од најзначајнијих узрочника поремећаја јоносфере Земље. Количина података коју истраживач мора да обради зависи од броја анализираних парова антена пријемник-предајник и дужине испитиваног периода, и често може бити изразито велика. Да би се процес обраде података знатно убрзао примениће се методе класификације машинског учења на податке VLF сигнала са циљем аутоматизације процеса отклањања поремећеног дела сигнала.
- 5) Најнижи регион јоносфере, Д регион (50-90 km), у смислу истраживања применом технологије простирања VLF сигнала, одређен је са два јоносферска параметра, оштрином и висином границе рефлектовања VLF сигнала. Током непоремећених јоносферских услова вредност оба поменута параметра је релативно константна. Под дејством соларних флорова, у поремећеним условима, долази до значајне промене вредности оштрине и висине границе рефлектовања VLF сигнала. Нумеричким моделовањем које се базира на физици појаве могу се одредити вредности ових параметара за поремећени период, међутим, због комплексности самог процеса то је изазован и дуготрајан задатак. Из тог разлога ће се тестирати регресионе методе машинског учења на податке Д региона јоносфере и могућност аутоматизације одређивања оштрине и висине границе рефлектовања VLF сигнала током поремећених услова услед упадног соларног зрачења у опсегу меког X-зрачења (0,1-0,8 nm).

#### **Преглед релевантне стручне литературе:**

- Boev, B., Cvetković, V., Prelević, D., Šarić, K., Boev, I., 2018. East Vardar Ophiolites Revisited: A Brief Synthesis of Geology and Geochemical Data. Contributions, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences 39, 51.  
<https://doi.org/10.20903/csnmbs.masa.2018.39.1.119>

- Carranza, E.J.M., Laborte, A.G., 2015. Random forest predictive modeling of mineral prospectivity with small number of prospects and data with missing values in Abra (Philippines). *Computers & Geosciences* 74, 60–70.  
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.10.004>
- Cracknell, M.J., Reading, A.M., 2014. Geological mapping using remote sensing data: A comparison of five machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of explicit spatial information. *Computers & Geosciences* 63, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.008>
- Cutler, D.R., Edwards, T.C., Beard, K.H., Cutler, A., Hess, K.T., Gibson, J., Lawler, J.J., 2007. Random Forests for Classification in Ecology. *Ecology* 88, 2783–2792.  
<https://doi.org/10.1890/07-0539.1>
- Gross, N.C., Cohen, M.B., 2020. VLF Remote Sensing of the D Region Ionosphere Using Neural Networks. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 125.  
<https://doi.org/10.1029/2019ja027135>
- Harris, J.R., Grunsky, E.C., 2015. Predictive lithological mapping of Canada's North using Random Forest classification applied to geophysical and geochemical data. *Computers & Geosciences* 80, 9–25. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.03.013>
- Hyndman, R.J., Koehler, A.B., 2006. Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting* 22, 679–688.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>
- Joshi, M.V., n.d. On evaluating performance of classifiers for rare classes. 2002 IEEE International Conference on Data Mining, 2002. Proceedings. Kanevski, M., 2009. Machine Learning for Spatial Environmental Data. <https://doi.org/10.1201/9781439808085>
- Kolarski, A., Grubor, D., 2014. Sensing the Earth's low ionosphere during solar flares using VLF signals and goes solar X-ray data. *Advances in Space Research* 53, 1595–1602.  
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.02.022>
- 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, 1403. <https://doi.org/10.3390/rs15051403>
- Kuhn, S., Cracknell, M.J., Reading, A.M., 2018. Lithologic mapping using Random Forests applied to geophysical and remote-sensing data: A demonstration study from the Eastern Goldfields of Australia. *Geophysics* 83, B183–B193.  
<https://doi.org/10.1190/geo2017-0590.1>
- Mitra, A.P., 1978. The D-region of the ionosphere. *Endeavour* 2, 12–21.  
[https://doi.org/10.1016/0160-9327\(78\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0160-9327(78)90028-5)
- Petrović, D., Cvetkov, V., Vasiljević, I., Cvetković, V., 2015. A new geophysical model of the Serbian part of the East Vardar ophiolite: Implications for its geodynamic evolution. *Journal of Geodynamics* 90, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2015.07.003>
- Samal, K.K.R., Babu, K.S., Das, S.K., Acharaya, A., 2019. Time Series based Air Pollution Forecasting using SARIMA and Prophet Model. *Proceedings of the 2019 International Conference on Information Technology and Computer Communications*.  
<https://doi.org/10.1145/3355402.3355417>
- Saripuddin, M., Suliman, A., Syarmila Sameon, S., Jorgensen, B.N., 2021. Random Undersampling on Imbalance Time Series Data for Anomaly Detection. 2021 The 4th International Conference on Machine Learning and Machine Intelligence.  
<https://doi.org/10.1145/3490725.3490748>
- Shen, J., Valagolam, D., McCalla, S., 2020. Prophet forecasting model: a machine learning approach to predict the concentration of air pollutants (PM2.5, PM10, O3, NO2, SO2, CO) in Seoul, South Korea. *PeerJ* 8, e9961. <https://doi.org/10.7717/peerj.9961>

- Srećković, V.A., Šulić, D.M., Ignjatović, L., Vujčić, V., 2021. Low Ionosphere under Influence of Strong Solar Radiation: Diagnostics and Modeling. *Applied Sciences* 11, 7194. <https://doi.org/10.3390/app11167194>
- Srećković, V.A., Šulić, D.M., Vujčić, V., Mijić, Z.R., Ignjatović, L.M., 2021. Novel Modelling Approach for Obtaining the Parameters of Low Ionosphere under Extreme Radiation in X-Spectral Range. *Applied Sciences* 11, 11574. <https://doi.org/10.3390/app112311574>
- Taylor, S.J., Letham, B., 2018. Forecasting at Scale. *The American Statistician* 72, 37–45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>
- Tejasvini, K.N., Amith, G.R., Akhtharunnisa, Shilpa, H., 2020. Air Pollution Forecasting Using Multiple Time Series Approach. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 91–100. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2188-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2188-1_8)
- Ye, Z., 2019. Air Pollutants Prediction in Shenzhen Based on ARIMA and Prophet Method. *E3S Web of Conferences* 136, 05001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913605001>
- Zhao, N., Liu, Y., Vanos, J.K., Cao, G., 2018. Day-of-week and seasonal patterns of PM<sub>2.5</sub> concentrations over the United States: Time-series analyses using the Prophet procedure. *Atmospheric Environment* 192, 116–127 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.050>

#### 4. Научне методе истраживања

Научне методе примењене током израде ове докторске дисертације превасходно припадају методама науке о подацима и статистичким методама. У првом кораку подаци ће проћи кроз иницијалну припрему и контролу квалитета. У зависности од случаја, за дату потребу, у следећим етапама ће се користити различите методе трансформације и обраде података, као и статистичке и геостатистичке методе. На крају ће на добијене податке у зависности од потребе бити примењено класификационо или регресионо моделовање (машинско учење) или моделовање временских серија у зависности од циља истраживања. Сви претходно описани кораци биће урађени у програмском језику Python или у софтверу JASP или Weka. Након моделовања, поменути подаци ће бити употребљени за дефинисање статистика мере успешности модела применом класификационих или регресионих мера оцено модела. Анализа резултата и дискусија представљају завршне кораке у истраживању као и објављивање података и кодова на некој од платформи за ту намену као што су Zenodo или GitHub.

#### 5. Очекивани научни допринос

Израдом предложене докторске дисертације може се очекивати научни допринос сумиран у следећим тачкама:

- Добиће се увид у којој мери се методама машинског учења може одредити просторни положај офиолита Источне вардарске зоне Северне Македоније. Дефинисаће се поузданост и кватификовати предиктивна могућност модела вођених подацима. Добиће се карте „лажно позитивних вредности“ које носе информације о потенцијалним (али не картираним) локацијама офиолита на истражном подручју и дефинисаће се по значају атрибута који утичу на класификацију офиолита.
- Примена најпоузданије методе корелације измерених вредности магнетне суспектибилности и концентрације тешких метала у флотацијској јаловини из рудника „Рудник“, ће омогућити боље разумевање расподеле и концентracије

тешких метала у јаловини, издвајање зона обogaћивања, као и планирање додатних минералошких и геохемијских истраживања.

- Извршиће се провера квалитета Facebook Prophet модела за прогнозирање вредности квалитета ваздуха у зависности од различитих дужина улазне временске серије и квантификација одступања прогнозираних модела у зависности од дужине улазне временске серије.
- Извршиће се аутоматизација процеса отклањања сметњи у VLF сигнаlima применом модела насумичних шума уз дефинисање најзначајнијих атрибута, као и тестирање потребе за другим моделима нпр. примена неуронске мреже;
- Извршиће се оптимизација процеса моделовања параметара ниске јоносфере, оштрине и висине границе рефлектовања VLF сигнала и тестирање одступања модела вођених подацима од резултата добијених нумеричким моделовањем.

## **6. План истраживања и структура рада**

Истраживања у оквиру докторске дисертације подељена су на пет целина у односу подручја примене, као што је описано у предмету и циљу истраживања и полазним хипотезама. Иако међусобно различите, оне имају сличне и/или исте кораке у самом истраживању. Састоје се од планирања истраживања, прикупљања података, израде компјутерских кодова у програмском језику Python, иницијалне фазе контроле квалитета улазних података, трансформације и обраде података у зависности од потребе за машинским учењем (класификацију или регресију) или за прогнозирање временских серија, одређивање оптималних хиперпараметара модела, балансирање класа циљне променљиве (у случају класификације), обраду података након фазе моделовања машинског учења или прогнозирања временских серија, припрему графичких прилога и анализу и интерпретацију добијених резултата.

У складу са тим, предлаже се следећи садржај докторске дисертације:

1. Увод – Опис циљева и значаја модела вођених подацима у оквиру геонаука - геофизици, детаљан приказ садржаја по поглављима;
2. Методологија – Детаљан опис машинског учења (класификација и регресија) и метода прогнозирања временских серија, опис Facebook Prophet модела, случајних шума, XGBoost, модела у оквиру PyCaret библиотеке и других коришћених модела. Опис квантитативних мера тачности класификације и регресије. Опис коришћених статистичких и геостатистичких метода. Опис трансформације и припреме података за машинско учење и прогнозирање временских серија и др;
3. Резултати – Анализа добијених резултата за просторне и временске серије;
4. Дискусија – Разматрања о добијеним резултатима и њихова интерпретација.
5. Будућа истраживања – Разматрања о могућности и значају модела вођених подацима на друге области у оквиру геонаука – геофизике;
6. Закључак – Сумаран приказ и завршне одредбе о истраживању и добијеним резултатима.

## 7. Закључак и предлог

На основу анализе поднете пријаве докторске дисертације, предмета и изнетих циљева планираних истраживања, предложене методологије рада и очекиваног научног доприноса, као и на основу наведених података о научноистраживачкој активности кандидата Филипа Арнаута, магист. инж. геол., Комисија доноси следеће закључке:

1. Кандидат Филип Арнаут, магист. инж. геол., испуњава Законом предвиђене услове за пријаву теме и израду докторске дисертације;
2. Успешно је одбранио предлог теме докторске дисертације који је дефинисан Правилником о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету;
3. Предложена тема докторске дисертације под насловом: „Примена предиктивних алгоритама машинског учења и прогнозирања временских серија на просторне и временске геофизичке податке“ научно је заснована и веома актуелна са становишта научног истраживања и практичне примене. Будући да су машинско учење и прогнозирање временских серија методе моделовања вођених подацима Комисија прелаже да се наслов теме промени и да гласи: „**Примена модела вођених подацима у геофизици**“;
4. Предложена тема докторске дисертације припада научној области Геонауке, односно ужој научној области Геофизика.

За ментора се предлаже **др Весна Цветков, редовни професор** са Катедре за геофизику Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 26.03.2024. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

др Весна Цветков, ред. проф.  
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

---

др Драган Станков, ван. проф.  
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

---

др Александра Коларски, научни сарадник  
Универзитет у Београду – Институт за физику