



## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Милош Марјановић

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Đurić, D., Mladenović, A., Pešić-Georgiadis, M., **Marjanović, M.**, & Abolmasov, B. (2017). Using multiresolution and multitemporal satellite data for post-disaster landslide inventory in the Republic of Serbia. *Landslides*, 14, 1467-1482. DOI:10.1007/s10346-017-0847-2; IF: 6,153.
2. Đurić, U., **Marjanović, M.**, Radić, Z., & Abolmasov, B. (2019). Machine learning based landslide assessment of the Belgrade metropolitan area: Pixel resolution effects and a cross-scaling concept. *Engineering Geology*, 256, 23-38. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.05.007; IF: 6,902.
3. **Marjanović, M.**, Krautblatter, M., Abolmasov, B., Đurić, U., Sandić, C., & Nikolić, V. (2018). The rainfall-induced landsliding in Western Serbia: A temporal prediction approach using Decision Tree technique. *Engineering Geology*, 232, 147-159. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.11.021; IF: 6,902.
4. Abolmasov, B., Milenković, S., **Marjanović, M.**, Đurić, U., & Jelisavac, B. (2015). A geotechnical model of the Umka landslide with reference to landslides in weathered Neogene marls in Serbia. *Landslides*, 12, 689-702. DOI: 10.1007/s10346-014-0499-4; IF: 6,153.
5. Peshevski, I., Jovanovski, M., Abolmasov, B., Papić, J., Đurić, U., **Marjanović, M.**, Haque, U., & Nedelkovska, N. (2019). Preliminary regional landslide susceptibility assessment using limited data. *Geologia Croatica*, 72(1), 81-92. DOI: 10.4154/gc.2019.03; IF: 1,273.

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду  
(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 40. Закона о високом образовању, члана 114. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 34. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 20.04.2023. године, донело је

## О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Драгане Славковић, мастер инж. геологије**.
2. Одобрава се именованој израда докторске дисертације под насловом *„Одређивање механичких параметара стенске масе методом дискретних мрежа пукотина“*.
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 Милош Марјановић, ванр. проф.
5. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Биљана Аболмасов, ред. проф.

Достављено:

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

**Предмет: Извештај о оцени научне заснованости теме докторске дисертације**

Одлуком Наставно - научног Већа Рударско - геолошког факултета Универзитета у Београду бр. 1/54 од 27.02.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације *„Одређивање механичких параметара стенске масе методом дискретних мрежа пукотина“*, Кандидаткиње Драгане Славковић, мастер инжењера геологије. Комисија у саставу проф. др Биљана Аболмасов, дипл. инж. геол и доц. др Зоран Берисављевић дипл. инж. геол. са Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и доц. др Урош Ћурић, дипл. инж. геол. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду, је за свог председника одредила проф. др Биљану Аболмасов.

Дана 16.03.2023. године у термину 10:00–11:00 ч., у просторијама Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду (учионица 214), Кандидаткиња је пред усвојеном Комисијом успешно одбранила предложену тему докторске дисертације, након чега смо у складу са предвиђеним протоколом, саставили Записник.

На основу материјала приложеног уз Захтев Кандидаткиње, као и Записника о одбрани предложене теме, Комисија подноси следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **1. Подаци о кандидату**

#### **1.1. Биографски подаци**

Драгана Славковић, мастер инжењер геологије, рођена је 31.05.1996. у Београду. Основну школу „Јелица Миловановић“ завршила је у Сопоту као Ђак генерације и носилац Вукове дипломе. Природно - математички смер Гимназије у Младеновцу завршава 2015. године такође као носилац Вукове дипломе, након чега уписује Основне академске студије Рударско - геолошког факултета Универзитета у Београду, на студијском програму Геотехника. Основне академске студије је завршила у предвиђеном року од четири школске године, односно 2019. године, са просечном оценом 9,53 (девет и 53/100). Завршни рад на тему *„Геотехнички услови фундирања новог моста преко реке Саве у Београду“*, одбранила је са оценом 10 и тиме стекла звање дипломираног инжењера геологије.

На истом студијском програму, завршила је Мастер академске студије 2020. године са просечном оценом 9,70 (девет и 70/100) одбравивши завршни рад на тему *„Прорачун вертикално оптерећених шипова – Пракса у Републици Србији и примена Еврокод 7 стандарда“* са оценом 10. По завршетку МАС, стекла је звање мастер инжењера геологије и уписала Докторске академске студије у школској 2020/21. години.

Кандидаткиња је тренутно студент треће године Докторских академских студија на студијском програму Геотехника, чије се студирање финансира из Републичког буџета. Положила је све предмете из претходне две школске године поменутог степена студија (табела 1) остваривши укупно 135 ЕСП бодова и просечну оцену 10,00 (десет и 00/100).

Табела 1. Списак положених испита на докторским студијама

| Шифра    | Назив                                                                 | Оцена | ЕСПБ |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-------|------|
| 20-30ПВС | Одабрана поглавља из вероватноће и статистике                         | 10    | 10   |
| 20-3ГГИС | Геостатистика и географски информациони системи                       | 10    | 10   |
| 20-3СППС | Специјална поглавља из пројектовања система одбране од подземних вода | 10    | 10   |
| 20-3КВНС | Квартарне насlage Србије                                              | 10    | 10   |
| 20-3СНЈБ | Седиментологија неогених језерских басена Србије                      | 10    | 10   |
| 20-3ГТС1 | Студијски научно – истраживачки рад 1                                 | 10    | 10   |
| 20-3МСОП | Механика стена – одабрана поглавља                                    | 10    | 10   |
| 20-3ФНОП | Фундирање – одабрана поглавља                                         | 10    | 10   |
| 20-3МТОП | Механика тла – одабрана поглавља                                      | 10    | 10   |
| 20-3ГТИ1 | Практичан истраживачки рад 1                                          | 10    | 20   |
| 20-3ГТС2 | Студијски научно – истраживачки рад 2                                 | 10    | 10   |
| 20-3Д1ГТ | Израда докторске дисертације 1                                        | 10    | 15   |

У октобру 2020. године, по завршетку Мастер академских студија, заснива радни однос у Саобраћајном институту ЦИП д.о.о. у Београду, у Заводу за Геотехнику. Током рада у поменутом предузећу, у претходне две и по године је учествовала у изради укупно 18 геотехничких елабората (пројеката), односно у изради текстуалне и графичке документације за различите нивое пројектовања, као и у изради геостатичких прорачуна коришћењем специјализованих софтверских пакета попут: RocScience – Slide, RocScience - Dips, RocScience – Data и GEO5. Течно говори енглески језик, а француски и шпански познаје на основном нивоу. Такође, поседује возачку дозволу од 2020.

## 1.2. Стечено научно-истраживачко и стручно искуство

У току студирања, Кандидаткиња је имала прилику да учествује у изради три научно – истраживачка рада, од којих су два публикована, док је трећи рад прихваћен од стране организатора „15th ISRM International Congress on Rock Mechanics“. Кандидаткиња је учествовала и у изради 17 пројеката (геотехничких елабората), као и у изради једне студије инжењерско - геолошких и геотехничких истраживања, у својству пројектанта сарадника у Саобраћајном институту ЦИП д.о.о. у Београду.

### 1.2.1. Објављени стручни и научни радови

- Славковић Д., Митић А., Марјановић М. (2023) „Comparing Different Rock Mass Classifications Using Field And Point Cloud Data On A Rock Cut“ 15th ISRM International Congress on Rock Mechanics (9. - 14. октобар, Салцбургу) (М33)**

2. **Славковић Д.**, Новаковић Т., Филиповић В. (2022) „*Negative Skin Friction Impact Analysis on Settlement Of A Vertically Loaded Pile Group*” 4. Српски конгрес о путевима, 2-3. јуна 2022, Crown Plaza, Београд **(М33)**
3. Писаревић М., **Славковић Д.**, Филиповић В. (2022) „*Cut Stabilization On Tthe Highway E-763 Made In Rock Mass With Unfavorably Oriented Discontinuities*” 5th Symposium of Macedonian Association for Geotechnics, 22-25. јуна 2022, Охрид, Македонија **(М33)**

#### 1.2.2. Пројекти (геотехнички елаборати) и студије

1. Елаборат о геотехничким условима изградње тунела (техничко решење за израду ППППН-а, идејни пројекат и пројекат за грађевинску дозволу) „*Измештање дела железничке пруге бр. 218 Мала Крсна – Бор – Распутница 2 (Вражогрнац)*” (Инвеститор: Serbia Zijin Copper d.o.o. Bor; 2021/22. година)
2. Елаборат о геотехничким условима изградње моста и тунела (идејни пројекат) „*Мост са приступним саобраћајним површинама на постојећим стубовима бившег моста Франца Јозефа и реконструкција постојећег тунела до горњег платоа Петроварадинске тврђаве у Новом Саду*” (Инвеститор: Градска управа за грађевинско земљиште и инвестиције, Нови Сад, 2022/23. година)
3. Геотехнички елаборат за објекте (тунеле) у оквиру идејног пројекта „*Аутопут Е-761, Пожега – Котромани, деоница 1*” (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“, 2020/21. )
4. Геотехнички елаборат за објекте (косине) у оквиру идејног пројекта „*Аутопут Е-761, Пожега – Котромани, деоница 3*” (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“, 2020/21. )
5. Геотехнички елаборат за објекте (мостове) у оквиру идејног пројекта „*Аутопут Е-761, Пожега – Котромани, деоница 2*” (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“, 2020/21. )
6. Геотехнички елаборат за објекте у оквиру идејног пројекта „*Аутопут Е-761, Пожега – Котромани, деоница 5*” (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“, 2020/21. година)
7. Елаборат о геотехничким истраживањима терена и условима фундаирања у оквиру идејног пројекта „*Аутопут Е-763, деоница Прељина – Пожега, поддеоница 5 (измештање далековода / изградња појединачног електропреносног стуба бр. 169н далековода ДВ 220 kV бр. 297/2 ТС Чачак 3 – ТС Пожега)*” (Инвеститор: Акционарско друштво „Електромрежа Србије“ Београд, 2021/22. година)
8. Елаборат о резултатима геотехничких истраживања и испитивања терена – објекти (идејни пројекат и пројекат за грађевинску дозволу „*Аутопут Е-763 Прељина – Пожега, поддеоница 4*” (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“, 2020/21. год.)
9. Геотехнички елаборат о позајмиштима (пројекат за грађ. дозволу) „*Аутопут Е-763 Прељина - Пожега, поддеоница 4*” (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“, 2022. )
10. Елаборат о геотехничким условима изградње (пројекат за грађевинску дозволу) „*Комбиноване дечије установе у блоку 8А, Улица Цона Кенедија, ГО Нови Београд*” (Инвеститор: Град Београд – Градска управа града Београда, Секретаријат за комуналне и стамбене послове, Дирекција за грађевинско земљиште и изградњу Београда, 2022.)
11. Елаборат о геотехничким условима изградње који се прилаже пројекту за грађевинску дозволу „*Изградња општинског пута: Горњи Милановац – Клатичево*”

(Инвеститор: Општина Горњи Милановац, 2021. година)

12. Елаборат о геотехничким условима изградње који се прилаже пројекту за грађевинску дозволу *„Реконструкција државног пута IIА-177 са изградњом хидротехничке инфраструктуре, деоница: Клатичево – Таково“* (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“, 2021. година)
13. Елаборат о геотехничким условима изградње станичне зграде (пројекат за грађевинску дозволу и пројекат за извођење) *„Комплекс аутобуске станице БАС у блоку 42 на Новом Београду“*; ПГД-у је приложен сепарат *„Компензациони резервоари 1 и 2, на локацији станичне зграде комплекса аутобуске станице БАС на Новом Београду“*; ПЗИ-у је приложен сепарат *„Геотехнички услови изградње потпорног зида уз интерну саобраћајницу у склопу комплекса аутобуске станице БАС на Новом Београду“* (Инвеститор: Град Београд, 2021/22. година)
14. Елаборат о геотехничким условима изградње објеката (пројекат за грађевинску дозволу ПГД 070 - влажни електростатички филтер) *„Термоелектрана Костолац, Блок БЗ, КП 303, КО Костолац Село“* (Инвеститор: „Термоенерго инжењеринг“ д.о.о., Београд, 2021. година)
15. Елаборат о геотехничким условима изградње објеката (пројекат за извођење ПЗИ 080 – транспортни мост за угаљ) *„Термоелектрана Костолац, Блок БЗ, КП 303, КО Костолац Село“* (Инвеститор: „Термоенерго инжењеринг“ д.о.о., Београд, 2021.)
16. Елаборат о геотехничким условима изградње објеката (пројекат за грађевинску дозволу ПГД 091 - унутрашњи транспорт пепела и шљаке) *„Термоелектрана Костолац, Блок БЗ, КП 303, КО Костолац Село“* (Инвеститор: „Термоенерго инжењеринг“ д.о.о., Београд, 2021. година)
17. Елаборат о геотехничким условима изградње објеката (пројекат за грађевинску дозволу ПГД 110 – саобраћајнице, инсталације и цевоводи) *„Термоелектрана Костолац, Блок БЗ, КП 303, КО Костолац Село – Функционална целина 14“* (Инвеститор: ЈП „Електропривреда Србије“ 2021/22. година)
18. Студија инжењерско-геолошких и геотехничких услова (генерални пројекат) *„Студија оправданости са генералним пројектом аутопута Е-70, деоница: Панчево – Вршац – граница са Румунијом“* (Инвеститор: ЈП „Путеви Србије“ 2022. година).

### 1.2.3. Стручно усавршавање

- У јуну месецу 2022. Кандидаткиња је узела учешће на *„4. Српском конгресу о путевима“* одржаном у Београду и презентовала рад *„Анализа утицаја негативног бочног трења на слегање вертикално оптерећене групе шипова“*, након чега је рад публикован у пратећем зборнику.
- У фебруару месецу 2022. на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, похађала је курс *„Темељење грађевинских објеката према Еврокоду 7“* и тиме стекла сертификат поменутог факултета.
- У новембру месецу 2021. године, учествовала је на Међународном стручном саветовању *„Земљотресно инжењерство и геотехнички аспекти грађевинарства“* у Врњачкој Бањи.

- У октобру месецу 2019. присуствовала је „68<sup>th</sup> Geomechanics Colloquium“ одржаном у Салцбургу од стране „Аустријског удружења за геомеханику“.
- У октобру месецу 2013. године је узела учешће у „First See Regional Science Promotion Conference“ организоване у Народној банци Србије под покровитељством UNESCO-а.

#### 1.2.4. Чланство у научним и стручним удружењима

- Од 2020. године члан „Савеза инжењера рударства и геологије Србије“
- Од 2022. године члан „Коморе рударских и геолошких инжењера Србије“

#### 1.2.5. Стручни испит

Кандидаткиња је дана 07.03.2023. у Савезу инжењера и техничара Србије, пред Комисијом именованом од стране Министарства рударства и енергетике, положила стручни испит и тиме стекла услов за издавање извођачке и пројектантске лиценце.

#### 1.3. Награде (стипендије)

Кандидаткиња је у току студирања, на Основним (шк. 2015/16, 2016/17.) и Мастер (шк. 2019/20.) академским студијама, била добитница стипендије Републике Србије као студент са просечном оценом преко 9,00. На докторским студијама, у школској 2020/21. години је била добитник стипендије Републике Србије за изузетно надарене студенте.

#### 1.4. Додатно научно-истраживачко усавршавање

Да Кандидаткиња има афинитете за научно – истраживачки рад, потврдио нам је и низ ваннаставних активности у којима је учествовала у протеклих десет година.

Од 2012. године учествује у раду Истраживачке Станице Петница. До 2016. године је као средњошколац имала статус полазника Програма „Геонаука“ и за то време је написала четири истраживачка рада (из области кристалографије, геомедицине, седиментологије и лежишта минералних сировина) од којих су поједини презентовани на Конгресу полазника Истраживачке Станице Петница „Корак у науку“ и публиковани у пратећем зборнику. По упису на Рударско – геолошки факултет у Петници постаје сарадник тј. асистент на Програму „Геонаука“. Након уписа на Докторске академске студије, стиче функцију стручног сарадника, коју и данас обавља.

Поред ангажовања у Истраживачкој Станици Петница, Кандидаткиња се пре уписа на Рударско – геолошки факултет, као и током студирања, бавила промоцијом и популаризацијом науке као волонтер а потом и као научни демонстратор Центра за промоцију науке. Обављајући ову функцију учествовала је на „Фестивалу науке“, „Ноћи истраживача“ и „Мају месецу математике“. Почетком 2014. године, волонтерски почиње да се бави научним новинарством учествовањем у креирању и реализацији емисије „Корак ка науци“ у оквиру Радио Београда 1, Радио Телевизије Србије. Бављење научним новинарством подиже на виши ниво пријављивањем за учешће у колоквијумима научног новинарства у оквиру Центра за промоцију науке, где након

завршене обуке пише текстове за научно – популарни часопис „Елементи“ као и за пратећи сајт ЦПН-а, познатији као „Елементарјум“ (<https://elementarium.cpn.rs/>)

Током студија, Кандидаткиња је посећивала скупове едукативног карактера како би пратила развој информационих технологија и примену истих у геотехници и сродним дисциплинама. То је 2015. године води на „Студентски бизнис форум“, а потом и 2016., 2017. и 2018. године на „Конгрес студената технике“ где учествује као један од организатора конгреса, док на конгресу „Build yourself“ учествује у 2017. и 2018. години.

#### 1.5. Додатно усавршавање и стицање организационих вештина

Увидевши важност и значај поседовања вештина вербалне комуникације, јавног наступа и реторике, Кандидаткиња је 2017. године у Центру за јавни говор завршила „Академију савременог говорништва“ и тиме стекла сертификат поменутог Центра.

О организационим вештинама Кандидаткиње најбоље сведоче функције које је обављала током студирања на Рударско – геолошком факултету:

- Члан Студентског парламента РГФ-а: школска 2016/17 и 2017/18. година
- Члан Савеза студената РГФ-а: од школске 2015/16. до 2019/20. године
- Члан Савета Рударско – геолошког факулета: школска 2016/17. година
- Председник Студентског парламента РГФ-а: школска 2017/18. година
- Студент продекан РГФ-а: школска 2018/19. и школска 2019/20. година
- Члан СПУБ-а (Студентског парламента Универзитета у Београду): 2018-2020.
- Потпредседник ресора за науку УБ: школска 2019/20. година
- Члан већа техничко – технолошких групација факултета УБ: школска 2019/20.
- Члан Управног одбора Дома културе „Студентски град“: 2018-2020. године
- Члан Сената Универзитета у Београду: школска 2019/20. година

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

На основу претходног приказа биографских података, стручних и научних активности, као и резултата досадашњег рада и оствареног искуства, Комисија сматра да је Кандидаткиња способна за самосталан научно-истраживачки рад, али и тимски рад у консултацији са Ментором и Комисијом. У одличној је позицији да комбинује практична и теоретска знања неопходна за реализацију предложене теме. Поседује основе додатних знања и вештина, које ће бити потребне за поједине аспекте теме, а које ће кроз израду дисертације додатно унапредити. Њено добро познавање енглеског језика ће бити значајно при даљој обради и анализи обласне литературе и за евентуалне студијске боравке и семинаре у иностранству. Кандидаткиња има и одређеног искуства у писању и излагању научно-истраживачких радова што је сврсисходно за један од најзначајнијих услова успешног окончања докторских студија, а то је објављивање рада у часопису са SCI листе.

## **2. Предмет и циљ истраживања**

### 2.1. Предмет истраживања

Познавање механичких својстава испуцале стенске масе, од изузетне је важности за предвиђање њеног понашања, како под дејством спољашњих сила тако и под дејством

унутрашњих напрезања. Прецизно и тачно дефинисана механичка својства стенске масе су од суштинског значаја за одређивање њене стабилности. Дисконтинуитети у стенској маси, у великој мери могу утицати на њена примарна механичка својства, односно могу смањити укупну чврстоћу и стабилност стенске масе и тиме повећати вероватноћу да дође до лома. Оријентација, размак или расподела пукотина, могу имати додатни утицај на механичка својства стенске масе. У пракси се често испуцала стенска маса квазихомогенизује, што доводи до поједностављења реалног стања у природи са циљем лакшег маневрисања прикупљених података и њихове анализе.

Међутим, процес квазихомогенизације интерпретатора удаљава од реалног стања у терену добијањем механичких параметара који су на страни сигурности и тиме повећава укупне трошкове инжењерских захвата. Како би се стенска маса што тачније квазихомогенизовала важно је узети у обзир детаљне карактеристике пукотина приликом процене њених механичких својства. Механички параметри испуцале стенске масе могу се одредити на следећа три начина:

- *in-situ* опитима.
- емпиријским једначинама тј. релацијама заснованим на класификационим системима стенске масе; и
- нумеричким симулацијама у комбинацији са лабораторијским испитивањима и теренским истраживањима.

Употреба *in-situ* опита често захтева високе трошкове које прати потенцијална потешкоћа у реализацији, што је резултат ограничене примене опита на релативно малу запремину стенске масе (реда величине, мање од  $m^3$ ). Поред тога, примена поменутих опита зна дати двосмислене и контрадикторне резултате услед недовољне обучености лица које изводи опит или интерпретатора добијених резултата. С друге стране, поједине емпиријске релације засноване на класификационим системима стенске масе су се искуствено показале као погодне за процену њених својства. Стога је од изузетне важности одабрати адекватне емпиријске релације које могу на одговарајући начин описати својства и варијације у својствима за, по правилу, анизотропне стенске масе. На послетку се као најпрецизнији вид дефинисања механичких карактеристика анизотропне стенске масе, издвајају нумеричке симулације. Оне у основи могу да укључе сложену геометрију мрежа пукотина и тиме омогуће анализу понашања интактне и испуцале стенске масе.

Предмет истраживања предложене теме докторске дисертације се огледа у дефинисању механичких параметара испуцале стенске масе, на следећа два начина:

- применом конвенционалних и традиционалних метода тј. коришћењем емпиријских једначина базираних на RMR (*Rock Mass Rating*), GSI (*Geological Strength Index*) и сличним класификацијама;
- нумеричким моделовањем тј. методом дискретних мрежа пукотина - DFN (*Discrete Fracture Network*) стенске масе.

У оба случаја користили би се подаци о стенској маси добијени теренским и лабораторијским мерењима и осматрањима, како конвенционалним тако и савременим технологијама. Један од начина за ефикасно и детаљно прикупљање оваквог типа информација, представља ласерско (LiDAR) скенирање и дигитална фотограметрија објекта од интереса.

## 2.2. Циљ истраживања

Генерисањем DFN модела природно испуцале стенске масе, а потом и његовом валидацијом, отвориће се могућност за одређивање читавог низа параметара испуцалости, од једнодимензионалних до тродимензионалних. С друге стране, применом стандардног поступка сумирања додељених бодова сваком од параметара неопходних за примену RMR и сличних класификација, добија се вредност на основу које се испитивана стенска маса може уврстити у одговарајућу категорију, док се тај број даље може инкорпорирати у неку од постојећих емпиријских једначина из којих би се као финални производ добиле вредности механичких параметара испуцале стенске масе, односно чврстоћа на притисак, модул еластичности, Поасонов коефицијент и сл.

Дакле, крајњи резултат и нумеричког симулирања и емпиријских једначина представљају механички параметри испуцале стенске масе. Стога се као примарни циљ намеће корелациона и регресиона анализа, односно успостављање математичке зависности између истих механичких параметара добијених применом конвенционалних метода са једне и DFN методе са друге стране. Поред примарног намећу се и секундарни циљеви истраживања, који се огледају спровођењу повратних анализа стабилности испитиваних косина (на бази параметара добијених DFN моделовањем и применом емпиријских релација заснованих на RMR и сличним класификацијама), коришћењем различитих софтвера (који прорачуне базирају или на методи граничне равнотеже, коначних елемената или по принципу методе дискретних елемената).

## 2.3. Извод из литературе релевантне за циљ и задатак истраживања

С обзиром да се процес креирања дискретне мреже пукотина применом DFN методе сматра новијим и модернијим приступом у механици стена, за израду докторске дисертације би се користила доступна литература публикована последњих година у међународним часописима, дисертацијама, студијама и препорукама које се баве тематиком DFN моделовања, нумеричког 3D моделовања уопште, машинског учења, и пратећим темама. Приметан је далеко већи број научних радова на пољу примене класификационих система и њиховог односа са тематиком нумеричког моделовања стенске масе, нарочито DFN-a.

Ако се посматрају постојећи радови са фокусом на DFN метод, онда су то у највећој мери радови писани за потребе предвиђања кретања флуида кроз испуцалу стенску масу. Може се рећи да је тренутно мали број расположивих уско стручних радова на ову тему, те ће само они бити приказани као списак примарне литературе, уз констатацију да се у наредном периоду може очекивати експанзија оваквих радова:

- Kolapo, P., Ogunsola, N. O., Munemo, P., Alewi, D., Komolafe, K., & Giwa-Bioku, A. (2023). *DFN: An Emerging Tool for Stochastic Modelling and Geomechanical Design*. Eng, 4(1), 174-205, EISSN 2673-4117, DOI: [10.3390/eng4010011](https://doi.org/10.3390/eng4010011).
- Gottron D., Henk A. (2021) "Upscaling of fractured rock mass properties – An example comparing Discrete Fracture Network (DFN) modeling and empirical relations based on engineering rock mass classifications" Engineering Geology, Volume 294 (2021) 106382, ISSN 0013-7952, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106382>.
- Monsalve J. J., Baggett J., Bishop R., Ripepi N. (2019) "Application of laser scanning for rock mass characterization and discrete fracture network generation in an underground

*limestone mine*" International Journal of Mining Science and Technology, Volume 29, Issue 1, Pages 131-137, ISSN 2095-2686, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.009>.

- Dongdong Pan, Shucui Li, Zhenhao Xu, Yichi Zhang, Peng Lin, Haiyan Li (2019) "A deterministic-stochastic identification and modelling method of discrete fracture networks using laser scanning: Development and case study", Engineering Geology, Volume 262 (2019) 105310, ISSN 0013-7952, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105310>.
- Miyoshi T., Elmo D., Rogers S. (2018) "Influence of data analysis when exploiting DFN model representation in the application of rock mass classification systems", Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 10, Issue 6, Pages 1046-1062, ISSN 1674-7755, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.003>.
- Gottron, D., Henk, A. (2022) „Upscaling the Mechanical Properties of a Fractured Rock Mass Using the Lattice-Spring-Based Synthetic Rock Mass (LS-SRM) Modeling Approach—Comparison of Discontinuum, Continuum and Empirical Approaches“, Geosciences 2022, 12, 343. <https://doi.org/10.3390/geosciences12090343>.
- Zixi Guo, Jinzhou Zhao, Xinhao Sun, Chengwang Wang, Dali Guo, Haoran Hu, Hongna Wang, Qinggang Zeng (2022) "A Novel Continuous Fracture Network Model: Formation Mechanism, Numerical Simulation, and Field Application", Geofluids, vol. 2022, Article ID 4026200, 17 pages, <https://doi.org/10.1155/2022/4026200>.
- Darcel, C., Davy, P., Le Goc, R., & Ivars, D. M. (2018) „Rock mass effective properties from a DFN approach“ 2<sup>nd</sup> International Discrete Fracture Network Engineering Conference, DFNE 2018, Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-247439>.
- Vasarhelyi B., Kovács D. (2017) „Empirical methods of calculating the mechanical parameters of the rock mass“ Periodica Polytechnica Civil Engineering, 61(1), pp. 39-50, <https://doi.org/10.3311/PPci.10095>.

### 3. Полазне хипотезе

Сазнања која ће послужити као парадигма предложеној тези заснована су на досадашњем прегледу и анализи резултата објављених истраживања са сличном тематиком. Невелики број истраживања се бавио проблематиком нумеричког моделовања испуцалих стенских маса креирањем DFN модела, а од постојећих радова, добар део се односи на примену у инжењерству нафте и гаса, хидрогеологији или пак на одлагање радиоактивног отпада са фокусом на предикцију кретања флуида кроз пукотинске системе. Самим тим, показало се да је велики простор остављен за научни напредак у домену креирања DFN модела за потребе геотехничких истраживања и генерално у домену нумеричких симулација са циљем предикције стабилности и понашања испуцалих стенских маса уопште.

- A. Вредности механичких параметара испуцале стенске масе добијене DFN методом, могле би бити приближније реалном стању у терену од вредности које су добијене конвенционалним поступцима. С обзиром да се испуцала анизотропна стенска маса у пракси често квазихомогенизује, а постојећи пукотински системи поједностављајују, 3D DFN модел, претходно калибрисан нпр. моделом пукотина из LiDAR-ског снимка, дао би веродостојнији приказ терена, па се из тог разлога очекује да и вредности механичких параметара изведених из овог приступа буде приближнија стварности.

- B. Вредности механичких параметара испуцале стенске масе добијене из емпиријских једначина (базираних на RMR, GSI и сличним класификационим системима) могле би бити битно другачије у односу на оне добијене применом DFN методе.
- C. Тродимензионални модели пукотина би се могли показати као ефикасније и економичније решење за потребе утврђивања механичких карактеристика испуцале стенске масе, као и за потребе предикције њеног понашања (у условима секундарних напонских стања, измењених порних притисака итд.), па и саме класификације стене.

#### 4. Научне методе истраживања

За потребе реализације планираног истраживања, неопходно је применити следеће методе подељене у неколико целина:

Кабинетске методе → под овом групацијом метода подразумевана је метода теоријске анализе као и метода прикупљања и синтезе података. Метода теоријске анализе би се применила приликом прикупљања и анализе досадашњих теоријских сазнања и најновијих резултата у овој области а везано за сам предмет докторске дисертације, са посебним освртом на примену нумеричких анализа тј. DFN моделовања са циљем дефинисања механичких параметара испуцалих стенских маса. Након анализе доступних и публикованих литературних јединица (радова, књига, сепарата, упутстава за одговарајуће програмске пакете и сл.) из области нумеричког моделовања испуцалих стенских маса и креирања DFN модела, као и машинског учења примењеног у овој области, уследиће синтеза документације доступне за подручје(а) од интереса које/а ће се односити на практични(е) пример(е).

Теренске методе → ова методолошка групација треба да обухвати примену разноврсних теренских метода почевши од ласерског (LiDAR) скенирања, преко пратећих конвенционалних теренских метода, инжењерскогеолошког картирања и мерења (коришћењем Шмитовог чекића, Бартоновог чешља, геолошког компаса, мерне летве итд.) као и прикупљања узорака на одабраним локацијама. На овај начин ће се прикупити неопходне информације о пукотинама и стенској маси у целини. Поред ласерског скенирања, могућа је и примена фотограметрије или било које друге технологије усмерене на добијање облака тачака.

Лабораторијске методе → за потребе одређивање елементарних параметара стене користиће се стандардни лабораторијски опити (за одређивање тачкасте и притисне чврстоће, динамичких и статичких модула еластичности и сл.) на узорцима који ће бити прикупљени приликом теренских истраживања. Обим и врста лабораторијских испитивања је подложна изменама и допунама јер ће директно зависити од избора лабораторије и њених расположивих функционалних апарата.

Нумеричко моделовање тј. нумеричко 3D симулирање → DFN метода подразумева свеукупни процес моделовања, од прикупљања и анализе података, па све до добијања крајњих резултата. Главне етапе представљају креирање концептуалног модела, потом генерисање DFN модела, симулирање спољашњих услова (компресију, затезање, смицање и сл.), реакцију DNF модела на симулирано спољашње оптерећење и на крају валидацију DFN модела. Процес моделовања ће обухватити и промену величинског подручја (upscaling-downscaling) и укључивање ефекта размере.

У зависности од количине и квалитета прикупљених података на терену, за потребе нумеричког моделовања ће бити примењен неки од специјализованих софтвера за решавање поменуте проблематике (познатији софтвери овог типа подразумевају познавање неког од следећа три програмска језика: *C++*, *Python* или *MatLab*).

RMR, GSI и сл. класификациони системи → представљају мултипараметарске системе у којима се сваком од параметара додељује одређени број бодова и чији збир даје коначну вредност (RMR) или се пак она номограмски одређује (GSI). Сви неопходни параметри се могу одредити на терену или добити картирањем језгра истражних бушотина. Осим основних варијанти, биће разматране и модификоване класификације, зависно од доступних практичних примера (косина, подземни објект и сл.).

Повратна анализа → у случају да тренутни услови то дозволе, оба ће приступа бити тестирана на конкретном примеру из праксе, тј. на потенцијалној косини са израженим ломом, при чему ће у анализи стабилности бити коришћени паралелно параметри добијени конвенционалном и DFN методом, у најмање два независна софтверска пакета, доступна на Рударско-геолошком Факултету (Rocscience Slide, Rocscience RS, Itasca UDEC или неки други софтверски пакет који може обухватити анализу стабилности методом коначних и/или методом дискретних елемената).

Упоредна анализа → подразумеваће примену регресионе анализе над сетовима података добијеним у оба приступа, ради успостављања математичке функције која ће описивати њихову међусобну зависност и којом ће бити могуће извршити одређене корекције вредности параметара чврстоће или чак саме RMR/GSI вредности.

## **5. Очекивани научни допринос**

DFN метод представља модернији, изазовнији али и прецизнији „алат“ којим се превазилазе потешкоће испитивања механичког понашања испуцале стенске масе, до данас већински решаване коришћењем RMR или GSI вредности у разним регресионим формулацијама. Применом DFN модела се даље омогућава симулирање постојећег и предикција будућег механичког стања природно испуцале стенске масе, чиме се добијају реалније вредности механичких параметара.

С обзиром да је читав концепт креирања DFN модела релативно нов у свету науке, а понајвише у домену геотехнике и механике стена, његово успешно креирање кроз практичан пример и уз детаљна пратећа објашњења, биће само по себи допринос за поменуте научне дисциплине, али и за све истраживаче, научнике и инжењере чије усавршавање иде у том правцу.

Поред тога, од великог значаја може бити и за све оне који се не усуђују упустити у процес нумеричког симулирања природно испуцалих стенских маса, или који пак немају могућност адекватног прикупљања улазних параметара неопходних за креирање DFN модела. У том случају, применом конвенционалног поступка класификације стенске масе према, рецимо, RMR-у, а применом резултата нове регресионе анализе, добијене у предложеној докторској дисертацији, моћи ће се утврдити реалнија вредност одређеног механичког параметара од вредности које се добијају из постојећих емпиријских релација. Тиме се уз научни, намеће и практични значај предложене теме докторске дисертације.

Очекује се да ће резултати истраживања показати већу веродостојност на страни DFN-а и у погледу предикције механичког стања посматране испуцале стенске масе. Уместо добијања вредности механичких параметара конвенционалним методама које су некада и превише на страни сигурности па их прате предимензионисана решења, нумеричким моделовањем и креирањем DFN модела омогући ће се смањење укупних трошкова јер ће добијени резултати бити најближи реалним вредностима и постојећем природном стању.

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

Хронолошки, истраживања приликом израде дисертације би била конципирана на следећи начин:

- Детаљна анализа постојећих литературних података уско везаних за предочену проблематику
- Теренска истраживања
  - LiDAR-ско скенирање
  - Инжењерско-геолошко картирање терена
- Лабораторијска испитивања
- Нумеричко моделовање
  - Израда тродимензионалног модела испуцалости DFN методом (у различитим софтверским окружењима)
  - Упоредна анализа механичких параметара стенске масе добијених из модела и лабораторијски
  - Упоредна анализа класификационих параметара по RMR и/или GSI систему добијених из модела и конвенционалним картирањем
- Закључне анализе и дискусије
  - Валидација кроз повратну анализу на практичном примеру
  - Дискусија на основу добијених резултата анализе и моделовања

## **7. Анализа ризика**

С обзиром да ће докторска дисертација обухватити једну врсту истраживања која до сада није спроведена у нашој земљи, остављен је простор и за анализу ризика која може предочити алтернативне правце у којима истраживање може „отићи“ у случају да се испуњеност циља или задатка истраживања у неком тренутку доведе у питање. Под „ризицима“ су размотрени следећи сценарији:

- Случај немогућности примене жељеног софтвера
- Случај немогућности одређивања стриктно механичких параметара

За оба случаја је осмишљен алтернативни сценарио који ће омогућити несметану реализацију истраживања и израде докторске дисертације.

## 8. Закључак и предлог

Анализом података из пријаве Кандидаткиње Драгане Славковић, мастер инжењера геологије, Комисија закључује да је предложена тема актуелна и погодна за израду докторске дисертације, да кандидат испуњава све законом предвиђене услове, као и да има истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Наставно - научном Већу Рударско - геолошког факултета Универзитета у Београду да Кандидаткињи Драгани Славковић, мастер инжењеру геологије, одобри израду докторске дисертације под насловом:

**„Одређивање механичких параметара стенске масе методом  
дискретних мрежа пукотина“.**

у научној области Геолошко инжењерство, ужа научна област Инжењерска геологија, геомеханика и геотехничко инжењерство, за коју је матичан Рударско - геолошки факултет Универзитета у Београду. За ментора докторске дисертације се предлаже др Милош Марјановић, ванредни професор на Катедри за Геотехнику Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 23.03.2023.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
Др Биљана Аболмасов, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

\_\_\_\_\_  
Др Зоран Берисављевић, доцент  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

\_\_\_\_\_  
Др Урош Ђурић, доцент  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет