

Образац 3.

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:

„Нумеричке симулације процеса затварања вардарског дела Неотетиса“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Гео-науке

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Никола (Бождар) Станковић, маг. инж. геологије

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

Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

Геофизика

3. Година завршетка

претходног нивоа студија: 2017.

4. Година уписа на докторске студије: 2017/18.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Геологија

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Весна Цветков

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Lesić, V., Márton, E., Gajić, V., Jovanov, D., **Cvetkov, V.** (2019): Clockwise vertical-axis rotation in the West Vardar zone of Serbia: tectonic implications. *Swiss Journal of Geosciences*, 112, 1, 199-215. ISSN 1661-8726 (IF=1.577)
2. Rundić, Lj., Vasić, N., Životoć, D., Bechtel, A., Knežević, S., **Cvetkov, V.** (2016): The Pliocene Paludina Lake of Pannonian Basin: new evidence from northern Serbia. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 86, 2, 185-209. <http://dx.doi.org/10.14241/asgp.2016.003> (IF =0.833)
3. Arsenović S., Urošević M., Sretenović B., **Cvetkov V.**, Životić D. (2016): Modelling of coal seam of the deposit Đurđevik (BIH) by means of 2D reflective seismic. *Journal of Geophysics and Engineering* 13, 422-428. ISSN 1742-2132 (IF=0.994)
4. 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=1.926)
5. Lesić, V., Márton, E., **Cvetkov, V.**, Tomić D. (2013): Magnetic anisotropy of Cenozoic igneous rocks from the Vardar zone (Kopaonik area, Serbia). *Geophysical Journal International*, 193, 3, 1182-1197. (IF=2.724)

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета
(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 17.09.2020. год. 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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Владиса Цветковић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Andrić, N., Vogt, K., Matenco, L., **Cvetković, V.**, Cloetingh, S., Gerya, T. (2018): Variability of orogenic magmatism during Mediterranean-style continental collisions: A numerical modelling approach. *Gondwana Research*, 56, 119–134. ISSN 1342-937X (6.478).
2. Prelević, D., Wehrheim, S.R.M., Romer, R.L., Boev, B., Božović, M., van den Bogaard, P., **Cvetković, V.**, Schmid, S.M. (2017): The Late Cretaceous Klepa basalts in Macedonia (FYROM): Constraints on the final stage of Tethys closure in the Balkans. *Terra Nova*, 29, 145-153. ISSN 0954-4879 (2.229).
3. Mladenović, A., Antić, D. M., Trivić, P. B., **Cvetković, V.**, (2019): Investigating distant effects of the Moesian promontory: brittle tectonics along the western boundary of the Getic unit (East Serbia). *Swiss Journal of Geosciences*, 112, 1, 143-161. ISSN 1661-8726 (1.577).
4. Jovanović, B. D., **Cvetković, V.**, Erić, S., Kostić, B., Peytcheva, I., Šarić, K., (2019): Variscan granitoids of the East Serbian Carpatho-Balkanides: new insight inferred from U-Pb zircon ages and geochemical data. *Swiss Journal of Geosciences*, 112, 1, 121-142. ISSN 1661-8726 (1.577).
5. Prelević, D., Brüggmann, G., Barth, M., Božović, M., **Cvetković, V.**, Foley, S.F., Maksimović, Z. (2015): Os-isotope constraints on the dynamics of orogenic mantle: The case of the Central Balkans. *Gondwana Research*. 1560-1573, DOI: 10.1016/j.gr.2014.02.001 (8.743).

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

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 17.09.2020. год. 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 17.09.2020. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Николе Станковића, мастер инж. геологије.**
2. Одобрава се именованом израда докторске дисертације под насловом *„Нумеричке симулације процеса затварања вардарског дела Неотетиса“.*
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, ванр. проф. и др Владица Цветковић, ред. проф.
5. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Зоран Глигорић, ред. проф.

Достављено:

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

НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Николе Станковића, маг. инж. геологије, за израду докторске дисертације

Одлуком Научно-наставног већа Универзитета у Београду – Рударско-геолошког факултета бр. 1/189 од 19.05.2020. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Николе Станковића, маг. инж. геологије**, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом: **„Нумеричке симулације интраокеанске субдукције током горњојурског затварања вардарског дела Неотетиса”**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Никола Станковић, мастер инжењер геологије, рођен је 07. септембра 1993. године у Београду, где је завршио основну школу и гимназију. Студије на Универзитету у Београду – Рударско-геолошки факултет, студијски програм Геофизика, уписује 2012. године које завршава 2016. године са просечном оценом 9,33 и одбрањеним дипломским радом на тему „Примена гравиметрије за праћење кретања флуида у гасном лежишту“ са оценом 10. Октобра 2016. године уписао је мастер студије на студијском програму Геофизика, Рударско-геолошког факултета, које редовно завршава 2017. године са просечном оценом 9,64 и одбраном мастер рада на тему „Нумеричке симулације процеса конвекције у Земљиним омотачу“, са оценом 10. Од јуна 2018. године запослен је као истраживач-приправник на Рударско-геолошком факултету.

1.2. Стечено научно искуство

Кандидат Никола Станковић уписује докторске академске студије 2017/18. године на Универзитету у Београду – Рударско-геолошки факултет. У оквиру ових студија положио је свих 15 испита (ЕСПБ 175/180), са просечном оценом 10.

Преглед положених испита на докторским студијама дат је у следећој табели:

Назив предмета	Ознака	Оцена	ЕСПБ
Минералологија и заштита животне средине	13-3МК40	10	10
Геохемија магматских и метаморфних стена	13-3ПГ27	10	10
Теренски и лабораторијски рад	13-3ТЛ16	10	10
Области теоријске геофизике 1	13-3ГФ03	10	10
Области примењене геофизике 1	13-3ГФ04	10	10
Специјалне области физике	13-3ГФ02	10	10
Семинарски рад (везан за тему докторске дисертације)	13-3Г7С1	10	10
Области теоријске геофизике 2	13-3ГФ05	10	10
Области примењене геофизике 2	13-3ГФ06	10	10
Израда докторске дисертације	13-37ДД1	10	20
Студијски истраживачки рад (везан за тему докторске дисертације)	13-37СИ1	10	10
Израда докторске дисертације	13-38ДД1	10	20
Израда докторске дисертације	13-38ДД2	10	15
Студијски истраживачки рад (везан за докторску дисертацију)	13-38СИ1	10	10
Студијски истраживачки рад (везан за докторску дисертацију)	13-38СИ2	10	10

Кандидат је од 2018. године запослен на Рударско-геолошком факултету као истраживач приправник, при чему учествује на пројекту ОИ 176016 „Магматизам и геодинамика Балканског полуострва од мезозоика до данас: значај за образовање металичних и неметаличних рудних лежишта“. Пројекат је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Током докторских студија два пута је одржао предавање на тему „Процес нумеричког симулирања процеса геодинама“ у оквиру предмета „Основи геомагнетизма“ студентима треће године Основних академских студија на Департману за геофизику. Кандидат је такође помагао око спровођења колоквијума у оквиру предмета „Магнетометрија и палеомагнетизам“. Учествовао је у организацији 17. Конгреса геолога Србије у Врњачкој Бањи 2018. године.

Током 2018. кандидат је присуствовао низу предавања из предмета „Физика континуума“ на Универзитету у Београду – Физички факултет код професорке Сунчице Елезовић-Хацић.

У зимском семестру 2018. године, Никола Станковић борави на универзитету ETH Zurich у Швајцарској, на институту за геофизику, а на позив професора Тараса Герје. Током овог боравка, кандидат похађа и успешно завршава следеће предмете: „Continuum Mechanics“ и „Numerical Modelling I and II: Theory and Applications“, које предаје проф. Т. Герја. Поред ова два предмета, присуствовао је и предавањима из предмета: „Numerical modelling in Fortran“, „Thermodynamics Applied to Earth Materials“ и „Planetary Physics and Chemistry“.

Кандидат је стекао искуство у представљању резултата свог научног истраживања учествовањем на међународној научној конференцији EGU 2020 у Бечу, где је презентовао рад који је везан за тему докторске дисертације.

Радови и публикације

- Stanković, N., Cvetkov, V., Cvetković, V. (2020) – “2D numerical simulation of intraoceanic subduction during upper Jurassic closure of Vardar Tethys”, EGU General Assembly, Vienna
- Станковић, Н., Цветков, В., Цветковић, В. (2018) – „Нумеричке симулације процеса конвекције у Земљиним омотачу“ 17. Конгрес Геолога Србије, Врњачка Бања

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Никола Станковић је студент докторских студија, који је положио испите предвиђене планом докторских студија, чиме је остварио услов да му се одобри израда докторске дисертације.

На основу горе приказаних резултата и досадашњег рада током докторских студија, Никола Станковић, мастер инжењер геологије је показао интересовање и способност за бављење научно-истраживачким радом. Кандидат испуњава све неопходне услове и може приступити изради докторске дисертације. Важно је напоменути да је кандидат, кроз завршене курсеве на Универзитету ЕТН Zurich оспособљен за примену методологије нумеричких симулација која је предвиђена за израду докторске дисертације.

У складу са Правилником Рударско-геолошког факултета о докторским академским студијама, за студенте који су уписали докторске студије од 2016/2017. године, кандидат Никола Станковић је 19.06. 2020. године одбранио предложену тему докторске дисертације на Универзитету у Београду – Рударско-геолошком факултету, о чему је сачињен записник који је саставни део овог извештаја.

2. Предмет и циљ испитивања

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

Предмет дисертације јесте реконструкција процеса затварања вардарског дела Неотетиса током мезозоица применом нумеричког моделовања. Ова реконструкција се првенствено односи на подручје централних делова Балканског полуострва и састоји се из следећих геодинамичких целина које би симулирањем требало боље разумети, а то су:

- геодинамички режим интраокеанске субдукције током затварања Тетиса;
- обдукција јурских офиолита на пасивну маргину Адрије;
- тектономагматски карактер Сава-Вардар зоне и Тимочког магматског комплекса; и
- одређивање почетних услова континенталне колизије Адрије и Европе.

У тези ће бити примењене методе директног нумеричког моделовања у циљу симулирања временски зависног геодинамичког процеса субдукције и потоње континенталне колизије.

Циљ овог нумеричког симулирања јесте да се изради валидан нумерички модел који стоји у складу са реалним геолошким односима на терену, у простору и времену, и који притом прати све термомеханичке и реолошке законитости. Добијени резултати омогућили би

додатне квантитативне аргументе у тумачењима геодинамичких процеса затварања вардарског дела Неотетиса и у великој мери би унапредили тренутно познавање мезозојско-кенозојске геодинамике Балканског полуострва.

3. Полазне хипотезе

Највећи број истраживача слаже се да је вардарски део океана Неотетиса формиран процесима интраконтиненталног рифтовања током доњег и средњег тријаса (нпр. Rampoux, 1970). Међутим, у вези с временом када се овај део неотетиског океана затворио истраживачи показују значајна неслагања. Све до краја 20. века владало је мишљење да је овај океански сегмент затворен на прелазу између горње јуре и доње креде. Ово гледиште је било засновано на старости стена у тзв. "метаморфним ђоновима" у подлози обдукованих перидотитских масива (максимална старост процеса затварања), као и времену депоновања наслага које офиолите прекривају (минимална старост процеса затварања) (Robertson, 2002; Karamata, 2006; Schmid et al., 2008). Почетком 2000. године појавили су се радови који сугеришу да постоје и офиолити горњокредне старости, а као класични локалитет означен је комплекс северне Козаре (Karamata et al., 2000; Ustaszewski et al., 2009). Старост ових стена узета је као доказ да на простору Балканског полуострва не постоје само јурски, већ и млађи, горњокредни офиолити, из чега је затим изведен закључак да је на овом простору и после горње јуре постојао још увек отворени океански простор који је назван Сава-Вардар (Pamić, 2002; Ustaszewski et al., 2009). Постојање овог горњокредног океана искоришћено је за објашњење настанка Тимочког магматског комплекса који је, следствено томе, сматран геодинамичким продуктом субдукције (Kolb et al., 2013).

Гледиште о постојању Сава-Вардар океана недавно је доведено у питање новим радовима који су показали да су базалтоидне стене које геотектонски припадају Сава-Вардар зони другачије од осталих јурских офиолита Балканског полуострва (Cvetković et al., 2014), односно да представљају продукте интраконтиненталног магматизма (Prelević et al., 2017).

Узимајући све наведено, ова докторска дисертација има намеру да допринесе решавању ове дебате, тако што ће тестирати модел по којем је за смештање свих офиолита Балканског полуострва одговорна само једна интраокеанска субдукција која је окончана на прелазу из горње јуре у доњу креду.

Модел је заснован на следећим полазним хипотезама:

1. субдукција је генерисана на месту некадашењег средњоокеанског гребена вардарског дела Неотетиса;
2. субдукција је константно имала нагиб према истоку, при чему је сегмент интраокеанског вулканског лука обдукован на запад (маргина Адрије), док је на истоку (маргина Евроазије) генерисана комплексна активна маргина, што укључује образовање лукова и стварање и затварање маргиналних басена; и
3. колизија је уследила у доњој креди тако да је постојање горњокредног океанског простора, а тиме и океанске субдукције искључено; у том контексту, настанак свих горњокредних и каснијих магматских продуката, укључив и магматите Сава-Вардар зоне и оне из Тимочког магматског комплекса везано је за постколизионе догађаје.

4. Научне методе истраживања

Окосница овог рада јесте нумеричко моделовање геодинамичких процеса који су везани за претходно наведене полазне хипотезе. У циљу стварања геодинамичке симулације потребно је решити систем парцијалних диференцијалних једначина које описују термомеханичко стање геодинамичког система. Ове парцијалне диференцијалне једначине су: једначина континуитета, Навије – Стоксове једначине и температурна (топлотна) једначина.

Једначина континуитета обезбеђује да материја у оквиру домена модела не нестаје нити се ствара, односно:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

где је ρ густина, а $\mathbf{v}$ брзина тока.

Навије – Стоксове једначине представљају баланс сила које делују на елемент материје у три ортогонална правца односно:

$$\frac{\partial \sigma'_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial P}{\partial x_i} = -\rho g_i$$

где су σ'_{ij} компоненте тензора механичког напона, P притисак, g_i компоненте вектора гравитационог убрзања.

Топлотна једначина обухвата начине преноса топлоте кроз дату средину (конвекција, кондукција), изворе топлоте (латентна топлота, адијабатско загревање/хлађење, вискозно загревање), и временску зависност просторне расподеле температуре у оквиру домена модела, односно:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T \right) = -\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + H$$

где је q топлотни флуks, T температура, C_p топлотна капацитивност при константном притиску, а H означава све топлотне изворе или одводе у оквиру домена модела. Горе наведен систем једначина треба ограничити почетним и граничним условима као и једначинама стања датих материјала који учествују у симулацији.

Почетни услови се односе на почетну расподелу физичких параметара (нпр. температуре) у домену модела и просторну расподелу унапред дефинисаних компоненти. На пример, почетна расподела температуре је таква да она линеарно расте у оквиру континенталне литосфере док је приписан адијабатски геотермални градијент (Katsura, et al. 2010). Ове компоненте представљају различите стене које су део симулације и имају унапред дефинисане реолошке параметре, као што су угао унутрашњег трења, садржај флуида у порима, топлотна проводљивост и други.

Гранични услови се односе на вредности неких параметара или извода тих параметара на границама домена модела. Температура се држи константном на горњој и доњој граници модела, док има изолациони гранични услов на левој и десној страни. Изолациони услов значи да је топлотни флуks по правцу управном на границу домена једнак нули, односно да

је извод температуре у том правцу, на самој граници једнак нули. Гранични услов за брзину тока на свим границама је „проклизавајући“ (*free-slip*), односно на самој граници вектор брзине тока има компоненту управну на границу чији је интензитет нула, док може имати компоненту паралелну граници без ограничења у интензитету. Појас модела у близини горње границе представља атмосферу и она се моделује поступком „лепљивог ваздуха“ (*sticky air*). Овај појас карактерише константа температура и неприродно висока вискозност атмосфере ($10^{18} \text{Pa}\cdot\text{s}$) што је потребно за нумеричку стабилност симулације (Cramer, F. et al. 2012) .

Основни, референтни модел се састоји од два континента (Евроазије и Африке то јест Адрије) између којих се налази океан. Континенти се састоје од два слоја континенталне коре и остатка континенталне литосфере. Океан се састоји од океанске коре и остатка океанске литосфере. Океанска литосфера је дефинисана као подручје омотача до температуре од 1600 K. У оквиру океана раздвајају се два сегмента океанске литосфере који су раздвојени средњеокеанским гребеном. Дебљина океанске литосфере у моделу расте са удаљавањем од средњеокеанског гребена, пратећи модел хлађења бесконачног полупростора (Turcotte & Schubert, 2002).

Иницијација саме субдукције постиже се тако што се вектори брзине супротних смерова припишу блоковима високе динамичке вискозности који одговарају деловима континенталних литосфера Адрије и Евроазије. Блокови су на довољној удаљености од зоне у којој се очекују геолошки релевантни резултати. Приписивањем брзина се постиже конвергентни режим. Како би се одредила позиција на којој првобитно настаје субдукција, контакту две океанске литосфере приписана је мања „слаба зона“ са падом ка Евроазији. Ову слабу зону карактерише мања чврстина и вискозност. Наведени услови су довољни за иницијацију интраокеанске субдукције на позицији средњеокеанског гребена.

У оквиру тезе биће тестиране различите вредности параметара, као што су брзина конвергенције, дебљина континенталне коре, почетна расподела температуре и други, како би се дошло до оптималне почетне конфигурације модела који би задовољио ограничења постављена геолошким подацима, и утврдила осетљивост модела на ове параметре.

Ради нумеричког решавања овог система парцијалних диференцијалних једначина мора се применити дискретизација једначина. Она ће бити обављена методом конзервативних коначних разлика на измештеној нумеричкој мрежи, односно на таквој нумеричкој мрежи на којој су различите променљиве постављене на различитим чворовима. За решавање система биће примењен поступак маркера у ћелији (*marker-in-cell*) који је развијен и примењен у оквиру термомеханичког кода I2VIS (Gerya & Yuen, 2003). Овај поступак комбинује Лагранжев и Ојлеров приступ механици континуума. Примена овог поступка на различите геодинамичке поставке и проблеме је већ дала многе резултате (Duretz, T. et al., 2016; Nikolaeva et al., 2011, Bauman, C et al., 2010).

5. Очекивани научни допринос

Резултати нумеричког моделовања горе описаних геодинамичких процеса састојаће се од низа временских исечака испитиваних догађаја приказаних преко расподеле нумерички

израчунатих величина у оквиру 2Д домена модела. Ове величине су расподеле физичких величина као што је температура, брзина тока флуида, вискозност или расподела унапред дефинисаних компоненти (различитих стена) које формирају материјални модел. Добијени низ резултата чини временску еволуцију модела који треба да симулира процес субдукције и затварања вардарског дела Неотетиса.

Резултат симулација, у оквиру ове тезе, требало би да репродукује успешну обдукцију материјала океанске литосфере на маргину Адрије, као и да проузрокује центар ширења и рифтовање на евроазијској маргини. Овај центар ширења би требало да изазове стварање нове окенске коре која ће потом бити смештена на контакт између Адрије и Евроазије (тзв. Сава - Вардар зона). Добијена симулација, такође, би требало и да објасни услове за настанак магматизма везаног за Тимочки магматски комплекс.

Нумерички симулирани процеси и појаве биће ограничени реалним геолошким подацима теренских и лабораторијских истраживања овог простора. Овде се пре свега мисли на старости офиолита на адриатској плочи, старост и карактер стена Сава-Вардар зоне, као и време настанка и природу магматских стена Тимочног магматског комплекса.

Успешна нумеричка симулација представљаће несумњив допринос нашем данашњем познавању мезозојских тектономагматских догађаја у овом делу Балканског полуострва. Не само што ће омогућити боље сагледавање једног од најпроблематичнијих аспеката, као што је постојање Сава-Вардар океана, резултати ове докторске дисертације унапредиће знање и о металогенетским процесима у овом времену и простору. Будући да су у овом подручју крајем мезозоика настала нека од највећих европских лежишта бакра, резултати ове дисертације могу бити примењена и за будућа проспекциона истраживања и друга металогенетска проучавања.

Посебно треба истаћи да ће ово бити прва докторска дисертација у Србији која предвиђа допринос решавању геодинамичких проблема нумеричким моделовањем. Због тога ће успех ове докторске дисертације и касније усавршавање кандидата Николе Станковића имати велики значај за развој геонаука у нашој земљи.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања би пратио следећи ток:

- Детаљно упознавање са претходним геолошким и геофизичким истраживањима датог подручја;
- Успостављање прелиминарног модела;
- Систематско варирање различитих параметара модела;
- Одређивање оптималних услова за успостављање главног модела;
- Анализа добијених резултата нумеричког симулирања;
- Одређивање утицаја различитих параметара на симулацију;
- Корелација резултата са геолошким ограничењима.

У складу са темом, предложен је следећи, оквирни садржај докторске дисертације:

- 1) Увод
- 2) Геолошке/геодинамичке карактеристике подручја
- 3) Преглед досадашњих геолошких/геофизичких истраживања
- 4) Преглед геодинамичких и реолошких појмова у овом раду
 - 4.1) Навије-Стоксове једначине
 - 4.2) Релевантни топлотни феномени
 - 4.3) Реологија материјала коришћених у симулацији
- 5) Нумеричке методе
 - 5.1) Приступ нумеричком моделовању субдукције
 - 5.1) Дискретизација једначина конзервативним коначним разликама
 - 5.2) Поступак маркера у ћелији
- 6) Опис модела
 - 6.1) Почетни и гранични услови
 - 6.2) Листа симулација
 - 6.2) Опис физичких параметара симулације
- 7) Анализа резултата
 - 7.1) Приказ резултата
 - 7.2) Анализа карактеристичних феномена у оквиру симулације
 - 7.3) Анализа утицаја различитих параметара на развој симулације
- 8) Дискусија
 - 8.1) Корелација резултата симулације са геолошким подацима
- 9) Закључак

Преглед релевантне стручне литературе:

1. Andrić, N., Vogt, K., Matenco, L., Cvetković, V., Cloetingh, S., & Gerya, T. V. (2018). Variability of orogenic magmatism during Mediterranean-style continental collisions: A numerical modeling approach. *Gondwana Research*, 56, 119-134.
2. Bauman, C. Gerya, T. V., & Connolly, J.A. (2010). Numerical modeling of spontaneous slab breakoff dynamics during continental collision. *Geological Society, London, Special Publications*, 332(1), 99-114.
3. Cramer, F., Schmeling, H., Golabek, G. J., Duretz, T., Orendt, R., Buiter, S. J. H., May, D. A., Kaus, B. J. P., Gerya, T. V., Tackley, P. J. (2012). A comparison of numerical surface topography calculations in geodynamic modeling: an evaluation of the 'sticky air' method.
4. Cvetković, V., Šarić, K., Grubić, A., Cvijić, R., Milošević, A. (2014): The Upper Cretaceous ophiolite of North Kozara - remnants of an anomalous mid-ocean ridge segment of the Neotethys? *Geologica Carpathica*, 65, 2, 117-130.
5. Davies, J.H., & von Blanckenburg, F. (1995). Slab breakoff: a model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth and Planetary Science Letters*, 129 (1-4), 85-102.
6. Duretz, T., Agard, P., Yamato, P., Ducassou, C., Burocv, E. B., & Gerya, T. V. (2016). Thermo-mechanical modeling of the obduction process based on the oman ophiolite case. *Gondwana Research*, 32, 1-10.
7. Duretz, T., Scmalholz, S., & Gerya, T. V. (2012). Dynamics of slab detachment. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(3).

8. Gerya, T. V (2010) *Introduction to Numerical Geodynamic Modelling*. Cambridge University Press.
9. Gerya T.V., Connolly, J.A., & Yuen, D.A. (2008). Why is terrestrial subduction one-sided? *Geology*, 36(1), 43-46.
10. Gerya T.V. & Yuen, D. A. (2003). Characteristics-based marker-in-cell method with conservative finite differences schemes for modeling geological flows with strongly variable transport properties. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 140(4), 293-318.
11. Gerya, T. V., Yuen, D. A. & Maresch, W. V. (2004). Thermomechanical modeling of slab detachment. *Earth and Planetary Science Letters*, 226(1-2), 212-218.
12. Karamata, S. (2006). The geological development of the Balkan Peninsula related to the approach, collision and compression of Gondwana and Eurasian units. In: Robertson, A.H.F. & Mountrakis, D. (Eds.): Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region. *Geological Society London Special Publications*, 260, 155-178.
13. Karamata, S., Olujić, J., Protić, L., Milovanović, D., Vujnović, L., Popević, A., Memović, E., Radovanović, Z., Resimić-Šarić, K. (2000). The western belt of the Vardar Zone – the remnant of a marginal sea. In: Karamata, S. Janković, S. (Eds.): International Symposium Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone, *Academy of Sciences Arts Republic of Srpska* Vol. 1, Banja Luka, Sarajevo, 131–135.
14. Kolb, M., von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, C.A., Fowler, S.J., Cvetković, V. (2013). Adakite-like and Normal Arc Magmas: distinct fractionation paths in the East Serbian segment of the Balkan-Carpathian arc. *Journal of Petrol.*, 54, 3, 421-451.
15. Katsura, T., Yoneda, A., Yamazake, D., Yoshino, T. & Ito, E. (2010). Adiabatic temperature profile in the mantle. *Physics of the Earth and Planetary interiors*, 183(1-2), 212-218.
16. Kelemen, P. B. & Behn, M. D. (2016). Formation of continental crust by relamination of buoyant arc lavas and plutons. *Nature geoscience*, 9(3), 197-205
17. Maffione, M. & Hyndman, R. D. (1992). Geophysical support for aqueous fluids in the deep crust: seismic and electrical relationships. *Geophysical Journal International*, 110(1), 91-105.
18. Nikolaeva, K., Gerya, T. V. & Marques, F. (2010) Subduction initiation at passive margins: numerical modeling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115 (B3)
19. Nikolaeva, K., Gerya, T. V. & Marques, F. O. (2011). Numerical analysis of subduction initiation risk along the Atlantic American passive margins. *Geology*, 39(5), 464-466
20. Pamić, J. (2002). The Sava-Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean. *Eclogae geologicae Helvetiae*, 95, 99-113.
21. Prelević, D., Wehrheim, S.R.M., Romer, R.L., Boev, B., Božović, M., van den Bogaard, P., Cvetković, V., Schmid, S.M. (2017). The Late Cretaceous Klepa basalts in Macedonia (FYROM): Constraints on the final stage of Tethys closure in the Balkans. *Terra Nova*, 29, 145-153.
22. Robertson, A. H. F. (2002). Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, 65, 1-67.
23. Schefer, S., Cvetković, V., Fugenschuh, B., Kounov, A., Ovrcharova, M., Schaltegger, U. & Schmid, S. M. (2011). Cenozoic granitoids in the dinarides of southern Serbia: age of intrusion, isotope geochemistry, exhumation history and significance for the geodynamic evolution of the Balkan peninsula. *International Journal of earth Sciences*, 100(5), 1181-1206.
24. Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fugenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. Ustaszewski, K. (2008). The alpine-carpathian-dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101(1), 139-183.

25. Turcote, D. L., Schubert, G. (2002). *Geodynamics*. Cambridge University Press.
26. Ustaszewski, K., Schmid, S. M., Lugović, B., Schuster, R., Schaltegger, U., Bernoulli, D., Hottinger, L., Kounov, A., Fugenschuh, B., Schefer, S. (2009). Late Cretaceous intra-oceanic magmatism in the internal Dinarides (northern Bosnia and Hercegovina). *Lithos* 108:106-125.

6. Закључак и предлог

На основу анализе поднетог материјала у вези са предложеном докторском дисертацијом, њених циљева, очекиваних резултата, предложене методологије и програма истраживања, као и на основу наведених података о научно-истраживачкој активности кандидата Николе Станковића, маг. инж. геологије, Комисија доноси следеће закључке:

1. Кандидат Никола Станковић, маг. инж. геол., испуњава Законом предвиђене услове за пријаву теме и израду докторске дисертације;
2. Предложена тема под насловом: „Нумеричке симулације интраокеанске субдукције током горњојурског затварања вардарског дела Неотетиса” научно је заснована и може да буде предмет докторске дисертације. Будући да ће симулацијама бити обухваћено више геодинамичких процеса поред интраокеанске субдукције Комисија предлаже да се наслов теме промени и да гласи: „Нумеричке симулације процеса затварања вардарског дела Неотетиса”;
3. Предложена тема докторске дисертације ће се реализовати у оквиру уже научне области Геофизика;
4. За ментора се предлажу др Весна Цветков, ванредни професор Рударско-геолошког факултета у Београду и др Владица Цветковић, редовни професор Рударско-геолошког факултета у Београду.

Београд
1.07.2020.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Весна Цветков, ванредни професор
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
Др Владица Цветковић, редовни професор
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
Др Драган Станков, ванредни професор
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
Др Дејан Прелевић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
Др Споменко Ј. Михајловић, научни саветник
Републички геодетски завод

ЗАПИСНИК

Кандидат Никола Станковић дана 19.06.2020. године је одбранио приступни рад под називом

„Нумеричке симулације интраокеанске субдукције током горњојурског затварања вардарског дела Неотетиса”.

Комисија за оцену научне заснованости теме:

6. _____

7. _____

8. _____

9. _____

10. _____

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Весна Цветков

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

6. Lesić, V., Márton, E., Gajić, V., Jovanov, D., **Cvetkov, V.** (2019): Clockwise vertical-axis rotation in the West Vardar zone of Serbia: tectonic implications. *Swiss Journal of Geosciences*, 112, 1, 199-215. ISSN 1661-8726 (IF=1.577)
7. Rundić, Lj., Vasić, N., Životoć, D., Bechtel, A., Knežević, S., **Cvetkov, V.** (2016): The Pliocene Paludina Lake of Pannonian Basin: new evidence from northern Serbia. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 86, 2, 185-209. <http://dx.doi.org/10.14241/asgp.2016.003> (IF =0.833)
8. Arsenović S., Urošević M., Sretenović B., **Cvetkov V.**, Životić D. (2016): Modelling of coal seam of the deposit Đurđevik (BIH) by means of 2D reflective seismic. *Journal of Geophysics and Engineering* 13, 422-428. ISSN 1742-2132 (IF=0.994)
9. 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=1.926)
10. Lesić, V., Márton, E., **Cvetkov, V.**, Tomić D. (2013): Magnetic anisotropy of Cenozoic igneous rocks from the Vardar zone (Kopaonik area, Serbia). *Geophysical Journal International*, 193, 3, 1182-1197. (IF=2.724)

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Владиса Цветковић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

6. Andrić, N., Vogt, K., Matenco, L., **Cvetković, V.**, Cloetingh, S., Gerya, T. (2018): Variability of orogenic magmatism during Mediterranean-style continental collisions: A numerical modelling approach. *Gondwana Research*, 56, 119–134. ISSN 1342-937X (6.478).
7. Prelević, D., Wehrheim, S.R.M., Romer, R.L., Boev, B., Božović, M., van den Bogaard, P., **Cvetković, V.**, Schmid, S.M. (2017): The Late Cretaceous Klepa basalts in Macedonia (FYROM): Constraints on the final stage of Tethys closure in the Balkans. *Terra Nova*, 29, 145-153. ISSN 0954-4879 (2.229).
8. Mladenović, A., Antić, D. M., Trivić, P. B., **Cvetković, V.**, (2019): Investigating distant effects of the Moesian promontory: brittle tectonics along the western boundary of the Getic unit (East Serbia). *Swiss Journal of Geosciences*, 112, 1, 143-161. ISSN 1661-8726 (1.577).
9. Jovanović, B. D., **Cvetković, V.**, Erić, S., Kostić, B., Peytcheva, I., Šarić, K., (2019): Variscan granitoids of the East Serbian Carpatho-Balkanides: new insight inferred from U-Pb zircon ages and geochemical data. *Swiss Journal of Geosciences*, 112, 1, 121-142. ISSN 1661-8726 (1.577).
10. Prelević, D., Brüggmann, G., Barth, M., Božović, M., **Cvetković, V.**, Foley, S.F., Maksimović, Z. (2015): Os-isotope constraints on the dynamics of orogenic mantle: The case of the Central Balkans. *Gondwana Research*. 1560-1573, DOI: 10.1016/j.gr.2014.02.001 (8.743).

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