

Факултет: Рударско-геолошки

(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука
(Назив већа научних области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст.5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, бр.131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

Срђана (Драган) Костића, дипл. инж. геологије
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ Срђан (Драган) Костић, дипл. инж. геологије
(име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом: „НЕЛИНЕАРНО ДИНАМИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ ПОТРЕСА ИЗАЗВАНИХ ПРОМЕНОМ НАПОНСКОГ СТАЊА ПРИ ИЗРАДИ ХОРИЗОНТАЛНИХ ПОДЗЕМНИХ ПРОСТОРИЈА“

Научна област: Рударско инжењерство Студијски програм: Рударско инжењерство

Универзитет је дана 04.02.2013 својим актом под бр. 02 Број:06-419/22-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„НЕЛИНЕАРНО ДИНАМИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ ПОТРЕСА ИЗАЗВАНИХ ПРОМЕНОМ НАПОНСКОГ СТАЊА ПРИ ИЗРАДИ ХОРИЗОНТАЛНИХ ПОДЗЕМНИХ ПРОСТОРИЈА“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата

Срђана (Драган) Костића, дипл. инж. геологија
(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 20.06.2013. год., одлуком факултета под бр. 1/181, у саставу:

Име и презиме члана комисије звање научна област

- др Небојша Васовић, ванр. проф. Механика
- др Слободан Трајковић, ред. проф. Експлоатација чврстих минералних сировина и механика стена
- др Небојша Гојковић, ред. проф. Експлоатација чврстих минералних сировина и механика стена
- др Драгутин Јевремовић, ред. проф. Механика тла и фундаирање, механика стена и инжењерска геологија
- др Никола Бурић, научни саветник Института за физику Универзитета у Београду Квантна и математичка физика

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 26.09.2013..

ДЕКАН
Рударско-геолошког факултета

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом
2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедба било.

Проф. др Иван Обрадовић

На основу члана 30. Закона о високом образовању, члана 117. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 27. Правилника о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 26.09.2013. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **Срђана Костића**, дипл. инж. геологије, под насловом „*Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изradi хоризонталних подземних просторија*“, на коју није било примедба.
2. Универзитет у Београду је дана 04.02.2013. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.
3. Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:
 - Kostić, S., Franović, I., Todorović, K., Vasović, N.: Friction memory effect in complex dynamics of earthquake model, Nonlinear Dynantics, (in press), 2013 (IF=1.247) (ISSN 0924-090X) doi: 10.1007/s11071-013-0914-8
 - Kostić, S., Vasović, N., Perc, M., Toljić, M., Nikolić, D.: Stochastic nature of earthquake ground motion, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, (in press), 2013 (IF=1.373) (ISSN 0378-4371) doi: 10.1016/j.physa.2013.04.045
4. Именовани ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Небојша Васовић, ванр. проф.; др Слободан Трајковић, ред. проф.; др Небојша Гојковић, ред. проф.; др Драгутин Јевремовић, ред. проф.; др Никола Бурић, научни саветник Института за физику Универзитета у Београду.
5. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности од Већа научних области техничких наука.
6. О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Д Е К А Н

др Иван Обрадовић, ред. проф.

Достављено:

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Рударско-геолошки факултет
Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета

Предмет: Извештај Комисије о урађеној докторској дисертацији Срђана Костића, дипл.инж.геол.

Одлуком бр. 1/181 од 21.06.2013. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **Срђана Костића**, дипл.инж.геол. под насловом:

**НЕЛИНЕАРНО ДИНАМИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ ПОТРЕСА ИЗАЗВАНИХ
ПРОМЕНОМ НАПОНСКОГ СТАЊА ПРИ ИЗРАДИ ХОРИЗОНТАЛНИХ
ПОДЗЕМНИХ ПРОСТОРИЈА**

После прегледа достављене Дисертације, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ
о урађеној докторској дисертацији

1. УВОД

1.1. Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације кандидата Срђана Костића, дипл.инж.геол., је „**Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија**“. Предметна дисертација је написана у обиму од 233 стране, са 10 табела, 145 слика, 199 литературних цитата, и организована је у осам поглавља и четири прилога.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Дана 17.10.2012.г. Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета поднет је захтев за одобрење теме докторске дисертације.
- Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета бр. 1/207 од 23.11.2012.г. именована је Комисија за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације.
- Одлуком бр. 1/245 од 24.12.2012.г. на седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета прихваћен је Извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације „**Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија**“. За ментора ове докторске дисертације именован је др Небојша Васовић, ванр.проф. Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.
- На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дана 04.02.2013.г., одлуком бр.1/60 од 19.02.2013.г. дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Срђана Д. Костића, под називом „**Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија**“.
- Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета на седници одржаној 20.06.2013.г. одлуком бр. 1/181, од 21.06.2013.г., именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације, која у овој форми подноси свој Извештај.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада пољу техничких наука и мултидисциплинарног је карактера. По предмету истраживања, дисертација припада научној области „Рударско инжењерство”, односно ужој научној области „Експлоатација чврстих минералних сировина и механика стена”, за коју је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат **Срђан Костић**, дипл.инж.геол., рођен је 19.12.1986.г. у Лесковцу. Основну школу и Гимназију завршио је у Лесковцу. Геолошки одсек Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду уписао је 2005.г. Дипломирао је 2010.г. на смеру за Геотехнику са просечном оценом 10,00 и темом дипломског рада „Могућност истраживања клизишта „Мала Винча” применом поступка скенирања георадаром”. За постигнут успех на основним академским студијама додељене су му награде: „Круна успеха” компаније Petite-Geneve Петровић, као најбољем дипломцу Универзитета у Београду, као и награда „Студент генерације” Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду за школску 2009/2010.г.

Током студија више пута је награђиван од стране Рударско-геолошког факултета за постигнут одличан успех на основним студијама (2006., 2008., 2009. и 2010.г.), а такође је и вишеструки добитник Повеље Фонда „Бранислав А. Миловановић” (2006., 2009. и 2010.г.). У току трајања основних студија био је стипендиста Задужбине Ђоке Влајковића Универзитета у Београду (2006/07, 2007/08, 2008/09), стипендиста Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта (2009/10), стипендиста Фонда „Михајло Пупин” Српске народне одбране у Америци (2009/10), добитник стипендије Републичке фондације за развој научног и уметничког подмлатка Министарства просвете (2009/10), као и стипендиста Републичког сеизмолошког завода, на међународном пројекту „Хармонизација карата сеизмичког хазарда за земље Западног Балкана” (2009/10). Такође, као стипендиста Центра за међународну размену и мобилност Аустријске агенције за међународну размену у образовању и истраживању, у оквиру програма СЕЕРУС II, у периоду 01-31.05.2010.г. похађао је део наставе из области примењене картографије на Факултету природних наука Универзитета у Салцбургу.

Након дипломирања, у периоду септембар-новембар 2010.г., био је запослен у Лабораторији за инжењерску геологију на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду на реализацији пројекта „Мониторинг утицаја геолошких хазарда на материјална добра и животну средину”.

На докторске студије – Студијски програм Рударско инжењерство на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду уписао се 2010.г. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом, са просечном оценом 10,00. Током школске 2010/2011.г. и 2011/2012.г. био је стипендиста Министарства просвете и науке Републике Србије, у звању истраживача-докторанта на пројекту „Магматизам и геодинамика Балканског полуострва од мезозоика до данас: значај за образовање металичних и неметаличних рудних лежишта” (број 176016). Од 1. новембра 2012.г. запослен је на истоименом пројекту у звању истраживача-сарадника (категорија А4). Од летњег семестра школске 2012/2013.г. ангажован је као хонорарни сарадник на Грађевинско-архитектонском факултету Универзитета у Нишу на предмету „Инжењерска геологија”.

У погледу стручног усавршавања, у периоду 26.09 – 08.10.2011.г. похађао је семинар из области предвиђања земљотреса и других екстремних појава у комплексним системима, у Међународном центру за теоријску физику „Абдус Салам” у Трсту (Италија). Има положен стручни испит из области геологије (инжењерскогеолошка истраживања).

Чита, пише и говори енглески језик. Служи се и немачким, шпанским и руским језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на 233 стране. Састоји се од 8 поглавља, списка коришћене литературе, четири прилога и биографије кандидата. Структура дисертације је следећа:

1. Увод
2. Преглед резултата претходних истраживања
3. Механизам настанка рударски генерисаних потреса
4. Моделовање механизма настанка рударски генерисаних потреса дуж раседа
5. Нелинеарна динамика и теорија хаоса – преглед основних појмова
6. Методологија истраживања
7. Резултати истраживања
8. Закључак

Литература

Прилог 1. Рударске области у свету у којима су регистровани потреси изазвани различитом рударском активношћу

Прилог 2. Алгоритам методологије нелинеарног динамичког моделовања потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија

Прилог 3. Резултати анализе временске серије регистрованог потреса у басену угља у Горњој Силезији у Пољској

Прилог 4. Резултати анализе временске серије регистрованог потреса у басену бакра Легница-Глогов у Пољској

Биографија

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Садржаји појединих поглавља су следећи:

- У уводном поглављу наводе се предмет и циљ истраживања и полазне хипотезе. Такође се мотивише промена постојећих параметара изучаваних модела, као и увођење нових параметара. У завршном делу даје се садржај и опис дисертације по поглављима.

- У другом поглављу даје се преглед резултата релевантних истраживања у области изучавања рударски генерисаних потреса, и то како моделовања настанка потреса, тако и анализе осциловања тла на површини терена.

- У трећем поглављу, представљене су хипотезе о настанку потреса генерисаних рударском активношћу, са посебним освртом на промену напонског стања при ископу и око израђене подземне просторије, и реактивирање кретања дуж постојећих механичких дисконтинуитета у Земљиној кори. На крају поглавља дат је преглед забележених раседних потреса изазваним подземним рударским радовима у свету, заједно са њиховим фокалним механизмима.

- У четвртном поглављу детаљно је описан Бариц-Кнопоф модел настанка потреса, и корелације резултата лабораторијског испитивања овог модела и реално забележених података (временских серија). Такође, описани су закони трења у стенској маси, који се обично усвајају при анализи овог модела, са посебним нагласком на закон трења који зависи само од брзине и Дитерих-Руина закон трења који зависи од брзине и стања, а који су изучавани у дисертацији.

- У петом поглављу, дат је преглед основних појмова из области Нелинеарне динамике и Теорије хаоса, имајући у виду прву примену ових метода у рударском инжењерству. Посебан акценат стављен је на типове фиксних тачака динамичких система, максимални Љапуновљев експонент, као и на основне појмове у вези са диференцијалним једначинама са кашњењем.

- У шестом поглављу детаљно је описана методологија истраживања, и то у два дела. У првом делу, наведене су коришћене методе при анализи временских серија осциловања тла за време потреса, и то: анализа сурогат података и анализа нелинеарних временских серија. У

оквиру анализе сурогат података, детаљно су описани поступци тестирања све три нулте хипотезе, и извршена је верификација предложеног поступка тестирања хипотеза на примеру стохастичког љубичастог шума и детерминистичког хаотичног Лоренцовог система. Од метода анализе нелинеарних временских серија, детаљно су описане следеће методе: метода узајамне информације, метода привидно најближе суседне вредности, детерминистички тест и тест стационарности. Такође, описане су и две методе за одређивање вредности максималног Љапуновљевог експонента, Вулфова и Розенштајнова метода. У другом делу, описане су аналитичке и нумеричке методе коришћене при изучавању понашања решења разматраних диференцијалних једначина, као и при извођењу бифуркационе анализе, заједно са описом начина промене посматраних параметара и увођења нових.

- У седмом поглављу презентовани су резултати изведених истраживања, у два дела. У првом делу, представљени су резултати испитивања осциловања тла за време потреса у руднику бакра Рудна у Пољској. Изведена анализа сурогат података указала је на то да су регистрована убрзања осциловања тла нелинеарна, односно ниједна од три постављене нулте хипотезе није задовољена. Додатна анализа нелинеарних временских серија указала је на одсуство детерминистичности (ниска вредност детерминистичког фактора), као и на стационарност посматраног система. Нулте вредности максималног Љапуновљевог експонента, који су добијени помоћу две различите методе, само додатно потврђују одсуство детерминистичког хаоса у регистрованим осцилацијама тла. У другом делу, дати су резултати анализе понашања решења и бифуркационе анализе динамике три варијанте Бариц-Кнопоф модела (Карлсон-Лангер, Бекер и Мадариага систем). Добијени резултати указују на то да са увођењем нових параметара, временског кашњења и параметра јачине трења, или варирањем постојећих параметара, долази или до појаве комплексне динамике и детерминистичког хаоса, или до успорења кретања и преласка у равнотежно стање (осцилаторна смрт).

- У осмом поглављу дат је закључни осврт на изведена истраживања, њихов значај и научни допринос, заједно са предлогом даљих истраживања.

- У списку коришћене литературе наведено је 199 библиографских јединица.

- У прилозима су дати: преглед рударских области у свету у којима су регистровани потреси изазвани различитом рударском активношћу (прилог 1), алгоритам методологије нелинеарног динамичког моделовања потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија (прилог 2), резултати анализе временске серије регистрованих потреса у басену угља у Горњој Силезији (прилог 3) и у басену бакра Легница-Глогов у Пољској (прилог 4). Резултати додатних анализа нелинеарних временских серија, приказани у оквиру прилога 3 и 4, потврдили су нелинеарну стохастичку природу регистрованих осциловања тла за време потреса.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Предмет истраживања, потреси изазвани рударском активношћу, представља савремену истраживачку област и са теоријског и практичног аспекта, о чему сведочи и повећани број рецентних публикација у међународним часописима на ову тему. Такође, на сваке четири године одржава се Међународних симпозијум о горским ударима и сеизмичности у рудницама, што указује на практични значај истраживања рударски генерисаних потреса. Штавише, рударски изазвани потреси сматрају се једним од најважнијих природних фактора који утичу на услове изградње и експлоатације рударских објеката. Традиционални приступи, који подразумевају примену емпиријских формула, не дају задовољавајуће резултате, имајући у виду чињеницу да су поменуте формуле изведене за поједине врсте стенских маса, и, самим тим, имају ограничену примену у другим геолошким срединама. До сада обављена испитивања у свету, на примеру дефинисања механизма природних

земљотреса, као и у другим областима геолошке и рударске науке, само потврђују хипотезу да је неопходно применити модерне математичке методе и у области рударски генерисаних потреса, међу којима и методе нелинеарне динамике.

Методологија истраживања је такође нова и савремена, врло заступљена у рецентним публикацијама. Посебну новину представља примена ових метода у изучавању рударски генерисаних потреса, што сврстава ову дисертацију међу прве примере оваквог приступа у свету. Неопходно је нагласити да је кандидат предложио алгоритам истраживања рударски генерисаних потреса са становишта нелинеарне динамике, што представља оригинални допринос предметној области истраживања. Истраживања сличне методологије актуелна су на многим универзитетима и институтима широм света. На основу опсежног прегледа литературе, може се закључити да се истраживања у оквиру ове докторске дисертације уклапају у светске трендове и указују на значај и актуелност проучавање проблематике.

Резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације представљају оригинални и значајан допринос истраживању потреса изазваних променом напонског стања при изradi хоризонталних подземних просторија. Оригиналан допринос аутора огледа се у увођењу нових параметара у постојеће феноменолошке моделе трзајућег кретања, који се сматрају моделима механизма настанка потреса. Наиме, по први пут је у литератури уведен параметар временског кашњења, као могући начин моделовања утицаја временског интервала између тренутка ископа просторије и реактивирања кретања дуж раседа, на сам механизам настанка и динамику потреса. Такође, утицај промене јачине трења, као и периодична пертурбација постојећих параметара система, представљају новине у изучавању предметних система. Резултати истраживања указују на стохастички карактер осциловања тла за време потреса, чиме се оправдава употреба стохастичких емпиријских једначина у одређивању карактера осциловања тла. С друге стране, показано је да промена напонског стања и утицај напредовања рударских радова могу генерисати комплексно динамичко понашање, које, у крајњем исходу, може довести до појаве потреса.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је наведено 199 коришћених референци, претежно радова објављених у водећим међународним часописима и монографијама. Наведене референце су новијег датума, и у потпуности покривају резултате релевантних истраживања у области нелинеарне динамике и теорије хаоса и изучавања рударски генерисаних потреса, што указује на адекватно познавање области истраживања, као и актуелног стања истраживања у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидат је у истраживању користио карактеристичне методе нелинеарне динамике, и то: методе анализе временских серија, и методе нелинеарне динамике у изучавању понашања модела блока са опругом. Ове методе су карактеристичне и уобичајене у области нелинеарне динамике и теорије хаоса, али овде је представљен први пример њихове примене у истраживању рударски генерисаних потреса. У оквиру анализе временских серија осциловања тла за време потреса посебно су коришћене следеће методе: анализа сурогат података, метода узајамне информације, метода првидно најближе вредности, детерминистички тест и тест стационарности, као и израчунавање вредности највећег Љапуновљевог експонента Вулфовом и Розенштајновом методом. С друге стране, динамика Бариц-Кнопоф модела изучавана је путем анализе понашања решења система обичних диференцијалних једначина, као и диференцијалних једначина са кашњењем, које описују кретање модела, као и применом стандардне локалне бифуркационе анализе, која је спроведена аналитичким и нумеричким путем. Неопходно је нагласити да је представљен оригинални алгоритам изучавања рударски генерисаних потреса са аспекта нелинеарне динамике.

3.4. Применљивост и верификација остварених резултата

Остварени резултати представљају значајан допринос изучавању потреса генерисаних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија. Предложени алгоритам испитивања потреса са аспекта нелинеарне динамике и теорије хаоса може се користити за потресе различите јачине и у различитим геолошким срединама. Подаци добијени анализом временских серија осциловања тла изазваних потресима на три различите локације важни су са аспекта даље примене постојећих емпиријских формула за оцену параметара кретања тла за време потреса. С друге стране, предложене модификације постојећих система, који описују кретање Бариц-Кнопоф модела, увођењем нових параметара или варирањем постојећих, представљају основу за даље моделовање и увођење додатних параметара у анализу. Верификација резултата потврђена је и од стране међународне научне јавности, објављивањем чланака у водећим међународним часописима у областима предмета истраживања (на SCI листи, у часописима категорије M21).

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Израдом докторске дисертације, почевши од прегледа, анализе и критичког осврта на до сада публиковане резултате, преко усвајања нових метода и техника, које се не користе уобичајено у рударском инжењерству, па до развоја оригиналног приступа и синтетског представљања резултата истраживања, кандидат је потврдио своју способност за самостални научни рад. Чињеница да су у дисертацији приказане савремене методе потврђује способност кандидата за даљи самосталан и оригиналан истраживачки рад. На крају, објављивање рецензираних радова у којима су презентовани резултати истраживања, указује на свест кандидата о неопходној строгој и међународној верификацији резултата научног истраживања.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати изведених истраживања показали су да важи полазна хипотеза докторске дисертације, односно да динамика Бариц-Кнопоф модела показује детерминистичко хаотично понашање у условима увођења нових параметара (временског кашњења и јачине трења), или у условима периодичне пертурбације постојећих параметара система. Опште посматрано, научни допринос ове докторске дисертације се огледа у следећем:

- изведеном анализом регистрованих осциловања тла за време потреса потврђена је њихова нелинеарна стохастичка природа;
- анализом постојећих математичких модела механизма настанка потреса указано је на појаву и комплекснијег понашања (детерминистички хаос), али и „смиривања" блока и његовог враћања у равнотежни положај (осцилаторна смрт);
- уведени су нови параметри и анализиран њихов утицај на постојеће системе (параметар временског кашњења и параметар јачине трења);
- промена постојећих параметара и њихов утицај на разматране системе посматрани су у смислу њихове периодичне пертурбације, што је такође новина у оквиру предметне области истраживања.

Неопходно је напоменути да методе и технике нелинеарне динамике и теорије хаоса до сада нису примењиване у оквиру научне области Рударско инжењерство што такође представља још један научни допринос у области рударске науке.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове дисертације изведена су на основу постављених циљева и исцрпне анализе резултата претходних истраживања из области нелинеарне динамике и теорије хаоса, и примене њихових метода у изучавању тектонских земљотреса и рударски генерисаних потреса. Имајући у виду комплексност предмета истраживања, кандидат је приступио примени више различитих савремених метода, које се тренутно највише користе при изучавању истих или сличних проблема. Примењена методологија је омогућила добијање релевантних података о природи самог модела настанка потреса, као и осциловања тла за време потреса. Осим примене нове и модерне методологије, постојећи математички модели су проширени или увођењем нових параметара, или претпостављајући карактеристичну промену појединих контролних параметара. Поређењем остварених резултата истраживања и резултата претходно изведених анализа, може се закључити да добијени резултати представљају напредовање у овој области. Пожељна су даља истраживања, као природни наставак на резултате ових истраживања, са експлицитнијим увођењем нових параметара, попут друге променљиве стања или нормалног напона, а све у циљу даљег унапређивања предметне области истраживања.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

Примењене методе, као и резултати до којих је кандидат дошао, поред несумњивог научног доприноса, могу наћи своју примену и у пракси. Наиме, највећи део изведених истраживања обављен је нумерички у оквиру модерних и приступачних софтверских пакета (MATLAB, MAPLE, Visual Studio, софтвер проф. М. Перца за анализу нелинеарних временских серија), тако да се знатно лакше могу користити у инжењерској пракси, у поређењу са опсежним и математички захтевним аналитичким техникама. То се посебно односи на релативно брзу проверу забележених осциловања тла за време потреса, у циљу одређивања карактера осцилација. С тим у вези, могуће је испитати и да ли се на основу забележених података може вршити прогноза било које врсте, или је прогноза, услед стохастичке природе, тешко остварива. С друге стране, уводећи нове параметре у постојеће моделе, могуће је осматрати њихову динамику у условима промене реално осматраних вредности параметара, и у исто време квантификовати појединачне или удружене утицаје различитих параметара на динамику система.

4.4. Верификација научних доприноса

Научни доприноси су верификовани објављивањем радова проистеклих из истраживања у часописима и на конференцијама:

Категорија M21:

1. **Kostić, S.**, Franović, I., Todorović, K., Vasović, N.: Friction memory effect in complex dynamics of earthquake model, *Nonlinear Dynamics*, (in press), 2013 (**IF=1.247**) (ISSN 0924-090X) doi: 10.1007/s11071-013-0914-8
2. **Kostić, S.**, Vasović, N., Perc, M., Toljić, M., Nikolić, D.: Stochastic nature of earthquake ground motion, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, (in press), 2013 (**IF=1.373**) (ISSN 0378-4371) doi: 10.1016/j.physa.2013.04.045

Категорија M24:

1. **Kostić, S.**, Gojković, N., Vasović, N.: Kompleksna dinamika modela nastanka rudarski generisanih potresa duž reaktiviranih raseda, *Rudarski radovi*, 2013/1, pp. 131-150, 2013 (ISSN 1451-0162)

Категорија М33:

1. **Kostić, S.** Vasovic, N.: Stick-slip frictional instability as model for earthquakes. *Proceedings of 17th Meeting of Association of European geological Societies (MAEGS)*. Belgrade, Serbia, pp 165-168, 2011, ISBN 978-86-86053-10-7.
2. **Kostić, S.**, Franovic, I. Todorovic, K., Vasovic, N.: Time-delay in spring-block model for aperiodicity in earthquakes. *Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, USB mass storage, paper No. 0703, 2012.
3. **Kostić, S.**, Franovic, I. Todorovic, K., Vasovic, N.: Deterministic chaos in a model of fault-slip rockburst. *Proceedings of the 44th International October Conference on Mining and Metallurgy (IOC2012)*, 1-3. October 2012, Bor, Serbia, , pp. 39-44. 2012, ISBN 978-86-7827-042-0.

Категорија М34:

1. **Kostić, S.**, Vasovic, N.: Chaotic occurrence of the recorded earthquake magnitudes in Serbia. *Proceedings of the Symposium Non-linear Dynamics with Multi and Interdisciplinary Applications (SNDMIA 2012)*, Belgrade, 2012 (Eight Serbian Symposium in area of Non-linear Sciences), pp 79-80, 2012, ISBN 978-86-7746-344-1.
2. **Kostić, S.**, Franovic, I., Todorović, K., Vasović, N. A simple model of earthquake nucleation with time-delay. *Proceedings of the Symposium Non-linear Dynamics with Multi and Interdisciplinary Applications (SNDMIA 2012)*, Belgrade, 2012 (Eight Serbian Symposium in area of Non-linear Sciences), pp 81-82, 2012, ISBN 978-86-7746-344-1.

Категорија М52:

1. **Kostić, S.**, Vasović, N. Spring-block model for scaling laws of seismicity in Serbia. *Tehnika-rudarstvo, geologija i metalurgija*, LXVII 2012, pp. 61-66, 2012, ISSN 0040-2176.

Категорија М63:

1. **Костић, С.**, Васовић, Н.: Блок са опругом као модел механизма настанка земљотреса. *Зборник радова III научно-стручног саветовања са међународним учешћем „Земљотресно инжењерство и инжењерска сеизмологија“*, Дивчибаре, Србија, стр. 259-266, 2012, ISBN 978-86-88897-02-0.
2. **Kostić, S.**, Franović, I., Todorović, K., Vasović, N.: Nonlinear dynamics of spring-block earthquake models. *Proceedings of the 4th Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics*, 669-674, 2013, ISBN 978-86-909973-5-0.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација **„Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија“** представља савремен и оригиналан допринос научном сазнању у области рударског инжењерства, са нагласком на примену метода нелинеарне динамике и теорије хаоса у изучавању осциловања тла та време потреса, као и динамике модела настанка потреса. Постављени задаци и циљ истраживања су у потпуности остварени и истраживачке хипотезе научно проверене. Докторска дисертација представља значајан научни допринос у области рударског инжењерства, што је потврђено објављивањем радова у часописима међународног

значаја и саопштења на међународним конференцијама. На основу прегледане докторске дисертације, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације, закључује да урађена докторска дисертација кандидата **Срђана Костића**, дипл.инж.геол. испуњава све законске и остале услове за јавну одбрану. Такође, Комисија закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима о научно-истраживачком раду као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, Статутом Рударско-геолошког факултета и критеријумима које је прописао Универзитет у Београду.

На основу напред изнесених чињеница и оцена, Комисија предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација **Срђана Костића**, дипл.инж.геол. под називом **„Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија“** прихвати као успешно завршена докторска дисертација, и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду, 23.07.2013.г.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Небојша Васовић, ванр. проф., ментор
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет

Др Слободан Трајковић, ред. проф.
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет

Др Небојша Гојковић, ред. проф.
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет

Др Драгутин Јевремовић, ред. проф.
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет

Др Никола Бурић, научни саветник
Универзитет у Београду Институт за физику