

Факултет : Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

---

(Број захтева)Веће научних области техничких наука  
(Назив већа научних области коме се захтев упућује)

---

(Датум)**ЗАХТЕВ****за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације**

Молимо да, сходно члану 46. ст.5 тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, бр.131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„НЕЛИНЕАРНО ДИНАМИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ ПОТРЕСА ИЗАЗВАНИХ ПРОМЕНОМ НАПОНСКОГ СТАЊАПРИ ИЗРАДИ ХОРИЗОНТАЛНИХ ПОДЗЕМНИХ ПРОСТОРИЈА „

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Рударство Студијски програм: Рударско инжењерство**ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:**

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

Срђан ( Драган ) Костић, дипл. инж. геологије2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање: Универзитет у Београду-Рударско-геолошки факултет3. Година дипломирања: 2010. год.

4. Назив магистарске тезе кандидата:

Кандидат уписан на докторске студије школске 2010/2011. године5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /6. Година одбране магистарске тезе: /Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 20.12.2012. године размотрило предложену тему и закључило да је тема

подобна за израду докторске дисертације

**ДЕКАН**  
**Рударско-геолошког факултета**

---

**Проф. др Иван Обрадовић****Прилог: 1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем****Прилог: 2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације**

На основу члана 30. Закона о високом образовању, члана 117. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 23. Правилника о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 20.12.2012. године, донело је

## О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисија за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације **Срђана Костића**, дипл. инж. геологије.
2. Одобрава се именованом израда докторске дисертације под насловом *„Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија“*.
3. За ментора се именује др Небојша Васовић, ванр. проф.
4. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

проф. др Иван Обрадовић

Достављено:

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

## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата: **Срђана Костића, дипл.инж.геол.**

Име и презиме ментора: **Др Небојша Васовић**

Звање: **Ванредни професор**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Franovic, I., Todorovic, K.D., **Vasovic, N.**, Buric N. (2012): Cluster synchronization of spiking induced by noise and interaction delays in homogenous neuronal ensembles. *Chaos*, 22 (3): 033147-1-17; IF 2.076; ISSN: 1054-1500;
2. Franovic, I., Todorovic, K.D., **Vasovic, N.**, Buric N. (2012): Spontaneous Formation of Synchronization Clusters in Homogenous Neuronal Ensembles Induced by Noise and Interaction Delay. *Physical Review Letters*, 108 (9): 094101-1-5; IF 7.370; ISSN: 0031-9007;
3. Buric, N., Grozdanovic, I.B., Todorovic, K.D., **Vasovic, N.** (2011): Influence of Coupling Delay on Noise Induced Coherent Oscillations in Excitable Systems. *Journal of Statistical Physics*, 145 (1): 175-186; IF 1.397; ISSN: 0022-4715;
4. Buric, N., Rankovic, D., Todorovic, K.D., **Vasovic, N.** (2010). Mean field approximation for noisy delay coupled excitable neurons. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389 (19): 3956-3964; IF 1.522; ISSN: 0378-4371;
5. Buric, N., Todorovic, K.D., **Vasovic, N.** (2009). Exact synchronization of noisy bursting neurons with coupling delays. *Chaos, Solitons & Fractals*, 40 (3): 1127-1135; IF 3.315; ISSN: 0960-0779.

А) Менторство дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 05.12.2012.г.

М.П.

Др Иван Обрадовић, ред. проф.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, бр. 1/207, од 23.11.2012.г., донетој на седници одржаној 22.11.2012.г., сходно члану 30. Закона о високом образовању, члану 117. Статута Рударско-геолошког факултета и члану 30. Правилника о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације кандидата **Срђана Костића, дипл.инж.геол.**, под називом **„НЕЛИНЕАРНО ДИНАМИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ ПОТРЕСА ИЗАЗВАНИХ ПРОМЕНОМ НАПОНСКОГ СТАЊА ПРИ ИЗРАДИ ХОРИЗОНТАЛНИХ ПОДЗЕМНИХ ПРОСТОРИЈА"**, у саставу:

1. др Небојша Васовић, ванр. проф., Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет,
2. др Слободан Трајковић, ред. проф., Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет,
3. др Небојша Гојковић, ред. проф., Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет,
4. др Драгутин Јевремовић, ред. проф., Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет,
5. др Никола Бурић, научни саветник, Универзитет у Београду Институт за физику.

На основу увида и анализе поднете документације Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

#### 1.1. Општи биографски подаци

Кандидат **Срђан Костић, дипл.инж.геол.**, студент III године докторских студија, 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. Током студија више пута је награђиван од стране Рударско-геолошког факултета као најуспешнији студент Геолошког одсека (2006., 2008., 2009. и 2010.г.), а такође је и вишеструки добитник Повеље Фонда „Бранислав А. Миловановић" за постигнут одличан успех у студијама (2006., 2009. и 2010.г.). У току трајања основних студија био је стипедиста 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”, организованог у оквиру програма „Наука за мир и безбедност” (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.

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 за школску 2009/2010.г., додељена од стране Ректората Универзитета у Београду.

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 на I и II години студија, са просечном оценом 10,00.

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”. 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).

У погледу стручног усаврашавања, 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 (Test of English as Foreign Language – TOEFL – 112/120, 10.09.2010). Служи се и немачким, шпанским и руским језиком.

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници од 22.11.2012.г., донета је одлука да се Срђан Костић, дипл.инж.геол. изабере у истраживачко звање **„истраживач-сарадник”**.

## **1.2. Преглед активности у току докторских студија.**

Кандидат Срђан Костић је докторске студије на Универзитету у Београду - Рударско-геолошки факултет уписао 2010. године, као студент студијског програма Рударско инжењерство на Рударском одсеку. У досадашњем току студија положио је следеће испите:

|                                                                   |        |
|-------------------------------------------------------------------|--------|
| - Одабрана поглавља из вероватноће и статистике                   | 10ЕСПБ |
| - Нелинеарна динамика                                             | 10ЕСПБ |
| - Критеријуми лома и класификације стенског материјала            | 10ЕСПБ |
| - Методе оптимизације                                             | 10ЕСПБ |
| - Израда докторске дисертације                                    | 10ЕСПБ |
| - Одабрана поглавља из израде подземних просторија                | 10ЕСПБ |
| - Израда докторске дисертације                                    | 10ЕСПБ |
| - Рециклирање комуналног отпада                                   | 10ЕСПБ |
| - Израда докторске дисертације                                    | 10ЕСПБ |
| - Геомеханичка истраживања за потребе изградње подземних објеката | 10ЕСПБ |
| - Израда докторске дисертације                                    | 10ЕСПБ |
| - Управљање отпадом                                               | 10ЕСПБ |

Испите на докторским студијама положио је са просечном оценом 10,00, а остварио је укупно 120 ЕСПБ.

Као стипендиста Министарства учествовао је у реализовању вежби из следећих предмета на Департману за Геотехнику:

- током школске 2010/2011:

- Пројектовање инжењерскогеолошких истраживања,
- Методе инжењерскогеолошких истраживања,
- Теренска настава из Метода инжењерскогеолошких истраживања,
- Теренска настава „Инжењерска пракса“.

- током школске 2011/2012:

- Пројектовање инжењерскогеолошких истраживања,
- Методе инжењерскогеолошких истраживања,
- Геолошки грађевински материјали,
- Геотехнички услови изградње објеката,
- Теренска настава из Метода инжењерскогеолошких истраживања,
- Теренска настава „Инжењерска пракса“.

### 1.3. Списак објављених и саопштених радова.

#### Саопштење са међународног скупа штампано у целини

(M33)

1. **Kostić, S.** 2010. Uticaj strukturnih svojstava stenskih masa na izbor elemenata sidrenja u kosinama, Zbornik radova III internacionalnog naučno-stručnog skupa „Građevinarstvo – nauka i praksa“, Žabljak, Crna Gora, knjiga 2, pp 1539-1544, ISBN 978-86-82707-19-6.
2. Jevremovic, D. **Kostic, S.** 2011. Landslide risk in Serbia – case study Jovac landslide. Proceedings of International conference ”Environmental geosciences and engineering survey for territory protection and population safety – ENGEOPRO 2011, Moscow, Russia. pp 640-644, ISBN 978-5-903926-20-6.
3. Sunaric, D., Jevremovic, D. **Kostic, S.** 2011. Conditions for the occurrence of megalandslides in Serbia and their effect on natural environment. Proceedings of International conference ”Environmental geosciences and engineering survey for

territory protection and population safety – ENGEOPRO 2011, Moscow, Russia. pp 369-374 , ISBN 978-5-903926-20-6.

4. **Kostic, S.** Vasovic, N. 2011. Stick-slip frictional instability as model for earthquakes. Proceedings of 17<sup>th</sup> Meeting of Association of European geological Societies (MAEGS). Belgrade, Serbia, pp 165-168, ISBN 978-86-86053-10-7.
5. Jevremovic, D. **Kostic, S.** 2011. 1977 Jovac landslide – a new overlook on environmental effects and material loss. Proceedings of 17<sup>th</sup> Meeting of Association of European geological Societies (MAEGS). Belgrade, Serbia, pp 193-197, ISBN 978-86-86053-10-7
6. Jevremovic, D. **Kostic, S.** 2011. Geotouristic objects revealed by geotechnical activity. Proceedings of 17<sup>th</sup> Meeting of Association of European geological Societies (MAEGS). Belgrade, Serbia, pp 229-231, ISBN 978-86-86053-10-7.
7. **Kostić, S.** 2012. Inženjerskogeološki uslovi formiranja seizmodinamičkih deformacija terena u nevezanim stenskim masama. Zbornik radova IV internacionalnog naučno-stručnog skupa „Građevinarstvo – nauka i praksa”, Žabljak, Crna Gora; 20-24. februara (2012), ISBN 978-86-82707-21-9.
8. **Kostic, S.**, Franovic, I. Todorovic, K., Vasovic, N. 2012. Time-delay in spring-block model for aperiodicity in earthquakes. Proceedings of 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, USB mass storage, paper No. 0703.
9. **Kostic, S.**, Franovic, I. Todorovic, K., Vasovic, N. 2012. 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, ISBN 978-86-7827-042-0, pp. 39-44.
10. **Kostic, S.**, Vasovic, N. 2012. Chaotic occurrence of the recorded earthquake magnitudes in Serbia. Proceedings of the Symposium Non-linear Dynamics with Multi and Interdisciplinary Applications (SNDMIA 2012), Belgrade, October 2012 (Eight Serbian Symposium in area of Non-linear Sciences). (abstract accepted)
11. **Kostic, S.**, Franovic, I., Todorović, K., Vasović, N. 2012. A simple model of earthquake nucleation with time-delay. Proceedings of the Symposium Non-linear Dynamics with Multi and Interdisciplinary Applications (SNDMIA 2012), Belgrade, October 2012 (Eight Serbian Symposium in area of Non-linear Sciences). (abstract accepted)

---

**Саопштење са међународног скупа штампано у изводу**

**(M34)**

1. **Kostić, S.** 2010. Predlog klasifikacije stenskih masa za potrebe izrade Osnovne inženjerskogeološke karte, Knjiga sažetaka III naučno-stručnog skupa sa međunarodnim učešćem „Studenti u susret nauci”, Banja Luka, Republika Srpska; str. 62-63, ISBN 978-99938-806-6-0.

1. Јевремовић, Д., Сунарић, Д., **Костић, С.** 2011. Загађивање река у Србији клижењем и одроњавањем. Техника – рударство и геологија, часопис Савеза инжењера и техничара Србије, 5/2011, стр. 731-736, ISSN 0040-2176.
2. **Kostic, S.**, Vasovic, N. 2012. Spring-block model for scaling laws of seismicity in Serbia. Tehnika-rudarstvo, geologija i metalurgija, LXVII 2012, pp. 61-66, ISSN 0040-2176.

1. Ракић, Д., Николић, А., **Костић С.**, Берисављевић, З. 2009. Геотехничка истраживања терена за изградњу тржног центра „Меркур“ на Карабурми (Београд). Зборник радова III научно-стручног саветовања „Геотехнички аспекти грађевинарства“, Златибор, Србија, стр. 123-128, ISBN 978-86-904089-7-9.
2. **Костић, С.** 2011. Анализа сезмодеформација терена према Еврокоду ЕЦ-8. Зборник радова ИВ научно-стручног саветовања „Геотехнички аспекти грађевинарства“, Златибор, Србија, стр. 1-8, ISBN 978-86-88897-00-6.
3. **Костић, С.**, Васовић, Н. 2012. 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, ISBN 978-86-88897-02-0.
4. **Костић, С.**, Јевремовић, Д., Сунарић, Д. Васовић, Н. 2012. Нелинеарна анализа просторне динамике кретања клизишта „Трбосиле“. Зборник радова XIV симпозијума из инжењерске геологије и геотехнике, Београд, стр. 405-416, ISBN 978-86-89337-01-3.
5. Дорошков, С., **Костић, С.** 2012. Примена нове макросеизмолошке скале ЕСИ-2007 на подручју листа ОИГК Пријепоље 1:100000. Зборник радова XIV симпозијума из инжењерске геологије и геотехнике, Београд, стр. 585-594, ISBN 978-86-89337-01-3.
6. Марић, Н., **Костић, С.** 2012. Условљеност развоја процеса клижења по ободу неогених басена дејством изданских вода. Зборник радова XIV симпозијума из инжењерске геологије и геотехнике, Београд, стр. 447-458, ISBN 978-86-89337-01-3.

#### **1.4. Студије и пројекти**

Кандидат Срђан Костић био је ангажован и на следећим научним пројектима:  
Пројекат Министарства животне средине, рударства и просторног планирања Републике Србије:

- Пројекат основних геолошких истраживања: „Инжењерскогеолошка истраживања за израду Основне инжењерскогеолошке карте Србије, лист Пријепоље, 1:100 000; сарадник на Пројекту (2009-2010);

- Студија основних геолошких истраживања: „Мониторинг утицаја геолошких хазарда на материјална добра и животну средину“; сарадник на Пројекту (2010-2011).

Пројекат Министарства просвете и науке Републике Србије:

- Пројекат бр. 176016 (Циклус 2011-2014): „Магматизам и геодинамика Балканског полуострва од мезозоика до данас: значај за образовање металичних и неметаличних рудних лежишта“; истраживач-докторант на Пројекту;

Такође, кандидат Срђан Костић учествовао је и у изради домаћих стручних пројеката:

1. Инжењерскогеолошка истраживања за потребе израде Просторног плана општине Кучево; Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду; сарадник на Пројекту (2010);
2. Идејни пројекат измештања државног пута I реда Сјеница-Нови Пазар, деоница Беле Воде-Биочани", Саобраћајни институт ЦИП и Департман за геотехнику Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду; сарадник на Пројекту (2010).
3. „Студија стабилности косине иза објекта ЈКП „Зеленило“, гаража Точидер, у улици Булевар Живојина Мишића, 83а", Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, сарадник на Пројекту (2012).

Кандидат Срђан Костић учествовао је и у изради иностраних стручних пројеката:

1. међународни пројекат „Хармонизација карата сеизмичког хазарда за земље Западног Балкана“, организован у оквиру програма „Наука за мир и безбедност“; Сеизмолошки завод Србије; стипендиста на Пројекту (2009-2010);
2. „Инжењерскогеолошка истраживања ширег подручја лежишта бората „Пискања" у Баљевцу на Ибру", инвеститори: Erin Ventures (Canada) и Балкан Голд; Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду; сарадник на Пројекту (2011-2012).

### **1.5. Оцена подобности за рад кандидата на предложеној теми.**

На основу претходно предочених чињеница о статусу кандидата (студент III године докторских студија), његовој школској спреми (дипломирани инжењер геологије), објављених и саопштених радова, урађених студија и пројеката, Комисија за писање извештаја констатује да кандидат испуњава формалне услове за рад на изради докторске дисертације, као и одговарајућу научно-стручну усмереност с обзиром на то да су објављени радови из области нелинеарне динамике, хаоса и њихових примена у областима рударског инжењерства и већина се односи на проблематику примене метода нелинеарне динамике у изучавању рударски изазваних потреса.

Предложена тема докторске дисертације је из научне области „Рударско инжењерство" што утврђује научно-стручну подобност кандидата Срђана Костића за израду наведене докторске дисертације.

## **2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА**

### **2.1. Предмет истраживања.**

Предмет истраживања докторске дисертације представља динамичко понашање потреса дуж механичких дисконтинуитета у стенској маси, проузрокованих променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија. Прецизније, разматраће се динамика регистрованих временских серија потреса и њихов механизам настанка, око неподграђене подземне просторије кружног попречног пресека и у непосредној близини чела откопа. Испитивање се предвиђа коришћењем метода нелинеарне динамике, и то у две фазе. У првој фази, вршиће се нелинеарна анализа забележених магнитуда потреса на неколико изабраних локација (рудника). Потом, у другој фази, у постојеће моделе механизма настанка уводи се временско кашњење, као природно својство посматраног система, а такође се разматра и понашање модела при периодичној промени параметара система. За механизам земљотреса усвајају се две варијанте Бариц-Кнопоф модела блока са опругом, и то: са једним и два блока система, за које важе два различита закона трења, зависна од стања и брзине. Динамичко понашање усвојених модела изучаваће се применом стандардне локалне бифуркационе анализе, са циљем уврђивања подручја различитог динамичког понашања за различите вредности параметара.

### **2.2. Циљеви истраживања.**

Циљ истраживања предвиђених у оквиру докторске дисертације јесте одређивање подручја у параметарском простору система са различитим динамичким понашањем, уз претпоставку периодичних осцилација посматраних параметара и још временског кашњења између промене напонског стања и реактивирања кретања дуж раседа. Као резултат истраживања очекују се нова сазнања у вези са комплексним динамичким понашањем модела настанка потреса изазваних рударским радовима, са посебним освртом на појаву детерминистичког хаоса, чиме би била потврђена детерминистичка природа потреса као предвидивих догађаја, за разлику од уобичајеног схватања да ове појаве представљу стохастичке феномене.

### **2.3. Осврт на релевантне библиографске изворе.**

Израдом подземних просторија, као и током процеса откопавања руде, долази до поремећаја примарног напонског стања, при чему су новоностале промене веће и сложеније, уколико су услови у стенској маси пре израде подземне просторије у инжењерскогеолошком смислу били сложени, а такође и уколико процес откопавања, као и величина и облик просторија нису прилагођени природним условима који владају у том делу стенске масе [1]. При томе, карактер промене напона и величина зоне утицаја могу достићи критичне вредности, чиме се стварају услови за појаву техногених потреса, и то на два начина: као последица деформација стенске масе, и као последица промене напонског стања око подземне просторије и чела откопа. У првом

случају, као последица деформација стенске масе може доћи до горских удара („rockburst”), разарања заштитних стубова („pillar burst”), изненадног клизања квази-вискозног рудоносног слоја на великим дубинама („bump”, при чему овај термин обухвата и потресе непознатог порекла), као и до наглог избацивања угљеног прослојка у откопани простор („outburst”). Поред тога, до потреса изазваних деформацијама стенске масе може доћи и применом минирања на челу откопа, када услед последица разарања стенског материјала и брзе конвергенције створеног простора долази до формирања здробљених зона клизања („comminuted faults”), дуж којих може доћи до кретања стенске масе и појаве потреса. У другом случају, до појаве потреса долази дуж механичких дисконтинуитета у стенској маси који се налазе у непосредној близини подземне просторије или чела откопа, а као последица промене напонског стања. Другим речима, напредовањем рударских радова при изради хоризонталних подземних просторија, могу се јавити два различита типа сеизмичких догађаја: сеизмичка активност која је у вези са прекорачењем чврстоће стенске масе и сеизмичка активност у вези са механичким дисконтинуитетима [2-8], што је у великој мери условљено локалном геолошким грађом, постојањем дисконтинуитета и тектоником, односно интеракцијом рударски изазване промене напона, литостатичког притиска и резидуалног тектонског стреса [9-20]. Ова подела потреса изазваних израдом хоризонталних подземних просторија је општа, и могуће је издвојити неколико подтипова. Шест модела рударски индуковане сеизмичности, оригинално развијених на основу забележених потреса у рудницима у Канади [21], прихваћени су као општи типови механизма настанка потреса изазваних подземним радовима:

- потреси изазвани зарушавањем кровине током процеса откопавања;
- потреси настали услед лома заштитних стубова;
- потреси настали услед формирања тензионих пукотина у кровини подземних просторија;
- потреси изазвани кретањем дуж нормалног (гравитационог) раседа;
- потреси настали померањем дуж реверсног раседа;
- потреси изазвани кретањем дуж транскурентног раседа.

Претходна истраживања су показала да су потреси у рудницима изазвани реактивацијом кретања дуж раседа један од најчешћих појава рударски индуковане сеизмичности [22-25]. Штавише, ови потреси углавном представљају највеће догађаје, са најтежим последицама. Најјачи потреси често достижу магнитуду  $M_L=4$ , у изузетним случајевима и до  $M_L=5$ . Удари оваквих магнитуда са дубином жаришта од 1-2km могу изазвати потресе интензитета VI-VIII степени по Модификованој Меркалијевој скали [26]. Управо ће ова врста потреса, везана за кретање дуж постојећих раседа, бити у директној вези са истраживањима у овој, предложеној докторској дисертацији.

Механизам промене напонског стања који доводи до реактивирања кретања дуж раседа, и, тиме, до појаве потреса, јасно је установљен претходним истраживањима [27-31] и може се описати на следећи начин. Пре почетка ископа, терен се налази у стању равнотеже. Након ископа, стенска маса у зони раседања почиње да се деформише услед промене напона. Како процес ископа даље напредује, смањује се растојање између чела ископа и раседа, узрокујући даљу промену напона. У одређеном тренутку, стање

деформације прелази у стање нестабилне равнотеже, што доводи до кретања дуж раседа и до појаве потреса. Једном када дође до промене напонског стања око раседа, блокови стенске масе почињу да се крећу дуж раседа трзањем („stick-slip”), што је већ предложено као начин кретања [32-35]. Даље кретање дуж раседа, појава потреса, и његови ефекти у великој и малој размери су врло слични тектонским земљотресима [36]. Наиме, досадашња истраживања указују на то да нема суштинских разлика у механизму настанка између рударски изазваних потреса везаних за кретање дуж раседа и природних земљотреса, тако да се већина техника и поступака из сеизмологије могу применити при проучавању таквих, рударски изазваних потреса [37,38].

У оквиру докторске дисертације, планирана је примена метода нелинеарне динамике и теорије хаоса, која је већ дала охрабрујуће резултате у раду са лабораторијским (феноменолошким) моделима земљотреса, попут Бариц-Кнопоф модела [39], чије динамичко понашање се може описати Гутенберг-Рихтер и Оморијевим законом. С друге стране, овај модел блока са опругом је јако погодан за примену метода нелинеарне анализе, што може бити од великог значаја, с обзиром на то да највећи хазард за подземне ископе представљају нестабилна клизања дуж постојећих дисконтинуитета [40]. Планира се извођење стандардне локалне бифуркационе анализе у циљу утврђивања вредности параметара стабилног и нестабилног стања посматраног система. Динамичка стабилност модела за тектонске земљотресе истраживана је од стране различитих аутора [41-44]. De Sousa Vieira [45] је прва указала на хаотично понашање Бариц-Кнопоф модела са два блока у симетричној конфигурацији, за који важи закон трења зависан само од брзине. Такође, Erickson et al [46] су показали да решење модела једног блока, са Dieterich-Ruina законом трења, показује хаотично понашање. Према њиховим резултатима, кретање блока дуж хrapаве површи, спрегнуто са Dieterich-Ruina законом трења, пролази кроз Хопфову бифуркацију и бифуркацију са удвајањем периода, што представља Ruel-Takens-Newhous-ов пут у хаос. С друге стране, у погледу рударски изазване сеизмичности, McGarr [47] је поредио понашање великих узорака гранита при трзајућем кретању са рударски индукованим потресима у Јужној Африци и Канади и дошао до закључка да је физика нестабилног смицања у великој мери слична за оба посматрана случаја. Kortas [48] је истраживао нелинеарну динамику пет скупова података који се односе на рударски изазвану сеизмичност, при чему је појава детерминистичког хаоса утврђена у свим испитиваним скуповима података. Такође, Huang et al [49] су истраживали модел са два блока, у циљу симулације понашања потреса изазваних рударском активношћу. Њихова анализа је показала да је кретање дуж раседа током ових потреса трзајуће („stick-slip”), што указује на хаотично понашање и што даље имплицира да је динамички систем који описује то кретање детерминистички, а не стохастички.

1. Cabala, J., Cmiel, S. and Idziak, A. 2004. Environmental impact of mining activity in the Upper Silesian coal basin (Poland), *Geologica Belgica*, vol. 7, pp. 225-229.
2. Larsson, K. 2004. Mining induced seismicity in Sweden. PhD Thesis, Lulea University of Technology.
3. Hurtig, E., Bormann, P., Knoll, P. and Tauber, F. 1979. Seismological and geomechanical studies of a strong seismic event in the potash mines of the GDR:

Implications for prediction mining tremors. International Symposium on Earthquake Prediction, Paris, Contributed Paper II-4.

4. Joughin, N.C. and Jager, A.J. 1983. Fracture of rock at stope faces in South African gold mines. Proceedings on Symposium on Rockbursts: Prediction and Control, Institute of Mining and Metallurgy, London, pp. 53-66.
5. Kijko, A. Drzezla, B. and Stankiewicz, T. 1987. Bimodal character of the distribution of extreme seismic events in Polish mines. *Acta Geophysica Polonica*, vol. 35, pp. 157-166.
6. Johnston, J.C. and Einstein, H.H. 1990. A survey of mining associated rockbursts. In *Rockbursts and seismicity in mines* (C. Fairhurst, ed.), Balkema, Rotterdam, pp. 121-127.
7. Board, M.P. 1994. Numerical examination of mining-induced seismicity. PhD thesis. University of Minesota.
8. Tang, B. 2000. Rockburst control using distress blasting. PhD thesis. McGill University. Montreal.
9. Cook, N.G.W. 1979. Seismicity associated with mining. *Engineering Geology* 10, pp. 99-122.
10. Gibowicz, S.J., Bober, A., Cichowicz, A. Droste, Z., Dychtowicz, Z., Hordejuk, J., Kazimierczyk, M. and Kijko, A. 1979. Source study of the Lubin, Poland, tremor of 24 March 1977. *Acta Geophysica Polonica*, 27, pp. 3-38.
11. Gibowicz, S.J., Niewiadomski, J., Wiejacz, P. and Domaski, B. 1989. Source study of the Lubin, Poland, mine tremor of 20 June 1987. *Acta Geophysica Polonica*, vol. 37, pp. 111-132.
12. Dempster, E.L., Tyser, J.A. and Wagner, H. 1983. Regional aspects of mining-induced seismicity: Theoretical and management considerations. Proceedings of Symposium on Rockbursts: Prediction and control, Institute of Mining and Metallurgy, London, pp. 37-52,
13. Gay, N.C., Spencer, D., van Wyk, J.J. and van der Heever, P.K. 1984. The control of geological and mining parameters on seismicity in the Klerksdorp gold mining district. In *Rockbursts and Seismicity in Mines* (N.C. Gay and E.H. Wainwright, eds.), South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, Symposium Series No. 6, pp. 107-120.
14. Gibowicz, S.J. 1984. The mechanism of large mining tremors in Poland. In *Rockbursts and Seismicity in Mines* (N.C. Gay and E.H. Wainwright, eds.), South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, Symposium Series No. 6, pp. 17-28.
15. Ortlepp, W. D. 1984. Rockbursts in South African gold mines: A phenomenological view. In *Rockbursts and Seismicity in Mines* (N.C. Gay and E.H. Wainwright, eds.), South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, Symposium Series No. 6, pp. 165-178.
16. Potgieter, G.J. and Roering, C. 1984. The influence of geology on the mechanisms of mining-associated seismicity in the Klerksdorp gold-field. In "Rockbursts and Seismicity in Mines" (N.C. Gay and E.H. Wainwright, eds.), South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg. Symposium Series No. 6, pp. 45-50.

17. Al-Saigh, N.H. and Kuszniir, N.J. 1987. Some observations on the influence of faults in mining-induced seismicity. *Engineering Geology*, vol. 23, pp. 277-289.
18. McGarr, A., Bicknell, J. Sembera, E. And Green, R.W.E. 1989. Analysis of exceptionally large tremors in two gold mining districts of South Africa. In *Seismicity in Mines* (S.J. Gibowicz, ed.), reprinted from Special Issue, Birkhauser, Verlag, Basel, *Pure and Applied Geophysics*, vol. 129, pp. 295-307.
19. Lenhardt, W.A. 1990. Seismic event characteristics in a deep level mining environment. In *Rock at Great Depth* (V. Maury and D. Fourmaintraux, eds.), Balkema, Rotterdam, pp. 727-732.
20. Scott, D.F. 1990. Relationship of geological features to seismic events, Lucky Friday Mine, Mullan, Idaho. In *Rockbursts and Seismicity in Mines* (C. Fairhurst, ed.), Balkema, Rotterdam, pp. 401-405.
21. Hasegawa, H.S., Wetmiller, R.J. and Gendzwill, D.J. 1989. Induced seismicity in mines in Canada – an overview. *Pure and Applied Geophysics*. Vol. 129, No 3/4, pp. 423-453.
22. Donnelly, L., and Reddish, D. 1994. The development of surface steps during mining subsidence: not due to fault reactivation, *Engineering Geology*, vol. 36, pp. 243-255.
23. Donnelly, L. 2006. A review of coal mining induced fault reactivation in Great Britain, *Quaternary Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol. 39, pp. 5-50.
24. Cui, H., Li, H., and Jiang, F. 2004. Newborn natural gas resources in coal basin, *Journal of Jiaozuo Institute of Technology*, vol. 23, pp. 430-432.
25. Li, X., Wang, S.J., Liu, T.Y., and Ma, F.S. 2004. Engineering geology, ground surface movement and fissures induced by underground mining in the Jinchuan Nickel Mine, *Engineering Geology*, vol. 76, pp. 93-107.
26. Zembaty, Z. 2011. How to model rockburst seismic loads for civil engineering purposes?, *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 9, pp. 1403-1416.
27. Rudajev, V., Teisseyre, R., Kozák, J., and Šílený, J. 1986. Possible mechanism of rockbursts in coal mines, *Pure and Applied Geophysics*, vol. 124, no. 4-5, pp. 841-855.
28. Goszcz A. 1996. The most probable rockburst mechanism and its implications for mining geophysics, *International Journal on Rock Mechanics and Mining*, vol. 33, no. 8, pp. 380A-380A(1).
29. Ortlepp, W.D. 2000. Study of rockburst source mechanism, Safety in Mines Research advisory committee, Project GAP 524 – Final report, pp. 1-42.
30. Li, Z., Dou, L., Lu, C., Mu, Z., and Cao, A. 2000. Study on fault induced rock bursts, *Journal of China University of Mining and Technology*, vol. 18, pp. 0321–0326.
31. Faquan, W., Jie, W., and Shengwen, Q. 2010. Theoretical analysis on the mechanism of rock burst of brittle rock mass, *Journal of Engineering Geology*, vol. 18, no.5, pp. 589-595.
32. Daihua, Z., Miller, H.D.S., and Kaiser, P. K. 1989. Numerical study of violent rock failure by stick-slip on joints, *Mining Science and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 241–251.

33. Lorig, L., and Hobbs, B. 1990. Numerical modeling of slip instability using the distinct element method with state variable friction laws, *International Journal on Rock Mechanics and Mining*, vol. 27, no. 6, pp. 525–534.
34. Hsiung, S., Blake, W., Chowdhury, A., and Williams, T. 1990. Effects of mining-induced seismic events on a deep underground mine, *Pure and Applied Geophysics*, vol. 139, no. 3-4, pp. 741-762.
35. McGarr, A., Boettcher, M., Fletcher, J., Sell, R., Johnston, M., Durrheim, R., Spottiswoode, S., and Milev, A. 2009. Broadband Records of Earthquakes in Deep Gold Mines and a Comparison with Results from SAFOD, California, *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 99, no. 5, pp. 2815–2824.
36. Kijko, A., Funk, C.W., and Brink, A.v.Z. 1993. Identification of anomalous patterns in time-dependent mine seismicity. Rockbursts and seismicity in mines, *Proceedings on 3rd International Symposium on Rockbursts and Seismicity in mines*, Balkema, pp. 205-211.
37. Gibowicz, S.J. 1984. The mechanism of large mining tremors in Poland. In "Rockbursts and Seismicity in Mines" (N.C. Gay and E.H. Wainwright, eds.), South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, Symposium Series No. 6, pp. 17-28.
38. McGarr, A. 1984. Some applications of seismic source mechanism studies to assessing underground hazard. In "Rockbursts and Seismicity in Mines" (N.C. Gay and E.H. Wainwright, eds.), South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, Symposium Series No. 6, pp. 199-208, Burridge, R., and Knopoff, L. Model and theoretical seismicity, *Bulletin of Seismological Society of America*, 1967, vol.57, no.3, pp. 341-371.
39. Simon, R., and Aubertin, M. 1999. A non-linear constitutive model for rock joints to evaluate unstable slip, *Rock Mechanics for Industry, Proceedings of 37th US Symposium on Rock Mechanics*, Balkema, pp. 1-8.
40. Ruina, A.L. 1983. Slip instability and state variable friction laws, *Journal of Geophysical Research*, vol. 88, pp. 10359-10370.
41. Rice, J.R., and Ruina, A. L. 1983. Stability of steady frictional slipping, *Journal of Applied Mechanics*, vol. 50, pp. 343-349.
42. Gu, J.C., Rice, J.R., Ruina, A.L., and Tse, S.T. 1984. Slip motion and stability of a single degree of freedom elastic system with rate and state dependent friction, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, vol. 32, pp. 167- 196.
43. Carlson, J., and Langer, J. 1989. Mechanical model of an earthquake fault, *Physical Review A*, vol. 40, no.11, pp. 6470-6484.
44. De Sousa Vieira, M. 1999. Chaos and synchronized chaos in an earthquake model, *Physical Review Letters*, vol. 82, pp. 201–204.
45. Erickson, B., Birnir, B., and Lavallee, D. 2008. A model for aperiodicity in earthquakes, *Nonlinear Processes in Geophysics*, vol. 15, pp. 1-12.
46. McGarr, A. 1990. Some comparisons between mining-induced and laboratory earthquakes, *Pure and Applied Geophysics*, vol. 142, no. 3-4, pp. 467-489.
47. Kortas, L. 2005. Search for chaotic dynamics manifestation in multiscale seismicity, *Acta Geophysica Polonica*, vol.53, no.1, pp. 47-74.

48. Huang, G., Yin, G., and Dai, G. 2010. Chaotic behavior of a stick-slip model for rock burst, *Disaster Advances*, vol. 3, pp. 526–530.

### 3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Напредовањем рударских радова, за потребе израде хоризонталних просторија ремети се постојеће напонско стање у околној стенској маси. У случају постојања раседа или сличног механичког дисконтинуитета у ширем подручју извођења рударских радова, реално је очекивати да промена напона узрокује кретање дуж постојећих дисконтинуитета, чиме би се створили услови за настанак потреса. Интензитет ових потреса постаје већи и њихови ефекти значајнији са даљим напредовањем ископа и повећањем дубине, чиме се повећавају и њихове последице како по сам процес рада, тако и на материјална добра на површини терена. Оваква узрочно-последична веза између техногених потреса и напредовања рударских радова од посебног је значаја за територију наше земље, с обзиром на то да се поједина лежишта минералних сировина, у којима се врши или се предвиђа подземна експлоатација налазе у сеизмички активним зонама (Баљевац, Јарандо, Бела стена, Рудник, Суво рудиште, Зајача, Крупањ, и др.). У овим зонама реално је очекивати да услед повећаног обима експлоатације минералних сировина и убрзаног напредовања радова дође до појачане фреквенције потреса, или до повећања њихових магнитуда, а што управо може бити условљено променом напонског стања у стенској маси и реактивирањем кретања дуж постојећих руптура у земљиној кори.

С друге стране, изучавање механизма настанка потреса изазваних подземним рударским радовима и динамике тако изазваних потреса од посебног је теоријског и практичног интереса, с обзиром на то да ако се утврди да је посматрани систем детерминистички, може се потврдити и краткорочна предвидивост процеса, као и карактера понашања динамичког система током времена, чиме би се негативне последице могле свести на најмању меру. С обзиром на то да до настанка ових потреса долази кретањем дуж постојећег раседа, што је механизам који одговара тектонским земљотресима, у овом истраживању се предвиђа примена техника, које су већ потврђене у области изучавања земљотреса, и што је већ предложено од стране Kijko et al. (2002). Међутим, за разлику од модела у другим областима науке, попут Навије-Стоксових једначина у динамици флуида, још увек не постоји консенсус око јединственог модела који описује кретања дуж раседа. Стога, врло је корисно разматрати различите моделе, и у тим моделима изучавати утицаје различитих параметара система на њихово понашање. Оно што је такође јако значајно за ове моделе раседа, а што их чини сличним са осталим нелинеарним феноменима, јесте да физички процеси у малој размери могу у великој мери одређивати понашање у великој размери. У овом раду полази се од Бариџ-Кнопоф модела (Burridge-Knopoff) блока са опругом, чија се динамика дефинише помоћу два различита система диференцијалних једначина – први предложен у раду Erickson et al (2008) и други предложен у раду Carlson, Langer (1996), односно Vieira (1999). Анализом динамичког понашања треба да се утврди присуство детерминистичког хаоса, што директно указује на могућност краткорочне предвидивости процеса за одређене вредности параметара система, са

квалитативним корелацијама између теоријско испитиваних вредности и реално осматраних података.

#### 4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

При испитивању динамичког понашања модела блока са опругом, као модела механизма настанка потреса изазваних подземним рударским радовима, користиће се аналитичке и нумеричке математичке методе. У првом делу рада, биће извршена нумеричка нелинеарна анализа временских серија магнитуде забележених потреса, применом теорије потапања („delay embedding theorem”) и вештачких неуронских мрежа. У другом делу рада, биће извршена стандардна локална бифуркациона анализа система диференцијалних једначина који описује динамичко понашање Бариц-Кнопоф модела, и то за два случаја:

- a) модел једног блока (Erickson et al, 2008; Dieterich-Ruina закон трења) – анализа понашања овог модела биће извршена најпре нумерички, испитивањем понашања разматраног система за случај периодичне промене посматраних параметара. У ту сврху приступиће се креирању програма за решавање система диференцијалних једначина са кашњењем који описује посматрани модел, у оквиру програмског језика C++. Након тога, приступиће се аналитичком разматрању модела применом локалне бифуркационе анализе са уведеним временским кашњењем  $\tau$  у посматрани модел, на следећи начин: посматрани систем се најпре линеаризује око фиксне тачке, и то развојем у Тејлоров ред; након тога, приступа се налажењу карактеристичне једначине система, и то за случај када је детерминанта система, дата у виду Јакобијан матрице једнака нули (нетривијална решења). Резултујуће две једначине за реални и имагинарни део након квадрирања и сабирања дају једначину за сваки од посматраних параметара у функцији осталих, док дељењем претходно добијене две једначине, добија се једначина зависности кашњења  $\tau$  у функцији осталих параметара. Након тога, приступа се конструисању бифуркационих кривих у оквиру програмског пакета MAPLE, као и налажењу извода по бифуркационим кривама, ради утврђивања карактера бифуркација у посматраном систему. Провера добијених бифуркационих кривих биће извршена у оквиру програмског пакета DDE-BIFTOOL, уско специјализованог за одређивање бифуркационих кривих код нелинеарних система;
- b) модел једног и два блока (Vieira, 1999; закон трења зависан само од брзине, предложен у раду Carlson and Langer, 1989) – анализа понашања овог модела биће извршена нумерички, и то увођењем временског кашњења и параметра јачине трења, у оквиру софтверског пакета за динамичку анализу WINPP, варирањем параметара, након чега ће се приступити конструкцији бифуркационих дијаграма за различите вредности посматраних параметара.

## 5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

С обзиром на то да Рударско инжењерство, као научна област, представља синтезу различитих научних дисциплина, пре свега природних и техничких, током последњих година природно се намеће потреба за већом применом савремених математичких метода и техника, које могу допринети бољем разумевању геолошких појава и процеса, међу којима и рударски изазваних потреса, као 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 употребу у другим геолошким срединама. У том смислу, пратећи, пре свега светске трендове у области изучавања земљотреса, дошло се до сазнања да би технике и методе изучавања ових појава могле бити примењене и на потресе изазване променом напонског стања при изradi подземних просторија, што би довело до бољег разумевања самог механизма настанка процеса, као и динамичких карактеристика њихових појава, и на тај начин дало основу за рационалније пројектовање услова и технологије ископа, начина подграђивања, врсте и карактеристика подграде, као и адекватних превентивних и санационих мера. 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 методе нелинеарне динамике и у области рударски генерисаних потреса. Допринос ових истраживања огледа се у доказу полазне хипотезе да потреси генерисани променама напонског стања при изradi хоризонталних подземних просторија представљају један детерминистички хаотични процес, што имплицира њихову предвидљивост у кратком временском интервалу, а потврђује и постојање тачно одређеног механизма процеса у позадини, који може бити дефинисан одговарајућим системом диференцијалних једначина. У том смислу, у предложеној докторској дисертацији биће дефинисана методологија изучавања рударски изазваних потреса са становишта нелинеарне динамике, која би обухватила неколико фаза: нелинеарну анализу временских серија регистрованих потреса, нумеричку анализу модела у условима перидочног осциловања параметра система, затим модела са уведеним временским кашњењем и параметром јачине трења, као и бифуркациону анализу математичког модела механизма настанка потреса са уведеним временским кашњењем. Одређивање вредности параметара при којима долази до бифуркација, односно до квалитативне промене динамике посматраног система могу бити важни, јер указују на критичне вредности реално осматраних величина, које су у овом случају различите функције напона, а до чије промене неминовно долази напредовањем рударских радова. Такође, утврђивање присуства детерминистичког хаоса у сеизмограмима регистрованих рударских потреса, као и у самом моделу механизма њиховог настанка, указује на чињеницу да су ови потреси предвидиве појаве.

На основу резултата изведене анализе биће извршена допуна постојећих модела, пре свега увођењем временског кашњења и параметра јачине трења у постојеће математичке моделе, чиме би се омогућио прецизнији опис динамичког понашања посматраног система. Резултати изведене анализе, разрађени како аналитичким путем,

тако и кроз одговарајућу софтверску подршку, биће проверени и теоријски и практично. Предложена методологија испитивања биће тестирана на постојећим теоријским моделима, док ће практично тестирање бити извршено путем нелинеарне анализе временских серија регистрованих потреса.

Опште посматрано, научни допринос ове докторске дисертације би се огледао у следећем:

- нелинеарној анализи временских серија магнитуда регистрованих потреса;
- анализи постојећих феноменолошких и математичких модела механизма настанка потреса;
- разматрању нових параметара система у оквиру постојећих математичких модела (временског кашњења и јачине трења);
- стандардној локалној бифуркационој анализи модела са једним блоком, увођењем временског кашњења;
- нумеричкој анализи понашања система са једним блоком у условима периодичног осциловања параметара система;
- нумеричкој анализи понашања система са два блока, узимајући у обзир утицај временског кашњења и параметра јачине трења;
- дефинисању утицаја предложених параметара на динамичко понашање система;
- доказу почетних хипотеза дефинисаних у теми докторске дисертације.

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.

## **6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА**

### **6.1. План истраживања.**

Истраживања ће се обавити по следећим фазама:

- Преглед научне литературе.
- Дефинисање предмета и циља истраживања.
- Нелинеарна анализа временских серија забележених потреса.
- Бифуркациона анализа блока са опругом у условима периодичног осциловања посматраних параметара система.
- Стандардна локална бифуркациона анализа Бариц-Кнопоф модела са једним блоком са опругом са уведеним временским кашњењем.
- Нумеричка анализа модела два блока са опругом са уведеним параметром јачине трења и временским кашњењем.
- Анализа и дискусија резултата.

## **6.2. Структура рада.**

Докторска дисертација ће се оквирно састојати од следећих поглавља:

1. Увод.
2. Општи део.
  - 2.1. Нелинеарна динамика и теорија хаоса – општи појмови.
  - 2.2. Промене напонског стања и потреси изазвани израдом хоризонталних подземних просторија.
  - 2.3. Модел блока са опругом.
  - 2.4. Закони трења у стенској маси.
3. Циљ и задатак истраживања.
4. Методологија истраживања.
5. Резултати и дискусија.
  - 5.1. Нелинеарна анализа временских серија регистрованих магнитуда потреса.
  - 5.2. Бифуркациона анализа блока са опругом у условима периодичног осциловања посматраних параметара система.
  - 5.3. Стандардна локална бифуркациона анализа модела блока са опругом са уведеним временским кашњењем.
6. Нумеричка анализа модела два блока са опругом са уведеним параметром јачине трења и временским кашњењем.
7. Закључак.
8. Списак коришћене литературе и фондовске документације.
9. Биографија и списак радова проистеклих током израде докторске дисертације.

## **7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

На основу пријаве и образложења теме докторске дисертације, Комисија за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме, закључује да ће кандидат предложеном дисертацијом допринети већој примени модерних математичких метода и техника у области изучавања рударски генерисаних потреса, путем примене аналитичких и нумеричких математичких техника, чиме се прецизније дефинише механизам настанка потреса, а, самим тим, и критичне вредности параметара система при којима долази до квалитативних промена динамичког понашања. Квалитет предложене дисертације лежи у оригиналном приступу изложеној проблематици и комплексности примењених метода, док се применљивост у пракси потврђује кроз могућност квалитативне корелације са подацима реално осматраних потреса.

На основу наведених података о научно-истраживачкој активности кандидата Срђана Костића, дипл. инж. геологије, значаја теме и актуелности предложене методологије истраживања, Комисија закључује:

1. Кандидат **Срђан Костић, дипл. инж. геологије**, испуњава Законом предвиђене услове за пријаву теме и израду докторске дисертације.
2. Предложена тема докторске дисертације, под насловом **„Нелинеарно динамичко моделовање потреса изазваних променом напонског стања при изради хоризонталних подземних просторија“**, научно је заснована и може да буде предмет докторске дисертације.
3. Предложена тема докторске дисертације ће се реализовати у оквиру научне области Рударско инжењерство.
4. За ментора се предлаже др **Небојша Васовић, ванредни професор**, који испуњава све Законом предвиђене услове.

## 8. ПОТПИСНИЦИ ИЗВЕШТАЈА

Чланови Комисије:

1. Др Небојша Васовић, ванр. проф. \_\_\_\_\_  
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет
2. Др Слободан Трајковић, ред. проф., \_\_\_\_\_  
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет
3. Др Небојша Гојковић, ред. проф. \_\_\_\_\_  
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет
4. Др Драгутин Јевремовић, ред. проф. \_\_\_\_\_  
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет
5. Др Никола Бурић, научни саветник \_\_\_\_\_  
Универзитет у Београду Институт за физику

У Београду, 05.12.2012.г.