

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ-
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**

11120 Београд 35, ул. Ђушина 7
Тел: (011) 3219-101, Факс: (011) 3235-539



**UNIVERSITY OF BELGRADE,
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY**

Republic of Serbia, Belgrade, Djusina 7
Phone:(381 11) 3219-101, Fax:(381 11) 3235-539

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- Веће научних области техничких наука-

БЕОГРАД
Студентски трг бр. 1

Достављамо вам:

- Образац захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације мр Маје Франковић, дипл. сликар-консерватор, ради поступка у смислу важећих законских прописа.
- Одлуку Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду о усвајању извештаја Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме за израду докторске дисертације.
- Подаци о ментору
- Извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме за израду докторске дисертације.

**Шеф Одељења за студентска
и наставна питања**

Љиљана Колоња, дипл. инж. рударства

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:

“ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКО РАСПАДАЊЕ КРЕЧЊАКА УГРАЂЕНИХ У ОБЈЕКТЕ БЕОГРАДСКЕ ТВРЂАВЕ

И МОГУЋНОСТ КОНСОЛИДАЦИЈЕ“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Гео-науке

Студијски програм: Геологија

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Мр Маја (Златко) Франковић, дипл. сликар-консерватор

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање:

Академија за уметност и конзервацију при Богословском

Факултету Српске Православне Цркве у Београду

3. Година дипломирања: 2002.

4. Назив магистарске тезе кандидата: „КОНЗЕРВАЦИЈА ДИСЛОЦИРАНИХ МОЗАИКА“

Година уписа докторских студија: школска 2013/2014. год.

5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена:

Универзитет уметности-Факултет примењених уметности у Београду

6. Година одбране магистарске тезе: 2009.

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

на седници одржаној 29.09.2016. год. размотрило предложену тему и закључило да је тема
подобна за израду докторске дисертације

ДЕКАН
Рударско-геолошког факултета

Проф. др Душан Полочич

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 111. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 23. Правилника о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука – пречишћен текст, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 29.09.2016. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације **мр Маје Франковић**, дипл. сликар - конзерватор.
2. Одобрава се именованој израда докторске дисертације под насловом *„Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације“*.
3. За ментора се именује др Весна Матовић, ванр. проф.
4. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Душан Поломчић, ред. проф.

Достављено:

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: др Весна Матовић

Звање: Ванредни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације.

Радови у врхунским часописима међународног значаја (M₂₁)

1. Suzana Erić, **Vesna Matović**, Aleksandar Kremenović, Philippe Colomban, Danica Srećković Batočanin, Marina Nešković, Aleksa Jelikić, 2015: **The origin of Mg sulphate and other salts formed on pure calcium carbonate substrate – Tufa stone blocks built into the Gradac Monastery, Serbia.** *Construction and Building Materials*, 98, 25-34. Materials Science, Multidisciplinary (75/271); IF₂₀₁₅ = 2.421. ISSN/ISBN 0950-0618 Publisher: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.101>,
2. Olivera Đokić, **Vesna Matović**, Suzana Erić, Kristina Šarić, 2015: **Influence of engineering properties on Polished Stone Value (PSV): A case study on basic igneous rocks from Serbia.** *Construction and Building Materials*, 101, 1088-1096. Materials Science, Multidisciplinary (75/271); IF₂₀₁₅ = 2.421. ISSN/ISBN 0950-0618 Publisher: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.033>,

Радови у истакнутим часописима међународног значаја (M₂₂)

3. **Vesna Matović**, Suzana Erić, Danica Srećković-Batočanin, Philippe Colomban, Aleksandar Kremenović, 2014. **The influence of building materials on salt formation in rural environments.** *Environment Earth Science*, 72(6), 1939-1951. Geosciences, Multidisciplinary (74/175); IF₂₀₁₄ = 1,765. ISSN/ISBN 1866-6280, Publisher: Springer, doi 10.1007/s12665-014-3101-4.
4. Maja Franković, Nevenka Novaković, **Vesna Matović**, 2015: **Damage quantification of built stone on Dark Gate (Belgrade, Serbia): sample of damage index application for decay rate evaluation.** *Environmental Earth Sciences*, 73(10):6181-6193. Geosciences, Multidisciplinary (74/175); IF₂₀₁₄ = 1,765. ISSN/ISBN 1866-6280, Publisher: Springer, doi: 10.1007/s12665-014-3843-z.

Радови у часописима међународног значаја (M₂₃)

5. **Vesna Matović**, Tijana Vojnović, 2016: **Mesozoic carbonate rocks in serbia used as dimension stone.** *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(1):1–12. Geosciences, Multidisciplinary (127/184); IF₂₀₁₅ = 1,252. ISSN/ISBN 1435-9529, Publisher: Springer Verlag,doi:10.1007/s10064-015-0722-0
6. **Vesna Matović**, Suzana Erić, Aleksandar Kremenović, Philippe Colomban, Danica Srećković-Batočanin, Nenad Matović, 2012: **The origin of syngenite in black crusts on the limestone monument King's Gate (Belgrade Fortress, Serbia) - the role of agriculture fertilizer.** *Journal of Cultural Heritage*, 13/2, 175-186. Geosciences, Multidisciplinary (105/172); IF=1.176, ISSN 1296-2074, Publisher: Elsevier.,doi:10.1016/j.culher.2011.09.003
7. **Matović V.** Vasković N., Erić S., Srećković-Batočanin D. 2010: **Interaction between binding materials—the cause of damage to gabbro stone on the monument to the unknown soldier (Serbia).** *Environmental Earth Sciences*, 60(6), 1153-1164, Geosciences, Multidisciplinary (133/167); IF₂₀₁₀ = 0,678. ISSN/ISBN 1866-6280, Publisher: Springer, doi: 10.1007/s12665-009-0257-4.

Декан Рударско-геолошког факултета

др Душан Поломчић, ред. проф.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Рударско-геолошки факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме кандидата **мр Маје Франковић**, дипл. сликар-конзерватор, за израду докторске дисертације

На седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета од 23.06.2016. године (одлука бр. 1/346 од 23.06.2016. године) именовани смо у Комисију за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације под називом:

Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације

Комисија у саставу др Весна Матовић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет - ментор, др Виолета Гајић, доцент, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет, др Небојша Васић, редовни професор, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет, др Сузана Ерић, редовни професор, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет и др Љиљана Дамјановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију, прегледала је достављени материјал и подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. *Општи биографски подаци, образовање и усавршавање, рад и напредовање у струци, активности у стручним удружењима и друго*

Маја Франковић, рођена је у Београду 24. априла 1977. године где је завршила основну и средњу школу. Основне академске студије на Академији за уметност и конзервацију при Богословском факултету СПЦ у Београду, одсек Конзервација и рестаурација, уписала је школске 1997/98. године, а дипломирала је 2002. године са темом рада "*Рестаураторско-конзерваторски радови на споменицима Стевану Ст. Мокрањцу и војводи Мишићу*". Магистарске студије је уписала школске 2005/06. године на Универзитету уметности у Београду, Факултету примењених уметности, Одсеку за

конзервацију и рестаурацију. Студије је завршила 2009. године одбраном магистарског рада са темом „Конзервација дислоцираних мозаика“.

Специјалистичку обуку из области конзервације античког мозаика обавила је у Музеју антике у Арлу, у Француској, у трајању од 5 месеци, током 2002. и 2004. године.

Од 2005. до 2009. године била је запослена у Народном музеју у Београду, на месту конзерватора. Од 2009. године до данас, запослена је у Централном институту за конзервацију у Београду на радном месту конзерватора. Стручно звање „виши конзерватор“ стекла је 2011. године, а од јула 2015. године именована је за Руководиоца Центра за конзервацију-рестаурацију и члана Управног одбора Централног института за конзервацију у Београду.

Као стручни консултант ангажована је од стране Завода за заштиту споменика културе града Београда, за пројекте конзервације и рестаурације споменика културе Београдске тврђаве. Такође је била ангажована и као надзор над конзерваторско-рестаураторским радовима на унутрашњој фасади Краљ капије на Калемегдану (октобар-децембар, 2008).

Маја Франковић је члан следећих професионалних организација:

- Кооснивач SEE Mosaics - регионалне мреже стручњака, формиране са циљем да се ојача регионална сарадња на пољима обуке конзерватора, конзервације и презентације мозаика у Југоисточној Европи,
- Члан Међународног комитета за конзервацију мозаика (International Committee for the Conservation of Mosaics - ICCM),
- Секретар редакције Регионалне алијансе ICOMa за Југоисточну Европу - ICOM SEE,
- Члан НК ИКОМ-а Србије.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Школске 2013/2014. године, кандидаткиња Маја Франковић уписала је докторске студије на Универзитету у Београду - Рударско-геолошком факултету, на студијском програму - Геологија. На докторским студијама положила је све испите предвиђене планом и програмом. Списак положених испита и обавеза на докторским студијама дат је у следећој табели:

Предмет	Година	Оцена	ЕСПБ
Геохемија земљишта	1	9	10
Камен у грађевинским конструкцијама	1	10	10
Петрологија седиментних стена – посебна поглавља	1	9	10
Теренски и лабораторијски рад	1	10	10
Седиментациони системи	1	10	10
Седиментологија неогених језерских басена Србије	1	10	10
Временска трајност и конзервација камена	2	10	10
Геохемија седиментних стена	2	10	10
Семинарски рад (везан за тему докторске дисертације)	2	10	10
Израда докторске дисертације	2	10	20
Студијски истраживачки рад (везан за тему докторске дисертације)	2	10	10
Студијски истраживачки рад (везан за тему докторске дисертације)	3	10	10
Израда докторске дисертације	3	10	20
Израда докторске дисертације	3	10	15
Студијски истраживачки рад (везан за тему докторске дисертације)	3	10	10

Маја Франковић остварила је укупно 175 ЕСПБ бодова и положила све испите са просечном оценом 9,87.

Значајно научно искуство и резултате постигла је учешћем у преко 25 пројеката конзервације камена и мозаика на којима је била одговорни конзерватор, од чега је у девет пројеката била Руководилац пројекта. Најважнији пројекти су:

- Конзервације предмета од камена из лапидаријума Античке збирке Народног музеја Пожаревац, 2012-
- Регионални пројекат „SEE Mosaic“, 2011-
- Истраживачки пројекат „Конзервација Мрачне капије на Доњем граду Београдске тврђаве“, 2016,
- Конзервација и рестаурација надгробних споменика средњовековне некрополе Црквине, Побрежје, Прибој, 2014-2015,
- Конзервација и рестаурација мозаика подигнутог са археолошког локалитета Небеске столице на Копаонику, 2014,
- Конзервација ранохришћанских епиграфских споменика из Избичња и Дренове, 2012-2013,
- Конзервација мозаика са археолошког локалитета Губеревац из Збирке за касноантичку и рановизантијску материјалну културу и уметност Народног музеја у Београду, 2005-2012

Маја Франковић је учествовала и на међународним пројектима конзервације: „Конзервација мозаика са археолошког локалитета Задружни дом, Скелани“, Република Српска, 2015; „Конзервација и рестаурација античког мозаика са локалитета *Villa urbana* у Будви“ 2014; „Конзервација *in situ* мозаика из куће Фурнија“, Делос, Грчка, 2010.

Као члан истраживачке групе, учествовала је у билатералном пројекту Србија - Француска „Утицаји малтера као материјала за рестаурацију на камене споменике културног наслеђа Србије“ (*Effects of mortar as repairing material on stone monuments of Serbian cultural heritage*), EGIDE-Pavle Savić, 2014-2016.

Као гостујући предавач учествовала је на радионици под називом „*Mosaics: materials, techniques and conservation*“ у организацији Универзитета у Љубљани, Академије за ликовну уметност и обликовање, одржаној од 07. до 22. маја 2014. у склопу пројекта Internationalization of the University of Ljubljana.

Поред наведених усавршавања, кандидаткиња је имала и неколико студијских боравака на којима је похађала сертификоване семинаре и тренинге, који су били везани за подручје њеног истраживања, односно конзервацију камена, од којих треба издвојити:

- „Микроскопске технике за проучавање минералних материјала културног наслеђа“ (*Microscopic techniques to study mineral materials in cultural heritage*), Аустријска федерална канцеларија за заштиту споменика културе и Институт за уметност и технологију Универзитета примењених уметности у Бечу, Аустрија, 30. јун - 4. јул 2014.,
- ICCROM-ов 18. Међународни курс конзервације камена (ICCROM 18th International Course on Stone Conservation – SC13), Рим, Италија, 10. април – 28. јун 2013.
- Курс конзервације камена (Stone Conservation Course), у сарадњи Високог института за конзервацију и рестаурацију из Рима и Централног института за конзервацију у Београду, 13. јун – 29. јул 2011.

- „Poultice Desalination of Porous Building Materials“, Louisiana State Museum, у организацији Гети института у Њу Орлеансу, САД, у периоду 24. – 28. мај 2010.

Маја Франковић је до сада учествовала на неколико научних и стручних конференција у земљи и иностранству на којима је презентovala резултате својих истраживања. У својој каријери кандидаткиња је објавила следеће радове и саопштења:

M22 - Рад у истакнутом међународном часопису

Franković, M., Novaković, N., Matović, V., 2015, Damage quantification of built stone on Dark Gate (Belgrade, Serbia): sample of damage index application for decay rate evaluation. *Environmental Earth Sciences*, 73(10):6181-6193, doi10.1007/s12665-014-3843-z.

M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

Novaković, N., Matović, V., **Franković, M.**, 2015, Stanje kersantita ugrađenog u fasade zgrade Narodnog muzeja u Beogradu, Zbornik radova sa Devetog naučno-stručnog Međunarodnog savetovanja „Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata i naselja“, Savez građevinskih inženjera Srbije, Zlatibor, 411-418.

Franković, M., Matović, V., 2014, Tehnika mapiranja kamenih fasada, Zbornik radova XXVI Kongres i međunarodni simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija. Društvo za ispitivanje materijala i konstrukcija, Vrnjačka banja, 461-476.

Franković, M., Macchiarola, M., Smičiklas, N., 2013, Conservation and Restoration of Mosaic Fragments Depicting a Hunting Scene From the Collection of the National Museum in Zajecar, WHS Felix Romuliana, Proceedings of 3rd International Conference “Harmony in Nature and Spirituality of Stone”, ed. Dimitrijević, V., Kragujevac 21-22 March 2013, Kragujevac, Stone Studio Association, 53-68.

Franković, M., Lazarević, B., 2014, Mosaic Conservation and Training of Conservators in Southeast Europe, Conservation: An act of Discovery, Proceedings of the 10th ICCM Conference, Palermo, Italy, October 20-26 2008, 401-406.

Franković, M., Blanc, P., Courboulès M.-L., 2014, La dé-restauration des mosaïques de la collection de l'antiquité tardive du Musée national à Belgrade - une coopération franco-serbe, Conservation: An act of Discovery, Proceedings of the 10th ICCM Conference, Palermo, Italy, October 20-26 2008, 681-987.

Франковић, М., Стојиљковић, Д., Максимовић, Д., 2007, Стање мозаика на археолошким локалитетима у Србији са аспекта превентивне заштите, Condition of the Cultural and Natural Heritage in the Balkan Region, Proceedings of the Regional Conference held in Kladovo, Serbia from 23th to 27th October 2006, eds. Cvjetičanin, T., Popović-Živančević, M., Belgrade, 149-166.

Franković, M., 2008, Inadequate Storage Conditions : Causis of Deterioration of Mosaics in Museum Environment, y: Lessons Learned: Reflecting on the Theory and Practice of Mosaic Conservation, Proceedings of the 9th ICCM Conference Hammamet, Tunisia, ed. Ben Abed, A., Demas, M., Roby, Th., Los Angeles, 85-91.

M44 - Поглавље у књизи M41 или рад у истакнутом тематском зборнику водећег националног значаја

Blanc, P., Courboulès M.-L., **Franković, M.**, 2008, Konzervacija antičkih mozaika u Srbiji, program razmene i obuke, Francusko-srpska saradnja u oblasti arheologije, katalog izložbe, redaktor Ivanišević, V., Beograd, 129-141.

M51 - Рад у водећем часопису националног значаја

Франковић, М., 2013, Конзервација и рестаурација мозаика са локалитета Губеревац из збирке Народног музеја у Београду, *Зборник Народног музеја XXI-1* (археологија), 299-319.

M53 - Рад у научном часопису

Франковић, М., Максимовић, Д., Јовановић, М., 2014, Конзервација и рестаурација ранохришћанског епиграфског споменика из Избичња, у: Милешевски записи 10, 323-332; **Франковић, М.**, Стојковић, И., 2004, Конзервација случајних налаза са Власца из Музеја у Мајданпеку, *Развитак* бр. 217-218, 11.

M63 - Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

Франковић, М., 2004, Методе мерења релативне влажности ваздуха, *Зборник радова научно-стручног скупа Методе утврђивања и отклањања последица дејства влаге на културна добра*, Нови Сад, 21-22. октобар 2004., 133-143.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и остварених резултата током докторских студија, кандидаткиња Маја Франковић је показала изузетну склоност и способност за бављење научно-истраживачким радом. Исказаним залагањем у раду на терену и у лабораторији, самосталним креирањем и реализацијом истраживања, кандидаткиња је показала интерес и способност да пружи релевантне резултате у свом научно-истраживачком раду. На основу тога Комисија сматра да је кандидаткиња подобна и способна да самостално ради на предложеној теми докторске дисертације.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Предложена тема докторске дисертације припада научној области **Геонаука**, ужој научној области **Петрологија**, дисциплини *Примењена петрографија*. Матична установа је Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет.

Истраживања на пољу конзервације културног наслеђа везана су за материјални аспект културних добара и имају за циљ да дају допринос очувању њихове аутентичности и значаја кроз очување оригиналног материјала. За градњу Београдске тврђаве претежно је коришћен камен експлоатисан *in situ* - лајтовачки кречњаци који су евидентирани на данас сачуваним објектима Београдске тврђаве – споменицима културног наслеђа Београда. Стотинама година они су изложени различитим факторима физичког и хемијског распадања, што је резултирало значајним степеном оштећености и различитим формама распадања. Међутим, детаљна истраживање на пољу конзервације кречњака уграђеног у споменике Београдске тврђаве нису вршена. Досадашња пракса у конзерваторско-рестаураторским радовима на поменутих објектима базирала се само на рестаурацији оштећених блокова тзв. „вештачким каменом“ (хидраулични кречни, продужни цементни

или цементни малтер), без консолидације оштећеног камена која би спречила губитак оригиналног материјала и ојачала структуру споменика. Показало се да таква пракса доводи до наставка процеса распадања и временом, до одвајања „вештачког камена“ од субстрата.

Предмет рада докторске дисертације је дефинисање петролошких и физичких својстава карбонатних стена миоценске старости, уграђених у објекте Београдске тврђаве, дефинисање форми, интензитета и узрока њиховог временског распадања, као и могућности њихове консолидације. За теренско истраживање, као студија случаја, одабрана је Мрачна капија у Доњем граду Београдске тврђаве, а могућност консолидације структурно различитих врста кречњака биће експериментално испитана апликацијом неорганских консолиданата (нанокреча) и консолиданата на бази алкоксисилана.

Основни циљеви истраживања предложене теме докторске дисертације су следећи:

- Утврђивање минералошких, петрографских и хемијских карактеристика уграђених карбонатних стена уз детаљно литолошко мапирање фасада Мрачне капије,
- Одређивање физичких карактеристика уграђеног камена (запреминске масе, специфичне масе, отворене и апсолутне порозности, упијања воде, способности капиларне апсорпције и дистрибуције величине пора),
- Идентификација и мапирање форми и интензитета деградације камених блокова појединачних фасада, категоризација оштећења и квантификација степена деградације уз одређивање индекса распадања,
- Детерминација интринзичних и екстринзичних узрока временског распадања уграђених литотипова, корелација са зонама највеће оштећености и дефинисање физичко-хемијских процеса разградње,
- Утврђивање петрофизичке компатибилности карбонатних стена одабраних за третман консолидације са оргинално уграђеним каменом
- Експериментални третман консолидације структурно различитих врста кречњака применом различитих врста консолиданата,
- Квалитативна и квантитативна анализа утицаја аплицираних врста консолиданата на промену петрофизичких својстава испитиваних карбонатних стена уз дефинисање степена компатибилности консолиданата и субстрата,
- Анализа утицаја регулације брзине испаравања консолиданта, током времена очвршћавања, на дубину перципитације активне материје у порама камена,
- Утврђивање разлике у ефектима консолиданата у погледу заустављања процеса деградације (нанокреч у односу на алкоксисилан) уз оцену подобности примене и наноматеријала у консолидацији порозних карбонатних стена.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Временска трајност грађевинског камена се одгледа у способности да током времена задржи иницијалну величину, облик, чврстоћу и изглед. Временско распадање карбонатних стена изазвано је хемијским и физичким процесима - растварањем, разлагањем, кристализацијом соли и деловањем мраза (Bilbija и Matović, 2009). Поред минералног састава, на отпорност карбонатних стена на временско распадање утичу и величина и дистрибуција пора, степен повезаности минералних компоненти и крупноћа зрна (Bell, 1993).

Фактори физичко-хемијског распадања, најчешће делују заједно и утичу на камен на различите начине стварајући напоне који се акумулирају и временом манифестују као форме распадања. У процесу распадања камена најчешће доминира неколико кључних параметара, што резултира нелинеарном прогресивношћу распадања (Doehne and Price, 2010). Наведени процеси захтевају пажљиво проучавање не само камена као субстрата већ и међусобне односе историјских варијабли окружења и свих других естринзичних фактора којима је камен изложен (Smith and Prikryl 2007, McCabe et al., 2007).

Егзактно дефинисање узрока распадања камена, уз свеобухватну процену стања споменика културе и разумевање процеса разградње, захтева мапирање камена као неопходан дијагностички поступак за идентификацију стања културног добра. Мапирање форми распадања је недеструктивна метода која пружа свеобухватне информације о врсти и дистрибуцији промена на површини камена (Doehne and Price 2010, Fitzner et al., 1992, Siegesmund et al., 2002, Svahn 2006). Користећи морфолошке и геометријске критеријуме промене површине камена, врши се класификација различитих форми распадања (Vergès-Belmin, 2008, Siedal et al., 2011). „Фицнеров модел мапирања“ је метода за прецизну, објективну литолошку класификацију и регистрацију форми и интензитета распадања уз егзактно лоцирање категорија оштећења и процену прогресивности даљег распадања (Fitzner et al., 1995, 1997).

Конзерваторски третман камена има за циљ да успори процесе физичко-хемијског распадања, односно заустави распадање изазвано зрнастом дезинтеграцијом. Задатак консолидације је да поново повеже зрна/фрагменте камена уз очување оригиналних физичких и механичких карактеристика камена (Doehne and Price, 2010). Успешност консолидације зависи од дубине продирања консолиданта (на коју битно утиче структура камена), од брзине испаравања раствора/дисперзије као и од реактивности активне материје и микроморфолошког аспекта њене акумулације у порама (Ghaffari et al., 2012). Хемијска компатибилност консолиданта са супстратом је важан, али не и одлучујући фактор успешности третмана (Scherer and Wheeler, 2009).

Средства за консолидацију кречњака се генерално могу поделити на органска и неорганска (Doehne and Price 2010). У групи органских консолиданата издвајају се производи на бази алкоксисилана - тетраетоксисилана (TEOS) и метилтриметоксисилана (MTMOS). Уз помоћ воде силани хидролизују и формирају силаноле, који кондензацијом полимеризују и формирају полимер силицијума (Wheeler et al., 2005, Doehne and Price, 2010). Основна предност ових консолиданата је што, осим иницијалног хидрофобирајућег ефекта који се касније губи, остају водо и паропропусни ефекти и омогућавају извођење других конзерваторских интервенција (Wheeler et al., 2005). Иако примарно намењени консолидацији пешчара, модификација додавањем катализатора је омогућила бољу компатибилност са карбонатним супстратом (Scherer and Wheeler, 2009). Мада је установљено да успешност третмана зависи од више фактора, пре свега од супстрата, начина апликације и климатских услова током очвршћавања, примена алкоксисилана на кречњацима још увек није истражена у довољној мери.

Када је реч о неогранским консолидантима, истраживања на пољу нанотехнологије у области конзервације, у последњих двадесетак година, омогућила су суспензију нано честица калцијум-хидроксида у алкохолима тзв. нано-креч (Salvadori and Dei, 2001). Истраживања примене овог материјала за консолидацију кречних малтера и карбонатних стена, доказала су карбонизацију $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и потврдила позитиван резултат у површинској консолидацији, без стварања хидрофобног ефекта и промене боје површине супстрата

(Croveri et al., 2004, Dei and Salvadori, 2006, Natali et al., 2014). Основни проблем примене нано-креча у консолидацији камена је дубина продирања која зависи од врсте растварача, начина апликације, брзине испаравања нанетог консолиданта, као и од физичких карактеристика субстрата (D'Armada and Hirst, 2012; Dei and Salvadori, 2006; Ghaffari et al., 2012; Slížková and Frankeová, 2012; Borsoi et al., 2015).

На основу ових полазних основа, предложена докторска дисертација се базира на следећим основним хипотезама:

- Форме и интензитет распадања кречњака Београдске тврђаве изазвани су интринзичним - петролошким и физичким карактеристика камена (порозност, дистрибуција величине пора и упијање воде) и екстринзичним факторима (атмосферским и микроклиматским факторима, положајем и начином градње објекта, антропогеним утицајем),
- Мапирање типа и категорија оштећења омогућава детерминисање узрока распадања и индекса распадања, као индикатора брзине распадања и ургентности конзерваторског третмана,
- Апликацијом консолиданта на бази нанокреча и алкоксисилана на карбонатни камен може се постићи заустављање даље зрнасте дезинтеграције,
- Апликацијом консолиданта на карбонатни камен може се постићи компатибилност физичка својстава (порозности, упијања воде и изгледа површине) консолидованог и „здравог“ камена,
- Дубина преципитације активне материје у порама камена се може контролисати регулацијом брзине испаравања употребљеног консолиданта,
- Консолидент у форми нанокреча, због своје хемијске природе, има бољу компатибилност са порозним карбонатним субстратом у односу на алкоксилане,
- Разлике у ефективности примене нанокреча у односу на алкоксилане омогућавају дефинисање најефикаснијег средства за консолидацију карбонатних медијума.

Референце споменуте у тексту:

1. Bell, F.G., 1993, Durability of carbonate rock as building stone with comments on its preservation, *Environmental Geology* 21, 187-200.
2. Bilbija, N., Matović, V., 2009, *Primenjena petrografija, svojstva i primene kamena*, drugo dopunjeno izdanje, Građevinska knjiga, Beograd.
3. Borsoi, G., van Hees, R., Lubelli, B., Veiga, R., Santos Silva, A., 2015, Nanolime deposition in Maastricht limestone: back-migration or accumulation at the absorption surface?, y:15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 17-19 June 2015, Delft, The Netherlands, 77-85.
4. Croveri, P., Dei, L., Giorgi, R., Salvadori, B., 2004, Consolidation of globigerina limestone (Malta) by means of inorganic treatments: preliminary results, *Proceedings of 10th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Stockholm (S), vol. 1, 463-470.
5. D'Armada, P., Hirst, E., 2012, Nano-lime for consolidation of plaster and stone, *Journal of architectural conservation*, Vol. 18, Issue 1, 63-80.
6. Dei, L., Salvadori, B., 2006, Nanotechnology in cultural heritage conservation: nanometric slaked lime saves architectonic and artistic surfaces from decay, *Journal of Cultural Heritage* 7, 110-115.
7. Doehne, E., Price, C., 2010, *Stone Conservation: an Overview of Current Research*, 2nd Edition, J. Paul Getty Trust, Los Angeles.
8. Ghaffari, E., Köberle, Th., Weber, J., 2012, Methods of polarising microscopy and SEM to assess the performance of nano-lime consolidants in porous solids, y: 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Columbia University, New York, 22-26 October 2012.
9. Fitzner, B., Heinrichs, K., Kownatzki, R., 1992, Classification and mapping of weathering forms, y: Siegesmund S, Weiss Th N, Vollbrecht A (ed) 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, 957-68.

10. Fitzner, B., Heinrichs, K., Kownatzki, R., 1995, Weathering forms-classification and mapping, y: Verwitterungsformen - Klassifizierung und Kartierung. - Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung I: 41-88, Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 41-88.
11. Fitzner, B., Heinrichs, K., Kownatzki, R., 1997, Weathering forms at natural stone monuments – classification, mapping and evaluation. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 3, No. 2, Stuttgart, 105-124.
12. McCabe, S., Smith, B.J., Warke, P.A., 2007, An holistic approach to the assessment of stone decay: Bonamargy Friary, Northern Ireland, y: Pirikryl R., Smith B J (ed) Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation. Geological Society, London, Special Publications, 271, 77- 86.
13. Natali, I., Saladino, M.L., Andriulo, F., Martino, D. Ch., Caponetti, E., Carretti, E., Dei, L., 2014, Consolidation and protection by nanolime: Recent advances for the conservation of the graffiti, Carceri dello Steri Palermo and of the 18th century lunettes, SS. Giuda e Simone Cloister, Corniola (Empoli), Journal of Cultural Heritage 15, 151–158.
14. Salvadori, B., Dei, L., 2001, Synthesis of Ca(OH)₂ Nanoparticles from Diols, Langmuir 2001, 17, 2371-2374.
15. Scherer, G., Wheeler, G., 2009, Silicate Consolidants for Stone, Key Engineering Materials Vol. 391, 1-25.
16. Siedal, H., Siegsmund, S., Sterflinger K., 2011, Characterisation of Stone Deterioration on Buildings, y: Siegsmund S and Sneathlage R (ed) Stone in Architecture, Properties, Durability, Fourth Edition, Heilderberg, 347-410.
17. Siegsmund, S., Weiss, T., Vollbrecht, A., 2002, Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies: introduction, y: Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies, Geological Society, London, Special Publications, 205, 1-7.
18. Šližková, Z., Frankeová, D., 2012, Consolidation of porous limestone with nanolime laboratory study, y: 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Columbia University, New York, 22-26 October 2012.
19. Smith, B.J., Prikryl, R., 2007, Diagnosing decay: the value of medical analogy in understanding the weathering of building stones, Geological Society, London, Special Publications, 271, 1-8.
20. Svahn, H., 2006, Final Report for the Research and Development Project Non-Destructive Field Tests in Stone Conservation, Literature Study, Rapport från Riksantikvarieämbetet 2006:3, Riksantikvarieämbetet, Stockholm.
21. Wheeler, G., Goins, E. S., 2005, Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone, Research in Conservation, Los Angeles: Getty Conservation Institute, 196.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање ће бити обављено кроз теренски, лабораторијски и кабинетски рад, применом више различитих метода и поступака. Предвиђене су следеће методе истраживања:

- Прикупљање и анализа литературних података и документације везане за подручје истраживања,
- Петрографска анализа карбонатних стена које су обухваћене овим истраживањем (оригинално уграђеног кречњака и кречњака одабраног за експериментална испитивања),
- Мапирање камених фасада применом Фицнеровог модела (дијагностиковање уграђених литотипова на бази аналогije са петрографски идентификованим узорцима уз детаљно одређивање форми, интензитета и категорије распадања камених блокова)
- Scotch type test (STT) (одређивање кохезије површине камена и масе декохерентног материјала оригинално уграђеног кречњака и кречњака за експериментална испитивања пре и након консолидације)
- Калциметрија (одређивање садржаја CaCO₃ оригинално уграђеног кречњака и кречњака за експериментална испитивања)
- Отпорност на Na₂SO₄, SRPS EN 12371:2008 (вештачко симулирање распадања узорака кречњака за експериментална испитивања)

- Мерење упијања воде површине уграђеног камена (Karsten Pipes)
- Запреминска и специфична маса, апсолутна и отворена порозност, SRPS EN 1936:2006 (одређивање физичких карактеристика у циљу дефинисања интринзичних параметара пропадања оргинално уграђеног кречњака и оцену ефективности консолидације)
- Упијање воде, SRPS EN 13755:2009 и капиларно упијање воде, SRPS EN 1925:2009 (одређивање физичких карактеристика у циљу дефинисања интринзичних параметара пропадања оргинално уграђеног кречњака и оцену ефективности консолидације)
- Колориметрија (одређивање промене боје кречњака за експериментална испитивања пре и након консолидације)
- Метода живине порозиметрије (одређивање дистрибуције величине пора, средњег пречника пора, SSA оргинално уграђеног кречњака и кречњака за експериментална испитивања пре и након консолидације)
- Метода скенирајуће електронске микроскопије са енергетско-дисперзивном спектрометријом (SEM-EDS) (одређивање морфологије површине камена, дебљине површинског слоја консолданта и његове прионљивости, одређивање дубине пенетрације консолданта и начина на који испуњава поре)
- ФТИЦ спектроскопија (одређивање дубине пенетрације консолидантна)

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Тема докторске дисертације обухвата истраживање веома актуелне и значајне проблематике у области заштите и очувања интегритета објеката културног наслеђа изграђених од камена. Посебна пажња биће посвећена детаљном изучавању и анализи узрока распадања камена, применом најсавременијих метода испитивања. Дисертацијом се планира детаљно аналитичко проучавање могућности консолидације порозних карбонатних стена што ће пружити, до сада непостојеће информације о ефектима апликације различитих врста консолиданата на камен уграђен у споменике културног наслеђа Србије. На основу постављених циљева и задатака, научни допринос ове докторске дисертације би се огледао у следећим аспектима:

- петролошко мапирање уграђеног камена уз дефинисање минералошких, хемијских и структурних карактеристика уграђених карбонатних стена, као главних интринзичних параметара данашњег стања споменика,
- детаљно мапирање форми и интензитета распадања уграђених камених блокова пружиће оквире за сагледавање узрока распадања камена и издвајање зона максималног деловања екстринзичних и интринзичних фактора разградње,
- егзактно дефинисање категорија оштећења даће могућност квантификације линеарног и прогресивног индекса распадања, одређивање брзине даљег распадања и ургентности конзерваторског поступка,
- испитивање физичких карактеристика камена омогућиће квантификацију примењеног третмана консолидације, а резултати ће указати на егзактне податке о разликама у ефективности примене наноматеријала и алкоксисилана што повећава

степен разумевања апликативности различитих врста консолиданата, посебно примене наноматеријала у конзерваторском поступку,

- квантификовање ефективности третмана консолидације камена уграђеног у Мрачну капију, представљаће прилог решавању проблема рестаурације и конзервације осталих споменике културе Београдске тврђаве изграђених од истих врста карбонатних стена, као и других културних добара у чијој је градњи коришћена ова врста камена,
- примењен иновативни систем мапирања оштећења камених фасада, дефинисање узрока, оквира конзервације и постигнутих ефеката третмана консолидације, представљаће основу за све будуће пројекте заштите споменика културе изграђене од порозних карбонатних материјала.

Резултати ове докторске дисертације, поред научног, имаће и велики практични значај за конзерваторску праксу, јер ће, осим повећања степена разумевања процеса који доводи до пропадања камена, понудити модел за консолидацију карбонатних стена уграђених у објекте Београдске тврђаве, што ће дати допринос успостављању ефикасне методологије конзервације камена који не постоји као нужан и редован процес у досадашњој конзерваторској пракси очувања споменика културе Србије.

Предмет докторске дисертације, осим што је уникатан у досадашњим научним истраживањима, својим резултатима биће од изузетног значаја за научну јавност која се бави геологијом, али и шире. Осим што ће по први пут бити системски приказане детаљне петрофизичке карактеристике карбонатних стена уграђених у Београдску тврђаву и ефекти различитих врста консолиданата, корелацијом резултата консолидације стећи ће се јасан увид о ефективности и компатибилности примене нанотехнологије у консолидацији порозних карбонатних стена у односу на примену етилсиликата. Добијени резултати омогућиће корелацију примењеног третмана консолидације са сличним поступцима и субстратима у објектима културног наслеђа других земаља широм света, на основу чега ће се добити јаснија слика о употреби и ефикасности примене нанотехнологије у заштити градитељског културног наслеђа.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

План истраживања у оквиру ове докторске дисертације обухвата анализу теренски прикупљених података, кабинетски рад као и интерпретацију лабораторијски добијених података применом различитих аналитичких метода. Студијски истраживачки рад је могуће поделити у неколико фаза које су, свака за себе, дефинисане применом одређених метода и специфичним циљевима истраживања:

- Припремна кабинетска истраживања односиће се у првој фази превентивно на прикупљање и обраду литературних података о кречњацима уграђеним у објекте Београдске тврђаве и припрему графичке документације за теренска истраживања.

- Теренска истраживања биће усмерена на мапирање форми и мерење интензитета распадања камених блокова кречњака уграђеног у одабрани споменик културе као и снимање стања осталих објеката изграђених од исте врсте камена; извршиће се прикупљање узорака уграђеног камена као и камених блокова намењених за експериментална истраживања.

- Лабораторијска истраживања - обухватиће испитивања минералошко-петрографског састава стена помоћу поларизационог микроскопа за пропуштену светлост,

испитивања морфологије распаднуте површине пре и после консолидације, испитивање морфологије и величине пора помоћу SEM-а и Hg-порозиметра, као и одређивање хемијског састава (калциметрија). Испитивања ће обухватити и оцену ефективности третмана консолидације на основу ФТИЦ спектроскопије.

- Кабинетска истраживања обухватиће обраду и интерпретацију резултата, израду графичких и осталих прилога и писање докторске дисертације.

Докторску дисертацију би, поред општих саставних елемената, као што су апстракт на српском и енглеском језику, кључне речи, предговор, садржај, списак скраћеница, слика, табела и литературе, чиниле следеће структурне целине: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература*.

У поглављу *Увод* биће представљен предмет истраживања, теоријски оквири, полазне хипотезе и основни циљеви рада. У Уводу ће бити речи о кречњаку као традиционално коришћеном грађевинском материјалу за изградњу културног наслеђа Србије и о значају испитивања морфологије распадања кречњака за успешност конзерваторско-рестаураторских пројеката санације споменика културе.

Теоријски део докторске дисертације обухватаће преглед у литератури приказаних релевантних истраживања везаних за: опште карактеристике кречњака миоценске старости уграђених у објекте Београдске тврђаве, технике мапирања камених фасада споменика, могућности консолидације кречњака, примени етилсиликата и нанокреча у циљу заустављања даљег процеса деградације.

У *Експерименталном делу* ће бити наведени: материјали који ће бити предмет истраживања током израде докторске дисертације; опис технике мапирања примењен на одабраном споменику културе; процедуре лабораторијског испитивања уграђеног материјала, процедуре извођења експерименталног третмана консолидације, методе и услови под којима је извршена консолидација и оцењена њена ефективност.

У поглављу *Резултати и Дискусија* биће приказани и дискутовани експериментални резултати карактеризације неконсолидованих и консолидованих кречњака. Детаљно ће бити приказани резултати мапирања фасада споменика, презентоване форме и интензитет распадања и дефинисани узрочници данашњег стања споменика односно физички и хемијски процеси распадања којима су подвргнути кречњаци уграђени у објекте Београдске тврђаве. Поред детаљне петролошке карактеризације и издвајања структурних типова уграђеног кречњака и кречњака подвргнутих третману консолидације, биће приказане све физичко-механичке карактеристике релевантне за временску трајност камена и од утицаја на процес консолидације.

У поглављу *Дискусија* биће дискутовани експериментални резултати третмана консолидације, поређење са резултатима оствареним у овом пољу и оцена ефективности консолидације кречњака апликацијом етилсиликата и нанокреча.

У *Закључку* ће бити сумирани резултати добијени консолидацијом кречњака са различитим врстама консолиданата уз осврт на њихову иновативност, важност и примену као и предлог плана будућих истраживања.

Литература ће садржати наводе цитиране у дисертацији, као и радове проистекле истраживањем у оквиру ове докторске дисертације.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изложених података о научној заснованости теме за израду докторске дисертације и увида у досадашњи рад и резултате које је остварила кандидаткиња мр Маја Франковић, дипл. сликар-конзерватор, Комисија сматра да је предложена тема

**Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске
тврђаве и могућност консолидације**

научно утемељена, актуелна и значајна не само са научног становишта, већ и са становишта практичне примене, нарочито при истраживању нових врста консолидана намењених за рестаураторско-конзерваторске пројекте санације споменика културе. Комисија је такође констатовала да се ова врста истраживања на предложени начин по први пут примењује у проучавању конзервације камена уграђеног у споменике културне баштине Србије. Део резултата проучавања већ је публикован у међународном часопису са SCI листе и саопштен на научним скуповима. На основу биографских и библиографских података о кандидату, Комисија закључује да кандидат испуњава све услове да ради на предложеној теми докторске дисертације, јер постоје реални услови да у даљем истраживању може успешно реализовати постављене захтеве и добити нове оригиналне резултате.

Тема ове докторске дисертације припада научној области **Геонаука**, ужој научној области **Петрологија**, за које је матичан Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Рударско-геолошког факултета да одобри израду наведене докторске дисертације и да за ментора именује др Весну Матовић, ванредног професора са Универзитета у Београду - Рударско-геолошког факултета који испуњава све законом прописане услове.

У Београду, 07.07.2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. Др Весна Матовић, ванредни професор (ментор)
Универзитета у Београду – Рударско-геолошког факултета

2. Др Виолета Гајић, доцент
Универзитета у Београду – Рударско-геолошког факултета

3. Др Небојша Васић, редовни професор
Универзитета у Београду – Рударско-геолошког факултета

4. Др Сузана Ерић, ванредни професор
Универзитета у Београду – Рударско-геолошког факултета

5. Др Љиљана Дамјановић, ванредни професор
Универзитета у Београду – Факултета за физичку хемију