

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Рударско-геолошки факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Маје Франковић

Одлуком бр. 1/460 од 29.11.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Маје Франковић под насловом

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

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Одлуком Наставно-научног већа бр. 1/346 од 23.06.2016. године, именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидаткиње Маје Франковић, дипл. сликара-конзерватора, магистра уметности, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под предложеним насловом „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације”. Комисија је била у саставу: др Весна Матовић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет – предложени 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.

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 29.09.2016. године усвојило је позитиван Извештај Комисије за оцену

подобности теме кандидаткиње мр Маје Франковић под насловом „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације“ и за ментора именовало др Весну Матовић, ванредног професора.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 31.10.2016. на основу извештаја бр. 1/371 од 07.07.2016, који је дала Комисија именована од стране Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета у Београду, донело је Одлуку којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње мр Маје Франковић под насловом „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације” на Рударско-геолошком факултету (бр. 61206-5158/2-16 од 31.10.2016. године).

Кандидаткиња Маја Франковић, дипл. сликар-конзерватор, магистар уметности, 30.09.2021. године поднела је Молбу за именовање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације”. Катедра за петрологију и геохемију упутила је допис Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета са предлогом чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Весна Матовић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, др Виолета Гајић, ванредни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, др Небојша Васић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду у пензији и др Ивана Царевић, ванредни професор Географског факултета Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 25.11.2021. године именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Маје Франковић, под насловом: „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације” (бр. 1/460 од 29.11.2021. године). Чланови Комисије су потписници овог извештаја.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације”, припада области техничких наука. По предмету истраживања, дисертација припада научној области „Гео-науке”, односно ужој научној области „Петрологија”, за коју је матичан Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Маја Франковић, рођена је 24. 04. 1977. године у Београду где је завршила основну школу и гимназију природно-математичког смера. Основне академске студије уписала је школске 1997/98. године, а дипломирала 2002. године на Академији за уметност и конзервацију при Богословском факултету СПЦ у Београду, одсек Конзервација и рестаурација, 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 укупно пет месеци, током 2002. и 2004. године.

Приправнички стаж је обавила у Народном музеју у Београду 2004. године, када је и положила стручни испит и добила звање конзерватора. У Народном музеју у Београду се запошљава 2005. године, на радном месту конзерватора где ради до 2009. године када прелази у новоосновани Централни институт за конзервацију у Београду. 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. Стручно звање „Конзерватор саветник” стекла је 2018. године, а од фебруара 2021. године поново ради у Народном музеју у Београду.

Као стручни консултант, била је ангажована од стране Завода за заштиту споменика културе града Београда на више пројеката конзервације и рестаурације Београдске тврђаве. Такође је била ангажована и као надзор над конзерваторско-рестаураторским радовима на унутрашњој фасади Краљ капије на Калемегдану (октобар-децембар, 2008). Значајно стручно и научно искуство и резултате постигла је учешћем у преко 25 пројеката конзервације камена и мозаика у земљи и региону, на којима је била одговорни конзерватор или руководилац пројекта.

Најважнији пројекти су:

- Конзервација предмета камене пластике са археолошког локалитета Гамзиград - Felix Romuliana из сталне поставке Народног музеја „Зајечар”, 2021;
- Конзервација мозаика са локалитета Косанчићев венац из Музеја града Београда, 2021;
- Конзервације предмета од камена из лапидаријума Античке збирке Народног музеја Пожаревац, 2012-2020;
- „Конзервација мозаика са представом Медузе са археолошког локалитета Задружни дом, Скелани”, Република Српска, 2015-2017;
- Конзервације предмета од камена из лапидаријума Завичајног музеја у Руми, 2014-2018;
- Конзервација Легата Олге Јеврић, САНУ, 2015;
- Конзервација Легата Олге Јанчић из Куће легата, 2018-2020;
- Конзервација Легата Олге Јеврић из Куће легата, 2019-2020;
- Регионални пројекат „SEE Mosaic”, 2011-данас;
- Истраживачки пројекат „Конзервација Мрачне капије на Доњем граду Београдске тврђаве”, 2016;

- Конзервација-рестаурација предмета камене пластике из Музеја у Пријеполу, 2015-2017;
- Конзервација и рестаурација надгробних споменика средњовековне некрополе Црквине, Побрежје, Прибој, 2014-2015;
- 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 и рестаурација античког мозаика са локалитета *Villa urbana* у Будви” 2014; „Конзервација *in situ* мозаика из куће Фурнија”, Делос, Грчка, 2010. 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 Њу Орлеансу, САД, у организацији Гети института за конзервацију, у периоду 24. – 28. мај 2010.

Учествовала је на бројним научним и стручним конференцијама из области конзервације камена и мозаика у земљи и иностранству на којима је презентовала резултате својих истраживања. Аутор је и коаутор два научна рада публикована у истакнутим међународним часописима на SCI листи, два рада у врхунским часописима националног значаја, десет радова у саопштењима са међународних скупова штампаних у целини и два у изводу. 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 - Павле Савић, 2014-2016.

Кандидаткиња је докторске студије уписала школске 2013/2014. године на студијском програму Геологија Рударско–геолошког факултета, Универзитета у Београду. Сходно интересовањима у вези са темом, кандидаткиња мр Маја Франковић изабрала је и положила предмете који одговарају унапређењу знања за рад на предложеној докторској дисертацији са просечном оценом 9,87.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње мр Маје Франковић, под називом „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације” написана је на 184 стране, формата А4 (фонт: Times New Roman 12, проред: single), садржи 127 илустрација и 24 табеле. Дисертација је подељена на 23 поглавља: 1. Увод (3 стране); 2. Географски положај и историјат Београдске тврђаве (8 страна); 3. Геолошка грађа шире околине Београдске тврђаве (5 страна); 4. Употреба кречњака у градњи Београдске тврђаве (1 страна); 5. Клима Београда (3 стране); 6. Физичко-хемијско распадање камена (8 страна); 7. Форме/облици временског распадања камена (3 стране); 8. Кратак преглед развоја конзервације споменика културе (2 стране); 9. Конзервација камена (5 страна); 10. Консолидација камена (8 страна); 11. Методологија испитивања и аналитичких поступака (22 стране); 12. Петрографске карактеристике кречњака (10 страна); 13. Форме временског распадања уграђених кречњака (18 страна); 14. Физичка својства уграђених и консолидованих кречњака (16 страна); 15. Апсорпција и депоновање консолиданата (4 стране); 16. Површинска декохезија - Scotch Tape Test (3 стране); 17. Механичка својства (11 страна); 18. Микроструктурне карактеристике депонованих консолиданата – SEM анализе (3 стране); 19. Колориметријска својства (1 страна); 20. Дискусија (23 стране); 21. Закључак (3 стране); 22. Списак литературе (22 стране) и 23. Листа коришћених симбола и скраћеница (2 стране). Поред тога, дисертација садржи: Насловну страну на српском и енглеском језику, Страну са подацима о ментору и члановима комисије, Резиме на српском и енглеском језику са кључним речима, Захвалницу, Садржај, Биографију докторанда, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација се бави проблемима физичко-хемијског распадања кречњака баденске старости уграђених у објекте Београдске тврђаве, који се одвијају под синергетским дејством интринзичних и екстринзичних фактора, као и могућностима заустављања декохезије њихових минералних конституената третманима консолидације. За теренско истраживање, као студија случаја, одабрана је Мрачна капија у Доњем граду

Београдске тврђаве, на којој су извршена детаљна петролошка испитивања, испитивања форми и прогресије распадања, а чији резултати су корелисани са другим капијама Београдске тврђаве у циљу дефинисања процеса распадања. Могућност консолидације структурно различитих врста кречњака експериментално је испитана апликацијом неорганских консолиданата (нано-креча и калцијум-ацетоацетата) и консолиданата на бази алкоксисилана.

У поглављу Увод представљени су предмет истраживања, теоријски оквири, полазне хипотезе и основни циљеви докторске дисертације. Истакнут је значај који спровођење свеобухватне студије може да има за успешност конзерваторско-рестаураторских пројеката санације споменика културе, а које обухватају испитивање интринзичних параметара камена, испитивање морфологије његовог распадања и испитивање ефективности примењених консолиданата где се сваки споменик културе третира као јединствен случај.

Поглавља 2-11. припадају општем делу у коме су постављени теоретски оквири истраживања. Друго поглавље се односи на Београдску тврђаву као споменик културе од изузетног значаја, њен положај и историјат. Кроз ово поглавље су истакнуте културно-историјске, као и архитектонске вредности Београдске тврђаве са детаљнијим описом архитектуре, као и приказом историјских реконструкција, санације и рестаурације капија које су биле укључене у истраживање. Посебно је издвојена и подробније описана Мрачна капија која је била предмет студије случаја докторске дисертације. У трећем поглављу је дат преглед геолошке грађе Београда и публиковане литературе о досадашњим истраживањима кречњака баденске старости, а у четвртом преглед доступних литературних података о употреби кречњака у градњи Београдске тврђаве. У петом поглављу су сумиране основне климатске карактеристике за подручје града Београда са издвојеним подацима Републичког хидрометеоролошког завода о кретањима температуре, релативне влажности ваздуха и количини падавина на годишњем и месечном нивоу, као и подацима Агенције за заштиту животне средине о годишњим концентрацијама загађивача ваздуха. Ови параметри представљају екстринзичне факторе распадања кречњака и коришћени су у докторској дисертацији за тумачење механизма распадања кречњака. У поглављима шест и седам, описани су основни процеси распадања кречњака који се одигравају у садејству интринзичних и екстринзичних фактора и објашњене форме распадања које се јављају као њихова последица. Кроз поглавља осам и девет, дат је теоретски оквир конзервације и укратко приказана методологија дијагностификовања стања и конзервације камена са прегледом досадашњих истраживања везаних за методологију дијагностификовања стања техником мапирања која је коришћена у овој докторској дисертацији. У десетом поглављу је детаљније приказан поступак консолидације камена као фундаменталне фазе конзервације којом се успоставља рекохезија минералних конституената, са освртом на две основне групе консолиданата – органске и неорганске. Такође је дат преглед претходних истраживања консолиданата који

су коришћени у овој докторској дисертацији – алкоксисилана, нано-креча и калцијум-ацетоацетата.

Тема докторске дисертације је захтевала комплексну методологију испитивања која је обухватила теренска истраживања, лабораторијска испитивања и кабинетски рад, а која је описана у једанаестом поглављу. Примењене су следеће методе: макроскопска идентификација камена уграђеног у капије Београдске тврђаве, узорковање камена за петрографска и друга експериментална испитивања, мапирање литологије и форми распадања фасада Мрачне капије и корелација са формама распадања кречњака на другим капијама Београдске тврђаве, микроскопска испитивања у поларисаној светлости, комплексометрија, рендгенска дифракција праха (XRPD), одређивање привидне и стварне запреминске масе камена, отворене и укупне порозности, упијања воде камена при атмосферском притиску и капиларног упијања воде камена, одређивање параметара порне структуре живиним порозиметром (MIP), одређивање брзине импулса и ултразвучних еластичних константи, одређивање једнооксијалне чврстоће при притиску, испитивање силе отпора при бушењу, „Scotch tape” тест, спектрофотометрија, експериментални третман консолидације кречњака и скенирајућа електронска микроскопија (SEM). Одређивање физичких, механичких и оптичких својстава кречњака је извршено пре и након третмана консолидације, док је скенирајућа електронска микроскопија (SEM) коришћена за валидацију третмана консолидације.

У поглављима 12-19. приказани су сви добијени резултати теренских и лабораторијских испитивања подељени према врсти коришћених метода. Прво су приказане петрографске и хемијске карактеристике испитиваних кречњака. На основу резултата добијених теренским литолошким мапирањем кречњака у фасадама Београдске тврђаве извршена је макроскопска диференцијација стена према Данхамовој класификацији, док је прецизна литолошка одредба извршена оптичком анализом петрографских препарата уз примену Фолкове класификације. Хемијске карактеристике кречњака су приказане резултатима комплексометрије и рендгенске дифракције праха (XRPD). Затим су приказани резултати мапирања форми распадања и квантитативне евалуације стања површине уграђених каменних блокова Мрачне капије, те извршене корелације са другим капијама Београдске тврђаве. Даље су дати резултати физичких, механичких и оптичких својстава, као и површинске декохезије испитиваних кречњака пре и након третмана консолидације, те резултати апсорпције консолиданата током третмана. На крају су приказани резултати анализе скенирајућом електронском микроскопијом (SEM) којом су одређене микроструктурне карактеристике депонованих консолиданата.

Двадесето поглавље је дискусија која је подељена на два дела, где се у првом делу разматрају процеси физичко-хемијског распадања кречњака, а у другом ефективност аплицираних консолиданата у заустављању декохезије минералних конституената третираних кречњака.

У првом делу разматрани су морфологија деградације на Мрачној капији у односу на литотип, веза између интринзичних и екстринзичних фактора распадања, као и утицај просторне дистрибуције и изложености екстринзичним факторима на интензитет и брзину распадања. Затим су реконструисани механизми распадања кречњака Мрачне капије и описани физички и хемијски процеси распадања којима су подвргнути кречњаци уграђени у објекте Београдске тврђаве, ослањајући се на претходна истраживања у овом пољу.

У другом делу су дискутовани експериментални резултати третмана консолидације базирано на промени физичко-механичких карактеристика релевантних за временску трајност камена и од утицаја на процес консолидације. Оцена ефикасности је извршена поређењем са доступним литературним подацима и компаративном оценом ефикасности консолидације кречњака апликацијом карбонатних консолиданата и алкоксисилана.

У закључку су сумирани процеси физичко-хемијског распадања кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве, уз издвајање најважнијих резултата чијом корелацијом је механизам деградације реконструисан, при чему је истакнут утицај петролошких, хемијских и физичко-механичких својстава на одвијање процеса распадања. Такође су сумирани резултати добијени консолидацијом кречњака различитим врстама консолиданата уз оцену њихове ефикасности са освртом на степен компатибилности са испитиваним кречњацима, уз истицање могућих праваца даљег истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Разматрана докторска дисертација обухвата истраживање веома актуелне и значајне проблематике у области заштите и очувања интегритета објеката културног наслеђа изграђених од камена. Она представља оригинални научно-истраживачки рад из области петрологије седиментних стена и прилог изучавању и анализи узрока и механизма распадања кречњака, применом најсавременијих метода испитивања. По први пут су системски приказане детаљне петролошке и физичко-механичке карактеристике карбонатних стена уграђених у Београдску тврђаву, реконструисан је механизам физичко-хемијских процеса њиховог распадања, квантификована је ефикасност примене различитих врста консолиданата и доказан утицај оптимизације процеса депоновања консолиданта на дубину преципитације активне материје у порама камена.

Аналитичко проучавање могућности консолидације порозних карбонатних стена пружило је, до сада непостојеће, информације о ефектима апликације различитих врста консолиданата на камен уграђен у споменике културног наслеђа Србије.

Примењен свеобухватни систем мапирања оштећења камених фасада, дефинисање узрока распадања, оквира конзервације и постигнутих ефеката третмана консолидације, представља оригиналан и иновативан приступ у решавању научног проблема и основу за све будуће пројекте заштите споменика културе изграђене од порозних карбонатних

материјала. Савременост и оригиналност истраживања приказани у овој докторској дисертацији потврђени су и публикавањем рада у међународном часопису са рецензијом.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације цитиран је 341 литературни навод. Наводи су већином новијег датума, објављени у часописима од међународног значаја и у зборницима радова са међународних конференција посвећених распадању и конзервацији камена. Преглед литературних података омогућио је да се прикажу стање и степен досадашњих достигнућа у испитиваној научној области, као и да се сагледа актуелност проблематике предметне докторске тезе. Кандидаткиња је анализирала обимну литературу која је везана за процесе физичко-хемијског распадања кречњака, документовање и дијагностификовање стања споменика културе, те за консолидацију кречњака што је актуелан правац истраживања последњих деценија. Поред тога, сагледала је литературу која је везана за проучавање геолошке грађе подручја Београда, а дотакла се и литературе везане за валоризацију Београдске тврђаве као споменика културе, климу Београда и теорију конзервације. При изради докторске дисертације користила је и архивску грађу Завода за заштиту споменика културе града Београда. Из пописа литературе која је коришћена у истраживању, као и објављених радова кандидаткиње, може се закључити да на адекватном нивоу познаје област истраживања, као и актуелно стање истраживања у овој области у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У овој докторској дисертацији коришћене су опште и посебне методе истраживања. Од општих научних метода примењене су: индуктивно и дедуктивно закључивање, компарација, анализа и синтеза, апстракција и конкретизација, генерализација и специјализација. Резултати у докторској дисертацији добијени су применом одговарајућих теренских истраживања, експерименталних техника и савремених аналитичких метода, а адекватном анализом и обрадом података приказани су и објашњени резултати.

У циљу идентификације стања карбонатних стена уграђених у објекте Београдске тврђаве, као и дефинисања интензитета и механизма физичко-хемијског распадања, извршена су теренска истраживања: макроскопска идентификација камена уграђеног у капије Београдске тврђаве, узорковање камена за петрографска и друга експериментална испитивања, мапирање литологије и форми распадања фасада Мрачне капије. Лабораторијска испитивања су укључивала низ аналитичких метода којима су извршени одредба петрографских, хемијских, физичких и механичких карактеристика испитиваних кречњака. За одредбу микрофација испитиваних кречњака коришћена је поларизациона микроскопија за пропуштену светлост. Одредба хемијског састава извршена је методом комплексометрије као поузданом и погодном методом за одређивање садржаја главних оксида у карбонатним стенама. Одредба кристалних фаза у узорцима извршена је методом рендгенске дифракције праха (XRPD). Испитивање физичких карактеристика укључило је одређивање привидне и стварне запреминске масе камена, отворене и укупне порозности,

одређивање параметара порне структуре живиним порозиметром, одређивање упијања воде камена при атмосферском притиску и капиларног упијања воде камена. Механичка својства испитиваних кречњака су укључила одређивање брзине импулса и ултразвучних еластичних константи, одређивање једноаксијалне чврстоће при притиску и испитивање силе отпора при бушењу, што је изузетно погодна метода за испитивање чврстоће деградираног камена, као и за праћење депоновања консолиданата по дубини третираног узорка. Квантификација површинске декохезије камена извршена је методом прилагођеном за примену у конзервацији споменика културе - „Scotch tape” тестом, док је степен промене боје након третмана консолидације одређен методом спектрофотометрије. Спроведен је експериментални третман консолидације који је укључио испитивање оптимизације депоновања консолиданта регулацијом брзине испаравања консолиданта. Извршена је валидација третмана консолидације понављањем испитивања физичко-механичких карактеристика након изведеног експеримента и методом скенирајуће електронске микроскопије (SEM).

3.4. Применљивост остварених резултата

Будући да је докторска дисертација кандидаткиње Маје Франковић тематски усмерена на истраживање процеса физичко-хемијског распадања кречњака и могућност њихове консолидације, из угла научно истраживачког приступа петролошкој проблематици и јасно дефинисане аналитичке оријентације према ефикасности конзерваторско-рестаураторских третмана, првенствено избору најкомпатибилнијег консолиданта, применљивост остварених резултата очекивана је на два нивоа – фундаменталном и практичном са високим степеном применљивости и то не само у области геологије, већ и шире.

Основни резултат истраживања на коме се базира докторска дисертација јесте детаљна петролошка и физичко-механичка карактеризација микрофација кречњака уграђених у капије Београдске тврђаве, дефинисање временске постојаности, односно стање камена након вишевековне изложености различитим екстринзичним факторима деградације камена. Детаљним мапирањем форми и интензитета распадања уграђених кречњака извршена је категоризација степена оштећења применом савремене методологије мапирања споменика културе.

Детаљним мапирањем фасада Мрачне капије дефинисани су индекси распадања и утврђени извори и правци миграције воде као главног узрочника актуелног стања испитиваног споменика културе. Појединачно и збирно анализирање интринзичних и екстринзичних фактора распадања резултирало је успостављањем модела физичких и хемијских процеса распадања који су се одиграли у уграђеном камену. Идентификовани и окарактерисани модели деградације по први пут су представљени као нужна генеративна основа за развој пројекта консолидације споменика изграђеног од камена. Истраживање је резултирало продубљивањем сазнања о начинима на који сплетови најразличитијих фактора доприносе разградњи камена и усмеравању процеса деградације, што доприноси

бољем разумевању синергетске сложености процеса физичко-хемијског распадања и значаја индивидуалног истраживања сваког појединачног споменика културе.

Битно поље применљивости остварених резултата истраживања огледа се у пројектованим третманима консолидације са алкоксиланима и консолидантима на бази нано-креча и калцијум-ацетоацетата, те различитим техникама апликације реализованим у оквиру Дисертације. Засновано на детаљном истраживању, систематичној и критичкој анализи различитих видова методологија и остварених резултата на пољу консолидације камена из бројних релевантних научних студија, а држећи се утврђених интринзичних карактеристика супстрата, успостављена је јасна процедура целокупног процеса консолидације кречњака уз истицање релевантних фактора у појединачним фазама третмана. Предметно истраживање пружа непосредан увид у сложеност конзерваторских техника и потврђује јасну и нераскидиву везу теоријског и практичног плана деловања као нужног за добијање валидног и ефективног третмана.

Допринос истраживања на практичном плану представља корелација резултата консолидације чиме је стечен јасан увид у ефективност и компатибилност примене карбонатних консолиданата у консолидацији порозних карбонатних стена у односу на примену алкоксисилана. То представља прилог решавању проблема конзервације и рестаурације осталих споменика културе Београдске тврђаве изграђених од истих врста карбонатних стена, као и других културних добара у чијој је градњи коришћена ова врста камена. Добијени резултати такође омогућавају корелацију примењених третмана консолидације са сличним поступцима и супстратима у објектима културног наслеђа других земаља широм света, на онову чега се добија јаснија слика о употреби и ефикасности консолиданата у заштити градитељског културног наслеђа.

Будући да резултати истраживања доприносе разумевању ужег и ширег контекста конзервације и заштите споменика културе изграђених од камена, те и могућност симултаног деловања и сагледавања сложености физичко-хемијских процеса деградације на микро и макро нивоу, открива се и посебан вид практичне применљивости резултата истраживања. Ненаметљивим истицањем интердисциплинарности у истраживачким пројектима овог типа, резултати дисертације представљају методолошко–интерпретативни поступак који расветљава све сложености и међуусловљености аспеката проучавања геолошких, петролошких и техничких карактеристика камена, потом пројектовање и апликацију свих фаза конзерваторско-рестаураторских процеса са јединственим пројектантским циљем – постизање компатибилности и дуготрајности.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У току докторских студија кандидаткиња Маја Франковић, је остварила способност за самосталан научноистраживачки рад кроз полагање испита, публикавање научних радова, учешћа на најзначајнијим међународним конференцијама из области деградације и конзервације камена релевантних за израду докторске дисертације где је презентовала

результате својих истраживања. Адекватним дефинисањем теме, предмета и проблематике истраживања, кандидаткиња је развила сложен, специфичан, аналитичко-методолошки поступак који је омогућио проверу постављених научних хипотеза и њихову потврду. Током израде докторске дисертације, кандидаткиња је показала самосталност, систематичност и стручност у сагледавању проблема истраживања и потребну вештину владања различитим методама научног истраживања и повезивања знања. Посебно се истакла у способности критичке анализе и систематизације кључних концепата и информација из литературе, усвајања знања из исте, постављања адекватних истраживачких хипотеза, припреми и спровођењу експеримената консолидације, примени савремених метода третмана, али и самосталног развоја истих. Након спроведеног истраживања, показала је умешност у систематичној и критичкој анализи добијених резултата истраживања уз препознавање и јасно дефинисање могућих праваца даљег истраживања.

Кандидаткиња је у свим фазама Дисертације, од свеобухватног постављања концепта истраживања, преко издвајања, обраде, примене и систематизације добијених сазнања, до интерпретације резултата – извођењем релевантних научних закључака у оквирима постављене теме, показала да влада знањима везаним за област истраживања и методама научног рада. Осим тога, кандидаткиња је својим радом на Дисертацији и способношћу препознавања кључног проблема, вештином одабира, надградње и примене адекватне научне методологије, и напослетку – способношћу интерпретације добијених сазнања у циљу извођења релевантних закључака, успешно и квалитетно одговорила на све циљеве постављене у предлогу за израду ове дисертације. То указује на њену способност да објективно и у целини сагледа истраживачки процес и услове потребне за реализацију овог процеса.

Увидом у целокупан рад изложен у докторској дисертацији и на основу научно-истраживачких резултата, Комисија закључује да кандидаткиња Маја Франковић поседује неопходна знања и способности за успешан самосталан научно-истраживачки рад, и да ће на тај начин допринети развоју савремене теорије и праксе у области деградације, конзервације и заштите камена уграђеног у споменике културног наслеђа Србије.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације” кандидаткиње Маје Франковић – примарно доприноси развоју научне области Геологија, у ужој области Петрологија. Основни научни доприноси које је кандидаткиња остварила огледају се у оригиналности, сложеној методолошкој поставци истраживања и јасно профилисаном начину интерпретације резултата.

Значајан научни допринос ове докторске дисертације огледа се у следећем:

- Потврђено је да су за градњу Београдске тврђаве доминантно коришћени аутохтони кречњаци баденске старости; према хемијском саставу најзаступљенији су чисти кречњаци, уз мањи удео нечистих и ретко присуство доломитских кречњака, а према структурним карактеристикама издвојене су три доминантне микрофације: готово подједнако заступљени *grainstone* и *algalni rudstone*, уз спорадичну употребу нечистог *rudstone*.

- Кречњаци су категорисани према физичко-механичким својствима као средње тешке, екстремно порозне стене, великог упијања воде, са значајним учешћем капиларних пора, великом способношћу капиларне апсорпције воде, веома ниском брзином простирања ултразвучних таласа и врло ниске до ниске чврстоће на притисак.

- Установљено је да интринзични фактори, петрографски и хемијски састав и физичко-механичка својства, чине уграђене микрофације кречњака подједнако осетљивим на физичко-хемијске процесе распадања, а да се интензитет оштећености уграђених кречњака најпре може повезати са њиховом просторном дистрибуцијом, односно изложеношћу екстринзичним факторима распадања.

- Екстринзични фактори издвојени као доминантни у процесима распадања су: присуство воде, атмосферске, али посебно воде која се процеђује из бедема и земљаних насипа тврђаве и која носи анјоне и катјоне који могу кристалисати као различите минералне фазе растворљивих соли; температурне промене; аерозагађивачи (посебно високе концентрације SO_2 у прошлости и данашње концентрације PM_{10} и $PM_{2,5}$ честица); изложеност кречњака високим температурама услед пожара током историје.

- Примењен иновативни систем корелације идентификованих екстринзичних фактора распадања са литолошким мапама, просторном дистрибуцијом форми распадања и њиховим интензитетима, те линеарним и прогресивним индексом у односу на оријентацију и у временском интервалу од седам година, омогућио је реконструкцију механизма распадања кречњака на Мрачној капији.

- Као главни процеси физичко-хемијског распадања кречњака Београдске тврђаве издвојени су: хемијско-растварачко деловање воде/влаге, циклично влажење/сушење, механичко деловање воде/леда, механичко деловање соли, хемијске и механичке промене услед високих температура изазваних ватром и локално деловање биолошке колонизације.

- Први пут је у Србији извршена квантификација степена промене физичко-механичких карактеристика кречњака након третмана консолидације и добијени су егзактни подаци о разликама у ефективности примене карбонатних консолиданата и алкоксисилана што повећава степен разумевања апликативности различитих врста консолиданата, посебно примене карбонатних консолиданата и наноматеријала у конзерваторском поступку.

- Доказан је позитиван ефекат оптимизације процеса депоновања консолиданта, односно регулације брзине испаравања аплицираног консолиданта прекривањем површине евапорације различитим врстама баријера на дубину преципитације активне материје у порамма камена, где ефективност поступка зависи, како од врсте консолиданта, тако и од петролошких и физичких својстава третираног литотипа.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем резултата предочене анализе докторске дисертације кандидаткиње Маје Франковић, Комисија истиче да је у предметном раду примењено више научно заснованих метода истраживања. Полазећи од анализе садржаја и систематизације теоријских полазишта и оквира у области петролошких и физичких карактеристика кречњака у релацији са процесима физичко-хемијског распадања, те савремених достигнућа у области конзервације камена, образован је оквир методолошки сложеног и експериментално аналитичког научног истраживања са примењеним елементима логичке и техничке анализе и синтезе резултата добијених истраживањем Мрачне капије као студије случаја.

Сумарном оценом циљева и постављених хипотеза у односу на добијене резултате може се констатовати да приказана истраживања у потпуности задовољавају критеријуме једне докторске дисертације. Комисија утврђује да остварени научни доприноси представљају унапређење постојећих научних и практичних сазнања и теорија у погледу разумевања сложености процеса физичко-хемијске деградације камених споменика културе, посебно у условима изложености агресивним чиниоцима урбане београдске средине, пружајући увиде и могућности правилног конзерваторског сагледавања и вредновања процеса успоравања и заштите од даљег пропадања кроз правилно пројектован третман консолидације. На тај начин, осим фундаменталног, ова докторска дисертација има и практични значај, јер пружа могућност примене третмана консолидације и на друге споменике културног наслеђа Србије изграђене од кречњака са истим или сличним петролошким својствима.

Комисија истиче да се иновативност предметне Дисертације огледа, у предложеном методолошко-интерпретативном поступку изведеног истраживања, заснованом на научној аргументацији и сложеном поступку логичног повезивања теоријских и практичних знања у домену консолидације камена, те прецизном позиционирању остварених резултата у односу на нове концепте примене нано-карбонатних консолиданта. Резултати истраживања представљају јединствен научни допринос петролошком истраживачком контексту у домену методологије и пројектовања заштите камена уграђеног у објекте културног наслеђа. Избором и обимом коришћене литературе, као и избором теме, те иновативним посматрањем мултидисциплинарности и сложености правилне поставке конзерваторско-рестаураторског поступка у оквирима индивидуалности и јединствености споменика од камена, а узимајући у обзир вишеструко потврђене истраживачке компетенције кандидаткиње, Комисија износи став да су коришћене методе у складу са

савременим методама и да су резултати ове докторске дисертације значајни са научног аспекта у оквирима интернационалног истраживачког контекста.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос и резултати истраживања добијени током израде ове дисертације верификовани су у једном раду који је објављен у међународном часопису, са докторандом као првопотписаним. Докторанд је резултате добијене у овој докторској дисертацији представио и на три међународне конференције.

Радови кандидаткиње Маје Франковић који су директно везани за докторску дисертацију:

M22 - Rad у истакнутом међународном часопису

1. Franković, M., Novaković, N., Matović, V., 2014, 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

2. Franković, M., Novaković, N., Erić, S., Vulić, P., Matović, V. (2017): Investigation of Salts Sources at the Karadjordje's Gate on the Belgrade Fortress, in Laue, S. (ed.), Proceedings of the SWBSS 2017 Fourth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures, 20 – 22 September 2017 – Potsdam, pp. 252-260.

3. Alonso, J., Franković, M. (2016): Preliminary Studies in Using Lime with Additives as a Substitute for Resins as Adhesives in Stone Conservation, in: Hughes, J., Howind, Th., (eds.), Science and Art: a Future for Stone, Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, 6th to 10th September 2016, Paisley, Scotland, University of the West of Scotland, Paisley, pp. 663-670.

4. Franković, M., Matović, V. (2014): Tehnika mapiranja kamenih fasada, u: 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, pp. 461-476.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње Маје Франковић, дипл. сликара-конзерватора, магистра уметности, под називом „Физичко-хемијско распадање кречњака уграђених у објекте Београдске тврђаве и могућност консолидације”, представља научни рад из уже научне области Петрологија. Овом дисертацијом кандидаткиња је значајно допринела познавању петролошких и физичко-механичких карактеристика и механизма физичко-

хемијских процеса распадања уграђених микрофација кречњака, могућности рекохезије минералних конституената третманима консолидације, оцени ефективности консолиданата и доказала утицај оптимизације процеса депоновања консолиданта на дубину преципитације активне материје у порамма камена. Резултати дисертације су актуелни и занимљиви пре свега са научног становишта, али и са становишта потенцијалне примене будући да је успостављана ефикасна дијагностика и методологија у пољу конзервације камена као нужан процес у конзерваторској пракси очувања споменика културе Србије. Током израде ове докторске дисертације докторанд је резултате публиковао у 1 раду објављеном у истакнутом међународном часопису (категорија М22) и у три саопштења на међународним конференцијама (категорија М33).

Анализирајући докторску дисертацију кандидаткиње Маје Франковић, Комисија је закључила да она представља значајан и оригинални научни допринос области геологије и петрологије, да је у свему израђена у складу са стандардима научно-истраживачког рада и важећим прописима, те стога предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета да овај извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и овај извештај упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду ради коначног усвајања, након чега би се приступило усменој одбрани дисертације пред комисијом у истом саставу.

У Београду, 13. 12. 2021. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Весна Матовић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Виолета Гајић, ванредни професор, члан
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Небојша Васић, редовни професор у пензији, члан
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Ивана Царевић, ванредни професор, члан
Универзитет у Београду, Географски факултет