

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат **Снежана Вучетић**, дипл.инж.

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>	
1.	Датум и орган који је именовео комисију 24.02.2017. године, Наставно-научно веће Технолошког факултета Нови Сад, Универзитет у Новом Саду
2.	Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:  <b>Др Ева Лончар</b> , редовни професор, аналитичка хемија, 11.01.2002., Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду, председник  <b>Др Јоњауа Раногајец</b> , редовни професор, инжењерство материјала, 19.11.1996., Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду, ментор  <b>Др Сениша Марков</b> , редовни професор, биотехнологија, 15.10.2012., Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду, члан  <b>Др Бранка Пилић</b> , редовни професор, инжењерство материјала, 01.10.2016., Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду, члан  <b>Др Андријана Север-Шкапин</b> , доцент, општа хемија, 18.05.2012., <i>University of Ljubljana, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Ljubljana, Slovenija</i> , члан
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>	
1.	Име, име једног родитеља, презиме: <b>Снежана, Борислав, Вучетић (рођ. Петровић)</b>
2.	Датум рођења, општина, држава: 22.01.1983. Нови Сад, Србија
3.	Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Технолошки факултет, Неорганске технологије и материјали, Дипломирани инжењер технологије
4.	Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2007. година, хемијско-технолошке науке
5.	Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -
6.	Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -

### III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

#### Процеси деградације и заштите материјала непокретног културног наслеђа

### IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација се састоји се из 9 поглавља написаних на 157 страница, са 42 табеле и 64 слике. Кључна документација са изводом на српском и енглеском језику дата је на почетку докторске дисертације.

Списак поглавља:

1. Увод (стр. 1-2)
2. Задачи и циљ истраживања (стр. 3)
3. Теоријски део (стр. 4-46, 3 потпоглавља, 20 слика, 9 табела)
4. Експериментални део (стр. 47-66, 5 потпоглавља, 13 слика, 3 табела)
5. Резултати и дискусија (стр. 67-117, 5 потпоглавља, 22 слике, 30 табела)
6. Интегрална дискусија (стр. 118-120)
7. Закључци (стр. 121-122)
8. Литература (стр. 121-128)
9. Прилози (стр. 129-151)

### V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У **Уводном делу** докторске дисертације објашњена је неопходност холистичког приступа истраживању материјала у области културног наслеђа. Истакнуто је да опште прихваћени принцип одговорне и одрживе заштите објеката културног наслеђа треба да је базиран на употреби научних метода и раду у мултидисциплинарним и интердисциплинарним тимовима. Обзиром да сваки објекат културног наслеђа представља случај за себе, у уводном делу указано је на потребу развоја нових материјала специфичних особина које одговарају објекту који је у процесу санације/заштите.

У поглављу **Задачи и циљ истраживања** приказани су основни циљеви дисертације и постављена је методологија проучавања деградације и заштите материјала непокретног културног наслеђа. Као циљеви наведени су следећи: поставка методологије испитивања оригиналних историјских материјала, симулација процеса деградације на лабораторијски припремљеним модел супстратима, као и развој нових материјала који имају функцију чишћења деградираних структура. Као крајњи циљ истраживања приказаних у дисертацији дефинисано је формирање вештачких неуронских мрежа које би послужиле у развоју будућих материјала за десалинацију и процену ефикасности примене новопроектованих система у реалним условима. У овом поглављу истакнута је и разлика између до сада развијених материјала у области чишћења објеката непокретног културног наслеђа и материјала развијених и примењених у оквиру докторске дисертације. У овој докторској дисертацији пројектовани су биоактивни системи који представљају новину у односу на доступна истраживања јер се као носачи одабране бактеријске културе користе глинене пулпе које самостално показују одређени ниво ефикасности у погледу десалинације.

**Теоријски део** докторске дисертације обухвата теоријске основе у три потпоглавља (подцелина) који се баве деградацијом материјала дејством растворљивих соли, поступцима санације (редукције) штетног дејства растворљивих соли и употребом вештачких неуронских мрежа у анализи експерименталних података. У првом потпоглављу, на основу досадашњих истраживања, дата је анализа механизма деградације дејством растворљивих соли преко притисака хидратације и кристализације растворљивих соли. Поред механизма деградације у овом потпоглављу дат је приказ утицаја природе соли и могућност употребе дијаграма стања у предвиђању њихове кристализације. Након наведене детаљне анализе могућих механизма деградације дејством растворљивих соли у раду су описани до сада постојећи начини санације. Узимајући у обзир методе описане у доступној литератури, у оквиру овог потпоглавља детаљно је описана употреба пулпи и биочишћења – поступци санације на којима је базирана докторска дисертација. Прегледом постојеће литературе утврђено је да се у доступним истраживањима, базираним на биочишћењу, носачи искључиво посматрају као подршка микроорганизмима и да се њихова самостална ефикасност не анализира. Кроз литературни преглед дат у овом потпоглављу предходно постављени циљеви дисертације су нашли своју оправданост, а идеја да се као носачи бактериолошких култура употребе глинене пулпе, које већ поседују средњу ефикасност

десалинације, означена је као новина у односу на доступна истраживања.

**Експериментални део** докторске дисертације обухвата опис материјала и методе који су коришћени у експерименталним испитивањима. У оквиру овог поглавља дат је шематски приказ 5 фаза експерименталног рада на докторској дисертацији: 1. поступци узорковања и испитивања историјских материјала Тврђаве Бач; 2. припрема лабораторијских модела опека, њихово старење и методологија паралелне карактеризације са историјским опекама; 3. развој, испитивање и примена нових биоактивних система са функцијом чишћења растворљивих соли у лабораторијским условима; 4. употреба вештачких неуронских мрежа у обради експерименталних података и 5. примена и испитивање ефикасности одабраног биоактивног система у реалним условима на зидинама Тврђаве Бач.

У поглављу **Резултати и дискусија** су приказани резултати до којих се дошло у овој докторској дисертацији. Резултати су прегледно дати у табелама, приказани на сликама и образложени на методолошки разумљив и прегледан начин. Приказ резултата прати задате циљеве истраживања у оквиру докторске дисертације и састоји се из 5 потпоглавља:

- У потпоглављу **Дијагностика стања Средњевековне тврђаве Бач** приказани су резултати затеченог стања из различитих периода испитивања историјских материјала Тврђаве Бач (2014. и 2015. год). У овом потпоглављу дати су резултати хемијско-минералošких и текстуалних испитивања конститутивних елемената северо-источног бедема Тврђаве Бач (малтери и опеке), испитивања присуства растворљивих соли и идентификовани су узроци, механизми и последице деградације материјала Средњевековне Тврђаве Бач. Резултати приказани у овом потпоглављу проистекли су из мултидисциплинарне сарадње са Покрајинским заводом за заштиту споменика културе, Петроварадин. У питању су делови који се односе на узорковање и визуелну инспекцију затеченог стања (мапирање утврђених оштећења).

- У оквиру потпоглавља **Карактеризација припремљених модел супстрата и историјских опека**, а на основу резултата дијагностике стања, постављени су процесни параметри (режими сушења и термичког третмана печења испројектованих сировинских састава) производње модел супстрата и методологија њиховог старења. Након сваке примењене методе старења урађена је паралелна карактеризација са историјским опекама и утврђено да модели припремљени контаминацијом нитратним солима по својим карактеристикама одговарају оригиналним историјским опекама те су у наредној фази дисертације употребљени као модели за праћење ефикасности развијених система.

- У потпоглављу **Пројектовање и примена биоактивних система** приказани су резултати пројектовања десалинационих биоактивних материјала који представљају комбинацију новопројектованих глинених пулпи и референтне бактеријске суспензије *Pseudomonas stutzeri* ATCC 17588. Приказани резултати указали су на чињеницу да новопројектоване глинене пулпе имају функцију носача и да испољавају одређен степен ефикасности обезбеђујући адвекционо кретање растворљивих соли у жељеном правцу (од супстрата ка пулпи). Глинене пулпе су пројектоване на бази домаћих, јефтених индустријских сировина и лаког агрегата. Пројектовано је једанаест система, од којих су се издвојила два чија је расподела величина пора у односу на контаминиране моделе одговарала адвекционом механизму десалинације и они су даље употребљени за пројектовање биоактивних система. У оквиру овог потпоглавља дата су испитивања вијабилности ћелија *Pseudomonas stutzeri* у формираним биоактивним системима, њихова примена и испитивања ефикасности десалинације, испитивања активности воде биоактивних система и модела опека током примене пројектованих биоактивних система. Након примене биоактивних система испитан је утицај њихове примене на визуелне карактеристике као основног критеријума компатибилности, као и дубина пенетрације ћелија чији унос се одиграва у фази навлаживања када одабране глинене пулпе предају влагу моделима. Како би се одредила дубина модела на којој су присутне ћелије бактеријске културе, у оквиру ове дисертације постављена је нова метода у којој се присуство ћелија у моделу прати на основу присуства „маркер елемента“ унетог у ћелије бактеријске културе пре примене биоактивних система.

- У оквиру потпоглавља **Математичка обрада експерименталних података** приказано је дизајнирање програмског алгорита употребом програмског пакета *MATLAB*, фирме *MathWorks* и одабир вештачке неуронске мреже која је показала најбоље слагање. Дат је је степен

детерминације и архитектура ове вештачке неуронске мреже која је даље коришћена за оптимизацију. У овом потпоглављу приказан је утицај улазних параметара (вијабилност ћелија бактеријске културе, дубине модела, времена трајања апликације развијених система и разлике у порозности модела и новоразвијених биоактивних система) на излазни параметар- ефикасност, те је одређено који од улазних параметара има највећи утицај на процес десалинације.

- У потпоглављу **Примена новопројектованих биоактивних система у реалним условима** приказани су резултати последње фазе експерименталног поступка дисертације који су везани за примену биоактивног система у реалним условима на северо-источном бедуму Тврђаве Бач. Приказани резултати представљају испитивање ефикасности десалинације у реалним условима за одабрани биоактивни систем уз варијацију начина апликације. У овом потпоглављу приказани су резултати ефикасности десалинације добијени испитивањем присуства јона растворљивих соли пре и након примене биоактивног система развијеног у оквиру дисертације.

У поглављу **Интегрална дискусија** сумарно је приказана дискусија свих добијених резултата са критичким освртом на истраживања приказана у доступним публикацијама. У овом поглављу истакнут је значај постављене методологије и разлика између материјала који су пројектовани у овом раду у односу на материјале развијане у доступним публикацијама. Поред наведеног, истакнут је значај новоразвијене методе за праћење уноса бактеријских ћелија у модела опека у току фазе навлаживања као почетне фазе десалинације и изложено је да у доступним публикацијама није могуће констатовати примену сличне методе.

У поглављу **Закључци** налазе се сумирани резултати који су проистекли из истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације. Сви закључци наведени у оквиру дисертације су утемељени на приказаним резултатима .

**Литература** садржи 79 литературна навода, који су коришћени током израде докторске дисертације. Избор литературе је актуелан и значајан за област истраживања која је проучавана у оквиру докторске дисертације.

У **Прилогу** су дати резултати испитивања садржаја растворљивих соли, као и важни историјски подаци , подаци о конзерваторским радовима и археолошким испитивањима Тврђаве Бач. Поред наведеног, у виду прилога дата је и табела експерименталних података употребљена за програмирање алгорита вештачких неуронских мрежа.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

### **M21 – Рад у врхунском међународном часопису**

1. Вучетић С., Раногајец Ј., Марков С., Видаковић А., Хиршенбергер Х., Бера О., Development and modeling of the effective bioactive poultices for reducing the nitrate content in building materials, *Construction and building materials*, 142, 506-513,2017.

### **M23 – Рад у истакнутом међународном часопису**

1. Крамар С., Дуцман В., Вучетић С., Велкавр Е., Радека М., Раногајец Ј., Characterization of the substrates from two cultural-heritage sites and preparation of model substrates, *Materiali in Tehnologije*, 48( 4), 505-508, 2014,УДК 691:620.1, ISBN 1580-2949

### **M52 – Рад у часопису националног значаја**

1. Вучетић С., Вујовић С., Чјепа Д., Рудић О., Дуцман В.,Раногајец Ј., Припрема модел супстрата као основе за примену нових мултифункционалних материјала, *Изградња*, 68(9-10), 39-44, 2014.

#### **М34 - Саопштење са међународног скупа штампано у изводу**

1. **Вучетић С.**, Раногајец Ј., Марков С., Видаковић А., Хиршенбергер Х., Пашалић С., Novel desalination biocleaning systems for the reduction of nitrate salts in building materials, American Advanced Materials Congress, 04– 09.12. 2016 Royal Caribbean Cruise Ship, Miami, USA.
2. **Вучетић С.**, Раногајец Ј., Лончар Е., Рудић О., Марков С., Видаковић А., Environmental impact on the degradation processes of the bricks and mortars: Case study of the Bač fortress, International Congress on Chemistry for Cultural Heritage, СЕМСН, Већ, 2014
3. Чјепа Д., **Вучетић С.**, Рудић О., Пашалић С., Вујовић С., Раногајец Ј., FTIR/DRIFT contactless measurement of salt crystallization phenomena, Serbian Ceramic Society Conference „Advanced Ceramics and Application III“, Sep 29-Oct 1 2014, Belgrade, 2014.

#### **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

У оквиру докторске дисертације приказан је свеобухватан приступ проучавању објеката културног наслеђа од дијагностике стања, припреме, старења и карактеризације лабораторијских модела, до развоја нових десалинационих материјала уз приказ њихове примене у лабораторијским и реалним условима на примеру Тврђаве Бач. Добијени резултати могу се сумирати кроз следеће закључке:

- Деградација северо-источног бедема средњеовековне Тврђаве Бач представља критично место зиданих структура у погледу деградације оригиналних материјала. На овом делу Тврђаве присутно је фрагментационо одвајање материјала, спрашивање опека и малтера, присуство виших биљака и кратерни дефекти (оштећење IV односно највишег степена). У свим зонама узорковања закључено је да су критичне тачке пропадања материјала уграђеног у бедем Тврђаве недовољно печене структуре опека и присуство илитских глина у темељној зони Тврђаве.
- На основу дијагностике стања оригиналних материјала, у лабораторијским условима су произведени и остарени модел супстрата опека. Компаративном карактеризацијом припремљених/остарених модел супстрата и историјских опека утврђено је да пројектовани модели имају идентичне минералашке карактеристике. Након примењеног поступка контаминације нитратним солима, добијени су модели опека који поседују приближне вредности укупне порозности као оригиналне историјске опеке, а поступак контаминације спроведен је тако да концентрација нитрата у моделима одговара максималној концентрацији нитрата идентификованој у историјским опекама.
- У циљу заштите деградираних структура Тврђаве Бач, развијени су десалинациони биоактивни материјали који представљају комбинацију новопројектованих глиненых пулпи и бактеријске суспензије *Pseudomonas stutzeri*. У односу на доступна истраживања, развијени биоактивни системи представљају новину јер функцију носача имају глинене пулпе које и саме испољавају одређен степен ефикасности обезбеђујући адвекционо кретање растворљивих соли у жељеном правцу (од супстрата ка пулпи).
- Глинене пулпе су пројектоване на бази домаћих, јефтиних индустријских сировина и лаког агрегата (предходно произведеног у лабораторијама на Технолошком факултету). Припремљено је једанаест система, од којих су се издвојила два чија је расподела величина пора у односу на контаминиране моделе одговарала адвекционом механизму десалинације: Пулпа П7 (Каолин:Песак:Лаки агрегат=1:1:1) и Пулпа П11 (Каолин:Талк:Песак =1:1:2). Пројектоване пулпе су показале средњу вредност ефикасности десалинације на дубинама модела од 2 и 10 mm и малу ефикасност на дубини од 20 mm (попречни пресек).
- Употреба суспензије референтног *Pseudomonas stutzeri* (директно нанета или умешана у пројектоване пулпе) довела је до значајног повећања капацитета чишћења развијених пулпи и до формирања биоактивних система високе ефикасности за процес десалинације нитратних соли. Наиме, након примене развијених биоактивних система на моделима опека на свим испитиваним дубинама модела (тростепена примена, интервал примене свака три дана), постигнута је изразито висока (90-100%) или висока ефикасност (75-90%).
- За утврђивање уноса хелија у поре супстрата, тј пенетрације хелија бактеријске културе развијена је метода за праћење дубине пенетрације хелија испитивањем садржаја лантана

унетог у ћелије бактеријске културе пре примене биоактивних система. Доказано је да пенетрација ћелија бактерија има утицај на ефикасност десалинације на већим дубинама модела (20 mm), у фази навлаживања (3h примене).

- Поред високе ефикасности пројектованих биоактивних система, мерењем стања површине модела пре и након њихове примене, доказано је да нема визуелних промена, што је веома значајно са аспекта компатибилности и примене у реалним условима.
- На основу свих експерименталних података добијених у оквиру лабораторијских истраживања развијен је алгоритам (Математичко моделовање вештачких неуронских мрежа). Применом одабране мреже, констатовано је да на вредност ефикасности десалинације највише утиче дубина модела, затим расподела величина пора десалинационих система и супстрата, а тек потом време трајања примене и вијабилност микроорганизама. У будућим истраживањима, фиксирањем жељене ефикасности, математички модел би се могао употребити и за процену параметара примене развијених система на друге супstrate чија је порозност позната. На овај начин скратило би се време пројектовања десалинационих система.
- У реалним условима на северо-источном бедуу Тврђаве Бач примењен је најефикаснији новоразвијени биоактивни систем у којем је суспензија рефрентног *Pseudomonas stutzeri* предходно умешана у пулпу П7 (П7МУ), варијацијом процедура наношења (једностепене, двостепене и тростепене примене). Овај систем показао је позитивне перформансе у реалним условима примене те потврдио резултате лабораторијских истраживања.

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидаткиња **Снежана Вучетић** је успешно и у потпуности спровела истраживања која су била предвиђена планом датим у пријави ове докторске дисертације. Кандидаткиња је у односу на план предвиђен пријавом, урадила и више него што је планирано обзиром да су новоразвијени биоактивни материјали примењени у реалним условима, те да је њихова ефикасност потврђена и ван лабораторијског нивоа испитивања. Сви приказани резултати испитивања су јасно и прегледно изложени и интерпретирани. Израчунате вредности су приказане систематично, а сви изнети закључци су изведени доследним тумачењем резултата.

#### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме  
**Да. Дисертација је написана у потпуности у складу са образложењем наведеним у Пријави теме.**
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
**Да. Докторска дисертација садржи све битне теоријске, методолошке и остале елементе који се захтевају за радове ове врсте.**
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Дисертација даје свеобухватан и оригиналан приступ проучавању објеката културног наслеђа, од дијагностике стања, припреме, старења и карактеризације лабораторијских модела, до развоја нових материјала са функцијом чишћења, и њихове примене у лабораторијским и реалним условима (Тврђава Бач). У раду су пројектоване десалинационе пулпе са идејом да се употребе као носачи бактеријске културе уз услов да и самостално показују одређене вредности ефикасности десалинације. Идеја да се као носачи бактеријских култура употребе глинене пулпе које већ поседују средњу ефикасност десалинације представља новину у односу на доступна истраживања. Поред наведеног, развијена је метода за праћење дубине пенетрације ћелија утврђивањем присуства и садржаја лантана унетог у ћелије бактеријске културе. Примена новопроектваних система није остала само на лабораторијском нивоу већ су материјали пројектовани у оквиру дисертације нашли своју примену у реалним условима, на зидинама Тврђаве Бач. У дисертацији је

показано да развијени биоактивни систем у реалним условима примене показује више позитивних перформанси у односу на очекивања базирана на лабораторијским истраживањима. Поред функције за коју је биоактивни систем развијен (чишћење нитратних соли), испитивања ефикасности указала су да овај материјал утиче и на уклањање хлоридних јона.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања  
**Нису уочени недостатци у овој докторској дисертацији.**

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију дипл. инж. Снежане Вучетић, под насловом „Процеси деградације и заштите материјала непокретног културног наслеђа” и предлаже да се докторска дисертација прихвати, а кандидаткињи одобри одбрана.

Датум: 14.03.2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

председник

**Др Ева Лончар**, редовни професор  
Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду

---

ментор

**Др Јоњауа Рангајец**, редовни професор  
Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду

---

члан

**Др Сениша Марков**, редовни професор  
Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду

---

члан

**Др Бранка Пилић**, редовни професор  
Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду,  
члан

---

члан

**Др Андријана Север-Шкапин**, доцент, општа хемија  
*University of Ljubljana, Faculty of Chemistry and  
Chemical Technology, Slovenian Building and Civil  
Engineering Institute, Department for Materials,  
Ljubljana, Slovenija*

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај