

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандаткиње Тијане М. Војновић, дипл.инж.арх.

Одлуком Наставно-научног већа Архитектонског факултета бр. 01-1792/2-5.5 од 12.10.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Тијане М. Војновић дипл.инж.арх. под насловом

**МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЈЕ ОБЛАГАЊА ФАСАДА КОМПОЗИТНИМ ПАНЕЛИМА
СА ЛИЦЕМ ОД КАМЕНА**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Тијана Војновић уписала је докторске академске студије на Архитектонском факултету у Београду (основна област истраживања – *Архитектура*, ужа област истраживања – *Технологије у архитектури и менаџмент и биоклиматска и еколошка архитектура*) школске 2007/2008 године.

На седници Наставно-научног већа Архитектонског факултета Универзитета у Београду која је одржана 28. октобра 2013. године, на основу члана 98. Статута Архитектонског факултета у Београду (Сл. билтен Факултета, бр. 80/08 и 88/12 и 89/12 – пречишћен текст), а у вези са чланом 28. Правилника о докторским студијама (Сл. билтен АФ, бр. 81/08) и Одлуком Већа докторских студија Архитектонског факултета од 21. октобра 2013. године донета је одлука бр. 01-1587/2-2.12. којом је образована Комисија за оцену испуњености услова кандидата Тијане Војновић, дип. инж. арх., и теме докторске дисертације под насловом: „Прилог технологији облагања фасада композитним панелима са лицем од камена“, у саставу:

- др Александра Крстић-Фурунцић, редовни професор, Архитектонски факултет Универзитета у Београду;
- др Бранислав Жегарац, редовни професор, Архитектонски факултет Универзитета у Београду;

- др Драгица Јевтић, редовни професор, Грађевински факултети Универзитета у Београду;
- др Весна Матовић, доцент, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

На основу члана 99. Статута ("Сл. билтен Факултета", бр. 80/08, 84/10, 88/12 и 89/12-пречишћен текст) и члана 31. став 1. Правилника о докторским студијама ("Сл. билтен АФ", бр. 81/08) и Одлуком Већа докторских студија Архитектонског факултета у Београду од 18. новембра 2013. године, Наставно-научно веће Факултета је, на седници одржаној дана 25. новембра 2013. године, донело одлуку бр. 01- 1824/2-9.5. којом се прихвата тема докторске дисертације, под насловом: „Модели технологије облагања фасада композитним панелима са лицем од камена“, кандидаткиње Тијане М. Војновић, дипл.инж.арх.

На основу члана члана 47. став 5. тачка. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду", број 162/11- пречишћени текст, 167/12 и 172/13) и чл. 14. – 21. Правилника о већима научних области на Универзитету у Београду ("Гласник Универзитета у Београду", број 134/07, 150/09, 158/11, 164/11 и 165/11), а на захтев Архитектонског факултета, број: 1878/1 од 29.11.2013. године, Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука, на седници одржаној 10.12.2013. године, је Одлуком бр. 61206-6029/2-13 дало сагласност на предлог теме докторске дисертације Тијане М. Војновић под називом: „Модели технологије облагања фасада композитним панелима са лицем од камена“.

Наставно-научно веће Архитектонског факултета на седници одржаној 23. децембра 2013. године одлуком бр. 01-1970/2-8.6 одобрило је рад на теми докторске дисертације и за ментора именовало др Александру Крстић-Фурунџић, редовног професора Архитектонског факултета у Београду.

Завршену докторску дисертацију кандидат, уз сагласност ментора, предаје на Веће докторских студија у октобру 2015. године.

На основу члана 101. и члана 102. Статута Архитектонског факултета у Београду ("Сл. билтен АФ", бр. 105/15 – пречишћен текст), члана 37. Правилника о докторским академским студијама ("Сл. билтен АФ", бр. 102/14) и Одлуке Већа докторских студија Факултета од 05. октобра 2015. године, Наставно-научно веће Факултета је, на седници одржаној дана 12. октобра 2015. године, донело одлуку број 01-1792/2-5.5 да се образује Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Тијане М. Војновић, дипл. инж. арх., под насловом "Модели технологије облагања фасада композитним панелима са лицем од камена", у саставу:

- др Александра Крстић-Фурунџић, редовни професор, Архитектонски факултет Универзитета у Београду;
- др Драгица Јевтић, редовни професор (у пензији), Грађевински факултети Универзитета у Београду;
- др Весна Матовић, ванредни професор, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа Архитектонског факултета бр. 01-130/2-5.36 од 03.02.2014. године кандидату Тијани М. Војновић је на лични захтев, одобрено продужење рока за завршетак докторских студија за период од једне године.

Одлуком Наставно-научног већа Архитектонског факултета бр. 01-68/2-10.18 од 26.01.2015. године кандидату Тијани М. Војновић је одобрено продужење рока за завршетак докторских студија за период од једне године, на захтев ментора проф.др Александре Крстић Фурунџић.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација која је предмет овог реферата припада научном пољу Техничко-технолошких наука, научној области *Архитектура и урбанизам*, за коју је матичан Архитектонски факултет Универзитета у Београду. Ментор проф. др Александра Крстић-Фурунџић током свог професионалног ангажмана континуирано се бави истраживачким радом у следећим научним областима: архитектонске конструкције, материјали и физика зграда, енергетска ефикасност зграда, савремени концепти материјализације фасада и кровова, индустријализована и префабрикована градња, итд., и поседује значајан број радова објављених у међународним и националним монографијама, часописима и зборницима радова, као и већи број одобрених менторства на докторским дисертацијама које третирају неку од наведених проблематика.

Списак радова који квалификују проф. др Александру Крстић-Фурунџић за ментора докторске дисертације:

1. **Krstić-Furundžić, A.**, Kosić, T.: Assessment of energy and environmental performance of office building models: A case study, - *Energy and Buildings*, Elsevier, doi:10.1016/j.enbuild.2015.06.050, Available online 22 June 2015 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.050>
2. **Krstić-Furundžić, A.**, Kosoric, V., Golic, K.: Potential for reduction of CO₂ emissions by integration of solar water heating systems on student dormitories through building refurbishment, - *Sustainable Cities and Society*, Editor: Prof. Saffa Riffat, Volume 2, Issue 1, February 2012, Elsevier, pp. 50-62 (ISSN 2210-6707).
3. Golic, K., Kosoric, V., **Krstić-Furundžić, A.**: General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment-Potential energy savings and environmental impact, - *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 3, April 2011, Elsevier, pp. 1533-1544 (ISSN 1364/0321).
4. **Krstić-Furundžić, A.**, Kosorić, V.: Improvement of energy performances of existing buildings by application of solar thermal systems, - *Spatium International Review*, No. 20, IAUS, 2009, pp. 19-22 (ISSN: 1450-569X, eISSN: 2217-8066).
5. **Krstić-Furundžić, A.**: PV Integration in Design of New and Refurbishment of Existing Buildings: Educational Aspect, - *JAAUBAS-Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, Volume 4 (Supplement), 2007, pp. 135-146 (ISSN 1815-3852).
6. **Krstić-Furundžić, A.**: Design and construction possibilities for photovoltaic integration in envelopes of new and existing buildings, - *Spatium International Review*, No. 15-16, IAUS, 2007, pp. 37-43 (ISSN: 1450-569X, eISSN: 2217-8066).
7. **Krstić-Furundžić, A.**, Djukic, A.: *Serbia*, - In: Phil Jones, Werner Lang, Jo Patterson, Philipp Geyer (eds.), *COST Action TU1104 - Smart Energy Regions*, The Welsh School of Architecture, Cardiff University, Wales, UK, pp. 225-240 (ISBN: 978-1-899895-14-4).
8. **Krstić-Furundžić, A.**, Djukic, A.: *Serbia*, - In: Phil Jones, Paulo Pinho, Jo Patterson, Chris Tweed (eds.), *Low Carbon Urban Built Environment - European Carbon Atlas*,

European Science Foundation-COST Action C23, The Welsh School of Architecture, Cardiff University, Wales, UK, 2009, pp. 156-170 (ISBN: 978-1-899895-43-4).

9. **Krstic-Furundzic, A.**, Kosoric, V.: Improvement of Energy Performances of Existing Buildings in Suburban Settlements, – In Demers, C., Potvin, A. (eds.), *Proceedings of the PLEA 2009. – Architecture, Energy and the Occupant's Perspective*, Les Presses de l'Université Laval, Quebec City, Kanada, 2009, pp. 2.2.23.
10. Randjelović, I., Todorović, B., **Krstić, A.**: Kombinovani uticaj termičkog efekta i vetra na raspodelu pritiska u zgradama, - *KGH-Klimatizacija, grejanje, hlađenje*, 2, 2002, str.29-33.
11. Randjelović, I., Todorović, B., **Krstić, A.**: Uticaj termičkog efekta na raspodelu pritiska u zgradama, - *KGH - Klimatizacija, grejanje, hlađenje*, 2, 2001, str. 53-57.
12. Randjelović, I., Todorović, B., **Krstić, A.**: Uticaj vetra na raspodelu pritiska u zgradama, - *KGH - Klimatizacija, grejanje, hlađenje*, 4, 2001, str. 61-64.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидаткиња Тијана Војновић рођена је 29.10.1979. године у Београду, где је завршила основну школу и III београдску гимназију. Дипломирала је марта 2007. године на Архитектонском факултету Универзитета у Београду са општим успехом 8,06 у току студија и оценом 10 на дипломском раду под насловом *Концертна дворана на Ушћу* (ментор проф. Василије Милуновић), чиме је стекла назив дипломираног инжењера архитектуре. Током студија похађала је смер *Конструктивни системи*.

Кандидаткиња је уписала Докторске студије Архитектонског факултета Универзитета у Београду школске 2007/2008 године. Похађала је смер *Технологије у архитектури и менаџмент и биоклиматска и еколошка архитектура*. Кандидаткињи је два пута на по годину дана одобрено продужење статуса студента ван граница од 6 година.

У погледу искуства у струци, у периоду од 2006. до 2007. године кандидаткиња је ангажована као стручни сарадник Центра за дигиталну археологију на пројекту: *Интерактивни Гамзиград*. Поменути пројекат је обухватао истраживачки рад и идеалну реконструкцију Гамзиграда (Ромулијане), римског утврђења из IV в.н.е., у сарадњи са Републичким заводом за заштиту споменика културе Србије за потребе Министарства културе, односно кандидатуре за пријем на UNESCO листу заштићених споменика.

У периоду јануар 2008.- јул 2011. године кандидаткиња је запослена као пројектант сарадник у бироу АТД (Атеље Душан Тешић), на пројектима ентеријера, архитектуре и просторног уређења. У оквиру бироа је учествовала на домаћим и иностраним конкурсима. Од 2011. године члан је Инжењерске коморе Србије, Секција пројектаната.

У погледу ангажмана на факултету, у летњем семестру школске 2013/2014. године, Тијана Војновић је као студент докторских студија ангажована за помоћ у настави на предмету „Студио пројекат М5.1“ са темом *Енергетски ефикасан пословно-комерцијални објекат*, а у летњем семестру школске 2014/2015 на предмету „Студио М02АТ“ са темом *Енергетски ефикасан градски хотел*, на првој години Мастер студија на Архитектонском факултету у Београду, којима је руководила проф. др Александра Крстић-Фурунцић.

У погледу стручног усавршавања, кандидаткиња је учесник *Школе за будуће лидере одрживог развоја* у организацији Амбасадора животне средине уз подршку Градског

секретаријата за животну средину (Београд, 2010. године), као и школе за младе истраживаче са темом интеграције соларних термалних система у оквиру архитектонских објеката (*Building Integration of Solar Thermal Systems*) у организацији COST акције TU1205 (Фрајбург, Немачка, 2014. године). Такође помаже у организацији летње школе за младе истраживаче: *Интегрални приступ унапређењу постојећих станова*, у организацији COST акције TU1104 - *Smart Energy Regions* и Архитектонског факултета – организатори проф. др Александра Ђукић и проф. др Александра Крстић-Фурунџић, Београд, април 2015.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Тијане Војновић под насловом „Модели технологије облагања фасада композитним панелима са лицем од камена“ има укупно 292 странице. На почетку дисертације, пре основног текста налазе се: подаци о ментору и члановима комисије, резиме на српском и енглеском језику, садржај рада, као и попис слика и табела. Рад садржи 107 слика, 52 табеле, као и 59 напомена. Рад се састоји од пет главних поглавља: *Увод*, *Одреднице за пројектовање фасадног склопа и фасадног панела*, *Разматрање материјала и склопа композитног фасадног панела*, *Техничко-технолошко решење композитног фасадног панела са лицем од камена* и *Завршна разматрања*. На крају рада су дати: преглед литературе, 6 Прилога и Биографија аутора, након чега следе *Изјава о ауторству*, *Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада* и *Изјава о коришћењу*.

Садржај дисертације је следећи:

I. УВОД

- I.1 Уводне напомене о теми
- I.2 Претходна анализа информација о предмету и проблему истраживања
- I.3 Проблем и предмет истраживања
- I.4 Циљ и задаци истраживања
- I.5 Полазне хипотезе
- I.6 Научне методе истраживања
- I.7 Структура докторске дисертације
- I.8 Остварени резултати и научни допринос дисертације

II. ОДРЕДНИЦЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ФАСАДНОГ СКЛОПА И ФАСАДНОГ ПАНЕЛА

- II.1 Улога фасадног омотача
- II.2 Ветрени фасадни склоп
 - II.2.1 Макроклиматски фактори
 - II.2.2 Микроклиматски фактори
 - II.2.3 Штетне последице утицаја дифузије водене паре
 - II.2.4 Природна вентилација унутар ветреног ваздушног слоја фасадног зида
 - II.2.5 Предности и мане ветреног фасадног склопа
 - II.2.6 Систем ношења тешких елемената облоге у оквиру ветреног фасадног склопа
 - II.2.7 Спојнице код ветреног фасадног склопа
- II.3 Одрживи развој у архитектури и грађевинарству
 - II.3.1 Одрживи дизајн и превенција загађења у архитектури

- П.3.2 Одреднице одрживог грађевинског материјала
- П.4 Технички прописи и стандарди
- П.5 Закључак

III. РАЗМАТРАЊЕ МАТЕРИЈАЛА И СКЛОПА КОМПОЗИТНОГ ФАСАДНОГ ПАНЕЛА

- III.1 Камен у својству облоге композитног панела
 - III.1.1 Класификација стена и њихова комерцијална подела
 - III.1.2 Класификација камена
 - III.1.3 Архитектонски камен
- III.2 Архитектонски камен Србије
 - III.2.1 Карбонатне стене на подручју Србије
 - III.2.1.1 Карбонатне стене површинског копа Клисуре
 - III.2.1.2 Карбонатне стене површинског копа Тисница
 - III.2.1.3 Карбонатне стене површинског копа Скржут
 - III.2.1.4 Карбонатне стене површинског копа Струганик
 - III.2.2 Магматске стене на подручју Србије
 - III.2.2.1 Гранити стенске масе Букуље
 - III.2.3 Преглед могућности примене изабраног архитектонског камена
 - III.2.4 Преглед и примена осталог архитектонског камена Србије
- III.3 Танке фасадне плоче од камена
 - III.3.1 Основне предности употребе танких фасадних плоча од камена
 - III.3.1.1 Декоративност
 - III.3.1.2 Аспект одрживости
 - III.3.2 Танке фасадне плоче од камена у експлоатацији
 - III.3.2.1 Термална хистереза
 - III.3.2.2 Отпорност на удар
 - III.3.2.3 Ефлоресценција
 - III.3.2.4 Остали недостаци фасадних плоча од камена
- III.4 Композитни фасадни панели са лицем од камена
 - III.4.1 Преглед композитних панела са монолитном облогом од камена
 - III.4.1.1 Композитни панели са алуминијумског саћастом подлогом
 - III.4.1.2 Композитни панели са подлогом од лакоагрегатног цементног композита
 - III.4.1.3 Композитни панели са керамичком подлогом
 - III.4.1.4 Композитни панели са подлогом од стакла
 - III.4.2 Преглед композитних панела са облогом у виду каменог мозаика
 - III.4.2.1 Композитне плоче малих димензија
 - III.4.2.2 Префабриковани панели спратних димензија
 - III.4.3 Основне предности примене композитних панела са лицем од камена
 - III.4.3.1 Тежина
 - III.4.3.2 Чврстоћа при савијању
 - III.4.3.3 Водопропустљивост
 - III.4.3.4 Декоративност
 - III.4.3.5 Аспект одрживости
 - III.4.3.6 LEED сертификација
 - III.4.4 Композитни панели са лицем од камена у експлоатацији
 - III.4.4.1 Термална хистереза
 - III.4.4.2 Отпорност на удар
 - III.4.3.2.1 Удар ветра и атмосферске непогоде
 - III.4.3.2.2 Експлозија
 - III.4.4.3 Отпорност на сеизмичке утицаје
 - III.4.4.4 Отпорност на пожар
 - III.4.4.5 Ефлоресценција
- III.5 Цементни композит у својству подлоге
 - III.5.1 Разматрање цементних композита ојачаних влакнима

- III.5.2 Разматрање лакоагрегатних цементних композита
 - III.5.2.1 Цементни композити са агрегатом од експандиране глине
 - III.5.2.2 Цементни композити са агрегатом од дробљене опеке
- III.5.3 Разматрање лакоагрегатних микроармираних цементних композита
- III.5.4 Разматрање полимерима модификованих цементних композита

IV. ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКО РЕШЕЊЕ КОМПОЗИТНОГ ФАСАДНОГ ПАНЕЛА СА ЛИЦЕМ ОД КАМЕНА

- IV.1 Пројектовање композитног фасадног панела
 - IV.1.1 Избор компонентних материјала
 - IV.1.2 Дефинисање пројектног задатка
- IV.2 Експериментални део истраживања
 - IV.2.1 Програм експерименталних истраживања
 - IV.2.2 Компонентни материјали
 - IV.2.2.1 Камен
 - IV.2.2.2 Цемент
 - IV.2.2.3 Вода
 - IV.2.2.4 Агрегат
 - IV.2.2.4.1 Речни песак
 - IV.2.2.4.2 Дробљена опека
 - IV.2.2.4.3 Експандирана глина
 - IV.2.2.5 Влакна у својству микроарматуре
 - IV.2.2.6 Латекс
 - IV.2.2.7 Суперпластификатор
 - IV.2.3 Пројектовање састава малтерских мешавина
 - IV.2.4 Прва фаза експерименталних истраживања
 - IV.2.4.1 Испитивање својстава малтера у свежег стању
 - IV.2.4.1.1 Справљање малтерских мешавина
 - IV.2.4.1.2 Конзистенција свежег малтера
 - IV.2.4.1.3 Запреминска маса свежег малтера
 - IV.2.4.2 Испитивање својстава очврслог малтера
 - IV.2.4.2.1 Запреминска маса очврслог малтера
 - IV.2.4.2.2 Чврстоћа при савијању
 - IV.2.4.2.3 Чврстоћа при притиску
 - IV.2.4.2.4 Упијање воде
 - IV.2.4.2.5 Отпорност при дејству мраза
 - IV.2.4.2.6 Брзина простирања ултразвука
 - IV.2.4.2.7 Динамички модул еластичности
 - IV.2.4.2.8 Скупљање цементног малтера услед сушења
 - IV.2.5 Друга фаза експерименталних истраживања
 - IV.2.5.1 Приањање малтера за камену облогу методом Pull-off
 - IV.2.5.2 Термичка компатибилност – испитивање приањања малтера за камену облогу након дејства мраза методом Pull-off
 - IV.2.5.3 Чврстоћа при савијању композитног фасадног панела
 - IV.2.5.4 Гранична сила лома на месту жљеба
 - IV.2.5.5 Маса панела
 - IV.2.5.6 Испитивање појаве ефлоресценције
 - IV.2.6 Реализација модела фасадног композитног панела са лицем од камена
- IV.3 Технологија облагања композитним панелима са лицем од камена
 - IV.3.1 Технолошки процес производње панела
 - IV.3.2 Технологија транспорта
 - IV.3.3 Технологија монтаже
 - IV.3.3.1 Систем ношења фасаде
 - IV.3.3.2 Спојнице
 - IV.3.4 Заштита површине од камена

- IV.4 Обликовни аспект
- IV.5 Аспект одрживости
- IV.6 Аспект економичности

V. ЗАВРШНА РАЗМАТРАЊА

- V.1 Дискусија
 - V.1.1 Дискусија резултата експерименталних истраживања
 - V.1.2 Компаративна анализа
- V.2 Закључак
- V.3 Правци даљих истраживања

ЛИТЕРАТУРА

- Прилог 1** Категоризација камена
- Прилог 2** Извод из стандарда SRPS B.B3.200 (1994)
- Прилог 3** Техничка својства примењеног камена
- Прилог 4** Резултати испитивања портланд-композитног цемента
- Прилог 5** Чврстоћа панела при савијању: дијаграм сила-угиб
- Прилог 6** Дејство ветра

Биографија аутора

- Изјава о ауторству
- Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада
- Изјава о коришћењу

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Рад се састоји од пет главних поглавља: *Увод, Одреднице за пројектовање фасадног склопа и фасадног панела, Разматрање материјала и склопа композитног фасадног панела, Техничко-технолошко решење композитног фасадног панела са лицем од камена и Завршна разматрања.*

У *Уводу* се образлаже тема, предмет и проблем истраживања, даје увид у литературу, разматрају циљеви и задаци истраживања, хипотезе, као и научни методи истраживања, даје преглед структуре докторске дисертације и врши процена научне оправданости и резултата истраживања.

Поглавље *Одреднице за пројектовање фасадног склопа и фасадног панела* садржи анализу и објашњење идентификованих пројектантских одредница. У том смислу се разматрају улоге које има фасадни омотач, предности употребе ветреног фасадног склопа, пројектантске одлуке и избор материјала у складу са принципом одрживости и технички прописи и стандарди који су релевантни за истраживање. Такође се образлажу пројектантске одлуке усвојене на основу претходно наведених пројектантских одредница.

Поглавље *Разматрање материјала и склопа композитног фасадног панела* се бави применом камена у својству фасадне облоге, прелиминарном селекцијом и образложењем избора у оквиру архитектонског камена Србије, као и разматрањем примене класичног система облагања фасада каменом. У оквиру овог поглавља се такође разматрају својства композитних фасадних панели са лицем од камена који су присутни на светском тржишту, предност њихове употребе, као и могућност примене микроармираног и лакоагрегатног цементног композита у својству подлоге предложеног панела.

Поглавље *Техничко-технолошко решење композитног фасадног панела са лицем од камена* се првенствено бави реализацијом композитног панела са лицем од домаћег камена и подлогом од лакоагрегатног микроармираног цементног композита. Пројектују се модели композитних фасадних панела, предлаже програм експерименталног истраживања и врше лабораторијска испитивања, анализирају и образлажу резултати испитивања првенствено физичко-механичких својстава и трајности панела. Даље се анализира технологија облагања предложеним фасадним панелом, односно технологија производње, транспорта и монтаже. Коначно се разматра обликовни аспект, као и аспекти одрживости и економичности облагања овим композитним панелом.

У оквиру *Завршних разматрања* се врши дискусија резултата експерименталних истраживања и компарација остварених модела фасадних панела са референтним стандардима и фасадним облогама које су присутне на тржишту. На крају се сумирају резултати рада, проверавају хипотезе и предлажу наредна истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У оквиру грађевинске индустрије Србије опажа се интензивни увоз природног камена, праћен смањеном применом и извозом домаћег стенског материјала у виду архитектонског камена, кога у оквиру територије Србије има у изобиљу. Значај домаћих лежишта није у довољној мери запажен и релативно мали број каменолома се бави организовано експлоатацијом стенског материјала. У оквиру стенске масе Србије такође је уочена природна тектонска испуцалост и појава накнадних прелина услед вишегодишње неадекватне експлоатације експлозивом, што често доводи до немогућности издвајања блока комерцијалних димензија.

Савременост дисертације се огледа у решавању актуелног проблема искоришћења потенцијала домаћих ресурса архитектонског камена у сврху облагања фасада архитектонских објеката. У оквиру представљеног рада, предлаже се техничко-технолошко решење примене домаћег камена на фасади, односно формирају се модели композитних фасадних панела са лицем од каменог мозаика и подлоге од лакоагрегатног микроармираног цементног композита. У оквиру истраживања, разматра се и прихвата употреба ветреног фасадног склопа као решења усклађеног са захтевима грађевинске физике, које доприноси спречавању појаве проблема који могу бити изазвани дифузијом водене паре. У контексту глобалног тренда бриге о животној средини, разматра се примена разноврсних пројектантских поступака и материјала са аспекта одрживости. Истраживање се ослања на актуелне, домаће и стране, прописе и стандарде. Оно такође почива на разматрању примене архитектонског камена активних каменолома Србије, актуелног стања тржишта фасадних панела са лицем од камена и фиберцементних плоча, као и најновијих открића из области микроармираних и лакоагрегатних цементних композита.

Оригиналност дисертације се огледа у јединственом методолошком приступу формирању модела предложених фасадних панела, специфичним предлозима технологије облагања архитектонских објеката домаћим каменом, односно техничко-технолошким решењима модела композитних фасадних панела са лицем од камена.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Истраживање се бави успостављањем техничко-технолошког решења композитног фасадног панела са лицем од камена. Приликом рада на докторској дисертацији, коришћена је обимна литература и разни примарни и секундарни извори.

Опште одреднице за пројектовање савременог фасадног склопа и облоге су сагледане кроз анализу претходно систематизованих следећих научно-истраживачких радова домаћих и страних аутора:

- Blumenau, I.: *Fasade*, Gradbeni centar Slovenije, Ljubljana, 1974.
- Đorđević, D.: *Značaj i uloga provetranog omotača zgrade u korelaciji mikro i makro klimatskih faktora*, Doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1990.
- Herzog, T., Krippner, R., Lang, W.: *Facade construction manual*, Birkhäuser, Basel, 2004.
- Petrović, P., Nedić, Lj.: *Karakteristike fasada, - Montažne betonske fasade*, Ed: R. Dimitrijević, Institut IMS, Beograd, str. 7-19, 1995.
- Wartzeck, S., Herrmann, E. M., Krammer, M., Sturm, J.: *Enclose, build: Walls, façade, roofs*, Birkhäuser, Basel, 2015.
- Romila, C.: *General principles for the design and construction of ventilated façades*, - *Buletinul Institutului Politehnic Din Iași*, vol. LIX/LXIII, no. 3, pp. 161-169, 2011.
- University of Alaska: *Exterior ventilated cladding*, Trans: N. Johanson, R. D. Seifert, 2003. <http://www.uaf.edu/files/ces/publications-db/catalog/eeh/HCM-01558.pdf>

Аспект одрживости пројектантских одлука и употребе грађевинског материјала (који у случају ове дисертације улази у састав предложеног фасадног панела) је тема истражена у оквиру литературе:

- Berge, B.: *The ecology of building materials*, Elsevier, Oxford, 2009.
- Kim, J. J., Rigdon, B.: *Sustainable architecture module: Introduction to sustainable design*, National Pollution Prevention Center for Higher Education, University Ave, Ann Arbor, 1998.
<http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/ARCHpdfs/ARCHdesIntro.pdf>
- Kim, J. J., Rigdon, B.: *Sustainable architecture modul: Qualities, use, and examples of sustainable building materials*. National Pollution Prevention Center for Higher Education, University Ave, Ann Arbor, 1998.
<http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/ARCHpdfs/ARCHsbmIntro.pdf>
- Roux, P., Alexander, A. *Sustainable building materials*, n.d.
<http://www.sustainabledevelopmentnetwork.com/manual1/Chapter%203.pdf>

Домаћа и страна регулатива детаљније третирају услове које савремена фасадна облога треба да испуни. Пошто панели попут предложених нису обрађени у оквиру регулативе, консултовани су прописани стандарди који се усвајају као референтни за истраживање, првенствено са темом камених и фиберцементних плоча за вертикално облагање архитектонских објеката:

- ASTM International: *ASTM C1186-08 Standard Specification for Flat Fiber-Cement Sheets*, 2012.

- Institut za standardizaciju Srbije: *SRPS B.B3.200 Prirodni kamen — Ploče za oblaganje — Tehnički uslovi*, 1994.
- Institut za standardizaciju Srbije: *SRPS EN 12467 Vlakanasto-cementne ravne ploče — Specifikacija proizvoda i metode ispitivanja*, 2014.

Следећи доступни патенти који детаљније описују састав и технологију израде, као и ослањања појединих композитних фасадних елемената са лицем од камена су узети у обзир током истраживања:

- Bauer, R., Lynam, P. H.: *U.S. Patent No. 4,973,506*, Patent and Trademark Office, Washington DC, U.S., 1990. <http://www.google.de/patents/US4973506>
- Bourke, P. T.: *U.S. Patent No. 3,963,846*, Patent and Trademark Office, Washington DC, U.S., 1976. <https://www.google.com/patents/US3963846>
- Hodges, W. E.: *U.S. Patent No. 3,950,202*, Patent and Trademark Office Washington DC, U.S., 1976. <https://www.google.com/patents/US3950202>
- Robinson, R. C.: *U.S. Patent No. 4,223,502*, Patent and Trademark Office, Washington DC, U.S., 1980. <https://www.google.com/patents/US4223502>

Тему домаћег (првобитно југословенског, касније српског) архитектонског и техничког камена, односно његову распрострањеност и могућност примене, су опширно истражили и дали допринос у виду литературе следећи аутори на које се истраживање ослања:

- Bilbija, N.: *Studija stanja i mogućnosti proširenja proizvodnje u oblasti prirodnog kamena u SFRJ: Arhitektonski kamen*, Kamergran, Beograd, Srbija, 1982.
- Bilbija, N., Matović, V.: *Primenjena petrografija: Svojstva i primene kamena*, Građevinska knjiga, Beograd, Srbija, 2009.
- Gajić, V., Matović, V., Vasić, N., Srećković-Batočanin, D.: *Petrophysical and mechanical properties of the Struganik limestone (Vardar Zone, western Serbia), - Геолошки анали Балканскога полуострва*, vol. 72, pp. 87-100, 2011.
- Kurešević, L.: *Potencijalnost tercijarnih magmatskih kompleksa vardarske zone Srbije sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2013.
- Matović, V.: *Petrološka i tehnička svojstva mezozojskih karbonatnih stena Srbije*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2009.

Наредна група истраживања која се бави приказом предности примене и узрока оштећења танких камених плоча током експлоатације узета је у обзир током рада на дисертацији:

- Grell, B., Christiansen, C., Schouenborg, B., Malaga, K.: *Durability of marble cladding – A comprehensive literature review, -Dimension stone use in building construction*, Eds: K. R. Hoigard, M. J. Scheffler, pp. 105-23, ASTM, West Conshohocken, 2007.
- Kourkoulis, S. K. (Ed.): *Fracture and failure of natural building stones: Application in the restoration of ancient monuments*, Springer, Dordrecht, 2006.
- Loughran, P.: *Failed stone: Problems and solutions with concrete and masonry*, Birkhäuser, Basel, 2006.
- Nagatz, S. G., Gerns, E. A.: *Full-scale flexural strength testing for stone cladding design, -Dimension stone use in building construction*, Eds: K. R. Hoigard, M. J. Scheffle, ASTM, West Conshohocken, pp. 3-10, 2007.
- Schouenborg, B., Grell, B., Malaga, K.: *Testing and assessment of marble and limestone (TEAM) – Important results from a large European research project on*

cladding panels, - *Dimension stone use in building construction*, Eds: K. R. Hoigard, M. J. Scheffler, ASTM, West Conshohocken, pp. 124-37, 2007.

- Siegesmund, S., Mosch, S., Scheffzük, C., Nikolayev, D.I.: The bowing potential of granitic rocks: Rock fabrics, thermal properties and residual strain, -*Environmental Geology*, vol. 55, pp. 1437-1448, 2008.

Разматрана је употреба микроармираног и лакоагрегатног цементног композита у сврху формирања одговарајуће подлоге панела. Од опште литературе која третира ове области издвајају се:

- Bentur, A., Mindess, S.: *Fibre reinforced cementitious composites*, Taylor & Francis, London, 2007.
- Chandra, S., Berntsson, L.: *Lightweight aggregate concrete: Science, technology, and applications*, Noyes Publications, New York, 2002.
- Hannant, D. J.: *Fibre cements and fibre concretes*, John Wiley & Sons, Chichester, 1987.
- Hansen, T. C.: *Recycling of demolished concrete and masonry*. E&FN Spon., London, 1992.
- Kind-Barkauskas, F., Kauhsen, B., Polónyi, S., Brandt, J.: *Concrete construction manual*, Birkhäuser, Basel, 2002.
- Muravljov, M. (Ed.): *Specijalni betoni i malteri: Svojstva, tehnologija, primena*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za materijale i konstrukcije, Beograd, 1999.

Од теоријско-емпиријских истраживања која извештавају о својствима и примени цементних композита ојачаних влакнима у својству микроарматуре издвајају се следећа:

- Jevtić, D., Zakić, D.: Uticaj vrste i količine polipropilenskih vlakana na mehanička svojstva kompozita tipa maltera i betona, -*Metalurgija*, vol. 8, no. 1, str. 39-50, 2002.
- Jevtić, D., Zakić, D.: Mikroarmirani malteri i betoni – mogućnost poboljšanja fizičko-mehaničkih svojstava, -*Materijali i konstrukcije*, vol.49, no. 3/4, str. 35-44, 2006.
- Muravljov, M., Živković, S., Jevtić, D., Zakić, D.: Uticaj dodataka polipropilenskih vlakana na smanjenje skupljanja i fisuraciju kompozita tipa maltera i betona, - *Materijali i konstrukcije*, vol. 45, no. 1/2, str. 11-18, 2002.
- Zakić, D.: Uticaj dodataka polipropilenskih vlakana na atheziju maltera za podlogu, - *Materijali i konstrukcije*, vol. 44, no. 3/4, str. 39-46, 2001.
- Zakić, D.: *Fizičko-mehanička svojstva maltera sa dodatkom polipropilenskih vlakana*, Magistarska teza, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2001.

Следећи извори се издвајају као најзначајнији за разматрање лакоагрегатних цементних композита са агрегатом од експандиране глине:

- Bastos, A. M., Sousa, H., Melo, A. F.: Methodology for the design of lightweight concrete with expanded clay aggregates, -*TMS Journal, December*, pp. 73-84, 2005.
- Bogas, J. A., Nogueira, R., Almeida, N. G.: Influence of mineral additions and different compositional parameters on the shrinkage of structural expanded clay lightweight concrete, -*Materials and Design*, vol. 56, pp. 1039–1048, 2014 (doi:10.1016/j.matdes.2013.12.013).
- Ke, Y., Beaucour, A. L., Ortola, S., Dumontet, H., Cabrillac, R.: Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregates on the mechanical properties of concrete, -*Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 2821–2828, 2009 (doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.02.038).

- Moravia, W. G., Gumieri, A. G., Vasconcelos, W. L.: Efficiency factor and modulus of elasticity of lightweight concrete with expanded clay aggregate, *-IBRACON Structures and Materials Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 195-204, 2010.

На основу следеће прикупљене литературе вршена су разматрања лакоагрегатних цементних композита са агрегатом од дробљене опеке:

- Bektas, F., Wang, K., Ceylan, H.: Effects of crushed brick aggregate on mortar durability, *-Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1909-1914, 2009.
- Cachim, P. B.: Mechanical properties of brick aggregate concrete, *-Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1292-1297, 2009.
- Debieb, F., Kenai, S.: The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete, *-Construction and Building Materials*, vol. 22, pp. 886–893, 2008.
- Janković, K.: *Drobljena opeka kao agregat za beton*, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2001.
- Jevtić, D., Zakić, D., Harak, S.: Ispitivanje različitih tipova maltera spravljениh на бази опекарског лома, *-Materijali i konstrukcije*, vol. 45, str. 60-63, 2002.
- Poon, C.S., Chan, D.: Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick, *-Construction and Building Materials*, vol. 20, pp. 569-577, 2006.

За област технологије грађења, односно облагања фасада, као најзначајнији извори коришћени у истраживању издвајају се:

- Krstavčević, M.: *Primena montažnog građenja*, Časopis Izgradnja, Beograd, 1996.
- Krstić, A.: *Osnove materijalizacije savremenih industrijalizovanih objekata*, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1995.
- Krstić, A.: *Raznovrsnost materijalizacije arhitektonskih struktura*, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003.
- McEvoy, M.: *External components*, Routledge, New York, 2014.
- Staib, G., Dörrhäfer, A., Rosenthal, M.: *Components and systems: Modular construction – Design, structure, new technologies*, Birkhäuser, Basel, 2008.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Информациона грађа се, осим у виду писаних извора, прикупља техником интервјуа и теренским истраживањем. При формирању информационе основе користи се општи научни метод анализе садржаја прикупљене грађе која се критички анализира, селекује и систематизује по основним областима које рад третира.

Детаљном анализом и синтезом садржаја литературе која се бави утицајима на спољни омотач, функцијама спољног омотача објекта, применом ветреног фасадног склопа, употребом грађевинског материјала са аспекта одрживости и техничким условима у оквиру регулативе, постављају се основне одреднице за пројектовање композитног фасадног панела са лицем од камена.

Студијом случаја одабраног стенског материјала Србије и анализом његових својстава, поставља се основ за избор архитектонског камена у улози облоге предложених фасадних панела. Студијом случаја се врши анализа композитних фасадних панела који су присутни на светском тржишту. Анализом садржаја референтне литературе дефинишу се својства и понашање при експлоатацији фасадних плоча од камена и композитних панела са лицем од камена. Истим методом се спроводи анализа

одабраних лакоагрегатних, микроармираних и полимерима модификованих цементних композита који су предложени за подлогу фасадног панела.

Научном методом експеримента у контролисаним лабораторијским условима, спроводи се испитивање првенствено физичко-механичких својстава и трајности цементних композита, као и склопа фасадног панела. Опсервацијом и упоредном анализом забележених резултата инструменталних мерења, усвајају се модели композитног фасадног панела.

Укратко, на основу теоријског, експликативног и аналитичког дела истраживања, успостављеног општим научним методама, формира се научна база на којој се заснивају варијанте цементног композита и модела композитног фасадног панела. Конкретном научном методом експеримента над реализованим узорцима, као и њиховим упоређењем са референтном регулативом и комерцијалним фасадним производима, недвосмислено се доказују хипотезе о могућности употребе домаћег камена у саставу композитног фасадног панела који налази примену у оквиру ветреног фасадног склопа.

Комисија закључује да се валидност методологије овог истраживања потврђује кроз избор одговарајућих метода истраживања и истиче адекватност општег методолошког приступа у односу на постављени проблем и предмет рада и постављене хипотезе.

3.4. Применљивост остварених резултата

Примена резултата истраживања очекује се у употреби наведених пројектантских одредница и методологије приликом формирања нових фасадних облога, посебно сличних карактеристика са предложеним композитним панелима. Примена добијених резултата се очекује у науци - као полазиште за даља истраживања на тему облагања сличним композитним панелима.

Практична примена резултата истраживања се огледа у понуђеном варијетету модела фасадних панела који се могу применити у пракси- производити и директно применити у својству спољне облоге архитектонског објекта. Резултати истраживања налазе практичну примену како у домаћој индустрији камена, тако и у грађевинској индустрији уопште.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Предметна докторска дисертација показује да кандидаткиња поседује способност за самосталан научноистраживачки рад, што се огледа у консултовању широког дијапазона релевантне литературе и повезивању знања из области архитектонских конструкција, технологије грађења (облагања), грађевинских материјала и грађевинске физике. Кандидаткиња Тијана Војновић влада вештинама употребе разноврсних научних метода истраживања које су специфичне за наведене области, почев од теоријске анализе извора, експерименталних лабораторијских испитивања, обраде података и њихове компаративне анализе, као и синтезе и интерпретације резултата истраживања. Кандидаткиња је кроз формирану методологију показала способност дефинисања и обраде специфичне теме истраживања.

Способност кандидаткиње Тијане Војновић за самосталан научни рад огледа се и у објављеним научним радовима у зборницима националних и међународних научних

конференција, а као један од најзначајнијих истиче се рад објављен у научном часопису међународног значаја са SCI листе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени доприноси предметног истраживања за ужу научну област Архитектонске конструкције, материјали и физика зграда су:

- проширење и унапређење области технологије облагања архитектонских објеката каменом;
- научном аргументацијом се показује применљивост домаћег стенског материјала за облагање архитектонских објеката;
- прилог развоју технолошког процеса израде композитне облоге од камена путем израде пилот елемента;
- увођење актуелног тренда избора пројектантских поступака и грађевинског материјала са аспекта одрживости у поступак пројектовања композитних фасадних панела са лицем од камена.

Остварени научни доприноси истраживања се конкретније огледају у постигнутим резултатима истраживања:

- дефинисање одредница за пројектовање композитних панела са лицем од камена;
- систематизација постојећих теоријско-емпиријских сазнања о композитним фасадним панелима са лицем од камена и танким фасадним плочама од камена;
- теоријско-емпиријска разматрања избора примењених материјала;
- преглед неопходних научних чињеница о архитектонском камену Србије;
- методолошки приступ проблему реализације композитног панела са лицем од камена;
- формирање модела оптималних техничко-технолошких решења композитних фасадних панела са лицем од камена у складу са дефинисаним пројектантским одредницама;
- формирање модела технологије облагања фасада пројектованим композитним панелима са лицем од камена.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Значај истраживања за ужу научну област (*Архитектонске конструкције, материјали и физика зграда*) огледа се у проширењу теоријско-емпиријских сазнања о примењеним материјалима и технологијама облагања композитним фасадним панелима са лицем од камена. Значај се такође огледа у понуђеном варијетету модела фасадних панела тог типа који се могу применити у пракси. Такође је значајно увођење актуелног тренда избора пројектантских поступака и грађевинског материјала са аспекта одрживости у поступак пројектовања композитних фасадних панела са лицем од камена.

Истраживање предлаже моделе фасадних панела са лицем од камена који следе савремене одреднице за њихово пројектовање, чиме се даље поставља методолошки

оправдано и научно образложено технички-технолошко решење употребе домаћег архитектонског камена на фасади. Лабораторијска испитивања модела панела показују применљивост употребе домаћег камена у сврху формирања композитних панела, као и примене пројектованих панела код облагања фасада. У том контексту домаћи камен није до сада третиран, што говори о употребљивости резултата како у практичној примени, тако и као подлоге за даља истраживања у теоријском смислу.

4.3. Верификација научних доприноса

Списак радова који су резултат истраживања у оквиру докторске дисертације:

Категорија M23:

1. Matović, V., **Vojnović Čalić, T.**: Mesozoic carbonate rocks in Serbia used as dimension stone, -*Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2015 (doi:10.1007/s10064-015-0722-0 (IF=0,760)).

Категорија M33:

1. Jevtić, D., **Vojnović Čalić, T.**: Fizičko-mehanička svojstva mikroarmiranih maltera sa agregatom u vidu drobljene opeke i ekspanirane gline, -*Građevinski materijali u savremenom graditeljstvu*, Ed: Z. Grdić, Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije, Beograd, str. 171-182, 2014.

Категорија M63:

1. **Vojnović Čalić, T.**, Jevtić, D., Krstić-Furundžić, A.: Otpornost na mraz mikroarmiranih cementnih maltera sa agregatom od drobljene opeke, -*Građevinski materijali u savremenom graditeljstvu*, Ed: D. Jevtić, Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije, Beograd, str. 39-48, 2015.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње Тијане Војновић представља свеобухватно проучавање могућности коришћења потенцијала домаћих ресурса архитектонског камена у сврху облагања фасада архитектонских објеката. Након теоријског дела у коме се, између осталог, постављају одреднице за пројектовање савременог фасадног склопа и облоге, у практичном делу рада предлаже се и лабораторијски испитује техничко-технолошко решење примене домаћег камена на фасади, односно формирају се модели композитних фасадних панела са лицем од каменог мозаика и подлоге од лакоагрегатног микроармираног цементног композита. Дисертација представља оригинални научни допринос кандидаткиње у области пројектовања композитних фасадних панела са лицем од камена у функцији облагања фасада архитектонских објеката и обезбеђује изузетну основу за даља истраживања у овој области.

На основу детаљне анализе дисертације кандидаткиње Тијане Војновић дипл.инж.арх. Комисија констатује да је дисертација написана у складу са одобреном темом и пријавом на коју је Универзитет у Београду дао сагласност. Дисертација задовољава научне критеријуме и пружа научни допринос научној области *Архитектура и*

урбанизам и ужој научној области *Архитектонске конструкције, материјали и физика зграда* за коју је матичан Архитектонски факултет, као и научни допринос који се односи на развој методологија и примену резултата истраживања у пракси. Кандидаткиња Тијана Војновић је показала способност за научноистраживачки рад кроз рад на самој дисертацији, као и објављеним научним радовима међу којима је и рад у међународном часопису (M23).

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Архитектонског факултета да се докторска дисертација под називом **„Модел технологије облагања фасада композитним панелима са лицем од камена“** кандидата Тијане М. Војновић, дипл.инж.арх. прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду.

У Београду, новембар 2015. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Александра Крстић-Фурунцић, редовни професор, ментор,
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

.....
Проф. др Драгица Јевтић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
Проф. др Весна Матовић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет