

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

**Архитектонски факултет**

**НАСТАВНОМ И НАУЧНО-УМЕТНИЧКОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Анђеле Н. Посавец, маг.инж.арх.

Одлуком Наставног и научно-уметничког већа Факултета бр. 01-643/2-8.6 од 22. априла 2024. године, именовани су чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Анђеле Н. Посавец, маг.инж.арх. под насловом:

**ОПТИМИЗАЦИЈА ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТАТА  
ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ**

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

Анђела Н. Посавец је уписала Докторске академске студије на Архитектонском факултету Универзитета у Београду, школске 2014/2015. године. Кандидаткиња је положила све испите предвиђене наставним програмом студија са просечном оценом 9,96 и остварила 150 ЕСПБ бодова чиме је стекла услов за пријаву и израду докторске дисертације.

На основу члана 106. Статута Универзитета у Београду - Архитектонског факултета („Сл. билтен Факултета”, бр. 129/22-пречишћен текст), а у вези са чланом 26. Правилника о докторским студијама („Сл. билтен АФ”, бр. 122/20) и Одлуком Већа докторских студија Архитектонског факултета у Београду од 05. децембра 2022. године, Наставно и научно-уметничко веће Факултета је, на седници одржаној дана 12. децембра 2022. године, донело одлуку број 01-2560/2-4.5 којом је образована Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Анђеле Н. Посавец, маг.инж.арх. под насловом „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ у саставу:

- др Дарија Гајић, члан комисије  
ванредни професор Универзитета у Бањој Луци Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета
- др Јелена Милошевић, члан комисије  
доцент Универзитета у Београду Архитектонског факултета
- др Бојана Зековић, члан комисије  
доцент Универзитета у Београду Архитектонског факултета

На основу члана 108. Статута Универзитета у Београду - Архитектонског факултета („Сл. билтен Факултета”, бр. 129/22 – пречишћен текст и 132/23), и члана 30. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду – Архитектонском факултету („Сл. билтен АФ”, бр. 122/20) и сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду од 31. јануара 2023. године, Наставно и научно-уметничко веће Факултета је, на седници одржаној 20. фебруара 2023 године, донело одлуку број 01-248/2-6.2 да се Анђели Н. Посавец, магистар арх одобрава рад на теми докторске дисертације, под насловом „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ и да се за ментора именује проф. др Будимир Судимац.

Именованој је одобрен статус мировања у школској 2018/2019. години. Одлуком Наставно и научно-уметничког већа Факултета одобрено је продужење рока за завршетак докторских студија у школској 2021/2022, 2022/2023. и 2023/2024. години.

Априла 2024. године, завршену докторску дисертацију кандидаткиња је, уз сагласност ментора и потврђену оригиналност проверену према процедури Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, предала на Веће докторских студија. Приликом провере оригиналности докторске дисертације у програму *iThenticate*, утврђено је подударање од 0%.

На основу члана 109. и члана 110. Статута Универзитета у Београду – Архитектонског факултета у Београду („Сл. билтен Факултета”, бр. 129/22 – пречишћен текст), а у вези са чланом 34. Правилника о докторским студијама Универзитета у Београду - Архитектонском факултету („Сл. билтен АФ”, бр. 122/20) и Одлуком Већа докторских студија Факултета од 15. априла 2024. године, Наставно и научно-уметничко веће Факултета је, на седници одржаној дана 22. априла 2024. године, донело одлуку бр. 01-643/2-8.6 да се образује Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ кандидаткиње Анђеле Н. Посавец, чији је ментор проф. др Будимир Судимац, редовни професор Архитектонског факултета Универзитета у Београду, у саставу:

- др Дарија Гајић, члан Комисије  
ванредни професор Универзитета у Бањој Луци Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета
- др Јелена Милошевић, члан комисије  
доцент Универзитета у Београду Архитектонског факултета
- др Бојана Зековић, члан комисије  
доцент Универзитета у Београду Архитектонског факултета

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада образовно-научном пољу техничко-технолошких наука, научној области Архитектура и урбанизам, за коју је матичан Архитектонски факултет у Београду. Ментор дисертације је др Будимир Судимац, редовни професор Универзитета у Београду, Архитектонског факултета.

Списак радова који квалификују проф. др Будимира Судимца за ментора докторске дисертације:

- **Sudimac, B.**, Ćuković Ignjatović, N., Ignjatović, D. (2018). Experimental study on reducing temperature using modular system for vegetation walls made of perlite concrete, *Thermal Science*, Volume 22, issue 4, pp. s1059 - s1069. DOI: 10.2298/TSCI170612227S, ISSN: 0354-9836, <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/317> (M22)
- **Sudimac, B.**, Ilić, B., Munćan, V., & Anđelković, A. (2019). Heat flux transmission assessment of a vegetation wall influence on the building envelope thermal conductivity in Belgrade climate, *Journal of Cleaner Production*, 223, pp. 907–916. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.087, ISSN: 0959-6526, <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/342> (M21a)
- **Sudimac, B.**, Anđelković, A., & Dubljević, S. (2018). Thermal extras of vegetation walls in Belgrade climatic conditions, *Thermal Science*, 22 (3), pp. 945–955. ISSN: 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI170919027S, <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/302> (M22)
- Gajić, D., **Sudimac, B.**, Rajčić, A., Peulić, S., Rašović, J. (2023). Energy savings potential in modular envelope renovations of prefabricated residential buildings in Bosnia-Herzegovina and Serbia, *8th International academic conference on Places and Technologies*, Belgrade, University of Belgrade – Faculty of Architecture, ISBN 978-86-7924-338-6. <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/1778> (M34)
- **Sudimac, B.**, Gajić, D., Peulić, S. (2022). Energy renovation of residential building envelope using organic materials for the level of cost optimal improvement/ upgrade in Bosnia-Herzegovina and Serbia, *International conference on Contemporary Theory and Practice in Construction XV*, pp. 380-392. DOI 10.7251/STP2215380S. <https://doisrpska.nub.rs/index.php/STPG/article/view/8857/8747> (M33)
- Ristić Trajković, J., Nikezić, A., **Sudimac, B.**, Đokić, V., Milovanović, A., Đorđević, A., Pešić, M. (2022). Enhancing Socially Responsible action and Approach to Nature-Based Solutions in Architectural Education within the framework of the Project Eco-friendly Built Environment, *Circular City workshop - COST Action CA17133 Implementing nature based solutions for creating a resourceful circular city*. VIA University, 18- 19 September 2022 Aarhus, Denmark, <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/1702> (M34)
- **Судимац, Б.**, Гајић, Д. (2021). Термичко понашање вегетационог модуларног система у фасадном омотачу објекта, *Енергетска ефикасност и четврта индустријска револуција*, 24.децембар, Београд. ISBN 978-86-80067-50-6, COBISS.SR-ID 54244361. (M33)
- **Sudimac, B.**, Ilić, B., Munćan, V., Anđelković, A. (2018). Experimental analysis of a vegetation wall influence on the building envelope thermal Conductivity, *3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies SpliTech 2018*. ISBN 978-953-290-081-1 (M33)
- Krstić-Furundžić, A., **Sudimac, B.**, Dubljević, A. (2017). *Integration of PV modules into the building envelope in aim to achieve energy and environmental benefits*, *Proceedings of the 1st International Conference on Building integrated renewable energy systems-BIRES*, Dublin Institute of Technology (DIT) Ireland DIT Grangegorman, COST-European Cooperation in Science and Technology, paper 14978-9963-697-23-6, Dublin, Ireland, 6. - 9. March, 2017

(ISBN: 978-9963-697-23-6) <http://www.tu1205-bists.eu/wp-content/uploads/sites/13/2017/03/Proceedings-of-BIRES-2017-01-01.pdf> (M33)

- **Sudimac, B.**, Krstić-Furundžić, A., Dubljević, A. (2017). Contribution of green wall to reduction of building overheating, *Ne-xt facades - Adaptive Façade Network, COST Action TU1403 Mid-term Conference*, TU Delft, 07 November 2017, Munich, Germany, pp. 46-47. (M33)
- Skerlić, J., **Sudimac, B.**, Nikolić, D., Stojanović, B., Radulović, R. (2017). *Optimization of the building envelope with integrated vegetation modular elements using factorial design*, Proceedings of 2nd International Conference on Quality of Life, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia, 8. - 10. Jun, 2017, pp. 121 - 128, 978-986-6335-043-4 (M33)
- Skerlić, J., **Sudimac, B.**, Nikolić, D., Stojanović, B., Radulović, R., Mišković A. (2017). Analysis and assessment of building envelope with integrated vegetation modular element for a sustainable future, *Quality FEST 2017 - Conference proceedings*, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo - Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 26. - 28. Oct, pp. 209 - 216, 978-99976-719-1-2. (M33)
- Krstić-Furundžić, A., **Sudimac, B.** (2010). Improvement of Energy Efficiency of Office Building in Belgrade by Application of PV Modules, *2nd International Conference Advanced Construction*, Kauno Technologijos Universitetas, Литванија, 11. - 12. Nov, 2010. pp. 248 - 254, ISSN 2029-1213. (M33)

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Анђела (Дубљевић) Посавец је рођена 1990. године у Чачку, где је завршила основну школу и Гимназију. Године 2009. уписује Архитектонски факултет Универзитета у Београду, где завршава Основне академске студије (2012) са просечном оценом 9,30, а потом и Мастер академске студије - смер архитектура (2014) са просечном оценом 9,73. Исте године уписује Докторске академске студије - област архитектура и урбанизам, у оквиру којих је положила све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом 9,96, чиме стиче услов за пријаву докторске дисертације. Током школовања била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У периоду од 2015. до 2018. године је била запослена на Универзитету у Београду - Архитектонски факултет у звању Асистент на Департману за Архитектонске технологије за ужу научну, односно уметничку област: Архитектонске конструкције, материјали и физика зграда. Као асистент је радила на предметима у оквиру основних и мастер академских студија.

У својству истраживача је током 2017. и 2018. године ангажована на научно-истраживачком пројекту *Енергетска ефикасност у јавним зградама*, чији је носилац GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit у сарадњи са Архитектонским факултетом Универзитета у Београду и Министарством рударства и енергетике. У периоду од 2016. до 2017. године је ангажована на технолошко-научно истраживачком пројекту *Просторни, еколошки, енергетски и друштвени аспекти развоја насеља и климатске промене – међусобни утицаји* Института за архитектуру и урбанизам Србије и Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Током 2015. године учествује на научно истраживачким пројектима *Моја прва бајта* Министарства

културе и информисања и *Моја башта на зиду*, пројекат Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

Учесник је већег броја међународних радионица, од којих се издваја и вођење радионице *Обликовање бетона у форми текстила* у сарадњи са дипл.инж. Georg Grasser, University of Innsbruck, у оквиру Првог међународног конгреса грађевинских материјала – Бетон, одржаној 2016. године у Београду. Добитник је прве награде за идејни пројекат адаптивне фасаде у оквиру радионице *Adaptive Facades - COST Training School and Workshop*, одржане 2016. године на HafenCity University у Хамбургу, Немачка.

Од 2018. године ради као архитекта у иностранству, где поседује лиценцу за одговорног пројектанта издату од стране Архитектонске коморе у Хамбургу, Немачка. У пракси се бави израдом идејних, главних и извођачких пројеката, припремањем документације за добијање грађевинске дозволе, проценом и прорачуном трошкова, као и координацијом процеса планирања сложених објеката. Као одговорни пројектант аутор је великог броја архитектонских пројеката хотела, вртића, стамбених објеката и здравствених центара реализованих у претходним годинама. У пракси се специјализује за израду пројеката у складу са концептом одрживости.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација под насловом „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ има укупно 291 страну. На почетку дисертације, пре основног текста, на укупно 10 страна налазе се: насловне стране дисертације на српском и енглеском језику, подаци о ментору и члановима комисије, изјава захвалности, резиме на српском и енглеском језику, као и детаљан садржај рада. Након основног текста дат је списак извора и литературе наведен на 11 страна, разврстан на библиографске изворе који се односе на књиге и научне чланке, директиве, правилнике и стандарде. Затим су наведени извори са интернета, коришћене базе података и софтвери. Дисертација садржи 6 Прилога у којима су приказани резултати свих спроведених прорачуна и коришћених података. У завршеном делу дисертације налази се списак скраћеница и симбола, попис илустрација, попис табела и биографија аутора. Рад садржи 49 слика и 26 табела у оквиру основног текста, као и 51 табелу у прилозима. Све илустрације у оквиру докторске дисертације су ауторске. На крају рада, дате су изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

Садржај докторске дисертације је следећи:

<b>1. УВОД</b>	<b>1</b>
1.1 ПОВОД ИСТРАЖИВАЊА И УВОДНЕ НАПОМЕНЕ О ТЕМИ	1
1.2 ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	2
1.3 ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА	4
1.4 ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА	5
1.5 ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА	6
1.6 НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА	7
1.7 НАУЧНА ОПРАВДАНОСТ ДИСЕРТАЦИЈЕ И ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	8
1.8 СТРУКТУРА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ	10
<b>2. ВИСОКИ ОБЈЕКТИ: ОД ПОЈЕДИНАЧНИХ ФОРМИ ДО ГЛОБАЛНОГ ТРЕНДА</b>	<b>12</b>
2.1 ОДРЕЂИВАЊЕ ПОЈМА ВИСОКИ ОБЈЕКАТ	12
2.2 ОД ПОЈЕДИНАЧНИХ ФОРМИ ДО ГЛОБАЛНОГ ТРЕНДА	15
2.2.1 Симбол америчког капитализма	15
2.2.2 Стаклено-челичне кутије модернизма	18
2.2.3 Глобални тренд	20
2.2.3.1 Иконичне структуре	22
2.2.3.2 Символи локалне културе	23
2.3 АНАЛИЗА ИЗГРАДЊЕ У ЕВРОПИ ТОКОМ 20. И 21. ВЕКА	25
2.4 ВИСОКИ ОБЈЕКТИ У БЕОГРАДУ	28
2.4.1 Преглед изградње високих објеката у Београду	28
2.4.1.1 Стамбени објекти	28
2.4.1.2 Објекти пословне и комбиноване намене	29
2.4.2 Карактеристике високих објеката Београда	30
2.4.2.1 Градске визуре	31
2.4.3 Студија високих објеката	32
2.4.3.1 Предложене зоне за изградњу високих објеката	33
2.5 УТИЦАЈИ НА РАЗВОЈ ФАСАДНИХ ОМОТАЧА ВИСОКИХ ОБЈЕКАТА	35
2.5.1 Развој фасадних омотача високих објеката	35
2.5.2 Концепт одрживости и утицај високих објеката на животну средину	37
2.5.3 Потрошња енергије у високим објектима	39

2.5.4	Уграђена и оперативна енергија високих објеката	40
2.5.5	Савремени фасадни системи	42
<b>3.</b>	<b>ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА У ГРАЂЕВИНСКОЈ ИНДУСТРИЈИ И АРХИТЕКТУРИ</b>	<b>44</b>
3.1	КОНЦЕПТ ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ	44
3.1.1	Разлика између линеарне и циркуларне економије	45
3.1.2	Дефиниција циркуларне економије	48
3.2	ПРИНЦИПИ И СТРАТЕГИЈЕ ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ	49
3.3	ЕВРОПСКЕ И НАЦИОНАЛНЕ РЕГУЛАТИВЕ	51
3.4	ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА У ГРАЂЕВИНСКОЈ ИНДУСТРИЈИ	54
3.4.1	Утицај грађевинске индустрије на животну средину	54
3.4.1.1	Проблем грађевинског отпада у Европи и Србији	55
3.4.2	Промене у грађевини и архитектури условљене концептом ЦЕ	56
3.4.2.1	Позиција циркуларне економије у животном циклусу објеката	57
3.4.2.2	Веза циркуларне економије и животног века делова објеката	60
3.5	ПРИМЕНА СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ У АРХИТЕКТУРИ	62
3.5.1.1	Анализа стратегија фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур	65
<b>4.</b>	<b>МЕТОДОЛОШКИ ПОСТУПАК ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДНИХ ОМОТАЧА ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ</b>	<b>69</b>
4.1	МЕТОДОЛОГИЈА ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА	69
4.2	ДЕФИНИСАЊЕ ОСНОВНИХ МОДЕЛА ФАСАДА	70
4.3	ФАСАДНИ ОМОТАЧИ СА СТАНОВИШТА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ	73
4.4	ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ОСНОВНИХ МОДЕЛА ФАСАДА	77
4.4.1	Анализа актуелног развоја фасадних производа у односу на концепт ЦЕ	78
4.4.2	Прикупљање података од произвођача	79
4.4.3	Декларације производа за животну средину	81
4.4.3.1	Анализа база података	84
4.4.3.2	Ограничења примене декларација за фасадне омотаче	84
4.5	АНАЛИЗА ПОТЕНЦИЈАЛА И ОГРАНИЧЕЊА ПРИМЕНЕ СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ НА ФАСАДНЕ ОМОТАЧЕ ВИСОКИХ ОБЈЕКТА	85
4.5.1	Анализа фасадних система основних модела МА и МВ у односу на нивое примене стратегија ЦЕ	85

4.5.2	Потенцијали и ограничења примене стратегија циркуларне економије на елемент зид-завесе основних модела	89
4.5.2.1	Ниво примене: Материјали	89
4.5.2.2	Ниво примене: Елементи и компоненте	93
4.5.2.3	Ниво примене: Систем	97
4.5.3	Преглед одабраних принципа и стратегија циркуларне економије за оптимизацију основних модела фасадних омотача	99

<b>5.</b>	<b>ПРОРАЧУН ИНДИКАТОРА ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА И ПРОЦЕНА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЗА ФАСАДНИ СЕГМЕНТ ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА</b>	<b>100</b>
5.1	ДЕФИНИСАЊЕ КРИТЕРИЈУМА ЗА КВАНТИФИКАЦИЈУ	100
5.1.1	Индикатор циркуларног потенцијала	102
5.1.2	Индекс монтаже	107
5.1.3	Оцена животног циклуса фасадног омотача	110
5.1.3.1	Прилагођавање основне методе LCA за прорачун два животног циклуса фасаде	113
5.2	ПРОРАЧУН ФАСАДНОГ СЕГМЕНТА ОСНОВНИХ МОДЕЛА	115
5.2.1	Инвентар за прорачун фасадних сегмената основних модела МА и МВ	115
5.2.2	Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала	119
5.2.2.1	Порекло и потенцијали поновне употребе материјала	119
5.2.2.2	Индекс монтаже	120
5.2.2.3	Индикатор циркуларног потенцијала у фазама производње, употребе и краја животног циклуса	121
5.2.3	Резултати прорачуна утицаја на животну средину – оцена животног циклуса	123
5.2.4	Систематизација података из прорачуна основних модела	130
5.3	ДЕФИНИСАЊЕ ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	131
5.4	ПРОРАЧУН ФАСАДНИХ СЕГМЕНАТА ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	132
5.4.1	Инвентар за прорачун оптимизованих модела	132
5.4.2	Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала	134
5.4.2.1	Порекло и потенцијали поновне употребе материјала	134
5.4.2.2	Индекс монтаже	136
5.4.2.3	Индикатор циркуларног потенцијала компоненти фасадног сегмента	138
5.4.3	Резултати прорачуна утицаја на животну средину	141
5.4.3.1	Потенцијал глобалног загревања - GWP tot	141
5.4.3.2	Потенцијал ацидификације, еутрофикације и формирања фото-хемијског озона – AP, Erfg и POCP	143
5.4.3.3	Потрошња минералних и фосилних ресурса – ADPe и ADPf	147



5.4.3.4	Укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије - PERT и PENRT	150
5.4.3.5	Одлагање штетног, неопасног и радиоактивног отпада – HWD, NHWD и RWD	153
5.5	ПРОРАЧУН ПРОМЕНА У ПОТРОШЊИ ЕНЕРГИЈЕ ХИПОТЕТИЧКОГ ОБЈЕКТА У ЗАВИСНОСТИ ОД ПРИМЕЊЕНИХ СТРАТЕГИЈА ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА	157
5.5.1	Дефинисање хипотетичког високог објекта у Београду	157
5.5.2	Провера утицаја оптимизације фасадног омотача на потрошњу оперативне енергије хипотетичког високог објекта у климатским условима Београда	159
5.5.2.1	Подаци за прорачун енергије током употребне фазе објекта	159
5.5.2.2	Оперативна енергија оптимизованих модела високог објекта изражена кроз емисију угљен-диоксида	161
<b>6.</b>	<b>ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА И ПРОЦЕНА УТИЦАЈА ПРИМЕЊЕНИХ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ</b>	<b>164</b>
6.1	ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ПРОРАЧУНА ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА И УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ НА ОСНОВУ УПОРЕДНЕ АНАЛИЗЕ ФАСАДНИХ СЕГМЕНАТА ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	164
6.1.1	Индикатор циркуларног потенцијала у односу на оптимизацију материјала, монтаже и животног века компоненти	164
6.1.2	Утицаји на животну средину фасадних сегмената	168
6.2	ПРОЦЕНА ЕМИСИЈА CO <sub>2</sub> ФАСАДНОГ ОМОТАЧА У ОДНОСУ НА ПОТРОШЊУ ЕНЕРГИЈЕ ВИСОКОГ ОБЈЕКТА У ЗАВИСНОСТИ ОД ОПТИМИЗАЦИЈЕ ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА ФАСАДНОГ ОМОТАЧА	180
6.3	АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРИМЕЊЕНИХ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ НА ОПТИМИЗАЦИЈУ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА	184
<b>7.</b>	<b>ЗАКЉУЧАК</b>	<b>187</b>
7.1	ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА	187
7.2	ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА	192
<b>8.</b>	<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>193</b>
<b>9.</b>	<b>ПРИЛОЗИ</b>	<b>204</b>
ПРИЛОГ 1.	Анализа високих објеката у Европи у односу на период изградње, висину и намену	204
ПРИЛОГ 2.	Истраживање утицаја производње равног стакла и различитих конфигурација термоизолационих стаклених пакета на животу средину	213

ПРИЛОГ 3. Анализа утицаја фасадних система на животну средину у односу на димензије фасадних поља и количину уграђених материјала	220
ПРИЛОГ 4. Инвентар за прорачун основних и оптимизованих модела	230
ПРИЛОГ 5. Детаљни приказ резултата прорачуна за фасадни сегмент основних и оптимизованих модела	251
ПРИЛОГ 6. Упоредни приказ резултата прорачуна утицаја на животну средину током животног циклуса фасадног сегмента оптимизованих модела	266
Скраћенице и симболи	272
Попис илустрација	273
Попис табела	275
Биографија аутора	277
Изјава о ауторству	278
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада	279
Изјава о коришћењу	280

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Структуру докторске дисертације чини седам главних поглавља, која се могу поделити на два дела, од којих се први састоји од четири поглавља, док се други део састоји од три поглавља. Истраживање је реализовано у фазама од којих свака одговара једном поглављу у дисертацији. У оквиру првог дела сагледава се теоријски оквир на основу кога се дефинишу повод и предмет истраживања предложене теме, систематизују претходна сазнања из релевантних области, формира методолошки поступак и дефинишу модели фасада који се детаљно обрађују у наредном, експерименталном делу истраживања.

У **Уводу** су изнете уводне напомене о теми, разматра се проблем и предмет истраживања, на основу чега су дефинисани циљеви, задаци истраживања и полазне хипотезе истраживања. Наводе се примењене научне методе, објашњава научни допринос и наводе очекивани резултати дисертације, као и њихова практична примена.

У другом поглављу - **Високи објекти: од појединачних форми до глобалног тренда** – се првенствено одређује појам високог објекта у односу на специфичности ове типологије. Затим се сагледава историјски развој високих објеката кроз анализу утицаја који су условили њихову градњу, као и друштвених и технолошких фактора који се са њима повезују. Квантитативном методом систематизације података изводе се закључци о изградњи високих објеката у Европи у односу на период изградње, намену објеката и остварену висину, а затим и истичу њихове специфичности у односу на објекте у другим деловима света. Анализира се тренд изградње високих објеката у Београду, њихове карактеристике и регулативни оквир који се односи на препоруке за њихову изградњу. У

овом поглављу се затим анализирају фасадни омотачи високих објеката и њихове карактеристике, утицај концепта одрживости на савремене фасадне системе као и значај фасаде у укупној потрошњи енергије ових објеката.

Треће поглавље - **Циркуларна економија у грађевинској индустрији и архитектури** - се бави анализом концепта циркуларне економије, од ширег нивоа до уже примене у грађевинској индустрији и архитектури. Објашњени су основни принципи и стратегије циркуларне економије и разлике овог концепта у односу на тренутно актуелни модел линеарне економије. Систематизована је европска регулатива која указује на актуелне проблеме загађења животне средине, потрошње ресурса и емисије штетних гасова. Додатно се наводе и стратешки документи бројних европских земаља за примену циркуларне економије на националном и регионалном нивоу, укључујући и Србију. Анализирају се негативни утицаји грађевинске индустрије и изградње објеката на животу средину, и додатно истиче проблем грађевинског отпада. У овом поглављу су изведени закључци о променама у архитектури до којих доводи примена принципа циркуларне економије, у односу на фазе животног циклуса објекта и животни век његових делова, као и анализирани и систематизовани принципи и стратегије циркуларне економије који се могу применити током архитектонског планирања.

Наредно, четврто, поглавље - **Методолошки поступак оптимизације фасадних омотача применом принципа и стратегија циркуларне економије** – представља суштину истраживачког процеса јер је у њему дефинисан методолошки поступак по коме се базира процена оптимизације фасадних омотача применом принципа циркуларне економије. На основу сазнања из претходних поглавља дефинисани су основни модели фасадних сегмената коју су предмет истраживања у следећем поглављу. Анализирана је примена принципа и стратегија циркуларне економије на фасадне омотаче, након чега је уследило опсежно истраживање могућности оптимизације дефинисаних модела фасада. У оквиру овог поглавља објашњен је сложени процес прикупљања података који је подразумевао интервјуе са представницима произвођача фасадних система, информисање о актуелном развоју фасадних производа у односу на концепт циркуларне економије, анализу база података и прикупљање декларација за животну средину које се користе у нумеричким прорачунима. У закључном делу поглавља спроведена је детаљна анализа потенцијала примене принципа и стратегија циркуларне економије на фасаде високих објеката у односу на карактеристике фасадних система основних модела. Утврђене су могућности и ограничења њихове оптимизације у односу на ниво примене стратегија циркуларне економије на материјале, елементе, компоненте и цео фасадни систем. Дефинисане су стратегије које ће се даље анализирати у односу на које се дефинишу кораци поступка оптимизације односно оптимизоване варијанте основних модела фасада.

Други део докторске дисертације се односи на одабир метода за нумеричке прорачуне претходно дефинисаних модела, а затим и њихових оптимизованих варијанти, након чега се кроз компаративну анализу и дискусију резултата доносе закључци и указује на могуће правце даљег истраживања.

Пето поглавље докторске дисертације - **Прорачун индикатора циркуларног потенцијала и процена животног циклуса за фасадни сегмент основних и оптимизованих модела** – представља најобимнији и кључни део истраживања. На почетку поглавља се дефинишу критеријуми на основу којих се врше прорачуни параметара релевантних за процену циркуларног потенцијала фасадних сегмената и њихових утицаја на животну средину. Они подразумевају прорачуне уграђене количине материјала уз анализу њиховог порекла и могућности поновне употребе на крају животног века у фасади; процену индекса демонтаже; прорачун индикатора циркуларног потенцијала појединачних компоненти фасадног сегмента и прорачун индикатора циркуларног потенцијала током свих фаза животног циклуса фасаде; прорачун 11 индикатора утицаја на животну средину који се односе на потрошњу ресурса и енергије, одложене количине отпада и утицаје на загађење воде, ваздуха и земљишта; прорачун укупне потрошње уграђене енергије фасадног омотача током периода од 50 година изражене кроз емисију угљен-диоксида, као и прорачун потрошње оперативне енергије хипотетичког високог објекта у климатским условима Београда у зависности од оптимизације фасаде применом принципа циркуларне економије. Наведени параметри су првенствено прорачунати за основне моделе фасадних сегмената, након чега се на основу резултата изводе закључци о потенцијалима њиховог унапређења и креирају оптимизовани модели за које се у наставку спроводе претходно наведени прорачуни. У оквиру овог поглавља је објашњен дефинисани хипотетички високи објекат у Београду и наведене његове карактеристике које су значајне за прорачун потрошње оперативне енергије, изражене кроз емисију угљен-диоксида током животног века објекта од 50 година.

У шестом поглављу се приказује **Дискусија резултата и процена утицаја примењених принципа и стратегија циркуларне економије** кроз компаративну анализу резултата прорачуна индикатора циркуларног потенцијала и утицаја на животну средину основних и оптимизованих модела фасада. Анализирају се резултати 11 индикатора утицаја на животну средину који се односе на потрошњу минералних и фосилних ресурса; загађење воде, ваздуха и земљишта; генерисање неопасног, штетног и радиоактивног отпада; потрошњу обновљивих и необновљивих извора енергије и процену потенцијала глобалног загревања. Процењује се емисија угљен-диоксида током периода од 50 година у односу на потрошњу енергије за грејање и хлађење хипотетичког високог објекта у Београду, у зависности од оптимизације фасадног омотача оствареног применом принципа циркуларне економије. Систематизују се резултати свих нумеричких прорачуна, на основу чега се сагледава утицај појединачних стратегија циркуларне економије и спроведених корака поступка оптимизације фасадног омотача, уз осврт на њихов утицај на промену изгледа фасаде високог објекта у односу на основне моделе.

У **Закључку** се приказани резултати истраживања остварени у претходним поглављима, проверава се оствареност постављених хипотеза истраживања, дају препоруке за примену предложене методологије и указује на могуће правце даљих истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидаткиње Анђеле Н. Посавец представља оригинално научно истраживање чија је тема изузетно актуелна узимајући у обзир глобално присутне последице климатских промена, потрошњу ресурса и значајан негативан утицај зграда и грађевинске индустрије на животну средину. Примена концепта циркуларне економије у архитектури је тема чије је истраживање на самом почетку на међународном нивоу, док његова примена није заступљена у Србији. Истиче се оригиналност представљене теме у односу на промене у процесу архитектонског планирања и неопходног проширења сазнања релевантних за инжењера архитектуре које одрживо планирање у складу са принципима циркуларне економије захтева.

Савременост дисертације се додатно препознаје у односу на уочен недостатак истраживања која се баве темом високих објеката у нашој средини, чиме додатни допринос представља и сагледавање ове комплексне типологије са становишта потрошње ресурса и енергије у тренутку када се примећује узлазни тренд њихове изградње у Београду. Кроз истраживање је приказано свеобухватно сагледавање животног циклуса фасадног омотача високих објеката и приказан сложен процес утврђивања потенцијала његове оптимизације кроз примену принципа циркуларне економије.

Оригиналност докторске дисертације се препознаје у комплексном приступу истраживању који је захтевао примену бројних научних метода као и прикупљање значајног броја података из литературе и савремене праксе, у циљу јединственог обједињавања тема циркуларне економије и фасада високих објеката. Истраживање истиче могућности оптимизације фасадних омотача високих објеката применом принципа циркуларне економије у циљу смањења његових негативних утицаја на животну средину током целокупног животног циклуса. Специфичност фасада високих објеката је у томе што су површински доминантне у односу на остале делове конструкције а имају просечан животни век од 25 година, што значи да се морају променити неколико пута током животног века објекта. Такође, оне представљају посебан изазов са аспекта циркуларне економије јер представљају један од најкомплекснијих система високих објеката и имају значајан утицај на укупне енергетске перформансе објекта, због чега се додатно истиче значај предметне докторске дисертације.

На методолошком нивоу, оригиналност докторске дисертације се огледа у дефинисању јединственог методолошког поступка којим се утврђују могућности оптимизације фасада високих објеката, као и сагледава допринос појединачних принципа и стратегија циркуларне економије у њеном остваривању. На практичном нивоу се оригиналност истраживања уочава у усмерености на савремену архитектонску праксу и њено унапређење, при чему се претходно поменути методолошки поступак примењује на конкретном примеру фасадног омотача хипотетичког високог објекта у Београду.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ („Tall buildings facade optimisation based on the principles of circular economy“), аутора Анђеле Н. Посавец, потврђена је оригиналност ове дисертације. Утврђено је подударање текста у износу од 0%.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидаткиња Анђела Н. Посавец је користила обимну литературу у виду примарних и секундарних библиографских извора, који су омогућили свеобухватно сагледавање свих тема које су предмет истраживања и њихово повезивање.

На основу избора библиографских јединица, њиховог обима и квалитета, кандидаткиња је показала да је детаљно упозната са релевантним сазнањима из области које су предмет истраживања и адекватно их користи за аргументацију ставова и извођење закључака. Истиче се познавање и употреба најсавременијих извора из области циркуларне економије, које подразумевају истраживања објављена у претходних неколико година, као и темељно познавање актуелног развоја и примене овог концепта у научним радовима и истраживањима која се спроводе на међународном нивоу.

Извори који су коришћени у докторској дисертацији се могу поделити у три групе које се односе на високе објекте и њихове фасадне омотаче, концепт циркуларне економије и његову примену у архитектури, изворе који се односе на конкретну примену принципа и стратегија циркуларне економије на зграде и фасадне омотаче, као и нумеричке прорачуне индикатора циркуларног потенцијала и процену утицаја на животу средину.

Прва група библиографских извора се односи на развој типологије високих објеката сагледан кроз утицај различитих друштвених и технолошких фактора на њихову изградњу. Овој групи припадају извори из историје и теорије архитектуре чијом систематизацијом се утврђује симболички значај високих објеката, а затим и даје осврт на критичка мишљења о њиховој изградњи уз посебан осврт на фасадне омотаче. Основне библиографске јединице у оквиру ове групе су:

- Asendorf, O. (Ур.). (2005). *Das Hochhaus und die europäische Stadt*. Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Barr, J. (2013). Skyscrapers And Skylines: New York And Chicago, 1885–2007. *Journal of Regional Science*, 53(3), 369-391.
- Campi, M. (2000). *Skyscrapers: An Architectural Type of Modern Urbanism*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- Dupré, J. (2013). *Skyscrapers: A History of the World's Most Extraordinary Buildings*. New York: Black Dog & Leventhal Publishers.
- Eisele, J., & Kloft, E. (Ур.). (2003). *High-rise Manual: Typology and Design, Construction and Technology*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Architecture.

- Ford, L. (1994). *Cities and Buildings: Skyscrapers, Skid Rows, and Suburbs*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Huxtable, A. L. (1993). *The Tall Building Artistically Reconsidered: The Search for a Skyscraper Style*. Berkley: University of California Press.
- Jacobs, J. (2006). A geography of big things. *Cultural geographies*, 13, 1-27.
- Koolhaas, R. (1994). *Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan*. London, New York: The Monacelli Press.
- McNeill, D. (2005). Skyscraper geography. *Progress in Human Geography*, 29(1), 41-55.
- Sonder, B. (1999). *Skyscrapers*. New York: MetroBooks.
- Webster, J. C. (1959). The Skyscraper: Logical and Historical Considerations. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 18(4), 126-139.
- Willis, C. (1995). *Form Follows Finance: Skyscrapers and Skylines in New York and Chicago*. New York: Princeton Architectural Press.
- Гидион, З. (2012). *Простор, време и архитектура: развој нове традиције*. Београд: Грађевинска књига.
- Ђорђевић-Цигановић, Ј., & Михаљевић, В. (2011). Поглед на Београд са висине, *ИНФО*, 33, 9-51.
- Џенкс, Ч. (2007). *Нова парадигма у архитектури*. (М. Милосављевић, Прев.) Београд: Орион арт.

У оквиру ове групе извора се посебно издваја литература која се односи на фасадне омотаче високих објеката, утицаје различитих технолошких достигнућа на њихов развој као и карактеристике савремених фасадних омотача, системе и материјализацију. Обухвата и изворе који се односе на потрошњу уграђене и оперативне енергије у високим објектима, и утицај фасадног омотача на њихове укупне енергетске перформансе, од којих се издвајају:

- Berger, T., Prasser, P., & Reinke, H. (2013). Einsparung von Grauer Energie bei Hochhäusern. *Beton- und Stahlbetonbau*, 108(6), 395-403.
- Drew, C., & Quintanilla, N. (2017). The Path to Life Cycle Carbon Neutrality in High Rise Buildings. *International Journal of High-Rise Buildings*, 6(4), 333-343.
- Elnimeiri, M., & Gupta, P. (2008). Sustainable structure of tall buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17, 881-894.
- Giordano, R., Giovanardi, M., Guglielmo, G., & Micono, C. (2017). Embodied energy and operational energy evaluation in tall buildings according to different typologies of façade. *Energy Procedia*, 134, 224-233.
- Godoy-Shimizu, D., Steadman, P., Hamilton, I., Donn, M., Evans, S., Moreno, G., & Shayesteh, H. (2018). Energy use and height in office buildings. *Building Research & Information*, 46(5), 845-863.
- Moon, K. S. (2013). Dynamic Interaction between Technology and Architectural Aesthetics in Tall Buildings. *Journal of Urban Technology*, 20(2), 3-24.
- Oldfield, P., Trabucco, D., & Wood, A. (2009). Five energy generations of tall buildings: an historical analysis of energy consumption in high-rise buildings. *The Journal of Architecture*, 14(5), 519-613.
- Rafiei, M., & Adeli, H. (2016). Sustainability in highrise building design and construction. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25(13), 643-358.
- Soares Gonçalves, J. C. (2010). *The Environmental Performance of Tall Buildings*. London: Routledge.

- Yeang, K. (1999). *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings*. London, New York: Prestel Publishing.
- Yeang, K. (1996). *The Skyscraper Bioclimatically Considered*. London: John Wiley & Sons.

Друга група обухвата литературу која се бави истраживањем концепта циркуларне економије и његове примене у грађевинској индустрији и архитектонској пракси. Поред научних истраживања обухвата и Европске директиве и националне стратегије за примену циркуларне економије које истичу глобалне изазове угрожавања животне средине. Извори се односе на испитивања концепта циркуларне економије као могуће стратегије за смањење експлоатације природних ресурса и емисије угљен-диоксида. Кључне јединице у овој групи су:

- Addis, B., & Schouten, J. (2004). *Design for deconstruction - principles of design to facilitate reuse and recycling*. London: CIRIA.
- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Davila Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 175–186.
- Akhimien, N. G., Latif, E., & Shan Hou, S. (2021). Application of circular economy principles in buildings: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 38.
- Baker-Brown, D. (2017). *The Re-Use atlas: A designer's guide towards a circular economy*. RIBA Publishing
- Benachio, G., Freitas, M., & Tavares, S. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260.
- Cattelan Nobre, G., & Tavares, E. (2021). The quest for a circular economy final definition: A scientific perspective. *Journal of Cleaner Production*, 314.
- Cheshire, D. (2016). *Building revolutions applying the circular economy to the built environment*. Newcastle upon Tyne: RIBA Publishing.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 757-768.
- Giovanardi, M., Konstantinou, T., Pollo, R., & Klein, T. (2023). Internet of Things for building façade traceability: A theoretical framework to enable circular economy through life-cycle information flows. *Journal of Cleaner Production*, 382.
- Hartwell, R., Macmillan, S., & Overend, M. (2021). Circular economy of façades: Real-world challenges and opportunities. *Resources, Conservation & Recycling*, 175.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221-232.
- Kragh, M., & Jakica, N. (2022). Circular economy in facades. Y E. Gasparri, A. Brambilla, G. Lobaccaro, F. Goia, A. Andaloro, & A. Sangiorgio, *Rethinking Building Skins: Transformative Technologies and Research Trajectories* (стр. 519-539). Woodhead Publishing, Series in Civil and Structural Engineering.
- Malabi Eberhardt, L. C., Birkved, M., & Birgisdottir, H. (2020). *Building design and construction strategies for a circular economy*. Architectural Engineering and Design Management.
- Mhatre, P., Gedam, V., Unnikrishnan, S., & Verma, S. (2021). Circular economy in built environment – Literature review and theory development. *Journal of Building Engineering*, 35.
- Norouzi, M., Chàfer, M., Cabeza, L. F., Jiménez, L., & Boer, D. (2021). Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*, 44.



- Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710-718.
- Sáez-de-Guinoa, A., Zambrana-Vasquez, D., Fernández, V., & Bartolomé, C. (2022). Circular Economy in the European Construction Sector: A Review of Strategies for Implementation in Building Renovation. *Energies*, 15(4747).
- Sommer, J., & Guldager, K. (2016). *Building a circular future*. Hvidovre: The Danish Environmental Protection Agency.

Трећа група се односи на изворе који указују на потенцијале примене циркуларне економије на фасадне омотаче уз осврт на теме енергетске и еколошке одрживости. Такође, у оквиру ове групе су извори кроз које су објашњени или дати предлози различитих нумеричких процена примене принципа циркуларне економије у зградама. Обухваћени су извори који се баве применом методе оцене животног циклуса зграда и анализом фаза животног циклуса фасада и њихових елемената. У овој групи су извори који се односе на истраживања фасадних система, њихових карактеристика и материјала који се примењују у савременој архитектонској пракси, као и захтева који се односе на специфичности планирања фасадног омотача. У оквиру ове групе се издвајају:

- Akadiri, P., & Olomolaiye, P. (2012). Development of sustainable assessment criteria for building materials selection. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(6), 666-687.
- Arup. (2022). *Carbon Footprint of Facades: Significance of Glass*.
- Berge, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*. London: Routledge.
- Binow Bitar, A. L., Bergmans, I., & Ritzen, M. (2022). Circular, biomimicry-based, and energy-efficient façade development for renovating terraced dwellings in the Netherlands. *Journal of Facade Design and Engineering*, 10(1), 75-104.
- Clark, D. (2012). *What Colour is your Building? Measuring and reducing the energy and carbon footprint of buildings*. London: RIBA Publishing.
- Cole, R. J., & Kernan, P. C. (1996). *Life-cycle energy use in office buildings*. *Building and Environment*, 31(4), 307-317.
- Crawford, R. (2011). *Life Cycle Assessment in the Built Environment*. Abdingdon, Oxon: Spon Press, Taylor & Francis group.
- Dräger, P., Letmathe, p., Reinhart, L., & Robineck, F. (2022). Measuring circularity: evaluation of the circularity of construction products using the ÖKOBAUDAT database. *Environmental Sciences Europe*, 34(13).
- Dutch Green Building Council. (2021). *Circular Buildings - a measurement method for disassembly potential 2.0*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity, Methodology*.
- Heisel, F., & Rau-Oberhuber, S. (2020). Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. *Journal of Cleaner Production*, 243(118482).
- Hartwell, R., & Overend, M. (2020). End-of-Life Challenges in Facade Design: A disassembly framework for assessing the environmental reclamation potential of facade systems. *Facade Tectonics World Congress 2020 Conference*.
- Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W. (2012). *Facade Construction Manual*. DETAIL Construction Manuals. Munich: Walter de Gruyter.

- Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A., & Seggewies, J.-K. (2018). *Recycling Atlas: Gebäude als Materialressource*. Edition Detail. Munich: Detail Business Information GmbH.
- Jin, Q., & Overend, M. (2014). A prototype whole-life value optimization tool for facade design. *Journal of Building Performance Simulation*, 7(3), 217-232.
- Klein, T. (2013). *Integral Facade Construction. Towards a New Product Architecture for Curtain Walls*. Докторска дисертација. A+BE | Architecture and the Built Environment, TU Delft.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2007). *Façades Principles of Construction*. Berlin: Birkhäuser Verlag AG.
- König, H., Kohler, N., Kreißig, J., & Lützkendorf, T. (2009). *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung*. München: DETAIL.
- Lam, W., Claes, S., & Ritzen, M. (2022). Exploring the Missing Link between Life Cycle Assessment and Circularity Assessment in the Built Environment. *Buildings*, 12(2152).
- Madaster. (2021). *Madaster Circularity Indicator*.
- Memari, A. (2013). *Curtain Wall Systems: A Primer*. Reston: American Society of Civil Engineers.
- Niero, M., & Kalbar, P. P. (2019). Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 305-312.
- Schittich, Christian (Ed.). (2002). *In detail: building skins: concepts, layers, materials*. New York: Princeton Architectural Press.
- Straube, J., & Burnett, E. (2005). *Building science for building enclosures*. Westford: Building science press.
- van Stijn, A., Malabi Eberhardt, L., Wouterszoon Jansen, B., & Meijer, A. (2021). A Circular Economy Life Cycle Assessment (CE-LCA) model for building components. *Resources, Conservation and Recycling*, 174.
- Watts, A. (2019). *Modern Construction Envelopes: Systems for architectural design and prototyping*. Berlin, Boston: Birkhäuser.

У односу на специфичност предмета истраживања прикупљени су релевантни подаци који су неопходни за квантификацију појединачних параметра за прорачун циркуларног потенцијала, уграђене и оперативне енергије, као и индикатора утицаја на животну средину. За прорачун уграђене енергије и циркуларног потенцијала релевантни су подаци о карактеристикама свих материјала и производа у оквиру дефинисаних фасадних склопова, који су прикупљени кроз сарадњу са произвођачима фасадних система. За компјутерске симулације енергетских перформанси, односно прорачун потрошње оперативне енергије у зависности од промене фасадног омотача, су прикупљене информације из правилника, док су за поступак оцене животног циклуса фасада прикупљени подаци из важећих међународних и националних стандарда.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У односу на комплексност докторске дисертације кандидаткиња је применила више општих и посебних научно-истраживачких метода које се међусобно допуњују и надовезују у функцији остваривања везе свих сегмената истраживања. Примењене методе подразумевају критичку анализу садржаја, синтезу сазнања из претходних истраживања, анализу примера из праксе, метод индукције, неколико метода за

квантитативну анализу и метод компаративне анализе за дискусију добијених резултата. Научне методе су примењене адекватно у односу на предмет и фазе истраживања.

На почетку се кроз анализу садржаја претходних истраживања утврђују различити утицаји на изградњу високих објеката у свету и Србији, као и технолошка достигнућа која су утицала на развој њихових фасадних омотача. Квантитативном анализом процењује се тренд изградње високих објеката у Европи, са аспеката периода изградње, висине и намене објеката. Критичком анализом утицаја концепта одрживости на фасадне омотаче високих објеката се изводе закључци о карактеристикама савремених фасадних система који се примењују на дефинисање основних модела фасада у даљем току истраживања. Затим се кроз интердисциплинарни теоријску анализу постојећих научних истраживања из доступне литературе која се бави темом циркуларне економије и систематизацију података утврђују савремени приступи примене начела циркуларне економије у грађевинској индустрији и потенцијали примене у раним фазама архитектонског пројектовања. Синтеза знања из библиографских извора који се односе на концепт циркуларне економије, фасадне омотаче високих објеката и потрошњу енергије током животног циклуса високих објеката омогућава постављање теоријског оквира који је релевантан за даљи ток истраживања. Критичком анализом потенцијала примене стратегија циркуларне економије на фасадне омотаче високих објеката се дефинишу оне које се могу применити у поступку оптимизације основних модела.

У другом делу истраживања су примењене методе којима се врши квантитативна процена циркуларног потенцијала и утицаја на животу средину основних и оптимизованих модела. У овом делу истраживања спроведени су нумерички прорачуни којима је обухваћен целокупан животни циклус фасадних омотача. Они обухватају процену циркуларног потенцијала на основу прорачуна количине уграђених материјала и компоненти, позадине њиховог процеса производње, могућности поновне употребе или рециклаже на крају животног циклуса, као и животног века употребе. Процена се заснива на математичком моделу за прорачун индикатора циркуларног потенцијала материјала и компоненти и методи одређивања циркуларног индекса фасадних компоненти. Додатно се прорачунава индекс демонтаже фасадног склопа, на основу међусобне повезаности уграђених компоненти, који има значајан утицај на укупан циркуларни потенцијал фасаде јер од њега зависи могућност директне поновне употребе компоненти и продужетак њиховог животног века. Наредни метод се односи на процену утицаја фасадног омотача на животну средину и подразумева оцену животног циклуса коју карактерише свеобухватни прорачун потреба за изградњу, употребу и одржавање фасадног омотача (фазе животног циклуса А, Б и Ц) током периода од 50 година, као и могућности коришћења уграђених материјала на крају животног циклуса (фаза Д). У истраживању је примењена интерпретација стандардног метода оцене животног циклуса у односу на неопходност прорачуна два животна циклуса фасадних компоненти, због чега је предложена прилагођена и унапређена метода овог прорачуна у односу на специфичност предмета истраживања. Метод оцене животног циклуса је примењен за прорачун 11 индикатора утицаја на животну средину који се односе на потрошњу минералних и фосилних ресурса; загађење воде, ваздуха и земљишта; генерисање неопасног, штетног и радиоактивног отпада; потрошњу обновљивих и необновљивих извора енергије и процену потенцијала глобалног загревања. Поменута метода се

користи за прорачун емисије угљен-диоксида током животног циклуса целог фасадног омотача хипотетичког високог објекта, у фазама производње, употребе и краја животног века. Прорачун уграђене енергије се заснива на процени потрошње енергије током екстракције природних ресурса, производње материјала, производње фасадних елемената и компоненти, њихове замене, демонтаже, рушења и одлагања искоришћених материјала. Методом компјутерских симулација процењује се потрошња оперативне енергије током употребне фазе хипотетичког објекта, која се такође изражава кроз емисију угљен-диоксида. Прорачун оперативне енергије обухвата потребе за грејање и хлађење објекта и спроведен је у одговарајућем софтверу, уз дефинисање локације, оријентације, форме, спратности, конструкције, и намене хипотетичког објекта, затим климатских услова и прецизних термичких карактеристика фасада основних и оптимизованих модела.

Дискусија и евалуација резултата је заснована на компаративној анализи кумулативних вредности одабраних индикатора циркуларног потенцијала и индекса демонтаже, као и 11 индикатора утицаја на животну средину за основне и оптимизоване моделе фасадних сегмената. Критичком анализом резултата прорачуна, у односу на целокупни животно циклус објекта процењен је утицај примењених стратегија циркуларне економије у спроведеном поступку оптимизације. Систематизацијом добијених резултата су изведени закључци о могућностима оптимизације фасадних омотача високих објеката и истакнут значај примењених принципа и стратегија циркуларне економије.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати који су остварени у докторској дисертацији имају широку теоријску и практичну примену у областима архитектонског пројектовања у складу са принципима циркуларне економије, као и пројектовању фасадних омотача високих објеката.

Представљени методолошки поступак процене оптимизације фасада применом принципа циркуларне економије представља основни теоријски допринос. Резултати истраживања се могу користити као полазиште за продубљивање сазнања и могућности примене концепта циркуларне економије у архитектури. Поступак који је формирала кандидаткиња указује на неопходан свеобухватни приступ у примени циркуларне економије и може се користити као основ за друга научна истраживања која нису ограничена само на типологију високих објеката или фасадни омотач.

Истраживање кандидаткиње Анђеле Н. Посавец има директну практичну примену резултата на пројектовање фасадних омотача високих објеката у Београду у складу са концептом циркуларне економије и оптимизацијом потрошње ресурса и смањења негативних утицаја на животну средину. Додатне могућности примене остварених резултата подразумевају:

- Имплементацију идентификованих принципа и стратегија циркуларне економије у архитектонској пракси, уз посебан осврт на пројектовање фасадних омотача;

- Примену дефинисаних критеријума који су релевантни за процену утицаја стратегија циркуларне економије у односу ниво примене који се односи на материјале, елементе, компоненте и цео фасадни омотач;
- Праћење датих смерница за оптимизацију утицаја на животу средину фасадног омотача током целокупног животног циклуса.

Као значајну вредност дисертације Комисија истиче и информације које је кандидаткиња прикупила кроз интервјуе са представницима водећих европских произвођача фасадних система и њиховог развоја у складу са принципима циркуларне економије. Прикупљене податке који су даље обрађени од стране кандидаткиње и детаљно приказани у дисертацији, као и коришћени у нумеричким прорачунима, је могуће користити у другим истраживањима, чиме је остварен додатни научни допринос.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Докторска дисертација „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ Анђеле Н. Посавец показује да кандидаткиња поседује изузетну способност за самосталан научно-истраживачки рад, што се огледа у консултовању релевантне литературе, повезивању знања из различитих области архитектуре, у домену одрживог архитектонског пројектовања у складу са концептом циркуларне економије, савремених архитектонских технологија, домаћег и међународног законског оквира, примењених наука у области прорачуна и компјутерских симулација, што уз остварено пројектантско искуство у међународној пракси представља јединствен спој који је неопходан за свестрано сагледавање представљене теме.

Кандидаткиња је кроз представљени рад показала самосталност у идентификацији значајног проблема истраживања, као и избору, примени и интерпретацији примењених метода у односу на предмет истраживања. У дисертацији је формиран јединствен методолошки поступак који је омогућио реализацију комплексног истраживања на високом академском стандарду и омогућио проверу постављених научних хипотеза. Током рада на дисертацији утврђено је да кандидаткиња влада вештинама употребе бројних научних метода, почев од критичке теоријске анализе, анализе садржаја различитих извора, метода прикупљања и обраде података, метода процене утицаја зграда на животну средину и симулација њихових енергетских перформанси, уз спровођење компаративне анализе, интерпретацију и синтезу остварених резултата истраживања.

Значајан показатељ способности кандидаткиње за самосталан научни рад представљају објављени радови из шире области дисертације публиковани у међународним часописима и коауторство на већем броју радова публикованим у зборницима са домаћих и међународних конференција.

Увидом у целокупан рад изложен у докторској дисертацији Комисија закључује да кандидаткиња Анђела Н. Посавец поседује неопходна знања и способности за успешан самостални научни рад и да ће на тај начин допринети развоју савремене теорије и праксе у пољу техничко-технолошких наука, односно ужој научној области Архитектура и урбанизам.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси представљају унапређење постојећих научних знања, имајући у виду да се предметно истраживање односи на примену недовољно истраженог концепта циркуларне економије у архитектури и његову синтезу са тренутно све заступљенијом типологијом високих објеката у нашој средини. Кроз истраживање кандидаткиње Анђеле Н. Посавец остварени су следећи научни доприноси:

- Дефинисање јединственог методолошког поступка који се може користити у сврху оптимизације целокупног животног циклуса фасадних омотача високих објеката кроз примену принципа и стратегија циркуларне економије;
- Могућност примене представљеног методолошког поступка у имплементацији принципа циркуларне економије на друге типологије објеката, као и друге саставне елементе зграда;
- Систематизација знања из области циркуларне економије и идентификација стратегија циркуларне економије применљивих у архитектонској пракси, уз нагласак на пројектовање фасадних омотача високих објеката;
- Дефинисање критеријума којима је могуће проценити утицај примене принципа и стратегија циркуларне економије од нивоа материјала, преко уграђених елемената и компоненти, до нивоа система фасадног омотача.
- Формирање смерница за оптимизацију потрошње ресурса и смањења негативних утицаја на животну средину пројектовањем фасада високих објеката у складу са концептом циркуларне економије.
- Могућност практичне примене остварених резултата на фасадне омотаче високих објеката у климатским условима Београда.

Посебан допринос дисертације се огледа у систематском приступу примене принципа циркуларне економије на фасадне омотаче, где се кроз дефинисање корака оптимизације сагледава утицај појединачних стратегија на остварене резултате оптимизованих модела, чиме кандидаткиња указује на релевантност њихове имплементације током процеса архитектонског пројектовања.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Реализација докторске дисертације „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ је подразумевала примену бројних научних метода које се током фаза истраживања адекватно надовезују и међусобно допуњују. На основу дефинисане теме, предмета и проблема истраживања кандидаткиња је развила специфичан методолошки поступак који је омогућио проверу постављених научних хипотеза, док је кроз јасно конципиран оквир истраживања приказала вештину обраде изузетно комплексне теме на високом академском нивоу.

Синтезом релевантних сазнања о високим објектима и њиховим фасадама, концепту циркуларне економије и његовој примени у грађевинској индустрији, актуелним истраживањима у области фасадне индустрије, изузетним владањем примене најсавременијих софтвера за процену утицаја зграда на животну средину, примену метода за процену циркуларног потенцијала и симулације енергетских перформанси зграда, кандидаткиња Анђела Н. Посавец је у оквиру докторске дисертације представила пажљиво формулисану и заокружену истраживачку целину.

Комисија истиче да је у докторској дисертацији на иновативан начин повезан теоријски и практични оквир, у циљу истраживања примене концепта циркуларне економије у архитектури и пројектовању фасада високих објеката, чији су резултати применљиви у научним истраживањима и архитектонској пракси. Научни допринос дисертације се првенствено огледа у јединствено формираном методолошком поступку који се може користити у архитектонском пројектовању у складу са принципима циркуларне економије. Поступак који је у оквиру дисертације дефинисан ради процене утицаја принципа и стратегија циркуларне економије на фасадни омотач високих објеката, применљив је и на друге системе објекта, као и друге типологије зграда и њихове саставне делове. Остварени резултати представљеног истраживања се могу директно применити као смернице приликом пројектовања фасада високих објеката у Београду и Србији, или земљама са сличним климатским карактеристикама.

#### 4.3. Верификација научних доприноса кандидаткиње

##### **Рад у часопису међународног значаја верификован посебном одлуком (M24):**

- **Posavec, A.**, Sudimac, B., Vasov, M., Warmbold, K., Klaus, G. (2024). Assessment of Circularity Potential in Facades of High-Rise Buildings in Belgrade. *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, DOI: 10.2298/FUACE240430001P, ISSN 2406-0860 (рад повезан са садржајем докторске дисертације)
- Sudimac, B., **Dubljevic, A.** (2016). The use of renewable energy sources in urban protected cultural–historical. *SAJ - Serbian Architectural Journal*, Volume 8/1, 145-166. ISBN 1821-3952.

##### **Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):**

- Krstić-Furundžić, A., Sudimac, B., **Dubljević, A.** (2017). Integration of PV modules into the building envelope in aim to achieve energy and environmental benefits. *Proceedings of the 1st International Conference on Building integrated renewable energy systems-BIRES*, Dublin Institute of Technology (DIT) Ireland DIT Grangegorman, COST-European Cooperation in Science and Technology, paper 14978-9963-697-23-6, Dublin, Ireland, 6. - 9. March, 2017. ISBN: 978-9963-697-23-6.

- Sudimac, B., Krstić-Furundžić, A., **Dubljević, A.** (2017). Contribution of green wall to reduction of building overheating. *Ne-xt facades - Adaptive Façade Network, COST Action TU1403 Mid-term Conference*, TU Delft, 07 November 2017, Munich, Germany, pp. 46-47.
- Sudimac, B., **Dubljevic, A.** (2015). PV Module as a Design Element of Barriers for Protection against Noise. *World academy of science, engineering and technology, ICABE 2015: 17<sup>th</sup> International Conference on Architectural and Building Engineering, Italy*, pp. 230-241. eISSN: 1307-6892.
- Живковић, М., Судимац, Б., **Дубљевић А.** (2015). Примери примене фонапонских ћелија у пројектовању архитектонских форми. *Conference Proceedings of third international conference on renewable electrical power sources*, 15.-16. октобар 2015. год. SMEITS, Београд. ISBN 978 – 86 – 81505 – 78 – 6.
- Sudimac, B., **Dubljevic, A.** (2015). Solar energy as an element of design. *Conference Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference with Exhibition S.ARCH, 19-20.05.2015, Budva*, pp. 407-409. ISBN 978-3-9816624-5-0.
- Sudimac, B., **Dubljevic, A.** (2015). Application of PV modules on noise barriers. *Proceedings of the 2nd International Academic Conference on Places and Technologies, Places and Technologies 2015 - Keeping up with technologies to make healthy places*, University of Ljubljana, University of Belgrade-Faculty of Architecture, Slovenia, pp. 498-504. ISBN 978-961-6823-68-5.
- Крстић-Фурунџић, А., Судимац, Б., **Дубљевић А.** (2014). Energy And Environmental Aspects of Improvement Of Office Building By Application Of PV Modules. *Зборник Петог Међународног научно–стручног Симпозијума Инсталације и Архитектура*, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, pp. 12-22. ISBN 978-86-7924-133-7.

#### **Националне монографије, тематски зборници (M45):**

- Судимац, Б., **Дубљевић А.** (2018). Водоснабдевање као фактор комфора у архитектонским објектима сеоских насеља. У Шкорић, Д., *Водоснабдевање становника брдско-планинских предела*, pp. 85-100. ISBN - 978-86-7025-798-6.

#### **Рад у часопису међународног значаја изван SCI листе:**

- Sudimac, B., **Dubljevic, A.** (2015). Solar Energy - Design Element. *Materials, Methods & Technologies*, Volume 9, 2015, pp. 626-634 (ISSN 1314-7269).
- Sudimac, B., **Dubljevic, A.** (2015). Energy production for highway lighting by PV modules integrated in sound barriers. *Nano, bio and green – technologies for a sustainable future*, Volume 2, 2015., pp. 113-121., (ISSN 1314-2704, ISBN 978-619-7105-43-8), DOI 10.5593/sgem2015B62.



## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу предлога и анализе дисертације кандидаткиње Анђеле Н. Посавец, Комисија констатује да је дисертација написана у складу са одобреном темом и пријавом на коју је Универзитет у Београду дао сагласност, затим да испуњава научне критеријуме и пружа допринос научној области Архитектура и урбанизам за коју је матичан Архитектонски факултет. Комисија истиче вредност формирања оригиналног методолошког поступка који се односи на примену принципа циркуларне економије у архитектури и остварених резултата истраживања који се могу применити у пракси пројектовања фасада високих објеката. Утврђује се да докторска дисертација у потпуности задовољава научне критеријуме, како у погледу квалитета и научне аргументације, тако и у погледу остварених резултата, научних доприноса и променљивости добијених резултата у оквиру даљих истраживања, као и у архитектонској пракси. Кандидаткиња је показала способност за научно-истраживачки рад, што је потврђено кроз процес израде саме докторске дисертације, развијано учешћем на међународним и домаћим научно-истраживачким пројектима и радионицама, и верификовано научним радовима који су публиковани у међународним научним часописима и зборницима радова са међународних конференција.

У складу са наведеним, Комисија предлаже Научном и наставно-уметничком већу Архитектонског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Оптимизација фасада високих објеката применом принципа циркуларне економије“ кандидаткиње Анђеле Н. Посавец, мастер инжењера архитектуре, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 14.05.2024.

**Чланови Комисије:**

---

др Дарија Гајић, члан комисије  
ванредни професор Универзитета у Бањој Луци  
Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета

---

др Јелена Милошевић, члан комисије  
доцент Универзитета у Београду Архитектонског факултета

---

др Бојана Зековић, члан комисије  
доцент Универзитета у Београду Архитектонског факултета