

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ  
НАУКА  
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА  
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 22.06.2023. године (број одлуке: 01-1/2035-14) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 13.07.2023. године (број одлуке: IV-04-503/18) одређени смо за чланове Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације:

**ПОВЕЋАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ У ЗГРАДАМА КОРИШЋЕЊЕМ  
СИСТЕМА ПОВРАТА ТОПЛОТЕ ОТПАДНИХ ВОДА**

у научној области Машинско инжењерство, ужа научна област: Енергетика и заштита животне средине, кандидаткиње **Наталије Алексић, мастер инжењера заштите животне средине.**

На основу података којима располажемо достављамо следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеном нацрту докторске дисертације, кандидаткиња је образложила предмет истраживања, наводећи актуелности и значај истраживања у области енергетске ефикасности зграда тј. система поврата топлоте отпадних вода у зградама.

Напори савременог човечанства да створи одрживо друштво су на раскршћу потребног и могућег. Са једне стране, квалитет живота грађана је потреба од које владе земаља и региона полазе у доношењу стратегија и закона. Са друге стране, одрживи развој подразумева већу примену обновљивих извора енергије него раније. Да би баланс ових тежњи допринео релативно брзим променама, потребно је оптимизовати услове у којима грађани користе енергију. У том смислу, поновна употреба отпадне топлоте (из отпадних вода) има посебну улогу, јер захтева мања новчана улагања него друге технологије за експлоатацију обновљиве енергије. Притом, доступност енергије је константа у току целе године. До 2021. године потрошња енергије у сектору зградарства је износила 30% укупне глобалне потражње, а укупна глобална емисије  $CO_2$  је износила 27%<sup>1</sup>. Због проблема узрокованих

<sup>1</sup> Delmastro Chiara, De Bienassis Tanguy, Goodson Timothy, Lane Kevin, Le Marois Jean-Baptiste, Martinez-Gordon Rafael, Huse Martin: IEA Tracking Report - Buildings, 2022. доступно на: <https://globalabc.org/index.php/resources/publications/iea-tracking-report-buildings>, датум приступа: 10.05.2023.

недоступношћу енергетских ресурса, као и последица које настају због употребе доступних, Европска унија је поставила за циљ смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште (у односу на нивое из 1990. године) за 55% до 2030. године<sup>2</sup> и да се удео обновљиве енергије повећа на 32% укупне производње енергије<sup>3,4</sup>. Сектор зграда је кључан за постизање нето нулте енергетске потрошње градова, унапређење енергетске ефикасности<sup>5</sup> и смањење стопе емисије<sup>6</sup>. Потрошња енергије и емисија  $CO_2$  се може смањити или повећањем одрживости енергије која се испоручује кроз повећано снабдевање обновљивим изворима, или смањењем потражње кроз побољшане перформансе зграде<sup>7</sup>. Ово се може постићи имплементацијом система за поврат топлоте из отпадних вода. Дакле, веза између енергије, емисије гасова са ефектом стаклене баште, воде и отпадне воде постаје све важнија у развоју нових решења за постизање технички изводљивог и друштвено пожељног управљања градовима<sup>8</sup>. Систем за поврат топлоте отпадних вода омогућава да се топлота која би иначе била изгубљена у отпадним водама испрати, прикупи и поново искористи за грејање воде или просторија у зградама. Тиме се значајно смањује потрошња енергије за грејање, што доприноси смањењу трошкова енергије и смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште. На зградама на којима су примењени системи за поврат топлоте установљена је знатна уштеда енергије и смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште. Такође, наведени примери пружају увид у могућности и предности употребе ових система у зградама, а који могу да се примене у различитим типовима зграда, од стамбених, јавних, комерцијалних, па до индустријских објеката. То их чини веома значајним у постизању одрживог развоја у градској средини. Такође, овакви системи доприносе повећању енергетске ефикасности у зградама (кроз оптималну употребу ресурса) и заштити животне средине, што представља важан циљ у савременом свету у којем се стреми ка нискоугљеничном и одрживом развоју.

У овом домену науке и праксе, спроведен је релативно мали број истраживања. Било да се ради о прикупљању података о водама и отпадним водама у зградама (потрошња воде, температура, учесталост, итд.) или технологијама које се могу користити за поврат топлоте из отпадних вода, спроведена истраживања не пружају целовиту слику. Сходно свему наведеном, кандидаткиња је предложила програм и план истраживања у наведеној области,

<sup>2</sup> European Commission: A European Green Deal, 2023. Доступно на: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en), датум приступа: 10.05.2023.

<sup>3</sup> European Commission, Energy Efficiency and Its Contribution to Energy Security and the 2030 Framework for Climate and Energy Policy, 2014.

<sup>4</sup> European Commission, Directorate-General for Energy, EU Energy in Figures: Statistical Pocketbook 2019, Publications Office, 2019. Доступно на: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/197947>, датум приступа: 10.05.2023.

<sup>5</sup> The International Energy Agency (IEA), Buildings A source of enormous untapped efficiency potential, 2023. Dostupno na: <https://www.iea.org/topics/buildings>, datum pristupa: 12.05.2023.

<sup>6</sup> The International Energy Agency (IEA), Net Zero by 2050, 2023. Доступно на: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>, датум приступа: 12.05.2023.

<sup>7</sup> Meggers Forrest, Leibundgut Hansjurg: The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump, Energy and Buildings, ISSN 0378-7788, Vol. 43, No. 4, pp. 879-886, 2011. DOI: [10.1016/j.enbuild.2010.12.008](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.008)

<sup>8</sup> Capodaglio Andrea G., Olsson Gustaf: Energy issues in sustainable urban wastewater management: use, demand reduction and recovery in the urban water cycle, Sustainability, ISSN 2071-1050, Vol. 12, No. 1, pp. 266, 2020. DOI: [10.3390/su12010266](https://doi.org/10.3390/su12010266)



који је у складу са савременим научним методама истраживања. Истраживање се заснива на развијању нове методологије за имплементацију система за поврат топлоте отпадних вода у зградама.

Имајући у виду приказ проблема који се истражује, полазне хипотезе и предложене научне методе, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни за пружање научног доприноса, а који је притом значајан за даљи развој научних студија у области истраживања.

Очекивани резултати предложене докторске дисертације су:

- Преглед стања и систематизација резултата у подручју досадашњих истраживања;
- Дефинисање нове методологије за имплементацију система поврата топлоте отпадних вода у зградама;
- Повећање енергетске ефикасности у зградама коришћењем система поврата топлоте отпадних вода;
- Преглед и анализа нових технологија и приступа који би се могли применити у различитим типовима зградама;
- Увођење принципа циркуларне економије у област вода и отпадних вода;
- Усмеравање ка енергетски ефикасним и еколошки прихватљивим решењима у сектору зграда доприносећи на тај начин одрживом развоју;
- Процена степена усклађености ових система са законским регулативама.

Дефинисање нове методологије и резултати предложене докторске дисертације представљају значајан допринос одрживом развоју у области градитељства. Такође, резултати рада могу усмерити доносиоце одлука ка енергетски ефикасним и еколошки прихватљивим решењима за будућност градова и зграда.

#### Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове у научним и стручним часописима, као и радове објављене на међународним конференцијама може се закључити да се кандидаткиња Наталија Алексић бавила истраживањем у ужој научној области Енергетике и заштите животне средине.

Рад у оквиру предложене дисертације омогућава кандидаткињи да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидаткиње, има за циљ и развој нове методологије за имплементацију система поврата топлоте отпадних вода у зградама. Предстојећа истраживања кандидаткиње у оквиру израде докторске дисертације ослањала би се на наредну литературу:

Трансформација и унапређење енергетских система треба да буде усмерена ка обезбеђивању поузданих и приступачних енергетских услуга, уз смањену потрошњу извора енергије, утицај на животну средину и зависност од увоза (*United Nations Sustainable*

*Development Goals, 2023*)<sup>9</sup>. Због тога, последњих година се посебна пажња приписује примени обновљивих извора енергије. *Директива ЕУ 2018/2001 (2018)*<sup>10</sup> наводи отпадне воде као обновљиви извор топлоте, у складу са европским еколошким циљевима. Такође, у оквиру Европског инвестиционог плана зеленог договора, државама чланицама ће бити обезбеђена додатна помоћ за спровођење мера, као што је поновна употреба отпадне топлоте (*EUR-LEX, 2023*)<sup>11</sup>. Дакле, у Европској унији отпадне воде се сматрају обновљивим извором енергије, али коришћење отпадних вода као алтернативног извора топлоте у зградама није обухваћено посебним законским одредбама (*Ratajczak и др., 2021*)<sup>12</sup>. Смањење емисија *CO*<sub>2</sub> као резултат коришћења технологије поврата топлоте отпадних вода за претходно загревање комуналне воде препозната је у систему метода за процену енергије стамбених зграда у Стандардној процедури процене (*Standard Assessment Procedure (SAP)*), коју је препоручила влада Уједињеног Краљевства (*Ip, 2016*)<sup>13</sup>.

Управљање водама и отпадним водама у зградама нуди велики потенцијал за имплементацију концепта циркуларне економије: од коришћења топлоте сирове отпадне воде до коришћења произведеног муља отпадних вода (материјал и/или поврат енергије) (*Ђурђевић и др., 2019*)<sup>14</sup>. Заснована првенствено на обновљивим ресурсима, циркуларна економија може постати ефикасан одговор на недостатке линеарне економије, а да би се то постигло потребно је смањити потребу за примарном енергијом, а између осталог, то се може постићи коришћењем отпадне топлоте (*Piotrowska и Daniel, 2023*)<sup>15</sup>. Отпадне воде представљају ограничени извор енергије, али топлота отпадних вода је стабилан ресурс током целе године (*Hadengue и др., 2022*)<sup>16</sup>. Доступна количина отпадних вода првенствено зависи од употребе воде у зградама.

<sup>9</sup> United Nations Sustainable Development Goals, Take Action for the Sustainable Development Goals, 2023. Dostupno na: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>, датум приступа: 12.05.2023.

<sup>10</sup> Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, Official Journal of the European Union, 2018, pp. 82–209

<sup>11</sup> EUR-LEX, Sustainable Europe Investment Plan European Green Deal Investment Plan, 2023. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0021>, датум приступа: 13.05.2023.

<sup>12</sup> Ratajczak Katarzyna, Michalak Katarzyna, Narojczyk Michał, Amanowicz Łukasz: Real Domestic Hot Water Consumption in Residential Buildings and Its Impact on Buildings' Energy Performance - Case Study in Poland, *Energies*, ISSN 1996-1073, Vol. 14, No. 16, pp. 5010, 2021. DOI: 10.3390/en14165010

<sup>13</sup> Ip Kenneth, She Kaiming, WASTE HEAT RECOVERY FROM SHOWERS: CASE STUDY OF A UNIVERSITY SPORT FACILITY IN THE UK, *Proceedings of the Water Efficiency Conference 2016, 7-9 September, Coventry UK*, 2016, pp. 114–121. Dostupno na: <https://research.brighton.ac.uk/en/publications/waste-heat-recovery-from-showers-case-study-of-a-university-sport>, датум приступа: 20.05.2023.

<sup>14</sup> Ђурђевић Dinko, Balić Dražen, Franković Bernard: Wastewater heat utilization through heat pumps: the case study of City of Rijeka, *Journal of cleaner production*, ISSN 0959-6526, Vol. 231, No. -, pp. 207-213, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.235

<sup>15</sup> Piotrowska Beata, Daniel Słyś: Comprehensive Analysis of the State of Technology in the Field of Waste Heat Recovery from Grey Water, *Energies*, ISSN 1996-1073, Vol. 16, No. 1, pp. 137, 2023. DOI: 10.3390/en16010137

<sup>16</sup> Hadengue Bruno, Morgenroth Eberhard, Larsen Tove A.: How to get your feet wet: Integrating urban water and building engineering for low-energy domestic hot water systems, *Energy and Buildings*, ISSN 0378-7788, Vol. 271, No. -, pp. 112318, 2022. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112318



Један од највећих потрошача енергије у свету представља сектор зграда (*Ravichandran и др., 2021*)<sup>17</sup>, а према објављеним подацима (*Manouchehri и Collins, 2022*)<sup>18</sup>, припрема потрошне топле воде чини значајан део оперативних трошкова у стамбеном сектору. *Binks и др. (2016)*<sup>19</sup> и *Megggers и Leibundgut (2011)*<sup>7</sup> су указали да удео енергије која се користи за ову намену у укупном билансу потрошње енергије у зградама систематски расте и, у неким случајевима, може прећи 50%.

Прегледом стања у домену истраживања, аутори наводе да посматрајући губитке топлотне енергије из савремених зграда, отпадне воде доприносе од 15% до 30% (*Alnahhal и Spremberg, 2016*)<sup>20</sup>, 30% у Швајцарској (*Wehbi и др., 2022*)<sup>21</sup>, 40% у Холандији овог губитка (*Wehbi и др., 2022*)<sup>21</sup>. Због тога потребно је посветити посебну пажњу отпадним водама како би се потенцијал топлотних губитака отпадних вода из зграда искористио (*Megggers и Leibundgut, 2011*)<sup>7</sup>, а отпадна топлота поново употребила. Први корак у искоришћењу топлоте је одређивање извора, мерење потрошње воде и процена потенцијала сивих вода у зградама.

*Seybold и Brunk (2013)*<sup>22</sup> су проценили количину отпадних вода за радни дан и она у просеку износи од 113 до 133 l/dan/osobi у стамбеним зградама, 184 l/dan/sobi у хотелима и 327 l/dan/krevetу у болницама. Процењује се да око 64% потрошње воде у домаћинствима одговара генерисаној сивој отпадној води (*Vavrin, 2011*)<sup>23</sup>, а неке студије (*Boyjoo и др., 2013*)<sup>24</sup> наводе да та количина може износити од 41% до чак 91% дневне потрошње воде.

Највеће генерисање сиве воде у домаћинству је обично пре и после локалног радног времена (*Boyjoo и др., 2013*)<sup>24</sup>. *Mazhar и др. (2018)*<sup>25</sup> су у својој студији навели да постоји пет санитарних елемената и уређаја који генеришу највећи удео отпадне воде која је погодна за поврат топлоте: тушеви/каде, умиваоници, машине за прање веша, машина за прање судова и кухињска судопера, и представили су типични профил употребе ових елемената и уређаја

<sup>17</sup> Ravichandran Anusha, Diaz-Elsayed Nancy, Thomas, Sylvia, Zhang, Qiong: An assessment of the influence of local conditions on the economic and environmental sustainability of drain water heat recovery systems, *Journal of Cleaner Production*, ISSN 0959-6526, Vol. 279, No. -, pp. 123589, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123589

<sup>18</sup> Manouchehri, R.; Collins, M.R. Investigating the Impact of Plumbing Configuration on Energy Savings for Falling-Film Drain Water Heat Recovery Systems, *Energies*, ISSN 1996-1073, Vol. 15, No. 3, pp. 1141, 2022. DOI: 10.3390/en15031141

<sup>19</sup> Binks Amanda, Kenway Steven, Lant Paul, Head Brian: Understanding Australian household water - related energy use and identifying physical and human characteristics of major end uses, *Journal of Cleaner Production*, ISSN 0959-6526, Vol. 135, No. -, pp. 892-906, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.091

<sup>20</sup> Alnahhal Samir, Spremberg Ernesto: Contribution to Exemplary In-house Wastewater Heat Recovery in Berlin, Germany, *Procedia CIRP*, ISSN 2212-8271, Vol. 40, No. -, pp. 35-40, 2016. DOI: 10.1016/j.procir.2016.01.046

<sup>21</sup> Wehbi Zahra, Taher Rani, Faraj Jalal, Ramadan Mohamad, Castelain Cathy, Khaled Mahmoud: A short review of recent studies on wastewater heat recovery systems: Types and applications, *Energy Reports*, ISSN 2352-4847, Vol. 8, No. 9, pp. 896-907, 2022. DOI: 10.1016/j.egy.2022.07.104

<sup>22</sup> Seybold C. and Brunk M. F., In-house Waste Water Heat Recovery, *REHVA Journal*, 6, pp. 18-21, 2013.

<sup>23</sup> Vavrin John: A Quantitative Study of the Viability of Greywater Heat Recovery (GWHR); Defense Technical Information Center: Belvoir Fort, VA, USA, 2011. DOI: 10.21236/ada559324

<sup>24</sup> Boyjoo Yash, Pareek Vishnu, Ang Ming: A review of greywater characteristics and treatment processes, *Water Science and Technology*, ISSN 0273-1223, Vol. 67, No. 7, pp. 1403-1424, 2013. DOI: 10.2166/wst.2013.675

<sup>25</sup> Mazhar Abdur Rehman, Liu Shuli, Shukla Ashish: A Key Review of Non-Industrial Greywater Heat Harnessing, *Energies*, ISSN 1996-1073, Vol. 11, No. 2, pp. 386, 2018. DOI: 10.3390/en11020386



током дана кроз проценат укупне употребе воде. Аутори су закључили да је овај профил скоро сталан током целе године, без обзира на спољашње временске услове. Поред тога, аутори напомињу да количина садржаја сиве воде значајно варира у зависности од броја станара, пола, старости, као и навика станара зграде, као и да генерисање сиве воде по особи варира у зависности од региона, услова животне средине и економског стандарда земље. У поређењу са стамбеним зградама, обрасци излазног протока из комерцијалних зграда су конзистентнији и предвидљивији - због прописаног времена коришћења тих зграда. У исто време, у појединим комерцијалним зградама, потенцијал за искоришћење топлоте је већи због већег протока сиве воде у поређењу са сивим водама које потичу из стамбених зграда. Међутим, због разноврсности типова зграда и излазних карактеристика сивих вода, потребно је прилагођавање система поврата топлоте отпадних вода за појединачне случајеве.

Топла вода произведена у зградама има висок топлотни капацитет. Температура отпадних вода у домаћинствима, у појединачним случајевима (нпр. за веш машине може да се креће између 40-50 °C (*Wehbi и др., 2022*)<sup>21</sup>), може бити и за 25-27 °C већа од просечних вредности (*Zou и др., 2018*)<sup>26</sup>. Дакле, узимајући у обзир да је температура генерисане отпадне воде најчешће између 18 °C и 50 °C (*Pomianowski и др., 2020; Oteng-Peprah и др., 2018*)<sup>27,28</sup> може се закључити да отпадне воде представљају вредан извор топлоте.

*Seybold и Brunk (2013)*<sup>22</sup> су приказали репрезентативне дневне варијације потрошње воде за пиће, као и температуре отпадних вода за радни дан за вишепородичну кућу и студентски дом. Још 2013. године, аутори су закључили да се због високе температуре, отпадне воде могу описати као идеалан извор топлоте за примену топлотне пумпе. У канадском центру за стамбену технологију, спроведене анализе потврдиле су да се уштеда енергије за припрему топле санитарне воде повећава са повећањем количине отпадних вода и да могуће уштеде зависе од температуре улазне хладне комуналне воде (*Piotrowska и Daniel, 2023*)<sup>15</sup>. Имплементацијом система за поврат топлотне енергије, у канализационој мрежи или унутар зграда, може се боље искористи губитак топлоте из отпадне воде за потребе домаћинства, него имплементацијом система на нивоу постројења за пречишћавање отпадних вода (*Pomianowski и др., 2020*)<sup>27</sup>. Релативно једноставна употреба високотемпературних токова отпадних вода, као и олакшана локална поновна употреба, чине технологије поврата

---

<sup>26</sup> Zou Shiqiang, Kanimba Eurydice, Diller Thomas E., Tian Zhiting, He Zhen: Modeling assisted evaluation of direct electricity generation from waste heat of wastewater via a thermoelectric generator, *The Science of the total environment*, ISSN 0048-9697, Vol. 635, No. -, pp. 1215-1224, 2018. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.04.201](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.201)

<sup>27</sup> Pomianowski M. Z., Johra Hicham, Marszal-Pomianowska Anna, Zhang Chen: Sustainable and energy-efficient domestic hot water systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ISSN 1364-0321, Vol. 128, No. -, pp. 109900, 2020. DOI: [10.1016/j.rser.2020.109900](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109900)

<sup>28</sup> Oteng-Peprah Michael, Acheampong Mike Agbesi, de Vries Nanne K: Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception - A Review, *Water Air Soil Pollut*, ISSN 0049-6979, Vol. 229, No. 8, pp. 255, 2018. DOI: [10.1007/s11270-018-3909-8](https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8)



топлоте у згради или зградама обећавајућим за повећање енергетске ефикасности зграда (Hadengue и др., 2022)<sup>29</sup>.

У литератури се системи поврата топлоте на нивоу зграде деле на пасивну и активну рекуперацију топлоте (Hadengue и др., 2022)<sup>29</sup>. Пасивне стратегије подразумевају употребу измењивача топлоте, а активни приступ подразумева употребу топлотних пумпи. Све веће интересовање за коришћење неконвенционалних извора енергије је, између осталог, подстицај за развој наменских уређаја и технологија (Pochwat и др., 2020)<sup>30</sup>. За искоришћење отпадне топлоте развијене су две комерцијалне технологије: измењивачи топлоте и топлотне пумпе, а доступне су и хибридне комбинације ових технологија (Neugebauer и др., 2015)<sup>31</sup>. Трошкови улагања, инсталације, рада и одржавања топлотних измењивача су мањи у односу на топлотне пумпе, а и технологија је једноставнија (Mazhar и др., 2018)<sup>25</sup>. Међутим, ефикасност измењивача топлоте је нижа и нема много оперативне флексибилности у односу на топлотне пумпе. За зграде са ограниченим простором, примена топлотних пумпи није изводљива. Због ових ограничења, практикује се хибридни приступ: комбинација две технологије. Ипак, енергетски захтеви у случају употребе топлотних пумпи и измењивача топлоте за поврат топлоте отпадних вода су скоро 59% нижи у односу на енергетске захтеве у случају употребе конвенционалних решења (Cecconet и др., 2020)<sup>32</sup>.

У литератури су наведени бројни примери пасивног и активног поврата топлоте из отпадних вода у зградама. Wehbi и др. (2022)<sup>21</sup> су дали преглед најновије литературе у овој области. Аутори су разматрали најновије доступне технологије које се баве системима поврата топлоте отпадних вода, углавном из одвода топле воде у зградама. Поред тога, извршили су класификацију доступних технологија на основу њихових конфигурација и инсталација узимајући у обзир утицај неколико параметара на њихову ефикасност и перформансе. Culha и др. (2015)<sup>33</sup> су дали преглед у коме су измењивачи топлоте отпадних вода детаљно класификовани на основу више карактеристика, укључујући методологију коришћења и конструкције.

Многи аутори су истраживали примену измењивача топлоте, топлотних пумпи и хибридних комбинација у различитим типовима зграда, како би одредили потенцијал за поврат

---

<sup>29</sup> Hadengue Bruno, Morgenroth Eberhard, Larsen Tove A., Baldini Luca: Performance and dynamics of active greywater heat recovery in buildings, *Applied Energy*, ISSN 0306-2619, Vol. 305, No. C, pp. 117677, 2022. DOI: [10.1016/j.apenergy.2021.117677](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117677)

<sup>30</sup> Pochwat Kamil, Kordana-Obuch Sabina, Starzec Mariusz, Piotrowska Beata: Financial Analysis of the Use of Two Horizontal Drain Water Heat Recovery Units, *Energies*, ISSN 1996-1073, Vol. 13, No. 16, pp. 4113, 2020. DOI: [10.3390/en13164113](https://doi.org/10.3390/en13164113)

<sup>31</sup> Neugebauer Georg, Kretschmer Florian, Kollmann René, Narodoslawsky Michael, Ertl Thomas, Stoegelehner Gernot: Mapping Thermal Energy Resource Potentials from Wastewater Treatment Plants, *Sustainability*, ISSN 2071-1050, Vol. 7, No. 10, pp. 12988-13010, 2015. DOI: [10.3390/su71012988](https://doi.org/10.3390/su71012988)

<sup>32</sup> Cecconet Daniele, Raček Jakub, Callegari Arianna, Hlavínek Petr: Energy Recovery from Wastewater: A Study on Heating and Cooling of a Multipurpose Building with Sewage-Reclaimed Heat Energy, *Sustainability*, ISSN 2071-1050, Vol. 12, No. 1, pp. 116, 2020. DOI: [10.3390/su12010116](https://doi.org/10.3390/su12010116)

<sup>33</sup> Culha Oguzhan, Gunerhan Huseyin, Biyik Emrah, Ekren Orhan, Hepbasli Arif: Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review, *Energy and Buildings*, ISSN 0378-7788, Vol. 104, No. -, pp. 215-232, 2015. DOI: [10.1016/j.enbuild.2015.07.013](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.013)



топлоте, уштеду енергије и смањење  $CO_2$ . Wang *u др.* (2017)<sup>34</sup> су истражили потенцијал за поврат топлоте воде (код тушева) у високим стамбеним зградама у Хонг Конгу, и резултати истраживања показују да би се од 4% до 15% топлоте могло повратити. Mazhar *u др.* (2018)<sup>25</sup> су дали преглед различитих технологија за поврат топлоте из отпадних вода и навели њихове предности и недостатке. Такође, аутори су размотрили и економске аспекте коришћења ових технологија, утицај на енергетску ефикасност зграда и потенцијал за смањење емисија  $CO_2$ . Golzar *u Silveira* (2021)<sup>35</sup> су у својој студији навели да су техничке перформансе овог система показале да се може повратити приближно 17% топлоте отпадних вода. Такође, аутори су навели да поређење показује да су топлотне пумпе ефикасније са становишта поврата енергије - ако 10% зграда користи топлотне пумпе, може се повратити 35,35  $GWh/god$ , а да би се постигао исти поврат топлоте 17% зграда требало би да има инсталиране измењиваче топлоте. Alnahhal *u Spremberg* (2016)<sup>20</sup> су у својој студији закључили да би комбинација измењивача топлоте и топлотне пумпе омогућила око 40  $kWh/h$  поврата топлоте из отпадне воде и показали да се 30% потражње за топлим водом за домаћинство може задовољити повратом топлоте сиве воде у зградама. Cecconet *u др.* (2020)<sup>32</sup> су анализирали пројектовање и примену поврата топлоте из отпадних вода за грејање и хлађење зграде у Брну (Чешка) помоћу измењивача топлоте и пумпи. У студији су процењене две опције: грејање и хлађење коришћењем конвенционалног система (повезаног на локалну мрежу) и поврат топлоте из отпадне воде коришћењем измењивача топлоте и спрегнутих топлотних пумпи. Анализа сценарија сугерише да је решење засновано на поврату топлоте из отпадних вода изводљиво и омогућава смањење потрошње енергије од 59% у односу на конвенционално решење. Такође, још неколико студија је проценило енергетске перформансе и исплативост примене измењивача топлоте (Deng *u др.*, 2016)<sup>36</sup>, као и комбинације измењивача топлоте и топлотних пумпи (Boyjoo *u др.*, 2013; Dong *u др.*, 2015)<sup>24,37</sup> за поврат топлоте из отпадних вода у зградама.

Део радова се односи на методологије, методе и моделе, а неки од њих су наведени у наставку. Ramadan *u др.* (2016)<sup>38</sup> су приказали поступак прорачуна који се може применити на системе поврата топлоте. Прорачун се може искористити као алат за процену и анализу система поврата топлоте одвода или као техника оптимизације за побољшање постојећег

<sup>34</sup> Wang Yimeng, Ren Yapeng, Gu Yaxiu, Meng Qingke: Comparison and Analysis of Heat Transfer Enhancement for Wastewater Heat Exchanger in Wastewater Source Heat Pump System, *Procedia Engineering*, ISSN 1877-7058, Vol. 205, No. -, pp. 2736-2743, 2017. DOI: [10.1016/j.proeng.2017.10.190](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.190)

<sup>35</sup> Golzar Farzin, Silveira Semida: Impact of wastewater heat recovery in buildings on the performance of centralized energy recovery - A case study of Stockholm, *Applied Energy*, ISSN 0306-2619, Vol. 297, No. -, pp. 117141, 2021. DOI: [10.1016/j.apenergy.2021.117141](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117141)

<sup>36</sup> Deng Z, Mol Stefan, van der Hoek Jan Peter: Shower heat exchanger: reuse of energy from heated drinking water for  $CO_2$  eduction, *Drinking Water Engineering and Science*, ISSN 1996-9465, Vol. 9 No. 1, pp. 1-8, 2016. DOI: [10.5194/dwes-9-1-2016](https://doi.org/10.5194/dwes-9-1-2016)

<sup>37</sup> Dong Jiankai, Zhang Zhuo, Yao Yang, Jiang Yiqiang, Lei Bo: Experimental performance evaluation of a novel heat pump water heater assisted with shower drain water, *Applied Energy*, ISSN 0306-2619, Vol. 154, No. C, pp. 842-850, 2015. DOI: [10.1016/j.apenergy.2015.05.044](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.044)

<sup>38</sup> Ramadan Mohamad, Lemenand Thierry, Khaled, Mahmoud: Recovering heat from hot drain water - Experimental evaluation, parametric analysis and new calculation procedure, *Energy and Buildings*, ISSN 0378-7788, Vol. 128, No. -, pp. 575-582, 2016. DOI: [10.1016/j.enbuild.2016.07.017](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.017)



система. *Bertrand u др. (2017)*<sup>39</sup> су разматрали метод за карактеризацију водних токова у зградама и процену уштеде енергије и трошкова применом система за поврат топлоте из отпадних вода. У раду је коришћен математички модел за симулацију енергетских перформанси система за поврат топлоте у зградама, који узима у обзир различите факторе попут температуре отпадне воде, потрошње топле воде и климатских услова. *Rabih u др. (2020)*<sup>40</sup> су се бавили израдом топлотног модела система за поврат топлоте отпадних вода у зградама, узимајући у обзир неколико променљивих: температуру отпадне воде, проток воде и проток ваздуха. Коришћењем софтвера за компјутерске симулације, аутори су спровели параметарску анализу система за различите услове (укључујући промене температуре и протока воде). Резултати истраживања су показали да систем за поврат топлоте може значајно допринети смањењу потрошње енергије за загревање воде у зградама. Аутори су такође, представили студију случаја и на њој доказали да овај систем може бити исплатив. *Vonžudaitė u др. (2023)*<sup>41</sup> су у својој студији представили методологију за избор оптималних система производње и снабдевања топлотом за различите типове зграда, узимајући у обзир техничке, економске, еколошке и друштвене факторе са циљем минимизирања трошкова и емисије CO<sub>2</sub>.

Трећа група радова се односи на истраживање потенцијала за уштеду енергије применом система за поврат топлоте отпадних вода у различитим типовима зграда. *Shen u др. (2013)*<sup>42</sup> су у својој студији спровели експеримент у којем се отпадна вода из заједничког купатила у спа центру користи као извор топлоте за топлотну пумпу. *Paduchowska u др. (2019)*<sup>43</sup> су се бавили анализом потенцијала за уштеду енергије применом система за поврат топлоте отпадних вода у студентским домовима, наводећи да су такви системи већ у широкој примени у хотелима и стамбеним зградама, али да постоји мање интересовања за примену у студентским домовима. *Hervás-Blasco u др. (2020)*<sup>44</sup> су истраживали примену система за поврат топлоте за потребе догревања воде за домаћинства уз помоћ топлотних пумпи. Аутори су закључили да овај систем у комбинацији са топлотним пумпама представља економичну и енергетски ефикасну опцију за производњу топле воде у домаћинствима.

---

<sup>39</sup> Bertrand Alexandre, Aggoune, Riad, Maréchal François: In-building waste water heat recovery: An urban-scale method for the characterisation of water streams and the assessment of energy savings and costs, *Applied Energy*, ISSN 0306-2619, Vol. 192, No. -, pp. 110–125, 2017. DOI: [10.1016/j.apenergy.2017.01.096](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.096)

<sup>40</sup> Rabih Muur, Khaled Mahmoud, Faraj Jalal, Harika Elias, Abdulhay Bakri: Multi drain heat recovery system - Thermal modeling, parametric analysis, and case study, *Energy and Buildings*, ISSN 0378-7788, Vol. 228, No. -, pp. 110447, 2020. DOI: [10.1016/j.enbuild.2020.110447](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110447)

<sup>41</sup> Vonžudaitė Otilija, Linas Martišauskas, Rimantas Bakas, Sigita Urbonienė, Rolandas Urbonas: Optimization of Heat Pump Systems in Buildings by Minimizing Costs and CO<sub>2</sub> Emissions, *Applied Sciences*, ISSN 2076-3417, Vol. 13, No. 8, pp. 4864, 2023. DOI: [10.3390/app13084864](https://doi.org/10.3390/app13084864)

<sup>42</sup> Shen Chao, Jiang Jiang, Yang Yao, Deng Shiming, Xinlei Wang: A field study of a wastewater source heat pump for domestic hot water heating, *Building Services Engineering Research and Technology*, ISSN 0143-6244, Vol. 34, No. 4, pp. 433-448, 2013. DOI: [10.1177/0143624412463571](https://doi.org/10.1177/0143624412463571)

<sup>43</sup> Paduchowska Joanna, Żabnieńska-Gór Alina, Polarczyk Iwona, ENERGY-SAVING ANALYSIS OF GREY WATER HEAT RECOVERY SYSTEMS FOR STUDENT DORMITORY, *E3S Web of Conferences*, International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering, Vol. 116, 2019, pp. 00056. DOI: [10.1051/e3sconf/201911600056](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600056)

<sup>44</sup> Hervás-Blasco Estefanía, Navarro-Peris Emilio, Corberán José Miguel: Closing the residential energy loop: Grey-water heat recovery system for domestic hot water production based on heat pumps, *Energy and Buildings*, ISSN 0378-7788, Vol. 216, No. -, pp. 109962, 2020. DOI: [10.1016/j.enbuild.2020.109962](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109962)



Liebersbach и др. (2021)<sup>45</sup> су анализирали изводљивост предложеног система поврата топлоте за затворени базен који се налази у рекреативном центру у Пољској. Резултати показују да је коришћењем предложеног система остварена уштеда енергије тј. смањена је потражња за енергијом за 34% до 67% за предгревање воде у базену и потрошну топлу воду, а остварено је и значајно смањење  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$  у распону од 34% до 48%.

Предности система за поврат топлоте из отпадних вода су:

а) температурни профили и снабдевање су скоро стални током целе године без обзира на атмосферске услове. То их чини релативно лако предвидљивим и релативно поузданим;

б) количине, а самим тим и потенцијал за искоришћење су релативно значајни, посебно у комерцијалним зградама;

в) већина јединица за повезивање садрже пасивне технологије, ограничавајући трошкове одржавања и рада (Mazhar и др., 2018)<sup>25</sup>.

Иако је технологија за поврат топлоте комерцијално доступна, концепт поврата топлоте у зградама тек треба да буде масовно имплементиран. Чињенице које могу да спрече масовну употребу ових система су: финансијски аспект у поређењу са применом конвенционалних фосилних горива; утицај на систем даљинског грејања и постројења за третман отпадних вода (Golzar и др., 2021)<sup>35</sup> и др.

Технологије за поврат топлоте отпадних вода су релативно популарне у Великој Британији, Норвешкој, Сједињеним Америчким Државама и Холандији (Wehbi и др., 2022)<sup>21</sup>. У Републици Србији подаци о употреби воде и подаци о отпадним водама нису систематизовани и доступни „на једном месту“, због чега постоји потреба за истраживањем ове области како би се добила целокупна слика о могућностима примене технологије за поврат топлоте из отпадних вода у циљу унапређења енергетске ефикасности зграда.

Ослањајући се на наведену литературу и досадашња истраживања која су анализирали потенцијале искоришћења топлоте и дала повољну статистику за примену ових система у стамбеним, комерцијалним и јавним зградама, може се закључити да постоји потреба за даљим истраживањима у овој области. Пре свега, постоји потреба за развој методологије која може бити примењена у пракси, како би се подстакло повећање енергетске ефикасности у зградарству коришћењем система поврата топлоте отпадних вода.

## **2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке**

<sup>45</sup> Liebersbach Joanna, Żabnieńska-Gór Alina, Polarczyk Iwona, Sayegh Marderos Ara: Water heat recovery in indoor swimming pools, *Energies*, ISSN 1996-1073, Vol. 14, No. 14, pp. 4221, 2021. DOI: /10.3390/en14144221



## Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет рада ове докторске дисертације је развој методологије и имплементација система поврата топлоте отпадних вода у циљу повећања енергетске ефикасности у зградама. У савременом свету, енергетска ефикасност представља важан фактор за постизање одрживог развоја и смањење негативног утицаја на околину. Зграде су значајни потрошачи енергије, а отпадне воде које се генеришу у њима носе значајан потенцијал топлотне енергије који често остаје неискоришћен. Један од изазова за унапређење енергетске ефикасности зграда јесте проналажење технологија и мера које могу допринети смањењу укупне потрошње енергије и емисија гасова са ефектом стаклене баште. Имплементација система поврата топлоте отпадних вода у зградама је један од начина да се то постигне. Ова дисертација се бави истраживањем, развојем и применом технологија и система који омогућавају ефикасан поврат топлотне енергије из отпадних вода које се генеришу у зградама и коришћење те енергије за додатно загревање воде или грејање простора у тим зградама. Поред анализе енергетске ефикасности зграда, имплементације модела за предвиђање потрошње енергије у зградама и развоја методологије, дефинисаће се и изазови који се могу јавити, укључујући техничке, економске и регулативне аспекте. Овакав приступ би омогућио унапређење у разумевању технологија поврата топлоте из отпадних вода и налажење најефикаснијих начина да се топлотна енергија отпадних вода поново искористи у зградама. То би допринело значајном смањењу укупне потрошње енергије и повећању енергетске ефикасности у градској инфраструктури, као и смањењу гасова са ефектом стаклене баште. Такође, овакав приступ истраживању има незанемарљив утицај на одрживи развој, циркуларну економију и законску регулативу у контексту унапређења енергетских перформанси зграда и заштите животне средине. Овом докторском дисертацијом ће се детаљно проучити како имплементација система поврата топлоте отпадних вода у зграде може: а) да допринесе принципима одрживог развоја (са становишта повећања енергетске ефикасности); б) подржи концепт циркуларне економије (са становишта рециклирања топлотне енергије и поновне употребе ресурса); и в) да буде у складу са законском регулативом која промовише употребу обновљивих извора, енергетску ефикасност и заштиту животне средине.

Научни циљ докторске дисертације је развој методологије за успешну имплементацију система поврата топлоте отпадних вода у зградама са циљем повећања енергетске ефикасности. Кроз обимно истраживање, дисертација ће обухвати детаљну анализу енергетске ефикасности и потрошњу енергије у различитим типовима зграда, процену потенцијала топлоте отпадних вода и идентификацију најефикаснијих технологија поврата топлоте. На основу тих информација, биће развијен модел за поврат топлоте у зградама. Затим ће бити извршена оптимизација система поврата топлоте и дефинисање кључних фактора који утичу на његову ефикасност. Кроз студију случаја, дисертација ће доказати ефикасност имплементираних методологија и њену применљивост у реалном окружењу, а резултати ће дати корисне препоруке за унапређење енергетске ефикасности и предлоге за будућа истраживања у овој области. Резултати овог истраживања имаће значајне и применљиве импликације у пољу енергетске ефикасности, заштите животне средине и одрживог развоја у градским окружењима.



Основне хипотезе предложене докторске дисертације, које су проистекле из дефинисаног предмета и циља рада и анализе досадашњих литературних извора у домену истраживања, сачињене су од следећих претпоставки:

1. Инсталацијом система поврата топлоте отпадних вода значајно се смањује потрошња енергије у зградама, што доводи до повећања енергетске ефикасности.
2. Имплементацијом модела за предвиђање потрошње енергије у зградама могуће је извршити идентификацију најефикаснијих начина за примену система поврата топлоте отпадних вода,
3. Инсталацијом система поврата топлоте отпадних вода у зградама смањује се емисија гасова са ефектом стаклене баште.

### Методe истраживања

Како би се истраживање успешно спровело, а хипотезе испитале кандидаткиња је у предложеном нацрту докторске дисертације навела различите методе истраживања које се могу користити у ту сврху. Одабир метода истраживања зависиће од природе и комплексности истраживања. Методе које ће се користити су:

- Основне методе истраживања;
- Квантитативне и квалитативне методе;
- Експерименталне методе.

Основне методе истраживања подразумевају преглед литературе и постојећих истраживања у области енергетске ефикасности, система поврата топлоте у зградама и заштите животне средине. Дакле, кандидаткиња ће детаљно теоријски анализирати досадашња истраживања у циљу прегледа постојећих студија случаја, методологија и алата који су се користили у сличним истраживањима. Уз то, кандидаткиња ће идентификовати специфичне проблеме и захтеве који се односе на имплементацију система поврата топлоте у зградама (истражити техничке аспекте, економску исплативост, ефикасност у различитим климатским условима итд.) и прикупити податке о енергетској ефикасности, потрошњи енергије у зградама, као и емисијама  $CO_2$ . Прикупљањем и проучавањем свих релевантних података омогућава се правилна процена могућности унапређења енергетске ефикасности зграда имплементацијом система за поврат топлоте отпадних вода. Дакле, преглед стања у области енергетске ефикасности и анализа постојећих система помоћи ће у идентификацији ефикасних и одрживих приступа за развој методологије за имплементацију система поврата топлоте отпадних вода у зградама. Кандидаткиња ће на студији случаја применити дефинисану методологију и разматраће промене потрошње енергије, емисије  $CO_2$  и енергетске ефикасности пре и након увођења система за поврат топлоте отпадних вода на студији случаја. За овај део истраживања користиће се квантитативне и квалитативне методе, које подразумевају анализу студија случаја, употребу различитих анализа и модела, а који се тичу стања енергетске ефикасности, потрошње енергије, емисија  $CO_2$ , калкулације трошкова и других релевантних параметара. Израда математичког модела, који ће се користити за симулацију предвиђања потрошње енергије, као и модела поврата топлоте



отпадних вода, који би био прилагођен потребама студије случаја омогућиће оптимизацију система поврата топлоте отпадних вода за разматрану студију случаја. За потребе истраживања користиће се неки од програма који садрже различите технике и алате као што су *CAD (Computer-Aided Design)*, *BIM (Building Information Modeling)*, енергетски симулациони софтвери попут *EnergyPlus* или *TRNSYS*, или неки други адекватни програми. За истраживање утицаја различитих фактора на ефикасност система користиће се статистичке методе - *t-тестови*, *ANOVA*, итд.. У оквиру докторске дисертације планирано је да кандидаткиња користи и експерименталне методе истраживања за проучавање ефикасности система поврата топлоте отпадних вода у зградама.

### Оквирни садржај докторске дисертације

Кандидаткиња је планирала да докторска дисертација буде реализована кроз следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед досадашњих истраживања
3. Циљеви одрживог развоја, циркуларна економија и законска регулатива
4. Систем поврата топлоте отпадних вода у зградама
5. Развој методологије за имплементацију система поврата топлоте отпадних вода у зградама
6. Тестирање развијене методологије на студији случаја
7. Дискусија и закључак
8. Литература

### **3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

Предложена тема докторске дисертације „Повећање енергетске ефикасности у зградама коришћењем система поврата топлоте отпадних вода“ представља истраживање и развој новог приступа енергетској ефикасности у зградарству. Ово истраживање има оригинални фокус на коришћењу технологије поврата топлоте отпадних вода са циљем смањења енергетске потрошње у зградама, што представља актуелан изазов у области одрживог развоја. Такође, овакав систем омогућава да се отпадна топлота преусмери и искористи за нове енергетске потребе у згради, као што је грејање воде или допунско грејање и хлађење. Применом оваквих система, зграде постају енергетски ефикасније, што доводи до смањења потрошње енергије и смањења емисија гасова са ефектом стаклене баште у околину. На основу пријаве теме докторске дисертације предвиђено је да кандидаткиња развије нову методологију за имплементацију система поврата топлоте отпадних вода у зградама. Комисија закључује да постоји потреба за развојом ове методологије, као и да њена примењивост може да допринесе научном напретку у области енергетске ефикасности и одрживог развоја.



Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације „Повећање енергетске ефикасности у зградама коришћењем система поврата топлоте отпадних вода“ кандидаткиње Наталије Алексић, маг. инж. зашт. жив. сред., са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносом и очекиваним резултатима, који су настали досадашњим самосталним истраживањима и детаљном анализом доступних научних радова, у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

#### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

У оквиру предложене теме докторске дисертације „Повећање енергетске ефикасности у зградама коришћењем система поврата топлоте отпадних вода“ постоји усклађеност у свим аспектима истраживања.

Кандидаткиња Наталија Алексић, маг. инж. зашт. жив. сред. ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког начина рада поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Дефиниција предмета истраживања је јасно и прецизно дефинисана у оквиру предмета рада и усклађена је са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. У достављеној пријави теме, кандидаткиња се служила одговарајућом терминологијом из области, која је предмет рада. Кандидаткиња је користила савремене и поуздане литературне изворе, при чему је имала у виду њихову релевантност у односу на предмет истраживања, као и њихову верификацију и научну валидност.

Циљ развоја комплетне методологије за успешну имплементацију система поврата топлоте отпадних вода у зградама има значајан потенцијал да представи оригинални допринос истраживачкој области енергетске ефикасности у зградарству. Основна вредност оваквог научног циља лежи у новом и иновативном приступу проблему енергетске ефикасности у зградама. Развој комплетне методологије у овој области захтева обухватање различитих аспеката, укључујући техничке, економске, енергетске и еколошке аспекте. Нови приступи, модели и решења која ће кандидаткиња да развије кроз ову докторску дисертацију могу допринети остваривању одрживих и енергетски ефикасних зграда, а добијени резултати представљали би оригинални допринос истраживачкој области.

#### **5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата**

##### **а. Лични подаци**

Наталија Алексић рођена је 04.09.1994. године у Крагујевцу. Основну школу „Милутин и Драгиња Тодоровић“ завршила је 2009. године у Крагујевцу као носилац Вукове дипломе.



Прву крагујевачку гимназију, друштвено језички смер, завршила је 2013. године са одличним успехом.

Школске 2013/2014. године уписала је основне академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Урбано инжењерство у трајању од четири године. Током друге и треће године била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја, а током завршне године основних академских студија била је стипендиста Фондације за стипендирање и подстицање напредовања најбољих студената, младих научних радника и уметника Универзитета у Крагујевцу и Фонда за младе таленте - Министарства омладине и спорта. Такође, у периоду од 2014. до 2017. године обављала је функцију студента продекана на Факултету инжењерских наука. Основне академске студије на студијском програму Урбано инжењерство завршила је 2017. године са просечном оценом 9,71 (девет и 71/100). Дипломски рад под називом „Ревитализација објекта Д“ под менторством ванредног професора др Јелене Атанацковић-Јеличић, одбранила је 26.09.2017. са највишом оценом, након чега је стекла звање дипломирани инжењер урбаног инжењерства и регионалног развоја.

По завршетку основних академских студија, исте године уписала је једногодишње мастер академске студије на Факултету инжењерских наука, студијски програм Инжењерство заштите животне средине, које је завршила 2018. године са просечном оценом 10 (десет и 00/100). Током мастер академских студија била је стипендиста Фонда за младе таленте – Министарства омладине и спорта. Мастер рад под називом „Третман отпадних вода у аутомобилској индустрији“, из предмета Инжењерство заштите животне средине, под менторством редовног професора др Вање Шуштершич одбранила је 26.10.2018. године са оценом 10, након чега је стекла звање мастер инжењер заштите животне средине.

Током студија била је добитник већег броја признања Факултета инжењерских наука за постигнут успех. Поред редовних наставних активности, учествовала је у разним ваннаставним активностима на Факултету и ван њега.

Докторске академске студије, у трајању од три године према плану и програму, на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, на Катедри за енергетику и процесну технику уписала је 2018. године, под менторством редовног професора др Вање Шуштершич. Положила је све испите предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 10.

Од маја 2019. године укључена је у рад акредитоване научноистраживачке организације (НИО) као студент докторских студија - стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја. У новембру 2019. године изабрана је у истраживачко звање истраживач-приправник на период од 3 године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Као истраживач-приправник, од јануара 2023. године ангажована је на научно-истраживачком пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења (ИИИ42013).



Као истраживач-приправник, учествује као сарадник у извођењу вежби из следећих предмета: Електротехника са електроником (ОАС), Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха (ОАС), Водоснабдевање и канализација (ОАС), Енергија и животна средина (ОАС), Електроенергетски и електродистрибутивни системи (ОАС), Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха (МАС) и Напредне технике третмана вода (МАС).

## **б. Научно-истраживачки рад**

Кандидаткиња Наталија Алексић је опредељена за научни рад и усавршавање у пољу техничко-технолошких наука, области машинског инжењерства, ужа научна област: Енергетика и заштита животне средине.

Кандидаткиња је, као аутор или коаутор, објавила укупно 15 радова у научно-стручним часописима, као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

### **Списак објављених радова**

#### **Рад у међународном часопису (М23)**

1. **Aleksić Natalija**, Nešović Aleksandar, Šušteršič Vanja, Gordić Dušan, Milovanović Dobrica: Slaughterhouse Wastewater Characteristics in the Meat Processing Industry in Serbia, Desalination and Water Treatment, ISSN 1944-3994, Vol. 190, No. /, pp. 98-112, 2020. DOI: [10.5004/dwt.2020.25745](https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745)

#### **Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33)**

1. **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja, Gordić Dušan, Rakić Nikola, REDUCTION OF WATER CONSUMPTION IN WASTE WATER TREATMENT SYSTEMS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY, 14th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, DEMI 2019, Banja Luka, 2019, 24-25 May, pp. 241-246, ISBN: 978-99938-39-85-9.
2. **Aleksić Natalija**, Nikolić Danijela, Šušteršič Vanja, Skerlić Jasmina, Josijević Mladen, BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS – CASE STUDY OF IMPLEMENTATION AT FACULTY OF ENGINEERING IN THE CITY OF KRAGUJEVAC, The 7th International Conference on Renewable Electrical Power Sources - 7th ICREPS, Belgrade, 2019, 17-18. October, pp. 213-220, ISBN 978-86-81505-97-7.
3. Nikolić Danijela, Skerlić Jasmina, Šušteršič Vanja, Radojević Ana, **Aleksić Natalija**, VARIANCES IN BUILDING ENERGY CONSUMPTION – INFLUENCE OF DOMESTIC HOT WATER SYSTEM PARAMETERS, 5th International scientific conference, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications, COMETA 2020, East Sarajevo, B&H, Republika Srpska, 2020, 26-28 November 2020, pp. 436-443, ISBN 978-99976-719-8-1.



4. **Aleksić Natalija**, Nikolić Danijela, Šušteršič Vanja, REVIEW OF SOLAR ENERGY APPLICATION IN AUTOMOTIVE INDUSTRY, 8th International Congress Motor Vehicles & Motors 2020, Kragujevac, 2020, 8-9 Oct 2020, pp. 95-103, ISBN 978-86-6335-074-8.
5. **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja, Nikolić Jelena, Rakić Nikola, Gordić Dušan, DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT IN THE REPUBLIC OF SERBIA, 15th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, DEMI 2021, Banja Luka, 2021, 28-29. May, pp. 229-236, ISBN 978-99938-39-92-7.

#### **Рад у водећем часопису националног значаја (M51)**

1. **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja: Analysis of possibilities of application of aquaponic system as a model of circular economy – A review, The Recycling and Sustainable Development (RSD) Journal, ISSN 1820-7480, Vol. 13, No. /, pp. 73-86, 2020. DOI: [10.5937/ror2001073A](https://doi.org/10.5937/ror2001073A)
2. **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja: Future of water recycling - A review of the direct potable water reuse, The Recycling and Sustainable Development (RSD) Journal, ISSN 1820-7480, Vol. 15, No. /, pp. 29-41, 2022. DOI: [10.5937/ror2201029A](https://doi.org/10.5937/ror2201029A)
3. Jurišević Nebojša, Nikolić Jelena, Nešović Aleksandar, Živković Dubravka, **Aleksić Natalija**: Posredni uticaj pandemije virusa COVID-19 na učešće studenata u saobraćaju, Tehnika, ISSN 0040-2176, Vol. 76, No. 4, pp. 476-482, 2022. DOI: [10.5937/tehnika2204476J](https://doi.org/10.5937/tehnika2204476J)

#### **Рад у часопису националног значаја (M52)**

1. Nikolić Danijela, Jovanović Saša, Skerlić Jasmina, Velemir Minja, **Aleksić Natalija**: Life cycle analysis in the building sector, Energija, ekonomija, ekologija, ISSN 0354-8651, Vol. 1-2, No. 1-2, pp. 175-179, 2018.
2. Nikolić Jelena, **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja, Gordić Dušan: Analiza isplativost ugradnje UASB digestora za tretman otpadnih voda u pivari – Studija slučaja pivare u Republici Srbiji, Traktori i pogonske mašine, ISSN 0354-9496, Vol. 25, No. 3/4, pp. 76-81, 2020.
3. **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja: Mogućnost primene nanotehnologije u tretmanu voda i otpadnih voda, Traktori i pogonske mašine, ISSN 0354-9496, Vol. 26, No. 5, pp. 40-47, 2021.
4. **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja: Uticajni faktori i određivanje stvarne potrošnje vode domaćinstvima u Republici Srbiji, Vodoprivreda, ISSN 0350-0519, Vol. 53, No. 309-311, pp. 227-240, 2021.
5. **Aleksić Natalija**, Šušteršič Vanja, Rakić Nikola, Gordić Dušan: Potrošnja energije i primena obnovljivih izvora energije u postrojenjima za tretman otpadnih voda, Energija - ekonomija - ekologija, ISSN 0354-8651, Vol. 24, No. 3, pp. 7-15, 2022. DOI: [10.46793/EEE22-3.07A](https://doi.org/10.46793/EEE22-3.07A)

#### **Рад у научном часопису (M53)**



1. **Aleksić Natalija**, Nikolić Danijela, Šušteršič Vanja, Jovanović Saša: Development of the modern automotive industry based on the solar technology application, *Mobility and Vehicle Mechanics*, ISSN 1450-5304, Vol. 48, No. 3, pp. 29-43, 2022.

**6. Предлог за ментора са његовим референцама којима се доказује испуњеност услова за менторство**

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др **Вања Шуштершич**, редовни професор, Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Ред. проф. др Вања Шуштершич је објавила преко 170 научних радова.

• Референце којима се доказује испуњеност услова за менторство:

1. Aleksić A., Gordić D., **Šušteršič V.**, Babić M.: Application of fat trap for the wastewater treatment in margarine production, *Desalination and Water Treatment*, ISSN 1944-3994, Vol. 57, No. 8, pp. 3466-3472, 2016. DOI: [10.1080/19443994.2014.986529](https://doi.org/10.1080/19443994.2014.986529) [M22]
2. Milašinović M., Jovičić N., Bošković G., **Šušteršič V.**, Babić M.: Overview of methane emissions from domestic wastewater in the republic of Serbia, *Desalination and Water Treatment*, ISSN 1944-3994, Vol. 57, No. 35, pp. 16353-16362, 2016. DOI: [10.1080/19443994.2015.1081626](https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1081626) [M22]
3. **Šušteršič V.**, Nešović A., Gordić D., Đonović K., Terzić I.: An Overview of Wastewater Treatment from the Milk and Dairy Industry – Case study of Central Serbia, *Desalination and Water Treatment*, ISSN 1944-3994, Vol. 133, No. /, pp. 10-19, 2018. DOI: [10.5004/dwt.2018.23006](https://doi.org/10.5004/dwt.2018.23006) [M23]
4. Aleksić N., Nešović A., **Šušteršič V.**, Gordić D., Milovanović D.: Slaughterhouse wastewater characteristics in the meat processing industry in Serbia, *Desalination and Water Treatment*, ISSN 1944-3994, Vol. 190, No. /, pp. 98-112, 2020. DOI: [10.5004/dwt.2020.25745](https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745) [M23]
5. Josijević M., **Šušteršič V.**, Gordić D.: Ranking energy performance opportunities obtained with energy audit in dairies, *Thermal Science*, ISSN 0354-9836, Vol. 24, No. 5A, pp. 2865-2878, 2020. DOI: [10.2298/TSCI191125100J](https://doi.org/10.2298/TSCI191125100J) [M23]



На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

**Наталија Алексић, мастер инжењер заштите животне средине**, испунила је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост, а методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације представљају научни допринос у области енергетике и заштите животне средине.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

### ПОВЕЋАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ У ЗГРАДАМА КОРИШЋЕЊЕМ СИСТЕМА ПОВРАТА ТОПЛОТЕ ОТПАДНИХ ВОДА

која припада ужој научној области: **Енергетика и заштита животне средине**, прихвати и одобри њену израду кандидату **Наталији Алексић**, мастер инжењеру заштите животне средине.

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде **др Вања Шуштершич, редовни професор** Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

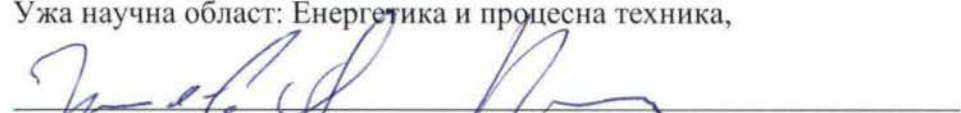
У Крагујевцу и Новом Саду,

Датум: 14. 08. 2023.


#### КОМИСИЈА:



**Др Вања Шуштершич, редовни професор - председник Комисије**  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника,

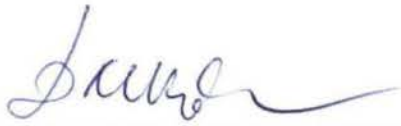


**Др Небојша Јуришевић, научни сарадник - члан**  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Научна област: Техничко-технолошке науке – енергетска ефикасност



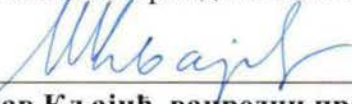
**Др Младен Јосијевић, доцент - члан**  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника





---

**Др Данијела Николић, ванредни професор - члан**  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Термодинамика и термотехника



---

**Др Мирослав Кљајић, ванредни професор - члан**  
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду  
Ужа научна област: Термотехника, термоенергетика и управљање енергијом