

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

927/6

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)19.09.2024.

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

Процеси преношења топлоте и влаге у биосистемима вегетативних крвних покривки

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

Термомеханика

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
СРЂАН (ПРЕДРАГ) ОТОВИЋ
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Машински факултет Београд
- Година завршетка претходног нивоа студија: 2010.
- Година уписа на докторске студије: 2011.
- Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Милош Бањац

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Vasilev, M., Banjac, M.: Thermal recovery test for determining the thermal conductivity of the soil, Thermal science, volume 28, Issue 1, 2024, (IF 2013: 1.1)
2. Jovčevski, M., Laković, M., Iliev, I., Stojkovski, F.: Mathematical and CFD methods for prediction of thermal pollution caused by thermal power plant, Thermal Science 2023 OnLine-First Issue 00, Pages: 171-171, <https://doi.org/10.2298/TSCI230523171J>
3. Alghlam, A.S.M., Stevanovic, V.D., Elgazdorib, E.A., Banjac, M.: Numerical simulation of natural gas pipeline transients, Journal of Energy Resources Technology - Transactions of the ASME, ISSN: 0032-5910 Volume 141, Issue 10, pp. 1-14, Oct 2019 (IF=2,759)
4. Todorović, M., Banjac, M., Bajc, T., Ristanović, M.: Achieving savings by implementation of efficient hybrid heating systems, Thermal Science, Volume 23, Issue Suppl. 5, January 2019, Pages: 1683-1693, <https://doi.org/10.2298/TSCI180726176T>, (IF =1.541)
5. Jović, M., Laković, M., Banjac, M.: Improving the energy efficiency of a 110 MW thermal power plant by low-cost modification of the cooling system, Energy and Environment, 0(0) 1-15, The Authors 2018, DOI: 10.1177/0958305×17747428
6. Laković, M., Banjac, M., Bogdanović Jovanović, J., Jović, M., Milovanović, Z.: Risk of Thermal Pollution of The Danube Passing Through Serbia due to Thermal Power Plants, THERMAL SCIENCE: Year 2018, Vol. 22, Suppl. 5, pp. S1323-S1336, 2018
7. Banjac, M., Laković, M.: Introduction Of The Energy Management System In The Industrial Sector Of The Republic Of Serbia Achieved Results And Challenges, THERMAL SCIENCE: Year 2018, Vol. 22, Suppl. 5, pp. S1-S12
8. Banjac, M.: Achieving sustainable work of the heat pump with the support of an underground water tank and solar collectors, Energy and Buildings, ISSN: 0378-7788, Elsevier Volume 98, Pages 19–26, 1 July 2015. (IF: 2.884)
9. Todorović, R., Banjac, M., Gojak, M.: Theoretical and experimental study of heat transfer in wall heating panels, Energy and Buildings, ISSN: 0378-7788, Elsevier, Volume 98, 1, Pages 66–73, July 2015 (IF 2014: 2.884)
10. Stevanović, Ž., Ilić, G., Vukić, M., Živković, P., Blagojević, B., Banjac: M.: CFD simulations of thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms, Thermal Science, OnLine-First (00):171-171, DOI:10.2298/TSCI150414171S, 2015. (IF2014=1.222)
11. Erić, M., Stakić, M., Banjac, M.: Fluid bed drying as upgrading technology for feasible treatment of Kolubara lignite, Thermal Science, OnLine-First (00):172-172, DOI:10.2298/TSCI150725172E, 2015. (IF2014=1.222)
12. Lazović, I., Stevanović Ž., Jovašević-Stojanović M., Živković M., Banjac M.: Impact of CO2 concentration on indoor air quality and correlation with relative humidity and indoor air temperature in school buildings, Serbia, Thermal Science, OnLine-First (00):173-173, DOI:10.2298/TSCI150831173L, 2015. (IF2014=1.222)
13. Todorović, R., Banjac, M., Vasiljević, B.: Analytical and Experimental Determination of the Temperature Field on the Surface of the Wall Heating Panels, Thermal Science, ISSN 0354-9836, Vol. 19, No. 2, pp. 497-507, 2015. (IF2014=1.222)

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 19.09.2024. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог:

1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 927/5
Датум: 19.09.2024. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон 67/2019, 6/2020 – др. закони, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021, 67/2021– др. закон и 76/2023), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године и члана 38. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 19.09.2024. године донело је:

О Д Л У К У
о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **СРЂАНА ОТОВИЋА**, маг. инж. маш. под насловом „**ПРОЦЕСИ ПРЕНОШЕЊА ТОПЛОТЕ И ВЛАГЕ У БИОСИСТЕМИМА ВЕГЕТАТИВНИХ КРОВНИХ ПОКРИВКИ**“.

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Милан Гојак, ред. проф., др Мирко Коматина, ред. проф. и др Вукман Бакић, научни саветник ИНН Винча.

За ментора докторске дисертације именује се др Милош Бањац, редовни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Срђана П. Отовића, маг. инж. маш.** према Одлуци Наставно-научног већа број 927/3 од 11.07.2024. године

На основу поднете пријаве за израду докторске дисертације кандидата **Срђана П. Отовића, маг. инж. маш.**, број 927/1 од 05.06.2024. године, дате сагласности Катедре за термомеханику и Одлуке Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета број 927/3 од 11.07.2024. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске **Срђана П. Отовића, маг. инж. маш.**

Увидом у документацију, коју је докторант Срђан П. Отовић, маг. инж. маш., приложио уз поднету пријаву, и то у складу са чланом 33. Правилника о докторским студијама Универзитета у Београду – Машинског факултета, за израду предметне докторске дисертације, после разматрања, а на основу члана 37. Правилника о докторским студијама, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

о научној заснованости
теме докторске дисертације
под насловом

Процеси преношења топлоте и влаге у биосистемима вегетативних кровних покривки

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1 Општи биографски подаци

Срђан П. Отовић је рођен 20.09.1986. у Београду. На Универзитет у Београду – Машински факултет уписао се школске 2005/06. године. Основне академске студије (BSc) завршава у јулу 2008. године са просечном оценом у току студија 9,19 (девет и 19/100), а затим и Мастер академске студије (MSc) на модулу за Термотехнику са просечном оценом током студија 9,35 (девет и 35/100). Дипломски рад из предмета Термодинамика М под насловом „Термодинамичка анализа рада АРМ типа вода-амонијак за примену код система панелног хлађења“ одбранио је 09.07.2010. године, са оценом 10 (десет).

Кандидат учествује у реализацији пројекта технолошког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја: Интелигентни системи управљања климатизације у циљу постизања енергетски ефикасних режима у сложеним условима експлоатације, TR 33047.

Кандидат је ангажован као сарадник у настави на Универзитету у Београду Машинском факултету на наставним предметима: „Примењена термодинамика“ и „Термодинамика Б“ на Основним академским студијама, као и на предмету „Термодинамика М“ и „Преношење топлоте“ на Мастер академским студијама. Као ментор екипе из Термодинамике на традиционалним окупљањима студената машинских факултета с простора бивше Југославије остварио је треће место на машинијади 2015. године, као и три прва места на машинијади 2016, 2017. и 2019. године. Демонстратор је практичних вежби за полазнике обуке за енергетске менаџере за област енергетике зграда и енергетске менаџере за област енергетике јавног сектора.

Кандидат је боравио на више уско-стручних усавршавања из области енергетске ефикасности, и то у Јапану организованом од стране JICA-е у периоду од 19.09.2011. до 23.12.2011. године под називом „Energy Conservation Tehology and Machine Condition Diagnosis Techniques – for Productivity Enhancement and Cleaner Production“ у оквиру „Training and dialogue program“, као и на усавршавању из области енергетске ефикасности у Јапану организованом од стране JICA-е у периоду од 05.07.2017. до 14.07.2017. године под називом „Energy Menagement System“ у оквиру „Knowledge Co-Creation Program“.

Успешно је положио испит за лиценцу за обављање послова енергетског менаџера за област енергетике зграда, енергетике јавног сектора и индустријске енергетике, и од јануара 2023. године обавља послове енергетског менаџера Универзитета у Београду – Машинског факултета.

Такође, кандидат је обавио више стручних експертиза, од којих су неке: испитивања ваздушне пропустљивости објекта, енергетски прегледи зграда централне власти, план и програм енергетске ефикасности за Панчево и Ковин и друго.

Познавање страних језика

- Енглески језик – говори, чита и пише.

Познавање рада на рачунару

- Програмски пакети: Microsoft Office, AutoCAD, MathCAD, Catia, SolidWorks и друго.

Истраживачке области

- Обновљиви извори енергије, Енергетска ефикасност система КГХ, Систем енергетског менаџмента

Остало

- Возачка дозвола за Б категорију возила.

1.2 Активности на Докторским академским студијама

Кандидат **Срђан П. Отовић, маг. инж. маш.**, уписао је Докторске академске студије на Универзитету у Београду – Машинском факултету **школске 2010/2011.** године. У циљу реализације Програма усавршавања положио је следеће обавезне и изборне предмете:

| Бр. | Назив предмета | Предметни наставник | Семестар | ЕСПБ | Оцена |
|--------------------------|--|-----------------------------|----------|------|------------|
| Обавезни предмети | | | | | |
| 1. | Виши курс математике | проф. др Стојан Раденовић | I | 5 | 10 (десет) |
| 2. | Нумеричке методе | проф. др Миодраг Спалевић | I | 5 | 10 (десет) |
| 3. | ОМНИР и комуникација | проф. др Милош Недељковић | I | 5 | 10 (десет) |
| 4. | Одабрана поглавља из механике флуида | проф. др Александар Ђоћић | II | 5 | 8 (осам) |
| 5. | Истраживање и публикавање 1 | проф. др Милан Гојак | I | 10 | 10 (десет) |
| 6. | Истраживање и публикавање 2 | проф. др Милан Гојак | II | 15 | 10 (десет) |
| 7. | Истраживање и публикавање 3 | проф. др Мирко Коматина | III | 20 | 10 (десет) |
| 8. | Пројекат идеје докторске дисертације | проф. др Милош Бањац | IV | 30 | 10 (десет) |
| Изборни предмети | | | | | |
| 9. | Термодинамика сложених система | проф. др Милан Гојак | I | 5 | 10 (десет) |
| 10. | Моделирање и оптимизација расхладних система | проф. др Франц Коси | II | 5 | 10 (десет) |
| 11. | Соларни системи | проф. др Бранислав Живковић | II | 5 | 10 (десет) |
| 12. | Виши курс из преношења топлоте и супстанције | проф. др Милош Бањац | III | 5 | 10 (десет) |
| 13. | Виши курс из термодинамике | проф. др Милош Бањац | III | 5 | 10 (десет) |

Срђан П. Отовић је на Докторским академским студијама Универзитета у Београду – Машинског факултета положио 4 (четири) обавезна и 5 (пет) изборних предмета (сваки вреди по 5 ЕСПБ бодова), чиме је остварио укупно 45 ЕСПБ бодова. Резултати научноистраживачког рада Срђана Отовића на Универзитету у Београду – Машинском факултету реализовани кроз рад у Лабораторији за термодинамику и у Лабораторији за преношење топлоте и супстанце (Истраживање и публикавање I-III), објављивање радова, као и учествовање у извођењу наставе на појединим предметима Катедре за термомеханику, указују на то да је кандидат веома успешно остварио још 45 ЕСПБ бодова. Кандидат је успешно реализовао и одбранио Пројекат идеје докторске дисертације, што је Комисија у саставу проф. др Милош Бањац, проф. др Мирко Коматина и проф. др Милан Гојак, потврдила оценом 10 (десет), а тиме је кандидат стекао још 30 ЕСПБ бодова. Дакле, у складу са чланом 21. Правилника о Докторским академским студијама Универзитета у Београду – Машинског факултета, кандидат је остварио укупно 120 ЕСПБ бодова, чиме је испунио основни услов да упише трећу годину студија и пријави тему докторске дисертације.

1.3 Списак објављених научних и стручних радова и других релевантних резултата и активности

Током Докторских студија кандидат је објавио један рад у **међународном часопису (SCI рад - M24)**, три рада у **часописима националног значаја (M51, M52)** и два рада **са међународног скупа штампан у целисти (M33)**:

Рад у часопису међународног значаја (M24):

1. Banjac M., Vencel A., **Otovic S.**: *Friction and Wear Processes – Thermodynamic Approach*, Tribology in Industry, No.4, Vol 36, 2014, p. 341-347, M24.

Радови у часописима националног значаја (M51, M52):

1. Коси Ф., Стојковић М., Милованчевић У., **Отовић С.:** *Расхладни флуид HFO-1234yf: термодинамичка анализа циклуса топлотних пумпи малих снага*, Часопис КГХ, број 1, 2011, вол. 40, стр. 73-76, ISSN 0350-1426, M51,
2. Бањац М., **Отовић С.:** *Корелације између геометријских параметара и фактора ефикасности пријемника Сунчеве енергије*, Термотехника, број 1-2, 2013, вол. 39, стр. 49-60, ISBN 0350-218X, M52,
3. Отовић М., Милованчевић У., Генић С., Митровић Н, Черницин В., **Отовић С., Антић М.:** *Тестирање утицаја система за предхлађење воденом маглом на ефикасност рада ваздушног хладњака*, Часопис КГХ, број 1, 2021, вол. 50, стр. 55-59, ISSN 2560-340X, M52.

Рад на међународном скупу штампан у целости (M33)

1. Отовић М., Коматина М., Рудоња Н., Милованчевић У., **Отовић С.,** Стевановић С.: *Употреба геотермалне енергије у органском Ранкиновом циклусу (ОРЦ)*, Електронски зборник радова, 47. међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, Београд, 2016, стр. 183-192, ISBN 978-86-81505-82-3, M33,
2. Отовић М., Генић С., Милованчевић У., Черницин В., **Отовић С.,** Стевановић С., *Испитивање оребрених загрејача ваздуха са распршивањем воде*, Зборник радова, 50. међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, Београд, 2019, стр. 163-170, ISBN 978-86-81505-99-1, M33.

1.4 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Срђан П. Отовић, маг. инж. маш., положио је све испите предвиђене Програмом усавршавања на Докторским студијама. Објављени радови и одбрањени Пројекат идеје докторске дисертације указују да кандидат има развијен смисао за научно-истраживачки рад. Узимајући у обзир и озбиљност и посвећеност кандидата, Комисија сматра да је кандидат способан за даљи успешан самосталан рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. ПРЕДМЕТ, НАУЧНА ОБЛАСТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

2.1 Предмет истраживања

У почетку из естетско-дизајнерских разлога, а касније и због ефекта побољшања квалитета ваздуха и ефеката ублажавања ефеката термичких острва, употреба вегетативних кровних покривки, тзв. зелених кровова, постала је опште прихваћени концепт савремене архитектуре. Истовремено, поред ублажавања ефекта термичких острва и улоге понора CO₂, све више до изражаја долазе специфична топлотно изолациона својства ових покривки, чијим се постављањем на кровове смањује потреба за енергијом за грејање, односно хлађење објекта. Због тога, ови сложени биосистеми све више постају предмет научних истраживања и термодинамичких анализа [1-3]. Будући да се предвиђа да ће до 2050. године 68% светске популације живети у урбаним срединама, што у комбинацији са укупним растом светске популације значи да ће још додатних 2,5 милијарди људи живети у урбаним срединама [4], доминантно прекривених асфалтом и бетоном, са интензивном индустријском активношћу и саобраћајним аеро загађењем, стварајући тако нова и све већа термичка острва, употреба вегетативних покривки постаје све више актуелна.

Вегетативна покривка се поставља на кровне конструкције. У ужем смислу њу чини слој земље, делимично или у потпуности прекривен вегетацијом. У ширем смислу, будући да се поставља на кровну конструкцију, она се састоји од слоја хидроизолације, слоја термоизолације, заштитног слоја и филтерске секције, те слоја земље са вегетацијом.

Заштитни слој има функцију да спречи пенетрацију корена биљка у термо и хидро изолацију.

Под периодичним дејством Сучевог зрачења и периодичним процесима влажења и испаравања влаге, у овом биосистему остварују се сложени, нестационарни процеси преношења топлоте зрачењем, прелажењем и пролажењем топлоте, спрегнути са процесима преношења супстанце (влаге). Додатно, део енергије Сучевог зрачења, процесом фотосинтезе акумулира се у виду стварања органске материје, тј. енергије хемијских веза. Посебност ових биосистема чине и процеси испаравања воде из слоја земље и испаравања воде у биолошким процесима биљака, тзв. процесима транспирације, а који се заједничким именом називају процеси евапотранспирације. Додатно, посебно сложени процеси размене топлоте топлотним зрачењем и прелажењем топлоте између листова биљака и површине земље остварују се у полупрозрачном слоју вегетације, а који се додатно разликују у зависности од врсте и висине биљака [5,6].

У сврху одређивања понашања, њихових термоизолационих својстава, ефекта пасивног хлађења евапотранспирацијом, претходно наведени процеси предмет су изучавања бројних научника [1-17]. По правилу развијени математички модели ових биосистема засновани су на енергетским билансима дефинисаним по слојевима система, а који укључују међусобну размену топлоте и влаге и засебно моделирање појединих билансних чланова. У највећем броју случајева, моделирање ових чланова заснива се на претходно спроведеним експериментима и установљавању одговарајућих корелација. При томе због очигледне сложености ових појава, при моделирању се уводе бројне претпоставке, од локалне преко опште стационарности процеса, локалне и потпуне хомогености појединих слојева, те занемаривања утицаја појединих процесних параметара, па чак и читавих процеса. Међу процесима који су у овим биосистемима до сад најслабије истражени и само врло грубо моделирани, издваја се процес евапотранспирације.

Предмет истраживања ове дисертације је истраживање процеса преношења топлоте и супстанце (влаге) и квантификација процеса еваптранспирације и утицаја променљиве влажности слоја земље у вегетативним кровним покривкама на термоизолациона својстава ових биолошких система.

2.2 Циљ истраживања

Циљ истраживања ове дисертације је да се применом савремених експерименталних метода квантификује утицај топлотног зрачења и температуре и влажности ваздуха на процес евапотранспирације и повеже са променом ефективне топлотне проводљивости вегетативне кровне покривке, те да се креира математички модел понашања овог биосистема, који ће поред уобичајених утицајних параметра обухватити и утицај различитих типове вегетације на процес евапотранспирације.

2.3 Преглед стања у области истраживања

У наставку, наведена су нека од релевантних и кључних научних достигнућа, која се баве поменутом тематиком, што представља основ за покретање истраживања предвиђеног овом докторском дисертацијом:

- [1] Huang J., Kong F., Yin H., Middel A., Liu X., Meadows M. E.: *Green roof effects on urban building surface processes and energy budgets*, Energy Conversion and Management, 2023, vol. 287, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117100>,
- [2] Mousavi S. N, Gheibi M., Waclawek S., Behzadian K: *A novel smart framework for optimal design of green roofs in buildings conforming with energy conservation and thermal comfort*, Energy and Buildings, 2023, vol. 291, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113111>.

- [3] Lokesh S., Kadiwal N., Chandrashekar R., Pai A, Kumar B.: *Heat transfer study of green roof in warm and humid climatic conditions*, 2023, volume 92, Part 1, Pages 327-337, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.010>.
- [4] Oginga Martins J., Sharifi A.: *World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*, 2022, United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), ISBN Number: 978-92-1-132894-3,
- [5] Niachou A., Papakonstantinou K., Santamouris M., Tsangrassoulis A., Mihalakakou G.: *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance*, Energy and Buildings, 2001, vol. 33, no. 7, pp. 719–729, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7).
- [6] Lazzarin R. M., Castellotti F., Busato, F.: *Experimental measurements and numerical modelling of a green roof*, Energy and Buildings, 2005, vol. 37, no. 12, pp. 1260–1267, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.001>.
- [7] Zhang J., Fang X., Zhang H. Yang W., Zhu C.: *A heat balance model for partially vegetated surfaces*, Infrared Physics & Technology, 1997, vol. 38, no. 5, pp. 287–294, [https://doi.org/10.1016/S1350-4495\(97\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S1350-4495(97)00020-0).
- [8] Frankenstein S., Frankenstein S.: *FASST Soil Moisture, Soil Temperature : Original Versus New*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 2008,
- [9] Frankenstein S., Koenig, G. G.: *Fast All-season Soil STrength (FASST)*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 2004,
- [10] Sailor D. J.: *A green roof model for building energy simulation programs*, Energy and Buildings, 2008, vol. 40, no. 8, pp. 1466–1478, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.001>.
- [11] Ouldboukhitine S.E., Belarbi R., Jaffal I., Trabelsi A: *Assessment of green roof thermal behavior: A coupled heat and mass transfer model*, Building and Environment, 2011, vol. 46, no. 12, pp. 2624–2631, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.021>.
- [12] Sumner D. M., Jacobs J. M.: *Utility of Penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration*, Journal of Hydrology, 2005, vol. 308, no. 1–4, pp. 81–104, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.023>.
- [13] Tabares-Velasco P. C., Srebric J.: *A heat transfer model for assessment of plant based roofing systems in summer conditions*, Building and Environment, 2012, vol. 49, pp. 310–323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.019>.
- [14] Alexandri E., Jones P.: *Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results*, Building and Environment, 2007, vol. 42, no. 8, pp. 2835–2849, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.004>.
- [15] Djedjig R., Ouldboukhitine S. E., Belarbi R., Bozonnet E.: *Development and validation of a coupled heat and mass transfer model for green roofs*, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.03.024>.
- [16] Fassman E., Voyde E., Simcock R., Wells J.: *Quantifying evapotranspiration rates for New Zealand green roofs*, Journal of Hydrologic Engineering, 2010, vol. 15, no. 6, pp. 395–403, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000141](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000141).
- [17] Vera S., Pinto C., Tabares-Velasco P.C., Molina G., Flamant G., Bustamante W., Pianella A., Kincaid N.: *Analysis and comparison of two vegetative roof heat and mass transfer models in three different climates*, Energy and Buildings, 2019, vol. 202, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109367>.

Niachou A. и остали [5] су међу првима указали на предности примене вегетативног крова у смислу смањења потрошње енергије. Аутори су у истраживањима дошли до закључка да температура површине крова покривеног вегетацијом у великој мери зависи од одабира биљне културе и густине растиња као најутицајнијег параметра. Упоредо су мерене температуре у нехлађеним просторијама испод крова за различите конструкције крова на истом објекту и добијене су ниже вредности температура у просторијама изнад којих се налазио вегетациони кров прекривен густим растињем. Показало се да су у летњем периоду температуре спољне површине крова значајно ниже у поређењу са конвенционалним делом крова, што је за директну последицу имало смањење топлотног оптерећења у датим просторијама. Као резултат испитивања, уградња вегетативних кровова има много већи енергетски утицај код топлотно лоше изолованих и неизолованих објеката.

Lazzarin P. и остали [6] су у свом истраживању представили утицај процеса евапотранспирације у летњим месецима. Аутори су показали да се и при условима веома сувог тла у летњим месецима топлотни добити смањују за 60% у односу на конвенционалне кровне конструкције. Ово смањење топлотних добитака су последица повећане рефлексије и апсорпције вегетационог слоја, док је процес евапотранспирације веома ограничен услед мале влажности слоја тла. Аутори су констатовали да уколико је слој тла у влажном стању, применом вегетативног крова остварује се ефекат пасивног хлађења, услед процеса евапотранспирације.

Zhng J.Q. и остали [7] су развили модел за приближно одређивање температуре површине тла код делимично прекривених вегетационих кровова, у квази-стационарним условима. Слој биљака су посматрали као хомогени, порозни слој у хоризонталној равни који делимично прекрива површину тла. Сунчево зрачење апсорбовано у слоју вегетације одређује се применом и решавањем упрошћених једначина размене топлоте зрачењем. Одређивање суве и латентне топлоте која се са вегетационог крова прима или предаје околини је изведено у функцији профила брзине ветра, док је утицај стомалног отпора обухваћен преко утицаја Сунчевог зрачења, температуре околног ваздуха и разлике притисака водене паре у слоју земље и водене паре у ваздуху при процесу дифузије.

Frankenstein S. и Koenig G. [8,9] су дали приказ детаљног квази-стационарног модела размене топлоте за случај земљишта без вегетације у току целе године, као и модел за размену топлоте у случају постојања вегетације. Sailor D.J. [10] је ове моделе имплементирао у софтверски пакет Energy Plus у оквиру модела „eCOROOF“. У циљу потврде модела извршена су експериментална испитивања на више кровних конструкција, за које су касније урађене симулације у наведеном програмском пакету. Симулација је извршена за одговарајуће геометријске и климатске параметре за објекте на различитим локацијама, како би се модел испитао за изразито различите климатске услове. Такође, уочено је значајно смањење потрошње енергије у летњим месецима за случај наводњавања тла.

Ouldboukhitine C.E и остали [11] су у свом истраживању унапредили математички модел који су претходно развили Frankenstein S. и Koenig G. [8,9]. Главну ставку у унапређеном моделу представља масени биланс влаге у земљишту и утицај влаге на топлотну проводљивост тла. Аутори су такође показали да биланс влаге има велики утицај на процес евапотранспирације. За одређивање количине воде која се користи у процесу евапотранспирације применили су једначину Penman-Monteith [12]. У раду је дат детаљан математички модел промене влаге код вегетативних кровова, при чему се тло сматрало чврстом, хомогеном, порозном структуром. Аутори су извршили поређење експерименталних података и то температуре површине тла вегетационог крова и температуре површине конвенционалног крова. Такође, потврдили су ранији закључак аутора [10] да је промена температуре површине тла код вегетационих кровова директно пропорционална промени густине вегетације.

У чланку [13] аутори Tabares-Velasco P. C и Srebric J. су дали приказ квази-стационарног приступа решавању енергетског и масеног биланса, који су потврдили енергетским симулацијама. У моделу је разматрана размена топлоте и масе између највиших слојева атмосфере обухваћених директним и дифузионим Сунчевим зрачењем и падавинама, слојем вегетације и слојем тла. У првом делу рада приказан је модел тла без слоја вегетације, што је уједно и најгори могући случај у реалним условима, како би се што боље описао годишњи животни циклус биљака. Овај аспект има веома значајну улогу у погледу моделирања зеленог крова који неће бити у потпуности прекривен вегетацијом током читаве године. Аутори су комбиновали модел вегетативног крова без и вегетативног крова са вегетацијом како би се добио случај најприближнији експлатационим условима. Аутори су показали да је од свих климатских фактора који утичу на енергетски биланс вегетационог крова најутицајнији чинилац директно Сунчево зрачење, док је најмањи утицај забележен са променом релативне влажности ваздуха.

Alexandri и Jones су у раду [14] приказали математички модел којим може да се обухвати утицај вегетативног крова на снижавање температуре у урбаним срединама. У раду је представљен једнодимензиони, динамички модел преношења топлоте и масе кроз кровну конструкцију са инсталираним вегетационим кровом. Модел преноса топлоте и масе је рађен за неколико различитих слојева, при чему слојеви имају заједничке граничне површи и међусобно су повезани у целину.

У чланку Djedjig R. и остали су представили динамички модел биланса масе и енергије кроз конструкцију вегетативног крова [15]. Моделирањем процеса обухваћен је утицај промене влажности тла током времена и њихов утицај на термофизичка својства земљишта и интензитет процеса евапотранспирације. Изведено је експериментално испитивање како би се потврдила веродостојност модела и у ту сврху је вршено поређење температуре површине тла и садржаја воде у тлу за резултате добијене симулацијом и стварно измерене вредности.

Woyde E. и остали извршили су експериментално одређивање евапотранспирације за два различита типа биљака [16], *Sedum mexicanum* као представника Crassulacean Acid Metabolism (CAM) метаболизма и *Disphyama australe* представника C3 типа метаболизма биљака и резултате упоредили са трећим узорком без слоја вегетације. За сва три узорка извршено је идентично заливање у трајању од 40 минута дневно у периоду од 7 непрекидних дана како би се обезбедила неограничена доступност воде у почетку експеримента. Након тога, током трајања експерименталног испитивања вршено је мерење масе узорака, и промена масе представљала је губитак воде у функцији евапотранспирације, односно испаравања у случају тла без биљака. Показало се да C3 тип метаболизма биљака утиче на процес отварања стоме током дана како би биљке имале приступ угљен-диоксиду који је неопходан за процес фотосинтезе, независно од спољних услова. У сушним периодима са високим температурама ваздуха и тла, биљке са C3 типом метаболизма ће убрзано губити велике количине воде, што за последицу има генерални пад здравља биљке, почетак процеса сушења и одумирања. Биљке са CAM метаболизмом имају одређен капацитет за складиштење угљен-диоксида у биљном ткиву, и приликом високих дневних температура могу да држе затворене стоме ради бољег очувања воде у тлу. Ове биљке отварају стоме ноћу како би извукле угљен диоксид при нижим температурама, што за последицу има дужи животни век биљке у условима суше због чега се често и примењују код зелених кровова.

Vera и остали [17], извршили су поређење два постојећа, најчешће цитирана, модела преноса топлоте и масе за вегетационе кровове које су развили Tabares-Velasco P.C. и Srebric J. [13] и Frankenstein S. и Koenig G. [8,9]. Аутори су за поменуте моделе извршили нумеричке симулације у програмском пакету MATLAB, након чега су добијене резултате упоредили са експерименталним подацима за шест различитих екстензивних вегетационих кровова у три различите климатске зоне. Аутори наводе да се главна

разлика између датих модела огледа у начину одређивања суве и латентне топлоте. Резултати температура на карактеристичним (мерним) местима, добијени нумеричким симулацијама за оба модела, на свих шест локација су у границама дозвољене грешке у поређењу са експерименталним резултатима, на основу чега се може извући закључак да је збир суве и латентне топлоте приближно исте вредности за оба математичка модела. Укупне размењене количине топлоте код вегетационих кровова за оба модела дају приближно сличне резултате, што значи да у погледу укупне енергетске потребе зграде неће бити већих одступања који год од два модела да се користи при димензионисању вегетационог крова. Међутим, услед значајних разлика између односа суве и латентне топлоте код поменутих модела постоје драстичне разлике при израчунавању неопходне количине воде за систем наводњавања вегетационог крова, као и могућности евапотранспиративног ефекта хлађења у урбаним срединама. Аутори посебно напомињу да различит приступ при израчунавању латентне и суве топлоте и указују на потребу за детаљним прорачунима енергетског и материјалног биланса у слојевима вегетације и тла. Такође, предлаже се да се у даљим истраживањима обави детаљна анализа процеса евапотранспирације како би се израчунала неопходна количина воде за наводњавање и прецизније одређивање ефекта хлађења испаравањем, које је директно везано на процену утицаја вегетационих кровова у урбаним срединама.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Полазна хипотезе ове докторске дисертације су:

- спрегнути процеси преношења топлоте и супстанце (влаге) који се остварују у вегетативним кровним покривкама су због периодично променљивог садржаја влаге нестационарни;
- променљиво температурно поље и променљиво поље влажности не дозвољавају описивање процеса провођења топлоте простом применом Фуријеове хипотезе са константним вредностима топлотне проводљивости, односно описивање дифузије влаге Фиковим законом са константним вредностима коефицијента дифузије;
- постоји зависност и између дозраченог топлотног протока, температуре и релативне влажности ваздуха и брзине процеса евапотранспирације;
- експерименталним путем може се установити корелација између дозраченог топлотног протока, брзине исушивања слоја земље и процеса евапотранспирације,
- експерименталним путем може се установити корелација између влажности и топлотне проводљивости слоја земље,
- коревито влажно тло се може сматрати хомогеном порозном средином са понорима супстанце;
- могуће је креирати математички модел понашања овог биосистема, заснован на енергетским билансима дефинисаних по слојевима вегетативне кровне покривке, који ће за различите типове вегетације обухватити и утицај евапотранспирације.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Током реализације циљева истраживања предложене теме користиће се следеће научне методе:

- Експерименталне методе – у лабораторијским условима мерењем температуре ваздуха, његове релативне влажности, и при различитим интензитетима топлотног зрачења, пратиће се промене температуре вегетације, температуре слојева земље на више различитих дубина, промена влажности слоја земље при различитим врстама вегетација, као и без слоја вегетације. Мерења ће бити извршена према

усвојеној научној методологији коришћењем за ту сврху одговарајуће мерне опреме. Мерења ће бити обављена у карактеристичним мерним тачкама и временским периодима дефинисаним према одговарајућим међународним и домаћим стандардима, као и према препорукама произвођача мерне опреме;

- Методе математичког моделирања – биће креиран математички модел понашања вегетативне покривке, заснован на енергетским билансима дефинисаним по слојевима вегетативне кровне покривке. Моделирање и калибрација чланова који описују процесе испаравања и евапорације биће извршени уз помоћ претходно добијених експерименталних резултата;
- Нумеричке методе – за решавање математичког модела процеса преноса топлоте и масе код вегетативних кровних покривки, користиће се одговарајуће нумеричке методе. Из добијених решења промена влажности и поља температуре биће могуће одредити и промену ефективне топлотне проводљивости;
- Методе валидације – валидација математичког модела спровешће се упоређивањем аналитичких (нумеричких) резултата и експерименталних података.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Научна истраживања, у оквиру предметне докторске дисертације, подразумевају остваривање следећих очекиваних научних доприноса:

- Добијање експерименталних података о међусобној зависности температуре ваздуха, релативне влажности ваздуха, температуре вегетације, температуре тла на више различитих дубина, интензитета зрачења, топлотног флукса кроз слој тла и промене запреминске влажности тла, за више различитих типова вегетације;
- Формирање аналитичко-нумеричког модела којим ће моћи да се врше поуздана предвиђања промене вредности температурног поља у одређеним пресецима, у зависности од промене влаге тла и топлотног оптерећења услед зрачења, а на основу њих и промена ефективне топлотне проводљивости вегетативне кровне покривке;
- Формирање базе репрезентативних података као резултат нумеричких симулација, који ће моћи да послуже за даљи развој и проверу тачности других нумеричко-аналитичких модела, као и за даље установљивање зависности процеса евапотранспирације и потрошње енергије у зградама.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

Истраживање утицаја ефеката евапотранспирације вегетативних кровова са променљивим садржајем влаге је да се спроведе кроз следеће фазе и активности:

- 1) Детаљно изучавање стручне и научне литературе из области преношења топлоте и супстанце (влаге) у системима вегетативних кровова и до сада развијених математичких модела које описују њихово понашање, са посебним освртом на процес евапотранспирације,
- 2) Спровођење анализа до сада развијених математичких модела преношења топлоте и влаге кроз слојеве вегетативног крова (слоја вегетације, слоја земље, слоја хидро и термо изолације), као и анализа модела размене топлоте и влаге вегетативног крова са његовом околином,
- 3) Осмишљавање унапређеног математичког модела преношења топлоте и влаге који ће успоставити нове корелације између интензитета евапотранспирације, влажности тла, врсте вегетације и процеса пролажења топлоте у биосистему вегетативне кровне покривке,

- 4) Конструисање инсталације за експериментална испитивања (физичког модела) и методологије за добијање експерименталних података неопходних за формирање, односно валидацију математичког модела,
- 5) Израда инсталације за експериментална испитивања три различита типа вегетативних кровних покривки и њихово опремање мерним инструментима и аквизицијом која ће омогућити прикупљање података о релевантним величинама стања и величинама процеса, које се остварују током спровођења експеримента (температуре ваздуха, релативне влажности ваздуха, температуре вегетације, температуре земљаног слоја на више различитих дубина, интензитета топлотног зрачења, топлотног протока кроз слој земље, промена масе влаге земље, промене запреминске влажности земље итд.),
- 6) Дефинисање детаљног програма спровођења експерименталних и нумеричких истраживања,
- 7) Спровођење експерименталног истраживања и формирање одговарајуће базе података,
- 8) Анализа и обрада експериментално добијених резултата, што подразумева и успостављање одговарајућих корелација између измерених величина стања и величан процеса, за сва три типа вегетативних покривки,
- 9) Формирање математичког модела понашања вегетативне кровне покривке који ће обухватити утицај процеса евапотранспирације, и којим ће бити могуће одредити температурно поља, односно ефективни коефицијента пролажења топлоте кроз слојеве вегетативног крова,
- 10) Формирање нумеричког модела за решавање математичког модела и спровођење нумеричких симулација понашања вегетативног крова у претходно дефинисаним (задатим) сценаријима,
- 11) Валидација математичког модела поређењем са резултата нумеричких и експерименталних резултата,
- 12) Коришћење нумеричког модела и формирање базе репрезентативних података као резултат нумеричких симулација, који ће моћи да послуже за даљи развој и проверу тачности других нумеричко-аналитичких модела. Установљавање зависности интензитета евапотранспирације у зависности од запреминске влажности тла и врсте вегетације на потрошњу енергије у зградама.

Оквирна структура предложене докторске дисертације обухвата следеће целине:

- 1) Уводна разматрања,
- 2) Преглед доступне литературе и досадашњих релевантних истраживања,
- 3) Опис експеримента,
- 4) Представљање и анализа резултата експерименталних истраживања,
- 5) Математички модел понашања вегетативне кровне покривке и процеса евапотранспирације,
- 6) Формирање програмског решења (нумеричког модела) за решавање математичког модела,
- 7) Валидација математичког модела поређењем са резултата нумеричких симулација и експерименталних резултата,
- 8) Закључци и предлози за даљи рад.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе поднете пријаве теме докторске дисертације кандидата Срђана Отовића, мастер инжењера машинства, архивирани под евиденционим бројем 927/1 од 05.06.2024. године, а сходно сагласности Катедре за термомеханику, као и према Одлуци Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета број 927/3 од 11.07.2024. године Комисија за подношење извештаја о научној заснованости теме докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације високог ранга, као и да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Машинског факултета да се

Срђану П. Отовићу, маст. инж. маш.

одобри израду докторске дисертације са темом под насловом

Процеси преношења топлоте и влаге у биосистемима вегетативних кровних покривки

научна област: **машинско инжењерство** (ужа научна област – **термомеханика**)

На основу Одлуке Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета број 927/3 од 11.07.2024. године, за ментора кандидата Срђана П. Отовића, маст. инж. маш., током рада на предметној докторској дисертацији, Комисија предлаже да буде именован др Милош Бањац, редовни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета који у претходних десет година има 13 објављених радова у часописима са импакт фактором са SCI-Web of Science® листе (Образац 3.), и то у домену машинског инжењерства – термомеханике, дакле има све неопходне компетенције у оквиру научне области којој припада тема докторске дисертације, са чиме је Комисија у потпуности сагласна.

У Београду, 07.09.2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Милан Гојак, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Мирко Коматина, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Вукман Бакић, научни саветник
Универзитет у Београду
Институт за нуклеарне науке "Винча"