

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

667/6

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

13.07.2023.

(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:

**„УТИЦАЈ УГРАДЊЕ ФАЗНО ПРОМЕНЉИВОГ МАТЕРИЈАЛА У ГРАЂЕВИНСКИ ОМОТАЧ
ОБЈЕКТА НА ТЕРМИЧКУ УГОДНОСТ И ЕФИКАСНОСТ КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ“**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

Термомеханика

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
ДРАГОСЛАВ (БОШКО) МРЂА
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Машински факултет Београд
- Година завршетка претходног нивоа студија: 2020.
- Година уписа на докторске студије: 2020.
- Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора:

Милан Гојак

Звање:

редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Todorović, R., Banjac, M., Gojak, M.: Theoretical and experimental study of heat transfer in wall heating panels, Energy and Buildings, ISSN: 0378-7788, Elsevier Science Sa, Lausanne, Volume 98, 1, Pages 66–73, July 2015
DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.065, IF(2014) 4,666 JCR ранг: (8/139) (M21a),
2. Arsović Marjan, Topić Radivoje M., Komatina Mirko, Gojak Milan Thermodynamical research of using solar energy for desalination of seawater, Thermal Science, 19(5), 1709-1721, University of Belgrade - Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, ISSN: 0354-9836, 2015
DOI: 10.2298/TSCI141220074A, IF(2015) 0,955 JCR ранг: (39/58) (M23),
3. Gojak Milan, Kijanović Aleksandar I., Rudonja Nedžad, Todorović Ružica (2021). Experimental and numerical investigation of thermal improvement of window frames, Thermal Science, 25(4), 2579-2588, University of Belgrade - Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, ISSN: 0354-9836,
DOI: 10.2298/TSCI200120189G, IF(2021) 1.971 JCR ранг: (44/63) (M23),
4. Nedić Nebojša M., Gojak Milan, Zlatanović Ivan, Rudonja Nedžad, Lazarević Kristina B., Dražić Milan S., Gligorević Kosta, Pajić Miloš B. (2020). Study of vacuum and freeze drying of bee honey, Thermal Science, 24(6), 4241-4251, University of Belgrade - Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, ISSN: 0354-9836,
DOI: 10.2298/TSCI200317194N, IF (2020) 1,625 JCR ранг: (46/60) (M23),
5. Rudonja Nedžad, Gojak Milan, Zlatanović Ivan, Todorović Ružica (2020). Thermodynamic Analysis of a Cascade Heat Pump Incorporated in High-Temperature Heating System, Strojniski Vestnik-Journal of Mechanical Engineering, 66(11), 677-683.
Assoc Mechanical Engineers Technicians Slovenia, Ljubljana, ISSN: 0039-2480,
DOI: 10.5545/sv-jme.2020.6836, IF(2020) 1,554, JCR ранг: (98/133) (M23),
6. Milivojević Aleksandar, Adžić Miroljub, Gojak Milan, Stamenić Mirjana, Adžić Vuk M. (2021). Analysis of the performance of a low-power atmospheric burner for gas appliances for households and their impact on the emission and stability of the burner, Thermal Science, 25(3), 1891-1903, University of Belgrade - Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, ISSN: 0354-9836,
DOI: 10.2298/TSCI200717302M, IF(2021) 1.971 JCR ранг: (44/63) (M23),
7. Gojak Milan, Bajc Tamara (2022). Thermodynamic sustainability assessment for residential building heating comparing different energy sources, Science and Technology For The Built Environment, 28(1), 73-83, Taylor & Francis Inc, Philadelphia, ISSN: 2374-4731,
DOI:10.1080/23744731.2021.1908043, IF (2021) 2,121 JCR ранг: (79/137) (M22).

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 13.07.2023. 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

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 667/6
Датум: 13.07.2023. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 27/2018 – др. закон 73/2018, 67/2019, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021 – др. Закон, 67/2021), 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 Машинског факултета и захтева студента **Драгослава Мрђе**, магист. инж. маш., бр. 667/1 од 24.04.2023. године да му се одобри израда докторске дисертације, извештаја Комисије у саставу: др Милош Бањац, ред. проф., др Неџад Рудоња, ванр. проф., др Ружица Тодоровић, доц., др Валентина Турањанин, научни саветник, ИНН Винча Београд и др Биљана Вучићевић, виши научни сарадник, ИНН Винча Београд, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 13.07.2023. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **ДРАГОСЛАВ МРЂА**, магист. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«УТИЦАЈ УГРАДЊЕ ФАЗНО ПРОМЕНЉИВОГ МАТЕРИЈАЛА У ГРАЂЕВИНСКИ ОМОТАЧ ОБЈЕКТА НА ТЕРМИЧКУ УГОДНОСТ И ЕФИКАСНОСТ КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ»**.

Одлуком ННВ број 667/3, од 01.06.2023. године за ментора докторске дисертације Драгослава Мрђе, магист. инж. маш. именован је др Милан Гојак, ред. проф.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Драгослава Б. Мрђе**, маг. инж. маш. за израду докторске дисертације.

Одлуком број 667/4 од 01.06.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Драгослава Б. Мрђе**, маг. инж. маш. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Утицај уградње фазно променљивог материјала у грађевински омотач објекта на термичку угодност и ефикасност коришћења енергије”**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Драгослав Б. Мрђа рођен је 18.06.1994. године у Приједору у Босни и Херцеговини. Основну школу „Иван Горан Ковачић” завршио је у Београду. За остварене резултате у току школовања награђен је дипломом „Вук Стефановић Караџић”. Гимназију „Свети Сава” у Београду завршио је са одличним успехом.

Машински факултет Универзитета у Београду уписао је школске 2015/2016 године. Основне академске студије завршио је у року са просечном оценом 9,50 и тако стекао академски степен Инжењер машинства. Завршни (B.Sc) рад је радио из предмета Основе соларних система, под називом „Соларна ћелија” код проф др Милана Гојака.

Мастер академске студије уписао је школске 2018/2019 године на Машинском факултету Универзитета у Београду, смер Термотехника. На Мастер академским студијама дипломирао је у року, 11. септембра 2020. године са просечном оценом 9,80. Мастер рад (M.Sc) је одбранио са оценом 10 на тему „Нестационарни кондуктивни пренос топлоте у шупљем цилиндру” код ментора проф. др Милана Гојака и тако стекао академски степен Мастер инжењер машинства.

Докторске академске студије на Машинском факултету у Београду, уписао је школске 2020/2021 године.

Од децембра 2020. године запослен је у Институту за нуклеарне науке „ВИНЧА”, Институту од националног значаја за Републику Србију, у Лабораторији за термотехнику и енергетику. У оквиру институционалног финансираног програма „Енергија и енергетска

ефикасност” ангажован је на теми „Развој и валидација нових технологија у зградарству са циљем повећања енергетске ефикасности зграда и побољшања квалитета урбаних средина”.

Током академских студија био је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. У последњој години Мастер академских студија био је и стипендиста Министарства одбране.

Успешно примењује, на решавање инжењерских проблема, следеће софтверске пакете: SolidWorks, AutoCad, Ansys Fluent, TRNSYS, MATLAB, Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint).

Говори енглески језик.

Поседује возачку дозволу Б - категорије.

1.2 Стечено научноистраживачко искуство

На докторским студијама положио је следеће испите:

Бр.	Назив предмета	Предметни наставник	Семестар	ЕСПБ	Оцена
Обавезни предмети					
1.	Виши курс математике	проф. др Слободан Радојевић	I	5	10
2.	Нумеричке методе	проф. др Миодраг Спалевић	I	5	10
3.	ОМНИР и комуникација	проф. др Милош Недељковић	I	5	10
4.	Одабрана поглавља из механике флуида	проф. др Александар Ћоћић	II	5	10
5.	Истраживање и публикување 1	проф. др Милан Гојак	I	10	10
6.	Истраживање и публикување 2	проф. др Нецад Рудоња	II	15	10
7.	Истраживање и публикување 3	проф. др Нецад Рудоња	III	20	10
8.	Истраживање и публикување 4	проф. др Нецад Рудоња	IV	8	10
9.	Пројекат идеје докторске дисертације	проф. др Нецад Рудоња	IV	22	10
Изборни предмети					
10.	Одабрана поглавља из термодинамике	проф. др Милан Гојак	I	5	10
11.	Виши курс из преношења топлоте и супстанције	проф. др Милош Баћац	II	5	10
12.	Термодинамичка анализа процеса и уређаја	проф. др Милан Гојак	II	5	10
13.	Преношење топлоте и супстанције – нумерички приступ	проф. др Милош Баћац	III	5	10
14.	Одабрана поглавља из простирања топлоте и супстанције	проф. др Мирко Коматина	III	5	10

Током Докторских студија кандидат је објавио 4 рада на међународном скупу штампана у целости (M33):

1. Mrdja D., Turanjanin V, Vucicevic B.: Recent advancements of solar dryers with implemented phase change materials, Proceedings of The Fifth International Symposium on Agricultural Engineering, Belgrade, 30. September – 2. October, 2021, pp. III 115-124.
2. Mrđa D., Mušović J., Vučićević B., Turanjanin V., Trtić-Petrović T., Marinović-Cincović M., Gojak M.: Effect of Carbon Nanotubes and Nanofibers Addition on the Thermal Properties of Coconut Oil PCM, Proceedings of The 20th International Conference on Thermal Science and Engineering of Serbia, Niš, October 18 – 21, 2022, pp. 622 – 627.
3. Vučićević B., Mrđa D., Turanjanin V. Škobalj P.: Impact of phase-change materials on thermal comfort, Proceedings of The 20th International Conference on Thermal Science and Engineering of Serbia, Niš, October 18 – 21, 2022, pp. 279 - 287.
4. Vučićević B., Mrđa D., Turanjanin V.: Phase change materials use in building envelope for energy saving and thermal comfort, Proceedings of The 20th International Conference on Thermal Science and Engineering of Serbia, Niš, October 18 – 21, 2022, 721 - 727.

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

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

2. Предмет и циљ истраживања

Енергија је један од основних покретачких фактора раста светске економије. Повећање нивоа урбанизације и потреба за комфором људи резултирало је значајним повећањем потражње за енергијом. Та потражња се тренутно задовољава значајном употребом фосилних горива, што изазива озбиљне еколошке последице. Грађевински сектор је један од највећих корисника енергије са високом емисијом угљеника и користи око 40% укупно коришћене енергије у свету [1]. Очекује се да ће потреба за енергијом за хлађење простора у свету порасти за приближно 150% до 2050. године, а у земљама у развоју чак између 300% и 600% [2]. Главни разлог повећаног коришћења енергије је укупна промена животног стандарда и потреба за комфором за боравак људи, било да је реч о грејању или хлађењу простора.

Као начин повећања енергетске ефикасности, употреба нових грађевинских материјала постаје све популарнија и у индустријском и у стамбеном сектору. У свету тренутно је значајан нагласак дат развоју технологија за побољшање ефикасности коришћења енергије у зградама. Уградња фазно променљивих материјала (скраћено - ФПМ, енг. Phase Change Materials - PCM) у конструкције зграда представља нови начин за смањење потребне енергије за грејање и хлађење простора, па је та проблематика привукла огромно интересовање истраживача [3].

Омотач зграде представља штит који обавија зграду и својим елементима, као што су кров, под, спољашњи зидови и прозори, одваја унутрашњи простор од спољашње атмосфере. Омотач зграде утиче на топлотно оптерећење, на потребу за грејањем и хлађењем, као и на људски комфор. Конструкција зграда може се поделити у различите категорије као што су лаке, средње и тешке конструкције. Тешка конструкција (нпр. бетонска конструкција) има велики потенцијал за складиштење термичке енергије, док лака конструкција зграда, са малим топлотним капацитетом, тј. малом термичком масом (нпр. конструкција металног оквира), има мали потенцијал за складиштење енергије. Уградња фазно променљивих материјала, који имају високу густину складиштења енергије, у грађевинске материјале, као што су цигла и бетон, може смањити температурне промене, што резултира побољшаним људским комфором и уштедом енергије [4].

У току летњег дана, сунчево зрачење и високе температуре спољашњег ваздуха стварају топлотни проток који продире у омотаче зграде. Фазно променљиви материјал који је уграђен у омотач зграде апсорбује вишак енергије мењајући фазу, што резултира одлагањем, па чак и снижавањем максимума температурног профила унутар структуре зида. Због тога, собна температура остаје пријатна већи део дана, а систем за хлађење користи мање енергије. Када температура спољашње средине падне током ноћи, фазно променљиви материјал ослобађа ускладиштену енергију, која се преноси ка унутрашњости и спољашњости зграде, што резултира удобнијом собном температуром. Тај процес се завршава очвршћавањем фазно променљивог материјала. Ово показује да је уградња фазно променљивих материјала у конструкцију зграда корисна, посебно у веома топлим и хладним климатским подручјима, када се за одржавање услова угодности унутар стамбеног објекта користи значајна количина енергије [5].

Током последњих десет година у свету су изведена многа експериментална испитивања како би се испитале термичке карактеристике зидова зграда са уграђеним фазно променљивим материјалима. Досадашња истраживања фазно променљивих материјала углавном су се бавила проценом уштеде енергије у комерцијалним и стамбеним зградама, уз одржавање или побољшање термичке угодности у њима. Преглед објављених истраживања је показао да је, за различите климатске услове, потребно користити различите ФПМ и да се веће уштеде постижу у топлијим климатским условима.

У нашој земљи до сада нису вршена озбиљнија истраживања примене ФПМ-а у зградарству. Такође, ни у околним земљама, где влада умерено континентална клима (као и у Србији) није спроведено озбиљније експериментално истраживање. Дугорочна

експериментална истраживања ове врсте материјала у свету су на самом почетку, и то углавном у медитеранској или суптропској клими.

Имајући у виду претходно описан значај уградње ФПМ-а у грађевински омотач објекта, планирано је да предмет истраживања у докторској дисертацији буде процена побољшања термичких карактеристика тест објекта, услед уградње ФПМ-а у његов омотач са посебним освртом на побољшање термичке угодности у њему.

У нашем климатском подручју карактеристично је постало повећање коришћења електричне енергије за потребе хлађења простора у току летњих топлотних таласа, када ово повећање достиже и 17% [6]. Очекивано је да ће се у будућности наставити тренд овог пораста. Зато је планирано да истраживање првенствено буде спроведено у летњем периоду године.

Биће спроведено паралелно експериментално одређивање термичких карактеристика тест објекта са уграђеним ФПМ-ом у грађевински омотач и објекта без уграђеног ФПМ-а у омотач. Тиме ће се омогућити процена утицаја коришћења ФПМ-а у омотачу објекта на енергетске карактеристике грађевинских објеката за климатске услове нашег поднебља.

Добијени резултати биће основа за формирање и валидацију модела реалног објекта. Нумеричка симулација функционисања објекта биће основа за оцену могућих побољшања добијених уградњом ФПМ-а. Оцена могућих побољшања биће извршена са становишта ефикасности коришћења енергије, као и са становишта постигнуте термичке угодности за боравак људи.

Основни циљ истраживања у оквиру докторске дисертације јесте да се применом експерименталних и нумеричких метода истраживања квантификује утицај уграђеног фазно променљивог материјала на енергетске карактеристике грађевинских објеката, као и на побољшање услова термичке угодности за боравак људи у њима. Нумеричка симулација ће омогућити разматрање различитих сценарија коришћења ФПМ-а у омотачу зграда. На основу резултата предложеног истраживања у оквиру ове докторске дисертације, сазнања и закључци служиће као смернице за увођење нових и иновативних мера повећања ефикасности коришћења енергије у зградама, као и постизање и одржавање услова термичке угодности.

Практични циљ израде ове докторске дисертације је да се на основу добијених резултата истраживања предложи техничка упутства и смернице пројектантима, како би се обезбедио интегрисан приступ пројектовању и реновирању зграда, а услови термичке угодности и уштеде енергије применом ове технике разматрали у најранијој фази пројектовања. Добијени резултати би омогућили формирање методологије за уградњу фазно променљивих материјала у зградарству, чиме би се унапредили стандарди у процесу енергетске сертификације зграда и утицало на будућа законска решења.

Литература

- [1] Rathore P. K. S., Shukla S. K.: *Enhanced thermophysical properties of organic PCM through shape stabilization for thermal energy storage in buildings: A state of the art*

- review. *Energy and Buildings*, Vol ,2021, 110799.
- [2] Al-Yasiri Q., Szabó M.: *Thermal performance of concrete bricks based phase change material encapsulated by various aluminium containers: An experimental study under Iraqi hot climate conditions*, *Journal of Energy Storage*, Vol 40, 2021, 102710
 - [3] Wang X., Li W., Luo Z., Wang K., Shah S. P.: *A critical review on phase change materials (PCM) for sustainable and energy efficient building: Design, characteristic, performance and application*, *Energy and Buildings*, Vol 260, 2022, 111923.
 - [4] Suresh C., Kumar Hotta T., Saha S. K.: *Phase change material incorporation techniques in building envelopes for enhancing the building thermal Comfort-A review*. *Energy and Buildings*, Vol 268, 2022, 112225.
 - [5] Wonorahardjo S., Sutjahja I. M., Tunçbilek E., Achsani R. A., Arıcı M., Rahmah N.: *PCM-based passive air conditioner in urban houses for the tropical climates: An experimental analysis on the stratum air circulation*. *Building and Environment*, Vol 192, 2021, 107632.
 - [6] <https://klima101.rs/pikov-elektricna-energija-toplotni-talasi-leto/>

Преглед литературе релевантне за предложену тему дисертације

Током последњих десет година изведена су многа експериментална истраживања како би се испитале термичке карактеристике зидова зграда у које су уграђени ФПМ-и. У наставку се наводи литература релевантна за предмет истраживања:

- [1] Kong X., Yao C., Jie P., Liu Y., Qi C., Rong X.: *Development and thermal performance of an expanded perlite-based phase change material wallboard for passive cooling in building*, *Energy and Buildings*, Vol 152, 2017, pp. 547–557.
- [2] Rahimpour Z., Faccani A., Azuatalam D., Chapman A., Verbič G.: *Using Thermal Inertia of Buildings with Phase Change Material for Demand Response*, *Energy Procedia*, Vol 121, 2017, pp. 102–109.
- [3] Markarian E., Fazelpour F.: *Multi-objective optimization of energy performance of a building considering different configurations and types of PCM*, *Solar Energy*, Vol 191, No July, 2019, pp. 481–496.
- [4] Saffari M., de Gracia A., Fernández C., Cabeza L. F.: *Simulation-based optimization of PCM melting temperature to improve the energy performance in buildings*, *Applied Energy*, Vol 202, 2017, pp. 420–434.
- [5] Becker R.: *Improving thermal and energy performance of buildings in summer with internal phase change materials*, *Journal of Building Physics*, Vol 37, No 3, 2014, pp. 296–324.
- [6] Marin P., Saffari M., de Gracia A., Zhu X., Farid M. M., Cabeza L. F., et al.: *Energy savings due to the use of PCM for relocatable lightweight buildings passive heating and cooling in different weather conditions*, *Energy and Buildings*, Vol 129, 2016, pp. 274–283.
- [7] Mourid A., El Alami M., Kuznik F.: *Experimental investigation on thermal behavior and reduction of energy consumption in a real scale building by using phase change materials on its envelope*, *Sustainable Cities and Society*, Vol 41, No January, 2018, pp. 35–43.
- [8] Berardi U., Soudian S.: *Experimental investigation of latent heat thermal energy storage using PCMs with different melting temperatures for building retrofit*, *Energy and*

- Buildings, Vol 185, 2019, pp. 180–195.
- [9] Lee K. O., Medina M. A., Sun X., Jin X.: *Thermal performance of phase change materials (PCM)-enhanced cellulose insulation in passive solar residential building walls*, Solar Energy, Vol 163, 2018, pp. 113–121.
 - [10] Cabeza L.F., Navarro L., Pisello A.L., Olivieri L., Bartolomé C., Sánchez J., et al.: *Behaviour of a concrete wall containing micro-encapsulated PCM after a decade of its construction*, Solar Energy, Vol 200, 2020, pp. 108–113.
 - [11] Jin X., Medina M. A., Zhang X.: *Numerical analysis for the optimal location of a thin PCM layer in frame walls*, Applied Thermal Engineering, Vol 103, 2016, pp. 1057–1063.
 - [12] Zhou G., Zhang Y., Zhang Q., Lin K., Di H.: *Performance of a hybrid heating system with thermal storage using shape-stabilized phase-change material plates*, Applied Energy, Vol 84, No 10, 2007, pp. 1068–1077.
 - [13] Li D., Zheng Y., Liu C., Wu G.: *Numerical analysis on thermal performance of roof contained PCM of a single residential building*, Energy Conversion and Management, Vol 100, 2015, pp. 147–156.
 - [14] Kishore R. A., Bianchi M. V. A., Booten C., Vidal J., Jackson R.: *Parametric and sensitivity analysis of a PCM-integrated wall for optimal thermal load modulation in lightweight buildings*, Applied Thermal Engineering, Vol 187, 2021, 116568.

Kong и др. [1] су, користећи парафин и експандирани перлит, развили композитну ФПМ зидну плочу (ЗПФПМСО) са ФПМ-ом стабилизованог облика, коју су затим фиксирали на унутрашње површине зидова и плафона просторије за испитивање. Да би се демонстрирао ефекат уградње ЗПФПМСО на топлотне карактеристике зграде, упоређене су промене температуре ваздуха унутар две просторије (са и без ЗПФПМСО) током летњих услова у граду Тиањину. Измерени резултати показали су да уградња ЗПФПМСО доводи до пасивног подешавања жељене температуре ваздуха унутар просторије и до повећања термичке масе грађевинског омотача зграде.

Rahimpoor и др. [2] су показали да избор ФПМ-а на основу вредности температуре топљења има значајан утицај на промену времена потражње и смањење потражње енергије, што је од значаја када се бира одговарајући ФПМ који ће се применити на омотач зграде. Markarian и др. [3] показали су да је ФПМ са ниском температуром топљења (21 °C) најпогоднији за зграду која захтева грејање, док је ФПМ са вишом температуром топљења (25 °C) ефикаснији за зграду која захтева хлађење. Saffari и др. [4] су показали да је ФПМ са температуром топљења у опсегу од 24 °C до 28 °C погоднији за топлије климатске услове, док је ФПМ са температуром топљења од 18 °C до 22 °C је погоднији за хладније климатске услове. Утврдили су да правилан одабир температуре промене фазе може довести до значајних смањења коришћења енергије за потребе хлађења и грејања простора.

Becker [5] је, у медитеранским климатским условима, спровео студију о накнадној уградњи ФПМ-а у омотаче зграда са лаком, средњом и тешком конструкцијом. Утврђено је да примена ФПМ-а у зградама лаке градње може побољшати термичка угодност и смањити коришћење енергије потребне за хлађење простора. Међутим, у овој студији откривено је да су зграде лаке градње и са употребом ФПМ-а и даље биле лошије од

зграда са тешком градњом и без ФПМ-а и то са аспекта коришћења енергије као и када је реч о повећању унутрашње температуре ваздуха изнад 26 °C. Динамичка анализа зграде са тешком градњом показала је да примена ФПМ-а у зидовима може додатно помоћи постизању термичке угодности тако што одржава температуре унутрашње површи зида испод оних добијених када се ФПМ не користи.

Marin и др. [6] показали су да у згради са екстремно лаком конструкцијом, поред тога што се смањује оптерећење система за климатизацију и вентилацију простора током целе године, ФПМ са температуром топљења од 25 °C може значајно да помери вршна топлотна оптерећења током целе године. У згради лаке конструкције потреба за хлађењем је померена са 11:00 на између 14:00 и 17:00, чиме је показана ефикасност ФПМ-а у овом случају.

Mourid [7] анализирао је уградњу ФПМ панела (Energain wallboard) у зидове зграда током летњих климатских услова у Мароку, град Казабланка. Израђена су два идентична тест објекта (3 × 3 × 3 m) помоћу зидова од алвеоларних опека, а ФПМ панел је постављен на унутрашњој површи једне од ових просторија. Одабрани ФПМ је микрокапсулирани парафински восак компаније DuPont™ са температуром промене фазе између 20 °C и 35°C. Бележени су и поређени резултати промене унутрашње температуре ваздуха и температуре унутрашњих површи у обе просторије. Добијени резултати показали су да је термичка маса просторије са ФПМ-ом значајно повећана у поређењу са референтном собом, а максимална забележена разлика између температура ваздуха у просторијама износила је приближно 6 °C. Што се тиче уштеде енергије за потребе грејања, употреба ФПМ панела довела је до смањења коришћења енергије за 20%. Ови резултати указали су да је употреба ФПМ панела у зидовима зграда под мароканским климатским условима погодна за примену и може успешно допринети смањењу коришћења енергије.

Berardi и др. [8] проучавали су ефекат уграђене композитне ФПМ зидне плоче на термичке карактеристике испитиваног тест објекта. Они су анализирали примену композитне зидне плоче са ФПМ, која се састоји углавном од две врсте комерцијалних ФПМ-а са различитим температурама топљења. Одабрани ФПМ су БиоФПМ, са температуром промене фазе од 25 °C, и Energain ФПМ, са температуром топљења од 21,7 °C. Композитни ФПМ уграђен је у зидове једног тест објекта између гипсане плоче и изолације, а испитивање се спроводило од јула до октобра за климатске услове града Торонта. Анализиран је утицај оријентације зидова објекта, сенке и ноћног хлађења и бележене су и анализиране температура унутрашњег ваздуха и температуре површи зидова. Закључили су да је употреба предложеног композитног ФПМ-а довела до смањења температурног максимума за 6 °C. Резултати су такође показали да је ноћна вентилација корисна за потпуно очвршћавање ФПМ-а. Закључили су да је употреба композитног ФПМ-а са различитим температурама топљења погодна и представља повољан начин за примену ФПМ-а у омотачу зграде.

Lee и др. [9] експериментално су истраживали два идентична тест објекта са и без употребе ФПМ-а у зидовима. ФПМ су уграђивани у зидове мешајући их са топлотном изолацијом (целулозом). Термичке карактеристике оба објекта испитивале су за временске услове централног дела САД-а. Коришћени ФПМ су били на бази парафина, са температуром топљења између 26 °C и 28 °C. У оба објекта су бележене и анализиране температура унутрашњег ваздуха и температуре зидних површи. Добијени резултати су

показали да употреба ФПМ у зидовима доводи до смањења дневног просечног топлотног протока за приближно 25,4%.

Cabeza и сарадници [10] проучавали су дугорочне термичке карактеристике испитиваног тест објекта у чије зидове је био уграђен ФПМ. Испитивања су вршена 10 година након израде објекта и за летње климатске услове. Термичке карактеристике таквог објекта поређене су са карактеристикама референтног тест објекта без уграђеног ФПМ-а. Добијени резултати су поређени са резултатима забележеним током летњег периода 2005. године. Из ове студије потврђено је да је ФПМ уграђен у зидове објекта задржао исти топлотни одзив без деградације и да успешно доприноси смањењу флукуација температуре ваздуха у затвореном простору чак и 10 година након уградње.

Jin и др. су развили математички модел за одређивање оптималне локације постављања ФПМ-а [11]. Они су доказали да на оптималну локацију утичу термодинамичке карактеристике ФПМ-а и услови околине. Аутори су потврдили да повећање дебљине слоја, температуре топлена и латентне топлоте ФПМ-а доводи до приближавања оптималне локације ФПМ-а ка спољашњој површи зида. Утврђено је да повећање температуре унутрашње површи зида доводи до померања оптималне локације ка унутрашњој површи.

Zhou и др. [12] су спровели нумеричку студију за процену перформанси хибридног система грејања приликом уградње ФПМ панела са унутрашње стране зидова и плафона у просторији. Резултати су показали да би употреба ФПМ панела у Пекингу уштедела 47% енергије која се користи у сатима вршног оптерећења и 12% укупне енергије која се користи у зимским условима.

Li и др. [13] су нумерички истраживали и поредили термичке карактеристике кровова стамбених зграда, са и без ФПМ-а, у различитим регионима Кине. Резултати су показали да, у поређењу са кровом без уграђеног ФПМ-а, кров са уграђеним ФПМ-ом одложе време појаве максималних вредности температура у основном слоју крова за три сата, а самим тим значајно утиче на одлагање појаве максималних вредности температуре ваздуха у просторији.

Користећи нумеричке симулације, Kishore и сарадници [14] су истраживали осам параметара ФПМ-а: локацију у зиду, температуру промене фазе, дебљину слоја у зиду, латентну топлоту, температурни опсег промене фазе, густину, специфични топлотни капацитет и топлотну проводљивост. Проценили су њихов утицај и релативну важност за смањење топлотних добитака у зградама без угрожавања термичке угодности станара или укупног коришћења енергије. Резултати су показали да оптимизовани ФПМ, у току летњег периода, доводи до смањења топлотног добитка до 70% током сати јављања вршног топлотног оптерећења.

3. Полазне хипотезе

У складу са изнетом проблематиком и предметом истраживања усвојене су следеће полазне хипотезе:

- Фазно променљиви материјал уграђен у омотач објекта утиче на температуру унутрашњег ваздуха и утиче на коришћење енергије за хлађење објекта;
- Топлотни капацитет зида са уграђеним ФПМ-ом и зида објекта без уграђеног ФПМ знатно се разликују;
- Топлотни проток и динамика преношења топлоте кроз омотач објекта са уграђеним ФПМ знатно се разликују од одговарајућих карактеристика везаних за конвенционални грађевински омотач;
- Уградња ФПМ-а у грађевински омотач објекта има велики значај са енергетског, економског и еколошког аспекта.

4. Научне методе истраживања

У току израде предложене докторске дисертације, користиће се следеће методе истраживања:

- Експерименталне методе;

Урадиће се карактеризација одабраног ФПМ-а за уградњу у грађевински омотач тест објекта. За изабрани ФПМ експериментално ће се одредити температуре топљења и очвршћавања, латентна топлота топљења и очвршћавања, специфични топлотни капацитет, топлотна проводљивост и густина. На тест објекту ће се мерити температуре спољашње и унутрашње површи омотача, температуре спољашњег и унутрашњег ваздуха у карактеристичним мерним тачкама и дефинисаним временским периодима. Поред тога, мериће се топлотни проток кроз зид објекта са уграђеним ФПМ-ом, као и кроз зид објекта без уграђеног ФПМ-а. Резултати ових мерења послужиће за анализу утицаја уградње ФПМ-а на термичке карактеристике омотача, термичке парметаре унутрашње средине и енергетске карактеристике објекта.

- Нумеричке методе;

Спровешће се симулација термичког понашања објекта за различите сценарије (са уградњом ФПМ-а у грађевински омотач и без уградње ФПМ-а), како би се, између осталог, у процесима пројектовања и адаптације објекта установиле предности оваквог приступа.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси предложене докторске тезе су:

- Експериментална истраживања са циљем одређивања ефеката уградње ФПМ-а на термичке карактеристике омотача тест објекта и промене термичке удобности;
- Развој и верификација нумеричког модела преношења топлоте и спровођење нумеричких истраживања;

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру предложене теме ће се одвијати кроз следеће фазе:

- Дефинисање концепта израде докторске дисертације;
- Дефинисање програма експерименталног истраживања и протокола мерења;
- Спровођење експерименталног истраживања;
- Обрада експерименталних резултата истраживања;
- Формулисање математичког модела преношења топлоте кроз омотач објекта са уграђеним ФПМ-ом;
- Израда нумеричког модела, његова верификација и спровођење нумеричких симулација;
- Анализа и поређење експерименталних и нумеричких резултата;
- Израда препорука за пројектовање зграда са уграђеним ФПМ-ом у грађевински омотач;
- Техничка обрада докторске дисертације.

Општа структура предложене докторске дисертације представљена је следећим целинама:

1. Уводна разматрања;
2. Преглед литературе;
3. Теоријске основе простирања топлоте кроз грађевински омотач са уграђеним ФПМ-ом;
4. Експериментална истраживања;
5. Нумеричка истраживања;
6. Анализа експерименталних и нумеричких резултата;
7. Препоруке за пројектовање објекта са уграђеним ФПМ-ом у грађевински омотач;
8. Закључна разматрања;
9. Литература.

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме кандидата Драгослава Б. Мрђе, маг. инж. маш., Комисија за оцену подобности теме и кандидата закључује да је кандидат положио све испите предвиђене планом усавршавања на Докторским студијама и објавио научне радове чиме је стекао услов за одобравање теме за израду докторске дисертације. Такође, Комисија закључује да је предложена тема актуелна и подобра за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све Законом и Статутом Машинског факултета предвиђене услове и има истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидат у

Драгославу Б. Мрђи, маг. инж. маш.

студенту Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду одобри израду докторске дисертације под називом:

„Утицај уградње фазно променљивог материјала у грађевински омотач објекта на термичку угодност и ефикасност коришћења енергије”,

која припада области техничких наука, **машинство**, ужој научној области **термомеханика**, за коју је матичан Универзитет у Београду Машински факултет.

За **ментора** током израде докторске дисертације предлаже се **проф. др Милан Гојак**, редовни професор на Катедри за термомеханику Машинског факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 09.06.2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Милош Бањац, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Нецад Рудоња, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Ружица Тодоровић, доцент,
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Валентина Турањанин, научни саветник,
Универзитет у Београду, ИНН Винча Београд

др Биљана Вучићевић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду, ИНН Винча Београд

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:667/3
Датум: 01.06.2023.
Београд, Краљице Марије бр.16

На основу члана 64. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду – 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 28. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду од 24.05.2016.г., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 01.06.2023. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Именује се **др Милан Гојак, ред. проф.** за ментора докторске дисертације **„УТИЦАЈ УГРАДЊЕ ФАЗНО ПРОМЕНЉИВОГ МАТЕРИЈАЛА У ГРАЂЕВИНСКИ ОМОТАЧ ОБЈЕКТА НА ТЕРМИЧКУ УГОДНОСТ И ЕФИКАСНОСТ КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ“** кандидата **ДРАГОСЛАВА МРТЋЕ, маст. инж. маш.**, студента докторских студија.

Одлуку доставити: ментору, докторанту и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић