

ПРИМЈЕНА ФАЗНО ПРОМЈЕНЉИВИХ МАТЕРИЈАЛА – СИМУЛАЦИЈА УТИЦАЈА НА ТЕМПЕРАТУРУ И ЕНЕРГЕТСКУ ПОТРОШЊУ ОБЈЕКТА

APPLICATION OF PHASE CHANGE MATERIALS – SIMULATION OF THE IMPACT ON BUILDING TEMPERATURE AND ENERGY CONSUMPTION

Александар Бардак, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област– МАШИНСТВО

Кратак садржај – Технологија са великим потенцијалом, која може одиграти кључну улогу у човјековој зеленој будућности је технологија фазно промјенљивих материјала. У овом раду приказан је механизам фазно промјенљивих материјала и њихов утицај на енергетску ефикасност објекта. Кроз теоријски преглед и спроведене симулације у програму EnergyPlus представљени су ефекти које имплементација ових савремених материјала има на температуру у објекту, потрошњу енергије, потенцијалне уштеде и смањење емисије штетних гасова.

Кључне речи: Фазно промјенљиви материјали, хлађење, латентна топлота, симулација, EnergyPlus

Abstract – A technology with great potential, which can play a key role in human's green future, is the technology of phase change materials. This paper presents the mechanism of phase change materials and their influence on the energy efficiency of the building. Through a theoretical review and conducted simulations in the EnergyPlus program, the effects of implementing these modern materials on the temperature in the building, energy consumption, potential savings, and reduction of harmful gas emissions are presented.

Keywords: Phase change materials, cooling, latent heat, simulation, EnergyPlus

1. УВОД

У погледу глобалног загријавања и све топлијих временских услова, потреба за хлађењем објеката постаје све већа, те представља изазов који захтијева иновативна рјешења. Данас око 35% домаћинстава има бар један клима уређај. Енергија која се утроши на хлађење објеката чини значајан дио укупне утрошене енергије у свијету и због тога примјена технологија које омогућавају смањење утрошка енергије за хлађење постаје кључна [1].

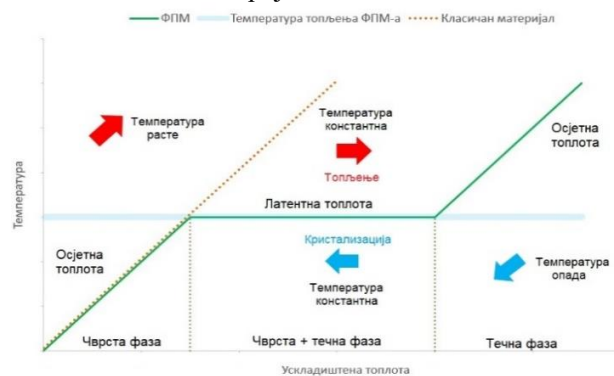
Фазно промјенљиви материјали (ФПМ) управо представљају такво иновативно рјешење, односно кључну иновацију у домену термалне регулације у грађевинским објектима, које нуди ефикасно рјешење за контролу температуре унутар објекта.

Напомена:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Мирослав Кљајић, ванр. проф.

2. КАРАКТЕРИСТИКЕ ФПМ-а

Ефекат складиштења, односно похране топлоте грађевинских елемената могуће је значајно повећати примјеном ФПМ-а. ФПМ омогућавају велико складиштење топлоте при промјени фазе, а специфични топлотни капацитет тих материјала је знатно већи од конвенционалних материјала. Прелаз ФПМ-а из чврстог у течно агрегатно стање, односно промјена фазе, одвија се при својственој тачно дефинисаној температури топљења за дати материјал.



Слика 1: Фаза ФПМ-а у зависности од температуре

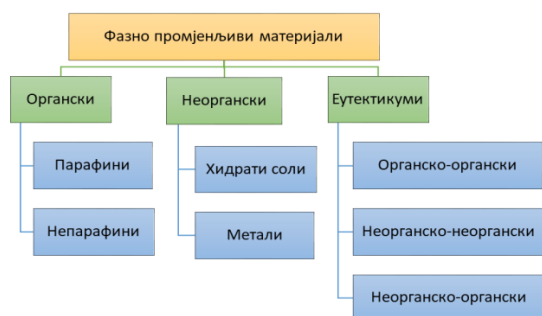
На тај начин, долази до значајног прихватања расположиве количине топлотне енергије из околине, при чему не долази до повећања температуре самог материјала, него само до промјене фазе, односно агрегатног стања. Тако акумулирану топлоту називамо латентном топлотом.

Када се током дана одвија топљење, тада се топлота доводи материјалу, док се ноћу јавља процес очвршћавања, при чему се топлота ослобађа из материјала, као што се види на слици 1. ФПМ омогућава одржавање унутрашње температуре просторије у жељеним границама, јер се топлота не преноси на унутрашњост него се троши на промјену фазе материјала.

Долазимо до закључка да количина усладиштене топлоте код конвенционалних материјала једнака је прихваћеној осјетној топлоти, док код ФПМ-а укупна прихваћена количина топлоте једнака је збиру похрањене осјетне и латентне топлоте.

Фазно промјенљиви материјали су хемијски разноврсна група материјала, чију класификацију видимо на слици 2. Широко је температурни опсег у коме су доступни ови савремени материјали. Свака група

материјала има свој специфичан опсег температуре топлјења и опсег енталпије топлјења.



Слика 2. Класификација ФПМ-а [2]

3. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ФПМ-а

Имплементација ФПМ-а може бити реализована како у оквиру пасивних, тако и у оквиру активних система. За пасивне системе није потребна механичка опрема и није потребан утрошак додатне енергије. У таквим системима температура ваздуха опада и расте у односу на тачку топлјења, при чему ФПМ мијења фазу, а природна вентилација омогућава циркулацију ваздуха. Са друге стране, активни системи за хлађење захтијевају механичку опрему како би ФПМ могао да обавља своју функцију, односно прихвата и отпушта топлотну енергију.

Високо ефикасни омотачи зграда су најбољи начин за смањење топлотних потреба зграда, а да се при томе топлотни комфор унутрашњости објекта одржи на жељеном нивоу. Овакав приступ омогућава ФПМ-у да постане дио грађевинске конструкције или компоненте зграде, готово непримјетно, а да при томе ефикасно обавља своју функцију. Имплементацијом савремених ФПМ-а са погодним карактеристикама за термичку регулацију, добијају се и боље вриједности индекса инерције који се користи при процјени способности материјала да задржи стабилну унутрашњу температуру објекта. Материјали су у том смислу занимљиви за проучавање, јер се помоћу њих може доћи до веће ефикасности омотача, који је кључан фактор у одрживој градњи и може значајно допринијети смањењу потрошње енергије за хлађење.

Коришћење ФПМ-а у омотачима зграда можемо да подијелимо на: интеграцију у грађевинском материјалу или као посебну компоненту.

4. Симулације у програму EnergyPlus

Одабир програма EnergyPlus првенствено је базиран на његовој способности у раду са својствима материјала [3]. Односно, могућност рада са материјалима са промјеном фазе. У овом раду описане су симулације, на основу којих је анализирана примјена ФПМ-а, са циљем оптимизације термичких перформанси објекта, анализиран је и утицај на потрошњу енергије и утицај различитих конфигурација ФПМ-а.

4.1 Анализирани објекат

Како би се на што једноставнији начин приказао утицај коришћења ФПМ-а, за потребе симулације коришћен је једноставан једнозонски објекат чија је

свака површина у додиру са околином. Слојевита структура подова и плафона је коришћена у симулацији, како би се постигао довољан коефицијент пролаза топлоте, ког захтијева програм KnaufTerm2. На овај начин је смањен утицај на промјену температуре објекта од стране пода и плафона, у чијим слојевима нису имплементирани фазно промјенљиви материјали. Замисао такве употребе ФПМ-а је да се прикаже предност кориштења ових материјала само у спољашњим зидовима, као основа за даље анализе и могућности употребе ФПМ-а у сложенијим објектима.

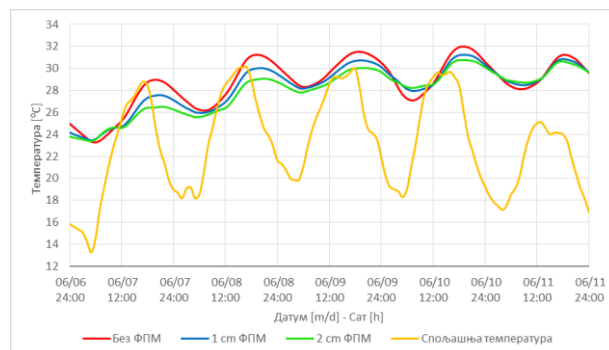
4.2 Спроведене симулације

Документ времена је датотека у којој су садржани метеоролошки подаци, изабраног географског мјеста, потребних за симулацију у програму EnergyPlus. Ова датотека се користи за потребе симулације како би се симулирали стварни услови околине. За потребе ове симулације коришћена је датотека времена за Београд.

У циљу истраживања употребе фазно промјенљивих материјала, спроведено је неколико симулација у софтверу EnergyPlus. Симулације су урађене са истим објектом, али у неколико различитих конфигурација. Према томе, симулирана је промјена температуре објекта, са и без ФПМ-а. Такође, симулирана је и потрошња енергије за одржавање температуре објекта у случајевима са ФПМ-ом у спољашњим зидовима објекта, као и без њега. Симулације су спроведене у временском периоду од пет мјесеци, од маја до септембра. Разлог изабраног опсега су управо више температуре него у остатку године, а самим тим и највећа потреба за хлађењем је током ових мјесеци.

4.3 Утицај ФПМ-а на унутрашњу температуру

У анализираном периоду од пет мјесеци, остварене су знатно ниже температуре у конфигурацији објекта са имплементираним ФПМ-ом у слоју спољашњих зидова. Примјери флукуација температура у све три конфигурације, као и спољашња температура представљени су на дијаграму 1. Током симулираног периода добијене су ниже унутрашње дневне температуре, као и ниже максималне температуре унутар објекта.



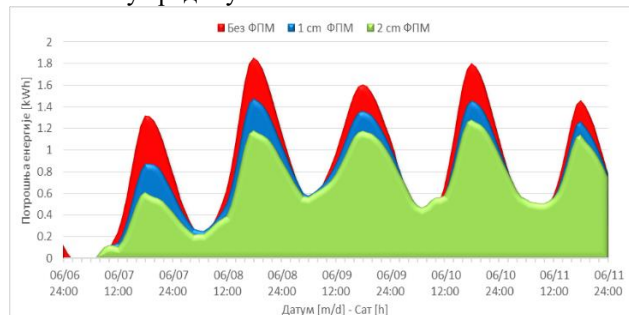
Дијаграм 1: Температуре појединих дана у јуну

Према томе, ФПМ успјешно обавља своју функцију термалних акумулатора у објекту са ФПМ-ом и остварене температуре су осјетно ниже него у објекту без слоја ФПМ-а. Ово је потврда да употреба оваквих материјала доприноси приближавању унутрашње

температуре ка нивоу комфора. Поред тога у мјесецу мају остварен је занимљив ефекат, гдје су се у објектима са имплементираним ФПМ-ом током појединих дана температуре у објекту налазиле у границама комфора, при чему је потпуно елиминисана потреба за хлађењем. У јулу и августу током појединих дана упркос високим дневним и релативно високим ноћним температурама, ФПМ је ефикасно регулисао температуру.

4.4 Утицај ФПМ-а на потрошњу енергије

У симулацијама је подешено да температура просторије увијек буде испод или на вриједности од 24°C. Потрошња енергије за потребе хлађења објекта значајно је смањена у објектима са имплементираним ФПМ-ом. На дијаграму 2 представљена је потрошња енергије у сва три објекта у мјесецу јуну, гдје се јасно може видјети остварена разлика коју остварују објекти са имплементираним ФПМ-ом. Као што је и очекивано очигледне су и разлике у потрошеној енергији у две конфигурације са ФПМ-ом. Црвена површина представља енергију коју је употребом ФПМ-а могуће смањити, те тако позитивно утицати на животну средину.



Дијаграм 2: Потребна енергија за хлађење - јун

4.5 Укупна уштеда енергије

Подаци су комплетирани на мјесечном нивоу у табели 1 и приказују потрошњу енергије у свим конфигурацијама објекта. Ова анализа пружа увид у динамику потрошње енергије током различитих мјесеци, те омогућава идентификацију ефикасности примјеног слоја ФПМ-а.

Табела 1: Утрошена енергија по мјесецима

Утрошена енергија за хлађење [kWh]						
	Мај	Јун	Јул	Авг.	Сеп.	Ук.
Без ФПМ	210	363	560	497	141	1770
1cm ФПМ	181	317	512	449	113	1572
2cm ФПМ	168	290	484	421	100	1463

На основу података из табела 2 и 3 лако се може закључити да су смањења потрошње енергије употребом ФПМ-а остварена током свих мјесеци. Иако током одређених периода смањење температуре у објектима са ФПМ-ом није било велико, симулацијама је утврђено да је уштеда у потрошњи енергије за хлађење значајна.

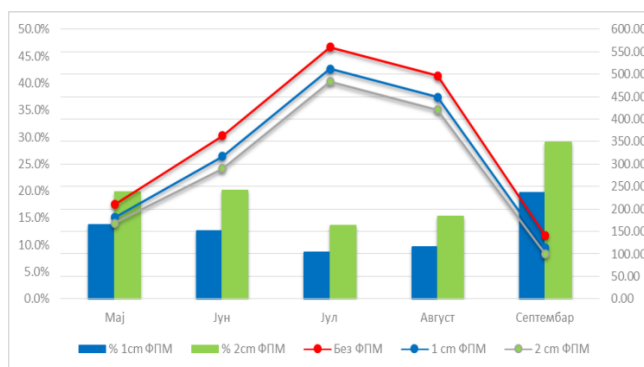
Са дијаграма 3 и видимо да је одговарајућа температура топлења материјала позитивно је утицала на енергетску ефикасност објекта, те на тај начин оствареним цикличним радом ФПМ-а добијена су смањења потрошње енергије.

Табела 2: Остварена уштеда у kWh

Уштеђена енергија [kWh]						
ФПМ	Мај	Јун	Јул	Авг.	Сеп.	Ук.
1cm	28.8	45.9	48.2	47.6	27.6	198.0
2cm	41.5	73.0	76.3	75.5	40.7	307.2

Табела 3: Уштеда у различитим конфигурацијама [%]

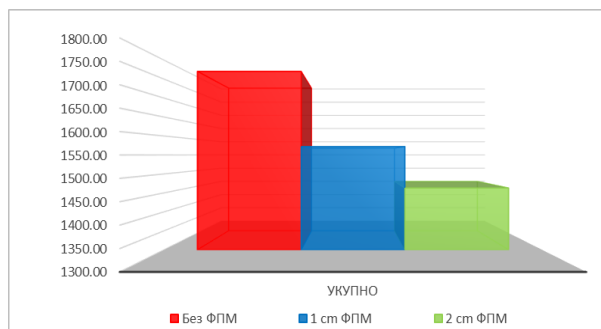
Уштеђена енергија [%]						
ФПМ	Мај	Јун	Јул	Авг.	Сеп.	Ук.
1cm	13.7	12.6	8.6	9.6	19.6	11.2
2cm	19.8	20.1	13.6	15.2	29.0	17.4



Дијаграм 3: Потрошња и остварена уштеда током симулираних мјесеци

Највеће смањење утрошене енергије јавило се током најтоплијих мјесеци. Као што је очекивано највећа потреба за енергијом за хлађење јавила се у току јула и августа. Иако процентуално нешто ниже вриједности уштеде, у овим мјесецима су већ у конфигурацији са 1 cm ФПМ-а остварене уштеде од преко 47 kWh, док у опцији са 2 cm ФПМ-а и за преко 75 kWh.

Према томе, употребљени револуционарни ФПМ су ефикасно извршили своју способност похрањивања и отпуштања топлотне енергије, те омогућили стабилизацију температуре унутар анализираних објекта. У овим мјесецима је и највећи утицај хлађења на електроенергетску мрежу. Стога, оствареним ефектима ФПМ-а се смањује ризик од преоптерећења и нестабилности мреже.



Дијаграм 4: Укупно утрошена енергија за хлађење

Према добијеним вриједностима потрошње енергије за потребе хлађења све три конфигурације објекта, израчуната су и новчана средства које је потребно издвојити у Републици Србији, како би се оствариле циљане температуре у објекту, приказана у табели 4.

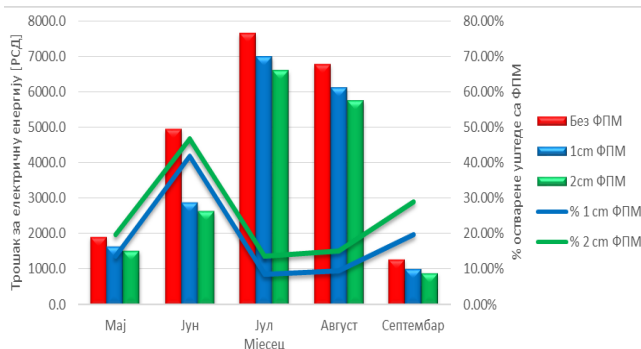
Табела 4: Трошак за хлађење објекта у РСД

	Без ФПМ	1 cm ФПМ	2 cm ФПМ
Мај	1913.4	1650.8	1534.9
Јун	4957.8	2887.4	2639.8
Јул	7651.2	6993	6608.6
Август	6787.7	6137.7	5755.7
Септембар	1280.3	1029.3	909.1
Укупно	22590.3	18698	17448

Цијена електричне енергије која је анализирана је узета за двотарифно мјерење [4], односно за вишу дневну тарифу. Разлог узимања више тарифе је чињеница да се хлађење објекта врши у периоду када је електрична енергија скупља, односно током дана, када су и спољашње температуре високе.

Табела 5: Процентуално остварене уштеде у потрошњи електричне енергије

Новчана уштеда [%]						
ФПМ	Мај	Јун	Јул	Авг.	Сеп.	Ук.
1cm	13.7	41.8	8.6	9.6	19.6	17.2
2cm	19.8	46.7	13.6	15.2	29.0	22.8



Дијаграм 5: Трошак за електричну енергију и остварена уштеда у %

ФПМ материјали пружају конкретне економске предности у хлађењу објеката, видљиве на дијаграму 5. Ако погледамо остварену уштеду у симулацијама, можемо рећи да употреба ФПМ-а директно утиче на смањење рачуна за електричну енергију, пружајући корисницима значајне уштеде на дугорочном нивоу. Још једна занимљивост представља могућност да се употребом оваквих материјала корисник смањеном потрошњом енергије нађе у нижој зони потрошње, гдје је цијена електричне енергије знатно повољнија, што је остварено у мјесецу јуну. Уштеђена средства могу се преусмјерити у неки од додатних начина повећања енергетске ефикасности објекта.

4.6 Емисија штетних гасова

Како употреба ФПМ-а смањује потребу за радом расхладних уређаја, тако се смањује и потреба за производњом исте количине електричне енергије. ФПМ позитивно утиче на електродистрибутивни систем, те умањује потребу за радом електрана које троше фосилна горива, што резултира смањеним емисијама штетних гасова. Како би се одредила емисија штетних материја која је настала при производњи електричне енергије утрошене за потребе хлађења симулираног објекта, кориштени су коефицијенти емисије. У Србији се 70% електричне енергије добија у термоелетранама [5], те су

вриједности емисионих фактора узете за лигнит, које се виде у табели 6.

Табела 6. Емисиони фактори за лигнит [6]

CO ₂	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
0.36360	0.00062	0.00302	0.00042	0.00039

Табела 7. Количина емитованих честица у kg

	CO ₂	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
Без ФПМ	450.5	0.772	3.747	0.522	0.482
1cm ФПМ	400.1	0.685	3.328	0.464	0.428
2cm ФПМ	372.4	0.638	3.097	0.431	0.398

Вриједности емисије штетних гасова за овако мали објекат су значајне. Експанзија употребе ФПМ-а би довела до осјетних разлика у потрошњи енергије за потребе хлађења, а посљедишно и до великих побољшања у еколошком смислу.

5. ЗАКЉУЧАК

Симулације су показале да је максимална температура употребом ових савремених материјала смањена за неколико степени, што осјетно доприноси угодности корисника у објекту. Један од најважнијих ефеката који се остварује имплементацијом савремених ФПМ-а јесте значајно смањење потрошње енергије за потребе хлађења самог објекта, које у две симулиране конфигурације износи 11,2% и 17,4%.

Технологија ФПМ-а повећањем ефикасности објекта доводи до низа позитивних ефеката у смислу мањег утицаја на електроенергетску мрежу, новчаних уштеда, смањене емисије штетних гасова, и као таква технологија постаје кључни елемент у постизању жељене енергетске ефикасности и одрживог развоја.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] International Energy Agency, "World Energy Outlook", 2022 [S.l.], v. 39, p. 4, p. 33-43, jan. 2017
- [2] Souayfane F., Fardoun F., Biwole P.-H. "Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review", 2016
- [3] <https://energyplus.net/> (pristupljeno u oktobru 2023.)
- [4] Skupština EPS AD Beograd, "Odluka o reguliranoj ceni električne energije za garantovano snabdevanje", Beograd, 2023
- [5] <https://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE/Stranice/Proizvodnja-elen.aspx> (pristupljeno u aprilu 2024.)
- [6] D.R. Gómez, J.D. Watterson, B.B. Americano, C. Ha, G. Marland, E. Matsika, L. N. Namayanga, B. O.-Elasha, J.D.K. Saka and K. Treanton (IEA), "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", Chapter 2 Stationary Combustion, 2006

Кратка биографија:



Александар Бардак рођен у Добоју 1998. год. Основне академске студије завршио је на Факултету техничких наука у Новом Саду 2021. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинство – Енергетика и процесна техника одбранио је 2024. год.
Контакт: aco.bardak@gmail.com