

Елевационе земунице са селективно премазаним јужним фасадним зидовима

АЛЕКСАНДАР М. НЕШОВИЋ, Институт за информационе технологије, Крагујевац

Стручни рад
UDC: 667.637.8:697.329
728.6:620.92
DOI: 10.5937/tehnika2403259N

У овом раду представљен је нови пасивни соларни дизајн у зградарству, који се може користити у циљу редуковања потрошње (финалне и примарне) енергије за грејање и емисије CO₂. Наиме, позитивни ефекти од градње елевационих земуница додатно се могу појачати премазивањем јужних фасадних зидова (грађевински елементи који нису у непосредном контакту са земљиштем) одговарајућим селективним премазима. Нумеричком истраживању била је подвргнута елевациона земуница на територији града Крагујеваца, моделирана у скаду са Правилником о енергетској ефикасности зграда. Симулациони сценарио био је базиран на следећим варијаблама: дебелина стиропора у конструкцији јужних фасадних зидова (прва варијабла) и оптичке (апсорптивност и емисивност) карактеристике селективних премаза (друга варијабла). Иако је употреба селективних премаза углавном ограничена на апсорбере соларних пријемника за загревање воде, њихова примена у зградарству такође може бити од великог значаја.

Кључне речи: елевациона земуница, селективни премаз, јужни фасадни зид, пасивни соларни дизајн, Google SketchUp, EnergyPlus

1. УВОД

Одређене анализе [1], извршене на стамбеном сектору ЕУ током 2021. године, показале су да се највећи износи финалне енергије издвајају за потребе грејања (64,4%). Стиче се утисак да ће струка у будућности још интензивније радити на промовисању енергетски ефикасних зграда, које могу бити [2]:

- ниско енергетске зграде,
- пасивне зграде,
- зграде нулте енергије;
- аутономне зграде;
- зграде са вишком енергије

Може се очекивати да зграде насуте, тј. прекривене земљиштем (делимично или потпуно), тзв. земунице [3, 4], поново буду предмет ширег интересовања.

Адреса аутора: Александар Нешовић, Институт за информационе технологије, Крагујевац, Јована Цвијића бб

e-mail: aca.nesovic@gmail.com

Рад примљен: 12.01.2024.

Рад прихваћен: 27.02.2024.

Земунице су у прошлости углавном биле карактеристичне за нагнуте терене песковитог и шљунковитог карактера [5]. Оптималан однос микро и макро пора у структури поменутих типова земљишта [6] смањује опасност од атмосферских падавина, таложења и продирања воде унутар зграде, појаве влаге, као и урушавања саме зграде (земљиште засићено водом додатно врши притисак на грађевинске елементе са којима је у непосредном контакту).

Јављање било ког од поменутих негативних ефеката доводи у питање даљу експлоатацију земуница. Бенефити од коришћења земљишта као додатног изолационог материјала бивају, у том случају, значајно редуковани.

Међутим, исти негативни ефекти без проблема могу бити превазиђени употребом савремених грађевинских материјала [7], хидроизолационих материјала [8], дренажне градње [9], наравно, уз подршку одговарајућег архитектонског приступа.

Земунице се данас граде на готово свим типовима земљишта (и глиновитим), па су у блиској прошлости биле предмет интересовања одређеног броја радова, студија, пројеката и експеримената, како страних (Бразил [10], Египат [11], Иран [12],

Нигерија [13], Русија [14], САД [15], итд.), тако и домаћих [16].

Сви они наглашавају изузетан енергетски, еколошки и економски потенцијал и значај земуница, јер се на индиректан, тј. пасиван начин користе параметри локације [17], односно обновљиви извори енергије. У првом реду соларна и геотермална.

Да би се соларна енергија паметно користила у циљу редуковања потрошње финалне енергије за потребе грејања, пожељно је да јужни фасадни зидови (важи за северну хемисферу), без обзира на тип земунице [18], увек буду слободни и што дужи. Управо овакав дизајн нуди додатне могућности за пасивно коришћење енергије Сунца, рецимо, применом селективних премаза.

Иако су селективни премази карактеристични за апсорберске плоче у конструкцијама соларних пријемника који енергију Сунца конвертују у топлотну (активним соларним системима), у радовима [19-22] већ је истражена примена тзв. Селективних соларних фасада, тј. апсорптивност и емисионост спољашњих фасадних зидова.

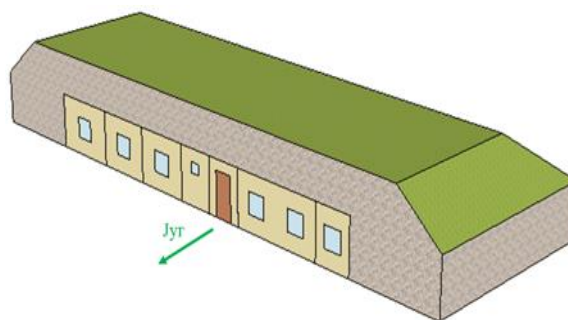
Добре оптичке карактеристике ових грађевинских елемената, чија је улога сада еквивалентна оној коју имају равне апсорберске плоче у соларним пријемницима, управо се постижу њиховим спољашњим [23-27], односно унутрашњим [28, 29] премазивањем у танком слоју.

Циљ овог рада је да се направи још један искорак у био-климатско пасивном приступу градње, односно популаризацији земуница на територији Србије. На примеру једне елевационе земунице у Крагујевцу (студија случаја), нумерички су истражени енергетски, еколошки и економски аспекти коришћења селективних премаза различитих оптичких карактеристика у комбинацији са различитим дебљинама стиропора у конструкцијама јужних фасадних зидова. У свим симулационим сценаријима, јужни фасадни зидови свих просторија (термичких зона) истовремено су били премазани, са спољашње стране, истим типом селективног премаза. За потребе ове студије, коришћени су софтверски пакети Google SketchUp (за дефинисање геометрије анализираних зграда) и EnergyPlus (прорачун енергетских токова у згради на бази методе коначних разлика).

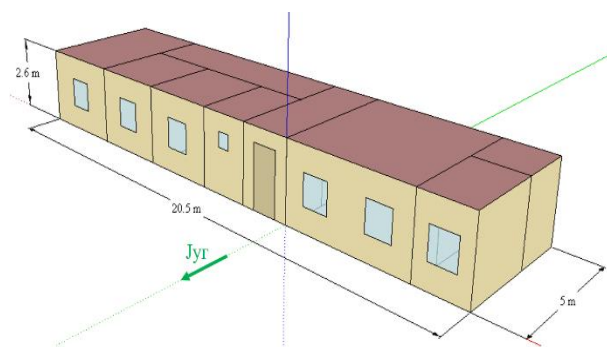
2. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

2.1 Опис зграде

Предмет истраживања је подземна зграда, тј. елевациона земуница (слика 1) укупне нето површине пода на тлу $102,5 \text{ m}^2$ (слика 2).



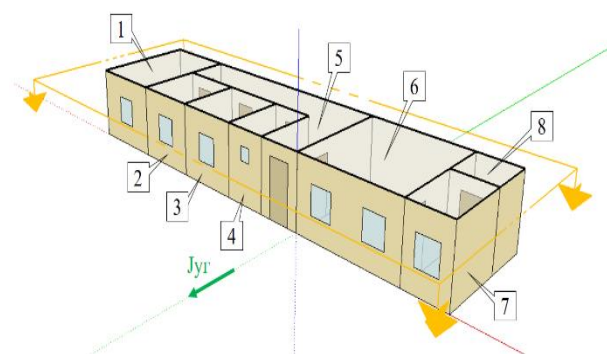
Слика 1 – Елевациона земуница [16]



Слика 2 – Основне грађевинске мере елевационе земунице [16]

Елевациона земуница (слика 1, 2) намењена је сталном боравку четворочлане породице. Стога се састоји од 8 просторија, тј. термичких зона (слика 3): спаваћа соба 1 ($17,5 \text{ m}^2$), спаваћа соба 2 (9 m^2), спаваћа соба 3 (9 m^2), купатило (6 m^2), ходник (26 m^2), дневна соба (25 m^2), кухиња (6 m^2) и остава (4 m^2).

Са циљем да се пасивним приступом енергија Сунца што боље искористи, јужни фасадни зид сваке просторије је слободан (слика 1-3).



Слика 3 – Просторна организација елевационе земунице [16]: (1) спаваћа соба 1, (2) спаваћа соба 2, (3) спаваћа соба 3, (4) купатило, (5) ходник, (6) дневна соба, (7) кухиња, (8) остава

Елевациона земуница је моделирана у складу са Правилником о енергетској ефикасности нових зграда [30]. Вредности коефицијената пролаза

топлоте свих грађевинских елемената почетног модела зграде налазе се у дозвољеним границама (табела 1).

Табела 1. Вредности коефицијената пролаза топлоте за грађевинске елементе термичког омотача елевационе земунице [16, 30]

Грађевински елемент	U вредност [W/m ² K]	
	Усвојено	Дозвољено
под на тлу	0,3	0,3
спољашњи зид	0,3	0,3
зид у тлу	0,3	0,35
раван кров изнад грејаног простора	0,15	0,15
раван кров изнад негрејаног простора	0,15	0,3
прозори	1,5	1,5
спољашња врата	1,6	1,6

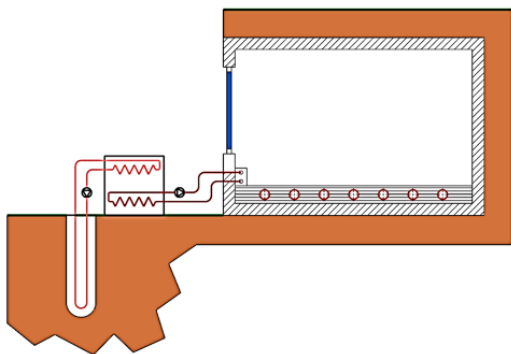
2.2. Опис система грејања

Термичком третману, током анализираниог периода (од 1. октобра до 30. априла), подвргнуто је 98,5 m² (остава се не греје).

Улога генератора топлотне енергије у систему централног грејања додељена је геотермалној топлотној пумпи REHAU GEO 7 (слика 4).

Номинална снага кондензатора топлотне пумпе је 7,3 kW, при чему је коефицијент перформанси 4,56. Номинална снага компресора је у том случају 1,6 kW.

Са спољашње стране, топлотна пумпа је спрегнута са 2 геотермалне сонде. Дубина сонди је по 73,2 m, па је њихова укупна номинална снага 5,7 kW.



Слика 4 – Систем централног грејања са геотермалном топлотном пумпом у елевационој земуници [16]

Свака просторија је (са унутрашње стране) опремљена одговарајућим подним панелним грејачем и термостатом који регулише масени проток радног флуида (воде) да би се одржавала жељена унутрашња амбијентална температура (20°C, важи за све грејане просторије).

2.3 Параметри локације

Крагујевац (44,02° северне географске ширине и 20,92° источне географске дужине) је град у централном делу Србије. Налази се на надморској висини од 209 m. Клима је умерено континентална (табела 2).

Табела 2. Метеоролошки подаци за Крагујевац

Месец	T _{air} [°C]	I [W/m ²]	
		Дифузно	Директно
I	-0,24	33,30	63,63
II	0,88	49,39	86,66
III	5,57	77,08	106,12
IV	10,87	92,65	149,02
V	16,06	113,30	176,45
VI	18,85	109,50	208,94
VII	20,78	110,60	228,12
VIII	20,38	96,25	215,40
IX	16,68	75,54	166,92
X	11,18	57,34	119,43
XI	6,08	39,83	64,51
XII	1,13	28,66	58,86

3. ТОК ИСТРАЖИВАЊА

Истовременим излагањем јужних фасадних зидова свих термичких зона елевационе земунице идентичним износима соларног зрачења (првенствено његовој директној компоненти) смањују се потребе за топлотном енергијом, и то за износ који је одређен соларним упадним углом [31, 32], за, у овом случају, вертикалну, фиксну, равну, површину, оријентисану ка југу.

Табела 3. Термичке и оптичке карактеристике јужних фасадних зидова у зависности од испитаног сценарија [16, 33]

Прва варијабла					
дебљина стиропора [cm]					
0	2	4	6	8	10
одговарајућа U вредност [W/m ² K]					
1,07	0,7	0,52	0,42	0,35	0,3
друга варијабла					
коефицијент апсорптивности					
0,93*	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
коефицијент емисивности					
0,9*	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9

* Референтне вредности

Да би се топлотни добици (са једне стране) додатно повећали, а топлотни губици (са друге

стране) додатно смањили, у овом раду разрађен је велики број симулационих сценарија (њих 60) да би се одредила веза између термичких и оптичких карактеристика јужних фасадних зидова и потрошње енергије (финалне и примарне) током седмочесечног периода, што би се даље позитивно одразило на емисију гасова стаклене баште (табела 3).

Референтне (почетне, усвојене) вредности оптичких карактеристика јужних (слободних) фасадних зидова су: 0,93 (за апсорптивност) и 0,9 (за емисивност), респективно. Ове оптичке вредности важе за пуну фасадну циглу [16] и доступне су у [33]. Апсорптивност различитих грађевинских материјала може се пронаћи у [34], а емисивност у [35].

		Дебљина стиропора [cm]					
		0	2	4	6	8	10
коэффициент абсорптивности; коэффициент емисивности	0,9; 0,1	16,98	16,75	16,66	16,62	16,6	16,58
	0,9; 0,2	18,15	17,59	17,32	17,16	17,05	16,98
	0,9; 0,3	19,18	18,32	17,89	17,62	17,45	17,32
	0,9; 0,4	20,1	18,96	18,38	18,03	17,79	17,62
	0,9; 0,5	20,91	19,53	18,82	18,38	18,09	17,87
	0,9; 0,6	21,65	20,03	19,2	18,69	18,35	18,1
	0,9; 0,7	22,31	20,48	19,54	18,97	18,58	18,3
	0,9; 0,8	22,92	20,89	19,85	19,22	18,79	18,47
	0,9; 0,9	23,47	21,26	20,13	19,44	18,97	18,63
	0,93; 0,9	24,81	22,18	20,83	20,01	19,45	19,05

Слика 5 – Потрошња финалне (електричне) енергије у елевационој земунци у зависности од термичких и оптичких карактеристика јужних фасадних зидова

Потрошња финалне (електричне) енергије за грејање, од 1. октобра до 30. априла, највећа је (2543,03 kWh, тј. 24,81 kWh/m², слика 5 – тамно плава боја) када су јужни фасадни зидови свих просторија неизоловани ($U=1,07 \text{ W/m}^2\text{K}$) и са спољашње стране неселективно премазани (апсорптивност 0,93 и емисивност 0,9).

Са друге стране, потрошња финалне (електричне) енергије, током истог периода, је најмања (16,58 kWh/m², слика 5 – црвено тамна боја) када су јужни фасадни зидови свих просторија топлотно изоловани стиропором дебљине 10 cm ($U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) и истовремено премазани са спољашње стране материјалом (бојом, фарбом) изузетних емисионих особина (коэффициент емисивности 0,1).

Скала боја на слици 5 показује и да се додатне уштеде од коришћења селективних премаза смањују са повећањем дебљине стиропора, тј. смањењем коэффицијената пролаза топлоте: са 24,81-16,98=7,83 kWh/m² – уштеде су 31,56% (без

Из табеле 3 може се видети да се дебљина стиропора (прва утицајна варијабла) мења од 0 cm (без стиропора) до 10 cm (корак померања 2 cm).

Коефицијент апсорптивности (табела 3) је увек исти (90%), док се коэффицијент емисивности (друга утицајна варијабла) мења од 10% до 90% (са кораком померања од 10%).

Табела 3 показује да оптичке карактеристике не утичу на U вредност, јер је дебљина премаза занемарљива [36].

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На наредном дијаграму (слика 5) приказани су резултати истраживања (према табели 3).

стиропора), на 2,47 kWh/m² – уштеде су 12,97% (стиропор дебљине 10 cm).

Ако се фокус постави на оптичке особине анализираних типова премаза, скала боја показује да се коришћењем високо селективних премаза (емисивност 0,1) може у потпуности избећи употреба изолационих материјала у конструкцијама јужних фасадних зидова. За високо селективне неизоловане јужне фасадне зидове потрошња финалне енергије је 16,98 kWh/m². За високо селективне јужне фасадне зидове изоловане стиропором дебљине 10 cm, ова потрошња је 16,58 kWh/m². Дакле, уштеде су занемарљиве (2,36%).

Скала боја је zgodna из још једног разлога. Наиме, овакав начин графичког приказивања, помаже да се одреде оптичке и термичке карактеристике јужних фасадних зидова при којима би потрошња финалне енергије била приближно једнака. Изоенергетска поља која одговарају потрошњи финалне енергије у износу од 18,31 kWh/m² (аналогно појмовима: изобара, изохора,

итд.) могу се постићи у следећим случајевима (слика 5):

- 18,15 kWh/m² (емисивност 0,2 и без стиропора),
- 18,32 kWh/m² (емисивност 0,3 и стиропор дебљине 2 cm),
- 18,38 kWh/m² (емисивност 0,4 и стиропор дебљине 4 cm),
- 18,38 kWh/m² (емисивност 0,5 и стиропор дебљине 6 cm),
- 18,35 kWh/m² (емисивност 0,6 и стиропор дебљине 8 cm),
- 18,3 kWh/m² (емисивност 0,8 и стиропор дебљине 10 cm).

Потрошња примарне енергије за потребе грејања, током анализираниог периода, одређује се као производ потрошње финалне (у овом случају електричне) енергије и коефицијента трансформације, тј. фактора претварања, који зависи од врсте енергента. Како је коефицијент трансформације за електричну енергију 2,5 [25], потрошња примарне енергије у најповољнијем случају износи 4.248,63 kWh. У најнеповољнијем случају, ова потрошња била би 6.357,56 kWh.

Последице по животну средину, због режима и начина рада система централног грејања са геотермалном топлотном пумпом, могу се пратити кроз емисију гасова стаклене баште. У првом реду емисије CO₂. При унапред дефинисаним радним условима, за период од 1. октобра до 30. априла, емисија CO₂ креће се између 2.251,77 kg (емисивност 0,1 и U=0,3 W/m²K) и 3.369,51 kg (неизоловани и неселективни јужни фасадни зидови).

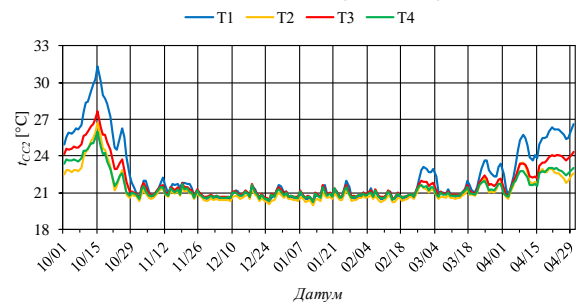
На наредним сликама (слика 6-8), за спаваћу собу 2, за анализирани период, приказане су просечне дневне вредности карактеристичних температура: ваздуха у просторији (слика 6), јужног фасадног зида са спољашње стране (слика 7) и јужног фасадног зида са унутрашње стране (слика 8).

Да се дијаграми не би у визуелном смислу оптерећивали, приказане су комбинације за два гранична случаја прве (U=1,07 W/m²K и U=0,3 W/m²K) и друге (за емисивности 0,1 и 0,9) варијабле (слика 6-8):

- T1 (U=1,07 W/m²K и емисивност 0,1),
- T2 (U=1,07 W/m²K и емисивност 0,9),
- T3 (U=0,3 W/m²K и емисивност 0,1),
- T4 (U=0,3 W/m²K и емисивност 0,9).

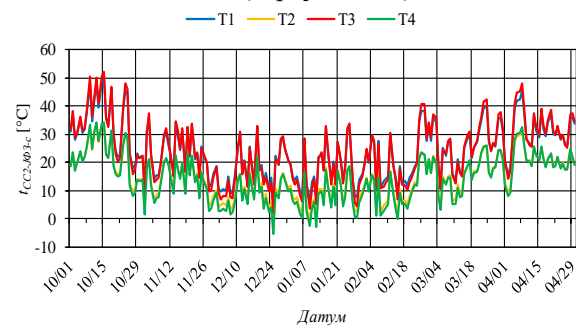
Са слике 6 прво се може уочити да је систем грејања са топлотном пумпом, без обзира на термичке и оптичке карактеристике јужног фасадног зида спаваће собе 2, у стању да обезбеди довољну количину топлотне енергије да би се просечна

дневна унутрашња амбијентална температура ваздуха у просторији држала у контролисаним границама (око 20°C) и током најхладнијих дана.



Слика 6 – Просечна дневна температура ваздуха у спаваћој соби 2 током анализираниог периода

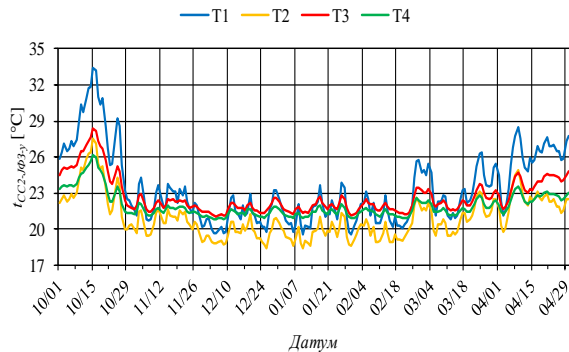
Међутим, на истој слици (слика 6) могу се уочити повишене температуре (изнад 20°C) током октобра (почетак анализираниог периода) и априла (крај анализираниог периода). Током поменутих месеци (октобар и април), спољашње температуре ваздуха више су у односу на остатак анализираниог периода (табела 2), па се у елевационој земуници сада јавља друга врста проблема – потреба за ангажовањем расхладних уређаја. Тада је варијанта T1 најлошија (због високе вредности коефицијента пролаза топоте), а T3 нешто боља (због коришћења стиропора дебљине 10 cm). Испоставило се и да је боље да зид буде неизолован и неселективан (варијанта T2) него изолован стиропором дебљине 10 cm и високо селективан (варијанта T4).



Слика 7 – Просечна дневна температура јужног фасадног зида спаваће собе 2 са спољашње стране током анализираниог периода

Температура јужног фасадног зида спаваће собе 2 са спољашње стране у многоме зависи од спољашње температуре (слика 7). Стога су ове вредности више у прелазним периодима, а ниже у периоду од почетка новембра до краја марта. Варијанте T1 и T3 су са минималним разликама. Исто важи и за варијанте T2 и T4. То значи да приоритет има тип селективног/неселективног премаза (слика 7), а не дебљина изолационог слоја (стиропора) у конструкцији грађевинског елемента (јужног фасадног зида).

Температура јужног фасадног зида спаваће собе 2 са унутрашње стране (слика 8) виша је од амбијенталне температуре у истој, за све анализиране случајеве, осим за Т2 (неизоловани и неселективни зид) варијанту.



Слика 8 – Просечна дневна температура јужног фасадног зида спаваће собе 2 са унутрашње стране током анализираниог периода

Ако се упореде Т1 и Т3 варијанте (иста вредност коефицијента емисивности), могу се уочити следеће појаве (слика 8): да су вредности температура за случај Т1 изнад вредности температура за случај Т3 током топлијих дана, а да су током хладнијих дана вредности температура за случај Т3 изнад вредности температура за случај Т1. Ова појава јавља се два пута током анализираниог периода (слика 8): крајем октобра и почетком априла.

Када су у питању неселективни зидови (емисивност 0,9 у варијантама Т2 и Т4, слика 8), вредности температура за случај Т4 скоро увек су изнад вредности температура за варијанту Т2, сем неких изолованих ситуација.

Селективни премази који би се користили у овакве сврхе морали би да задовоље велики број захтева, поред оптичких карактеристика: добра адхезиона својства са најчешће коришћеним грађевинским материјалима (пуне цигле, шупљи блокови, бетони, малтери, итд.), отпорност на УВ зрачење, влагу, механичка оштећења и високе радне температуре, дуготрајност и дуговечност, једноставну уградњу и одржавање, приступачну цену, да буде безопасан по здравље људи током уградње и експлоатације, итд.

Велики број селективних премаза за различите подлоге присутан је на тржишту. Највећи број је развијен за потребе соларних пријемника [37], неки чак и за рад на веома високом радним температурама [38], док се на сајту SOLEC-а [39] могу наћи селективни премази који се у виду спреја могу наносити на претходно поменуте грађевинске елементе. Цене селективних премаза оквирно се крећу у границама од 4,65 €/m² до 46,49 €/m² [40, 41], а могу бити и више, све зависно од одабира

материјала, технолошког поступка израде, итд. Ако су укупни (набавка материјала са уградњом) инвестициони трошкови, изоловања термичког омотача зграда, за град Крагујевац, у просеку¹ 25 €/m² (за употребу стиропора дебљине 10 cm), јасно је да употреба селективних премаза има смисла једино у случају ако је њихова набавна цена мања од 25 €/m².

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду коришћени су софтверски пакети *Google SketchUp* и *EnergyPlus* да би се испитали бенефити од употребе селективних премаза у савременој архитектури, која се у будућности не може замислити без пасивног коришћења обновљивих извора енергије.

Како су нека истраживања показала да су јужни фасадни зидови таргетирани као најпогодније локације за употребу селективних премаза током грејне сезоне, лако се може закључити да елевационе земунице нуде низ погодности када је у питању био-климатско пасивни приступ градње.

Потрошња (финалне и примарне) енергије и емисија CO₂, за елевациону земуницу лоцирану у Крагујевцу (опремљену геотермалном топлотном пумпом), током периода од 1. октобра до 30. априла, истражена је у зависности од термичких (дебљине стиропора – први утицајни члан) и оптичких (емисивност – други утицајни члан) карактеристика јужних фасадних зидова.

Резултати истраживања показали су да се потрошња финалне енергије у елевационој земуници са селективно премазаним јужним фасадним зидовима може редуковати са 2.543,03 kWh на 1.699,45 kWh (за 33,17%), а потрошња примарне енергије са 6.357,56 kWh на 4.248,63 kWh. Позитивни ефекти по животну средину такође су уочени, смањењем емисије CO₂ за 1.117,74 kg. Економски индикатори такође могу бити на страни селективних фасада, али тржишне цене показују да се на њима треба још радити.

Одговарајући просечни дневни температурни дијаграми, приказани у нешто ширем опсегу од трајања грејне сезоне (за Републику Србију грејна сезона траје од 15. октобра до 15. априла), указују на проблеме прегревања оваквих стамбених објеката са повишењем спољашњих температура. Ови проблеми могу бити превазиђени, опет, пасивним приступом градње: употребом надстрешница, одређених застора, покретних преградних елемената, итд. Ови ефекти свакако требају бити истражени детаљније у будућности.

¹ Информације са терена.

6. ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад представља резултате истраживања насталих у оквиру пројекта Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије број ТР33015.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Europa.eu. 2021. Energy consumption in households. Accessed: 6. 1. 2023. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households.
- [2] Lako do kuće. Vrste energetske efikasne kuće. Accessed: 20. 12. 2023. Available at: <https://lakodokuce.rs/vrste-energetske-efikasne-kuca/>, 2012.
- [3] Alkaff S. A, Sim S. C, Efzan M. E. A review of underground building towards thermal energy efficiency and sustainable development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 60, pp. 692-713, 2016.
- [4] Hassan H, Sumiyoshi D. Earth-sheltered buildings in hot-arid climates: Design guidelines, *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 7, No. 4, pp. 397-406, 2018.
- [5] Anselm A. J. Earth shelters; A review of energy conservation properties in earth sheltered housing, *Energy Conservation*, Vol. 31, pp. 125-48, 2012.
- [6] McLaren R. G, Cameron, K. C. *Soil science: an introduction to the properties and management of New Zealand soils*, Oxford University Press, 1990.
- [7] National Concrete Masonry Association. Accessed: 29. 1. 2024. Available at: <https://ncma.org/resource/earth-sheltered-buildings/>.
- [8] Energy Saver. Accessed: 27. 1. 2024. Available at: <https://www.energy.gov/energysaver/efficient-earth-sheltered-homes>.
- [9] Bigrentz. Accessed: 30. 1. 2024. Available at: <https://www.bigrentz.com/blog/earth-sheltered-homes>.
- [10] Callejas I. J. A, Apolonio R. M, Guarda ELAD, Durante L. C, de Andrade Carvalho Rosseti K, Roseta F, Amarante L. M. D. Bermed earth-sheltered wall for low-income house: Thermal and energy measure to face climate change in tropical region, *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 1, p. 420, pp. 1-22, 2021.
- [11] Hassan H, El Kotory A. M. A discussion of the application's possibility of the earth-sheltered building type in Egypt: Implementation guidelines, *Academic Research Community Publication*, Vol. 3, No. 1, pp. 72-84, 2019.
- [12] Khayami S, Ekhlassi A, Rahbar M. Effect of earth-sheltering and atrium form and proportion integration on energy and lighting performance optimization in a hot arid climate of Mashhad, Iran, *Energy Efficiency*, Vol. 16, No. 2, p. 6, 2023.
- [13] Akubue J. Earth sheltered housing; Design concepts for urban ground-scrappers, *International Journal of Architecture, Arts and Applications*, Vol. 7, No. 7, pp. 1-7, 2021.
- [14] Berezin DV. Earth-sheltering effect on dwelling in cold climate: Simulation-based and theoretical approaches, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 687, No. 5, p. 055042, pp. 1-7, 2019.
- [15] Yadollahi M, Ali Shafaat PhD PE, Mohammadreza Hafezi PhD PE. An algorithm for evaluating energy costs for earth-sheltered buildings, in Proc. *7th International Conference on Energy Research and Development, ASHRAE 2019*, Kuwait City, Kuwait, pp. 209-216, 19-21 November, 2019.
- [16] Nešović A. Energy performance of infiltrated and elevational earth-sheltered buildings in the territory of the city of Kragujevac – A numerical investigation, *Arhitektura i Urbanizam*, Online First, pp. 1-15, 2023.
- [17] Mila Pucar. 2023. Urbanistički parametri za postizanje energetske efikasnosti zgrada. Inženjerska komora Srbije. Accessed: 14. 11. 2023. Available at: https://ingkomora.rs/storage/documents/literatura_st_rucni_ispiti/ee/20230516_TP_3_URM_MPucar_maj_2023.pdf.
- [18] Labs K. The architectural use of underground space: Issues and applications, *Master's Thesis*, Washington University, St. Louis, 1975.
- [19] Quesada G, Rousse D, Dutil Y, Badache M, Hallé S. A comprehensive review of solar facades. Opaque solar facades, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 5, pp. 2820-2832, 2012.
- [20] Lai CM, Hokoi S. Solar façades: A review, *Building and Environment*, Vol. 91, pp. 152-165, 2015.
- [21] Visa I, Moldovan M, Comsit M, Neagoe M, Duta A. Facades integrated solar-thermal collectors – Challenges and solutions, *Energy Procedia*, Vol. 112, pp. 176-185, 2017.
- [22] Zhang X, Shen J, Lu Y, He W, Xu P, Zhao X, Qiu Z, Zhu Z, Zhou J, Dong X. Active solar thermal facades (ASTFs): From concept, application to research questions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 50, pp. 32-63, 2015.
- [23] Gordon JM. Selective coatings in passive solar heating, *Solar Energy*, Vol. 29, No. 1, pp. 13-17, 1982.
- [24] Azemati A. A, Hadavand B. S, Hosseini H, Tajarrood AS, Thermal modeling of mineral insulator in paints for energy saving, *Energy and Buildings*, Vol. 56, pp. 109-114, 2013.

- [25]Čekon A, Čurpek J. A transparent insulation façade enhanced with a selective absorber: A cooling energy load and validated building energy performance prediction model, *Energy and Buildings*, Vol. 183, pp. 266-282, 2019.
- [26]Guan TH, Wu CQ, Liu HM, Shen Y, Xu YB. Influence of reflective insulation coating on heat transfer characteristics of composite thermal insulation wall, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 633-634, pp. 909-912, 2014.
- [27]Lukić N, Nešović A, Nikolić N, Siirde A, Volkova A, Latosov E. Energy performance of the Serbian and Estonian family house with a selective absorption facade, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 659, No. -, p. 012047, pp. 1-10, 2019.
- [28]Simpson A, Fitton R, Rattigan IG, Marshall A, Parr G, Swan W. Thermal performance of thermal paint and surface coatings in buildings in heating dominated climates, *Energy and Buildings*, Vol. 197, No. -, pp. 196-213, 2019.
- [29]Hugo G. Effects of low emissive wall coatings on thermal comfort and energy consumption, *High Temperatures - High Pressures*, Vol. 33, No. -, pp. 1-8, 2001.
- [30]Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada 2011. Sl. glasnik RS, br. 61/2011. Accessed: 11. 1. 2024. Available at: https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik_o_energetske_efikasnosti_zgrada.html.
- [31]Nešović A. Theoretical model of solar incident angle for an optionally oriented fixed flat surface, *Tehnika*, Vol. 77, No. 3, pp. 328-333, 2022.
- [32]Nešović A. Comparison of theoretical and isotropic models of incoming solar radiation for the tilted fixed flat-plate solar collector south-oriented, *Tehnika*, Vol. 77, No. 5, pp. 553-558, 2022.
- [33]EnergyPlus™ Version 9.6.0 Documentation, Input Output Reference, U.S. Department of Energy. Accessed: 6. 2. 2024. Available at: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/InputOutputReference.pdf.
- [34]The Engineering Tool Box. Accessed: 6. 2. 2024. Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/radiation-surface-absorptivity-d_1805.html.
- [35]Thermo Works. Accessed: 6. 2. 2024. Available at: <https://www.thermoworks.com/emissivity-table/>.
- [36]Nešović A. Experimental and theoretical investigation of the solar collector with rotating absorbers, *PhD Thesis*, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, 2023.
- [37]Madhukeshwara N, Prakash ES. An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings, *International Journal of Energy & Environment*, Vol. 3, No. 1, pp. -, 2012.
- [38]Kumar R, Dixit A. Issue and Challenges with High-Temperature Solar Selective Material for Solar Thermal Application, *Renewable Energy and Climate Change*, Vol. 161, pp. 99-108, 2019.
- [39]Solec. Accessed: 15. 1. 2024. Available at: <https://solec.org/solkote/hot-air-applications/>.
- [40]Sandia Report. Accessed: 18. 1. 2024. Available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1096256>.
- [41]Alibaba. High Selective Solar Absorber coating for Solar Collector. Accessed: 20. 1. 2024. Available at: https://www.alibaba.com/product-detail/High-Selective-Solar-Absorber-coating-for_62132743800.html?spm=a2700.7724857.0.0.2596314bFOEBAW.

SUMMARY

ELEVATIONAL EARTH-SHELTERED BUILDINGS WITH SELECTIVE COATED SOUTHERN FACADE WALLS

This paper presents a new passive solar design in buildings, which can be used to reduce the consumption of (final and primary) energy for heating and CO₂ emissions. Namely, the positive effects from the construction of the elevational earth-sheltered buildings can be additionally enhanced by coating the southern facade walls (building elements that are not in direct contact with the soil) with appropriate selective (absorption and low-emission) coatings. The elevational earth-sheltered building on the territory of the city of Kragujevac, modeled by the Rulebook on Energy Efficiency of Buildings, was subjected to numerical research. The simulation scenario was based on the following variables: the thickness of styrofoam in the construction of the southern facade walls (the first variable) and the optical (absorptivity and emissivity) characteristics of the selective coatings (the second variable). Although the use of selective coatings is mostly limited to absorbers in thermal solar collectors, their application in buildings would also be of great importance.

Key Words: *elevational earth-sheltered building, selective coating, south facade wall, passive solar design, Google SketchUp, EnergyPlus*