

## УНАПРИЈЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ ПЕРФОРМАНСИ ОБЈЕКТА КРОЗ ИМПЛЕМЕНТАЦИЈУ ПАСИВНОГ СУНЧЕВОГ ПРИЈЕМНИКА – ТРОМБОВОГ ЗИДА IMPROVEMENT OF THE BUILDING'S ENERGY PERFORMANCE THROUGH THE IMPLEMENTATION OF A PASSIVE SOLAR HEATER – TROMBE WALL

Цвија Ђокић, Факултет техничких наука, Нови Сад

### Област – Архитектура

**Кратак садржај** – Рад обухвата идејно рјешење за пројекат куће која дијелом користи пасивну сунчеву архитектуру (тромбов зид) у сврху побољшања својих енергетских перформанси. Сprovedено је истраживање пасивне сунчеве архитектуре, њених правила и компоненти. На основу тога, наступила је детаљна анализа и створен је концепт за даљу разраду пројекта и израду енергетског елабората.

**Кључне речи:** енергетска ефикасност, извори енергије, пасивна сунчева архитектура, тромбов зид

**Abstract** – This paper includes conceptual design of a house project that partly uses concept of a passive solar architecture (A Trombe wall) in order to improve its energy performance. The research of a passive solar heating, its rules and components was conducted, and after detailed analyses, the concept and energy efficiency elaborate were created.

**Keywords:** energy efficiency, energy sources, passive solar heating, Trombe wall

### 1. УВОД

Већа количина гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери доводи до загријавања планете, а које изазива климатске промјене. У склопу глобалне иницијативе за смањење штетних гасова ефекта стаклене баште, као и у циљу одржавања здраве животне средине, све више су у употреби обновљиви извори енергије.

Сунце је највећи извор енергије на Земљи, и као такво, представља базу скоро свих других извора енергије које су у употреби од стране човјека. Соларна или сунчева енергија представља енергију сунчевог зрачења, а примјећујемо је у облику свјетлости и топлоте која доспијева на нашу планету.

Посљедњих година, њена употреба доживљава експанзију у многим сферама науке и технике, стога не заобилази ни архитектуру и грађевину.

Соларни добици (топлотна енергија сунца) се у објектима користи пасивним и активним захватом кориштењем разних архитектонско-грађевинских

### НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Иван Лукић, ванр. проф.

техника и рјешења. У овом раду имплементиран је и анализиран тромбов зид, који ради по принципу пасивног захвата соларне енергије.

### 2. ТРОМБОВ ЗИД

Поменути архитектонско-грађевински концепт изум је француског инжењера Феликса Тромба (фр. *Félix Trombe*), по ком је и добио назив, а датира из 60-их година XX вијека. То је концепт какав се данас познаје и користи у пракси, али замисао о конструктивним елементима као складиштима топлоте сеже скоро читав један вијек уназад, из друге половине XIX вијека. Феликс Тромб је свој иновативни концепт, заједно са колегом Жаком Мишелом (фр. *Jacques Michel*), примјенио на својој породичној кући у Одеју 1967. године (слика 1) [1].



Слика 1. Кућа Феликса Тромба

#### 2.1. Материјали и конструктивни склоп

Најчешћи материјали који се користе за изградњу система званог "тромбов зид" јесу: опека, камен, бетон, а најновији патент подразумева кориштење резервоара за воду. У пракси се ипак испоставила практичнијом примјена тромбовог зида изграђеног од класичних грађевинских материјала у односу на водене резервоаре. Дебљина овог елемента конструкције креће се у распону од 10 до 40 центиметара. Као што је неповољно да дебљина зида буде мала, исто тако је потребно водити рачуна да се исти не предимензионише, како се љети не би стварали неподношљиви услови у смислу екстремно високих унутрашњих температура, што би повећало трошкове хлађења у том периоду, тако да би бенефити тромбовог зида остали у сјенци. На

удаљености 2 до 10 центиметара од зида поставља се конструкција са стаклом. Како би се поспјешила ефикасност система, могуће је примијенити разне додатке у циљу привлачења веће количине сунчевих зрака. То се може постићи додавањем металних фолија на површину масивног зида, или бојењем зида у црно. Такође, лети је потребно заштитити зид од претјераног загријавања услед љетних температура. То се постиже пројектовањем одговарајуће надстрехе, која ће лети у зениту максимално онемогућити допирање сунчевих зрака на површину зида, док ће зими, кад је положај сунца у зениту знатно нижи, омогућити што већу апсорпцију енергије.

## 2.1. Метод прорачуна

За зидове дизајниране за прикупљање соларне енергије постоји посебан, прилагођен метод прорачуна како би се добили што реалнији излазни подаци везани за топлотне губитке и добитке. Изрази и формуле дати су за модеран, вентилисани тромбов зид, који у данашње вријеме има примат у употреби над класичним (невентилисаним).

Коефицијент проводљивости топлоте тромбовог зида рачуна се према [2]:

$$U_0 = \frac{1}{R_i + R_1 + R_e} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (1)$$

гдје су:

- $R_i$  - унутарњи топлотни отпор зида, између ваздушног слоја и спољне средине,  $R_i = R_{si} + R_{ei}$
- $R_1$  - топлотни отпор ваздушног слоја,
- $R_e$  - спољни топлотни отпор зида, између ваздушног слоја и спољне средине,  $R_e = R_{se} + R_{ee}$
- $R_{ci}$ ,  $R_{ce}$  - топлотни отпори зида (у конкретном случају малтер+опека+малтер) и стакла (респективно)

Укупни губици топлоте кроз тромбов зид за цијелу гријну сезону дати су изразом:

$$Q_{\text{trans}} = 0.0864 \cdot H \cdot \text{GD} [\text{MJ или kWh}] \quad (2)$$

Према стандарду *BS EN ISO 13790:2008* [2], трансмисиони губици  $H$  добијају се према формули:

$$H = H_0 + \Delta H [\text{W/K}] \quad (3)$$

гдје:

- $H_0$  – представља површинске трансмисионе губитке  $[\text{W/K}]$ ,
- $\Delta H$  – представља додатни коефицијент преноса топлоте услед појаве конвекције кроз вентилационе отворе на масивном зиду:

$$\Delta H = \rho_{aCa} \cdot q_{ve,sw} \cdot \left(\frac{U_e}{U_i}\right)^2 \cdot \delta \cdot K_{sw} [\text{W/K}] \quad (4)$$

Физичка величина  $q_{ve,sw}$  из израза (4) означава проток ваздуха кроз ваздушни слој, израчунава се помоћу обрасца [3]:

$$q_{ve,sw} = 0.16 \cdot S \cdot \sqrt{\left(\frac{h_t}{2} \cdot (\theta_i - \theta_1)\right)} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5)$$

- $S$  – површина вентилационих отвора,
- $h_t$  – растојање између средине горњег и доњег вентилационог отвора,
- $\theta_i$  – температура унутарњег ваздуха,
- $\theta_1$  – температура ваздушног слоја.

Даље, ознаке  $U_e$  и  $U_i$  из израза (4) представљају коефицијенте пролаза топлоте унутарњег и спољног елемента тромбовог зида:

$$U_i = \frac{1}{R_i + \frac{R_1}{2}}, \quad U_e = \frac{1}{R_e + \frac{R_1}{2}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (6),(7)$$

Однос акумулиране разлике унутарње и спољне температуре кад су вентилациони отвори отворени представљен је ознаком  $\delta$  [4]:

$$\delta = 0.08 \cdot \ln \gamma_{al} + 0.2 \quad (8)$$

Коефицијент  $\gamma_{al}$  представља однос топлотних добитака и губитака  $Q_{gn,sw}$  и  $Q_{ht,al}$  [3].

Брзина протока ваздуха кроз ваздушни слој означена је као  $K_{sw}$ :

$$K_{sw} = \left[1 - \exp\left(\frac{-A_{sw}Z}{\rho_{aCa} q_{ve,sw}}\right)\right] \quad (9)$$

одакле је:

$$\frac{1}{Z} = \frac{h_r}{h_c \cdot (h_c + 2h_r)} + \frac{1}{U_i + U_e} \quad (10)$$

- $h_c$ ,  $h_r$  – коефицијенти конвекције и радијације [5,6].

Укупни добици топлоте кроз тромбов зид за цијелу гријну сезону дати су изразом [3]:

$$Q_{sol} = (F_{sh} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}) \cdot t \quad [\text{MJ или kWh}] \quad (11)$$

гдје су:

- $A_{sol,k}$  – ефективна сабирна површина тромбовог зида:

$$A_{sol,k} = A_{sw} \cdot \alpha \cdot F_{sh} \cdot F_f \cdot g_w \left( U_0 \cdot R_e + \frac{U_0^2 R_i}{U_i U_e} \cdot \rho_{aCa} \cdot \frac{q_{ve,sw}}{A_{sw}} \cdot K_{sw} \cdot \omega \right) [\text{m}^2] \quad (12)$$

- $\Phi_{r,k}$  – топлотни флукс:

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_0 \cdot A_{sw} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} [\text{W}] \quad (13)$$

- $\omega$  - укупан однос сунчевог зрачења које пада на елемент (зид) кад је ваздушни слој отворен [4]:

$$\omega = 0.85(1 - \exp(-1.8 \cdot \gamma_{al})) \quad (14)$$

Фактор облика за прорачун радијације између тромбовог зида и неба означен је као  $F_{r,k}$  и износи 0.5 [2].

## 3. АРХИТЕКТОНСКИ КОНЦЕПТ ПРОЈЕКТА

Објекат је пројектован као једнопородични стамбени, спратности По+П+Пк. У волумену, спрат чини поткровље са једноводним кровом. Са поткровља се излази на кровну терасу (она је уједно чини раван кров јавног дијела куће) на којој је предвиђена кровна башта. Кровна тераса наткривена је перголом, тј. колонадом дрвених рамова и у начелу представља „лажни кров". Пергола се спаја са једноводним косим кровом под нагибом, визуелно формирајући правилан габарит објекта (слика 2).

Јужни фасадни зидови оба спрата пројектовани су као тромбов зид, гдје у приземљу он служи као пасивни, додатни начин гријања дневној соби и трпезарији, док је на спрату изабран као рјешење да додатно грије простор првенствено због скоро дупле свијетле висине простора, те би стога били мањи топлотни губици. С друге стране, принципи енергетски ефикасних кућа налажу затвореност објекта ка сјеверу из очигледних разлога – сјеверна страна је увијек у сопственој сјени, не допире довољно природне свјетлости у објекат и велики су топлотни губици. Овакви услови диктирају оријентацију просторија

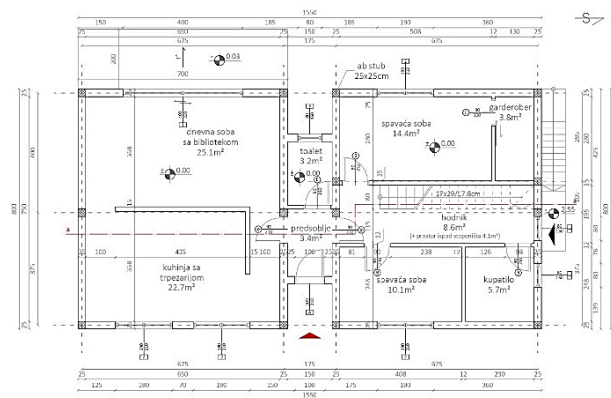
унутар објекта која би омогућила максималне услове свјетлосног комфора. То се постигло отварањем простора ка истоку и западу.



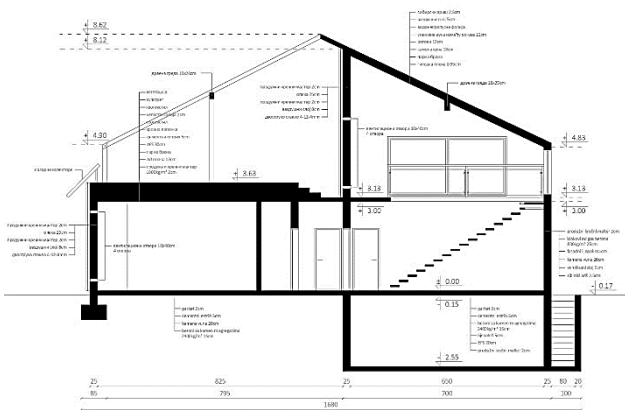
Слика 2. Перспективни приказ

#### 4. ОПШТИ ПОДАЦИ О ОБЈЕКТУ

Анализирани једнопородични стамбени објекат се налази у приградском насељу Лединци, градска општина Петроварадин, у улици Брестова 105. Корисна (нето) површина објекта износи 192.15m<sup>2</sup> (подрум: 48.75m<sup>2</sup>; приземље: 101.1m<sup>2</sup>, спрат: 42.3m<sup>2</sup>), док нето гријна површина износи 143.4 m<sup>2</sup>. Карактеристична основа и пресјек дати су на сликама 3 и 4.



Слика 3. Основа објекта



Слика 4. Подужни пресјек

#### 5. ГРАЂЕВИНСКА ФИЗИКА

Прорачун енергетских потреба објекта урађен је у складу са важећим Правилником о енергетској ефикасности зграда [7].

##### 5.1 Коефицијенти пролаза топлоте елемената термичког омотача

Преглед коефицијената пролаза топлоте дат је у табели 1.

Табела 1. Коефицијенти пролаза топлоте елемената термичког омотача

положај	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	U <sub>max</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]	испуњено да/не
фасадни зид	0.15	0.3	да
фасадни зид	0.15	0.3	да
фасадни/тромбов зид	0.53	0.3	не
под на тлу	0.23	0.3	да
под на тлу – купатило	0.24	0.3	да
плоча изнад подрума	0.18	0.3	да
плоча изнад подрума - купатило	0.18	0.3	да
коси кров	0.12	0.15	да
зелени кров	0.12	0.15	да
раван кров	0.12	0.15	да
спољна столарија	1.1	1.5	да
	1.25	1.6	да

##### 5.2. Фактор облика зграде и удио транспарентних површина

Преглед фактора облика зграде и удјела транспарентних површина дат је у табели 2.

Табела 2. Подаци о згради

подаци о згради	
нето површина гријаног дијела зграде A <sub>N</sub> [m <sup>2</sup> ]	143.4
запремина гријаног дијела зграде V [m <sup>3</sup> ]	458.6
површина термичког омотача зграде A [m <sup>2</sup> ]	544.7
запремина обухваћена термичким омотачем зграде V <sub>e</sub> [m <sup>3</sup> ]	594.3
фактор облика f <sub>o</sub> [m <sup>-1</sup> ]	0.92
удио транспарентних површина [%]	10.41

#### 7. ЕНЕРГЕТСКЕ ПОТРЕБЕ ЗГРАДЕ

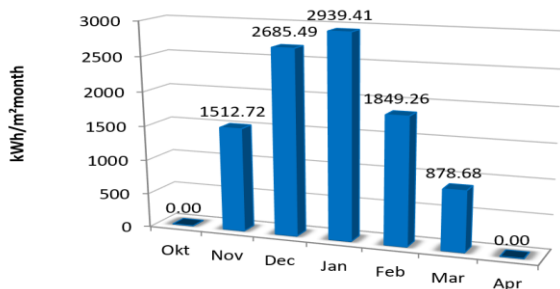
Енергетске потребе зграде израчунате су у складу са Правилником [7], при чему су губици и добици топлоте кроз Тромбовог зида рачунати посебно, према прилогу Е правилника EN ISO 13790 [2] и додати укупном збиру.

Преглед свих губитака и добитака по мјесецима дат је у табели 3. Дијаграм потребне топлоте по мјесецима дат је на слици 5.

Табела 3. Годишња потребна финална енергија за гријање

мјесец	$Q_{H,ht}$	$Q_{sol,gl}$	$Q_{sol,c}$	$Q_{sol,sw}$	$Q_{sol}$
окт.	675.22	464.26	18.76	75.89	558.91
нов.	2475.8	512.56	20.71	151.78	685.05
дец.	3532.38	384.15	15.61	156.82	556.58
јан.	3888.74	484.71	19.58	156.82	661.11
феб.	3044.73	771.35	29.04	141.65	942.04
мар.	2457.04	1100.75	45.41	156.82	1302.98
апр.	675.22	645.52	27.98	75.89	749.39

мјесец	$Q_{H,j}$	$Q_{el}$	$Q_{int}$	$Q_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$
окт.	30.97	117.86	148.83	707.74	0
нов.	61.95	235.73	297.68	982.73	1512.72
дец.	64.01	243.58	307.59	864.17	2685.49
јан.	64.01	243.58	307.59	968.7	2939.41
феб.	57.82	220.01	277.83	1219.87	1849.26
мар.	64.01	243.58	307.59	1610.57	878.68
апр.	30.97	117.86	148.83	898.22	0
			<b>7252</b>	<b>9865.56</b>	



Слика 5. Дијаграм потребне топлоте по мјесецима

Након даље анализе и имплементирања ових података у основни прорачун, утврђено је да објекат припада енергетском разреду *C* (табела 4).

Табела 4. Енергетски разред објекта

зграда са једним станом	нова	
енергетски разред	$Q_{H,nd,rel}$ [%]	$Q_{H,nd}$ [kWh/(m²a)]
A+	≤15	≤12
A	≤25	≤20
B	≤50	≤38
<b>C</b>	<b>≤100</b>	<b>≤75</b>
D	≤150	≤113
E	≤200	≤150
F	≤250	≤188
G	>250	>188
<b><math>Q_{H,nd} = 9865.56</math> kWh/a</b>		
<b><math>q_{H,nd} = 68.8</math> kWh/m²a</b>		
<b><math>Q_{H,nd,rel} = 91.7</math> %</b>		
<b>razred: C</b>		
<b><math>\alpha_{H,red} = 0.86</math></b>		
<b><math>Q_{H,nd,interm} = 8484.38</math> kWh/a</b>		
<b><math>q_{H,nd} = 59.17</math> kWh/m²a</b>		
<b><math>Q_{H,nd,rel} = 78.89</math> %</b>		

## 8. ЗАКЉУЧАК

Недостатак адекватног метода прорачуна везаног за тромбов зид показао се као једна од највећих препрека приликом израде овог рада. Свјedoци смо да је овакав вид пасивносоларне градње скоро па непостојећи на нашим просторима, стога ни не чуди дефицит потребних информација.

Проучавањем и употребом стандарда *BS EN ISO 13790*, као и уз помоћ неколико радова домаћих и страних аутора везаних за ову тему [3-5], успостављен је прорачун за тромбов зид прилагођен нашим климатским условима, што је, како се испоставило, дало далеко реалније излазне податке у односу на стандардни прорачун.

Прорачун је показао да објекат припада енергетском разреду *C* што указује на задовољење законске регулативе у области енергетске ефикасности објеката и уз примјену једног, код нас, неуобичајеног приступа пројектовању.

## 9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/> [приступљено у новембру 2022.]
- [2] [file:///C:/Users/pc/Downloads/ISO\\_07\\_FDIS\\_13790\\_ApprovalDraft.pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/ISO_07_FDIS_13790_ApprovalDraft.pdf) [приступљено у марту 2023.]
- [3] [file:///C:/Users/pc/Downloads/Energy\\_performance\\_of\\_Trombe\\_walls\\_Adapt20160204-30252-qvp5aa.pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/Energy_performance_of_Trombe_walls_Adapt20160204-30252-qvp5aa.pdf) [приступљено у марту 2022.]
- [4] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778809003144> [приступљено у априлу 2022.]
- [5] Ј. Ђ. Јовановић, Докторска дисертација, Факултет за градитељски менаџмент, Београд, 2017.
- [6] <https://www.iso.org/standard/65708.html> [приступљено у марту 2023.]
- [7] Правилник о енергетској ефикасности зграда, СИ. гласник РС, бр. 61/2011

## Кратка биографија:



**Цвија Ђокић** рођена је у Бијељини 1998. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Архитектура – Енергетска ефикасност у архитектонским објектима одбранила је 2023.год.  
контакт: [djokicc1998@gmail.com](mailto:djokicc1998@gmail.com)