

Nataša Šetrajčić<sup>1</sup>, Stevo K. Jaćimovski<sup>2</sup>,  
Jovan P. Šetrajčić<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinu i geodeziju, Novi Sad, Srbija, <sup>2</sup>Kriminalističko-policijska akademija, Zemun – Beograd, Srbija, <sup>3</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:536.241:692.241.3

doi:10.5937/ZasMat1702163S



Zastita Materijala 58 (2)

163 – 170 (2017)

## Razmena toplote kroz kompozitne zidove

### IZVOD

*U radu je razmatrano provođenje toplote kroz različite kompozitne zidove i toplotni bilans – termalna efikasnost sa obe strane zidova. Navedene su prednosti i neophodnost postavljanja termoizolacije i dati su i analizirani primeri više kombinacija za dva načina pasivne izolacije. Predstavljeni su brojni termoizolacioni materijali i izračunata je vrednost ukupnog koeficijenta prolaza za razne kombinacije. Konstatovano je da je kod konstrukcije zidova bolje koristiti šuplju opeku od pune i da je efikasnije postaviti termoizolaciju na spoljašnjoj strani zida, jer samo tada može ostvariti neprekinut izolacioni omotač.*

**Ključne reči:** Provođenje toplote, termalna efikasnost, kompozitni zidovi, pasivna izolacija.

### 1. UVOD

Sve do prve polovine dvadesetog veka nije se poklanjala velika pažnja termičkim osobinama spoljnih zidova. Zidovi su uglavom građeni po starijima empirijskim pravilima, kod nas je važno: dovoljno je da je spoljni zid debljine 1,5 pune opeke [1]. Ukoliko zid nije bio dovoljno toplotno izolovan, prostorije su se jače grejale, a kako energenti (drvo, ugalj, struja, gas) nisu bili skupi, termičke osobine zidova nisu bile merodavne za dimenzionisanje spoljnih zidova.

Zbog energetske krize, potreba za uštedom energije koja se troši na zagrevanje prostorija veoma je aktuelizovana [2]. Prosečna zgrada u Srbiji na grejanje godišnje troši 200 do 280 kWh/m<sup>2</sup> energije, standardno izolovana ispod 100 kWh/m<sup>2</sup>, dok savremene niskoenergetske kuće troše 40, a pasivne 15 kWh/m<sup>2</sup> i manje. Poslednjih godina rasprava o značaju uštede energije dobija na intenzitetu, zbog potrebe da se smanji emisija gasa CO<sub>2</sub> u atmosferu, koji je jedan od glavnih uzročnika najaktuelnijeg problema, globalnog zagrevanja. Takođe, postoje vrlo značajni higijenski i zdravstveni razlozi, zbog kojih se ovoj pojavi posvećuje velika pažnja. Na primer, prilikom odvođenja toplote u većoj količini, površina zida postaje vlažna (uglovi

prostorije) te dolazi do obrazovanja plesni. Plesni prouzrokuju alergijske efekte i emituju toksine [3] što nije samo kozmetički problem, već ima veoma štetan uticaj na zdravlje ljudi.

Termoizolacija objekata ima višestruki značaj [4]. Ona treba da pruži komfor unutrašnjeg prostora – ne samo u smislu pružanja optimalne temperature, već i umirivanja neprijatnih vazdušnih strujanja koja se javljaju zbog temperaturnih razlika (od fasadnog zida ka unutrašnjosti objekta i od poda ka plafonu). Zatim, ona treba da obezbedi trajniju zaštitu – nakon osnovnog ulaganja i ugradnje, da na duži period vrši svoju ulogu, nezahtevajući dodatne troškove održavanja i napajanja, za razliku od sistema za klimatizaciju. Termoizolacija ima dvojaku ulogu – zavisno od mesta gde se objekat nalazi, od godišnjeg doba ili doba dana, ona ga štiti od zime ili vrućine, dakle 24 časa tokom cele godine. Konkretno, termoizolacija treba da obezbedi energetska efikasnost – da doprinosi smanjenju troškova za upotrebljenu energiju, ali i da pozitivno utiče na životnu sredinu.

Nakon izgradnje termoizolovane kuće, ušteda utroška energije može biti i preko 60%, pa se primarna investicija može vratiti već za nekoliko godina. Međutim, i dalje se teži nalaženju načina da se smanje troškovi ove investicije.

### 2. PROVOĐENJE TOPLOTE

Poznata su tri osnovna načina prenošenja toplote [3, 5]: *provođenjem* (kondukcijom), gde dolazi do prenosa toplote sa jednog tela na drugo u

\*Autor za korespondenciju: Jovan Šetrajčić

E-mail: jovan.setrajcic@df.uns.ac.rs

Rad primljen: 02. 12. 2016.

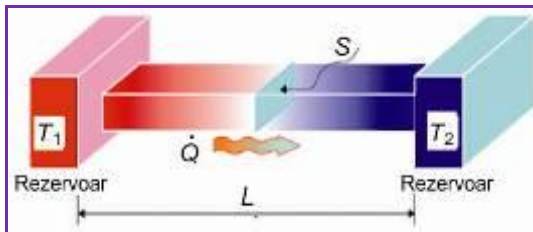
Rad prihvaćen: 19. 01. 2017.

Rad je dostupan na sajtu: [www.idk.org.rs/casopis](http://www.idk.org.rs/casopis)

pravcu kretanja toplotnog fluksa, tj. sa mesta više temperature na mesto niže temperature, zatim *strujanjem* (konvekcijom), koje se odvija posredstvom kretanja pojedinih delova tela ili sredine u kojoj se tela nalaze, i *zračenjem* (radijacijom) koje se vrši putem elektromagnetnih talasa. Iako se sva tri pomenuta načina prenošenja toplote mogu odvijati istovremeno, uvek je jedan od njih dominantan, u građevinarstvu je to provođenje i u ovom slučaju – to je provođenje toplote kroz zid.

2.1. Fizika problema provođenja toplote

Rešenje ovog problema svodi se na razmatranje protoka toplote kroz provodnu šipku postavljenu između dva toplotna rezervoara koja se nalaze na temperaturama  $T_1$  i  $T_2$ , kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Provođenje toplote kroz provodnu šipku između dva rezervoara na temperaturama:  $T_1 > T_2$

Figure 1. Heat conduction through the conductive rod between two reservoirs at temperatures:  $T_1 > T_2$

Uspostavljeno je da je razmenjena količina toplote u jedinici vremena (brzina prenosa toplote) funkcija (razlike) temperatura datih rezervoara, geometrije i ostalih relevantnih osobina provodne šipke, tj.

$$\dot{Q} \equiv \frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dT}{dx}, \tag{1}$$

gde je  $\lambda$  koeficijent toplotnog provođenja. Kao bitna osobina izolacionih materijala, umesto toplotne provodnosti, često se koristi koeficijent prolaza toplote:

$$K = \frac{\lambda}{x}, \tag{2}$$

koji predstavlja brzinu prenosa toplote kroz jediničnu površinu određene – jedinične debljine, kada je temperaturna razlika jedinična. Najveći pad temperature po jedinici dužine dobija se u smeru normalnom na izotermnu površ, a opisuje se gradijentom temperature  $dT/dx$ . Radi jednostavnosti, definiše se i brzina prenosa toplote po jedinici površine – na sledeći način:

$$\dot{q} \equiv \frac{\dot{Q}}{S} = -\lambda \frac{dT}{dx}, \tag{3}$$

a naziva se toplotni fluks u jedinici vremena u  $[W/m^2]$ . Ovo predstavlja jednodimenzioni oblik

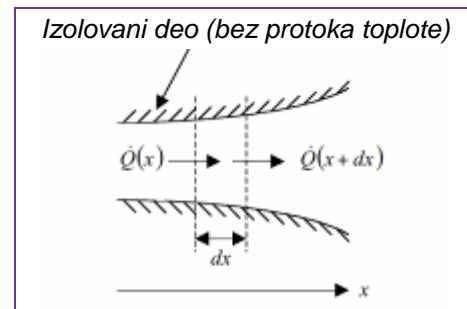
Furijeovog zakona toplotnu provodnosti. U opštem slučaju, zbog nehomogenosti, tj. neizotropnosti tela, jednačina toplotnog provođenja je tenzorskog oblika:

$$\begin{pmatrix} \dot{q}_x \\ \dot{q}_y \\ \dot{q}_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} & \lambda_{xz} \\ \lambda_{yx} & \lambda_{yy} & \lambda_{yz} \\ \lambda_{zx} & \lambda_{zy} & \lambda_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{pmatrix} \tag{4}$$

Materijali, kao npr. kristali, imaju izraženu anizotropiju, pa će shodno tome i toplotna provodnost građevinskih materijala biti anizotropna, tj. Provođenje toplote u jednom pravcu može da bude veće ili manje, nego u druga dva.

2.2. Približno stacionarno jednodimenziono provođenje toplote

Opisaćemo sada temperaturno polje za kvazi-jednodimenzionu stacionarnu toplotnu provodljivost kroz uzorak od homogenog materijala. Uočimo tanak sloj debljine  $dx$  unutar izotermne površi (slika 2).



Slika 2. Stacionarno provođenje toplote kroz homogen materijal normalno na izotermnu površ  
Figure 2. Stationary heat conduction through the homogenous material normally the isothermal surface

Kako je proces stacionaran, ulazna brzina prenosa toplote mora biti jednaka izlaznoj brzini. Zbog toga je brzina prenosa toplote koja prođe kroz sloj debljine  $dx$  jednaka:

$$\dot{Q}(x+dx) = \dot{Q}(x) + \left. \frac{d\dot{Q}}{dx} \right|_x dx + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2\dot{Q}}{dx^2} \right|_x (dx)^2 + \dots \tag{5}$$

Zanemarujući članove viših redova, zatim uzimajući u obzir stacionarnost procesa, tj.

$$\frac{d\dot{Q}(x)}{dx} \equiv - \frac{d}{dx} \left( \lambda S \frac{dT}{dx} \right) = 0,$$

te upoređujući ovaj razvoj sa polaznom definicijom, sledi:

$$S \frac{d\lambda}{dx} \frac{dT}{dx} + \lambda \frac{dS}{dx} \frac{dT}{dx} + S\lambda \frac{d^2T}{dx^2} = 0. \tag{6}$$

Ova jednačina opisuje temperaturno polje za kvazi-jednodimenziono stacionarno toplotno provođenje. Analizirana je u slučaju homogenog materijala, u nastavku rada neophodnog za dalju analizu jednoslojnog ravnog homogenog zida, a zatim i višeslojnog.

2.3. Provođenje toplote kroz jednoslojni zid

Sada se može primeniti izvedena jednačina na proračun provođenja toplote kroz ravan homogen zid prikazan na slici 3. Smer prenosa toplote (pozitivna x -osa) normalan je na izotermnu površ. Poprečni presek nije funkcija od x, tj. S = const, a i koeficijent toplotnog provođenja λ je konstantan (jer zavisi od temperature i na njega utiče i vlažnost vazduha, kao i dimenzija pora), pa se jednačina (6) svodi na:

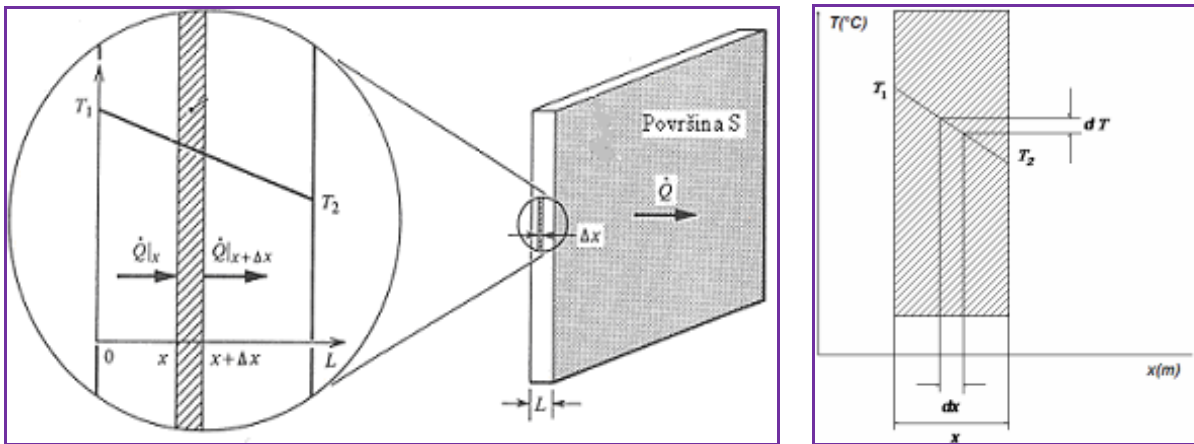
$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0. \tag{7}$$

Integracijom ovog izraza se dobija:

$$T(x) = ax + b. \tag{8}$$

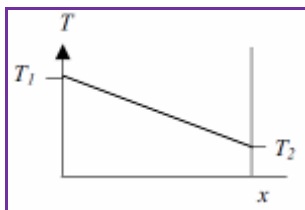
Ova jednačina opisuje temperaturno polje jednoslojnog zida. U njoj figurišu dve integracione konstante: a i b. Da bi se one odredile, treba uvesti sledeće početno-granične uslove:  $T(0) = T_1$  i  $T(L) = T_2$ . Iz prvog uslova dobija se:  $b = T_1$ , a drugi uslov daje:  $T_2 = aL + T_1$ , tj.  $a = (T_2 - T_1)/L$ . Konačno, temperaturno polje ovog jednostavnog zida opisuje se izrazom:

$$T(x) = T_1 + (T_2 - T_1) \frac{x}{L}. \tag{9}$$



Slika 3. Kvazi-stacionarno 1D toplotno provođenje kroz ravan zid  
Figure 3. Quasi-stationary 1D heat conduction through the flat wall

Dakle, kvazi-stacionaran temperaturni profil kroz ravan jednoslojni zid je linearan, kao na slici 4.



Slika 4. Temperaturni profil kroz ravan zid  
Figure 4. Temperature profile through the plane wall

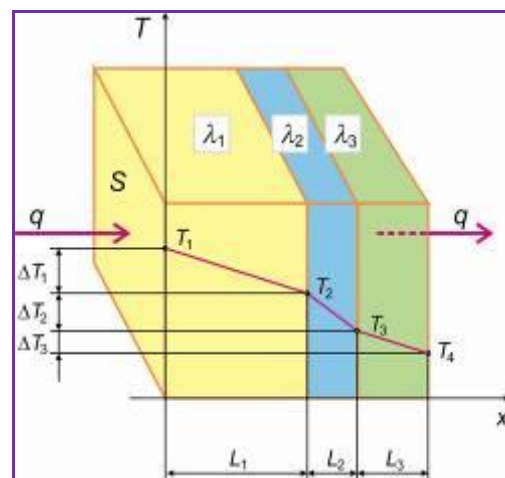
Za toplotni fluks u jedinici vremena, definisan izrazom (3), uzimajući u obzir da je S = const i da se može uzeti da je i λ = const, dobija se:

$$\dot{q} = - (T_2 - T_1) \frac{\lambda}{L} = \text{const}. \tag{10}$$

Prema tome, normalno kroz ravan homogen zid, promena temperature je linearna funkcija rastojanja od početka zida, a toplotni fluks u jedinici vremena je nepromenljiv.

2.4. Provođenje toplote kroz višeslojni zid

Sada ćemo razmatriti prenos toplote kroz zid koji se sastoji od paralelnih vertikalnih slojeva. Svaki pojedinačni sloj predstavlja poseban materijal i ima određenu debljinu (slika 5).



Slika 5. Provođenje toplote kroz višeslojni zid  
Figure 5. Heat conduction through multilayer wall

Uzimajući u obzir jednačine (9) i (10), može se odrediti količina toplote koja prođe kroz svaki sloj pojedinačno. Kako je kod jednoslojnog zida toplotni fluks konstantna veličina, to će on biti takav i kroz svaki od slojeva zida. Nakon definisanja graničnih uslova:

$$\begin{aligned} Q_1(T_2) &= Q_2(T_2); \\ Q_2(T_3) &= Q_3(T_3); \\ &\vdots \\ Q_{n-1}(T_n) &= Q_n(T_n); \end{aligned} \quad (11)$$

i zamenjujući ih u jednačinu (10), nakon integriranja izraza (9) – dobija se sistem jednačina koji opisuje količinu toplote na pojedinim slojevima:

za prvi sloj

$$Q_1 = \frac{\lambda_1}{L_1} (T_1 - T_2) S_1 t, \quad (12a)$$

za drugi sloj

$$Q_2 = \frac{\lambda_2}{L_2} (T_2 - T_3) S_2 t, \quad (12b)$$

za *n*-ti sloj

$$Q_n = \frac{\lambda_n}{L_n} (T_{n-1} - T_n) S_n t. \quad (12c)$$

Navedene relacije, koje predstavljaju primenu Furijeovog zakona na jednoslojne i višeslojne zidove, imaju značajnu primenu kod izračunavanja provođenja toplote, odnosno toplotnog fluksa, potrebne debljine zidova sa određenim koeficijentima toplotne provodnosti itd.

Ako toplota prolazi kroz sistem koji čine više slojeva materijala poređani paralelno – jedan do drugog, kao što je to analizirano u prethodnom poglavlju, tada se Furijeova jednačina može primeniti na svaki sloj posebno. U slučaju stacionarnog provođenja [6], ista količina toplote prolazi u jedinici vremena kroz svaki sloj, odnosno:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda_1}{L_1} S_1 \Delta T_1 = \frac{\lambda_2}{L_2} S_2 \Delta T_2 = \frac{\lambda_3}{L_3} S_3 \Delta T_3 = \dots \quad (13)$$

Kako su površine (približno) jednake, tj.  $S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S$ , te ako se iz (13) izraze:

$$\begin{aligned} S \Delta T_{12} &= \frac{\dot{Q} L_1}{\lambda_1}; \quad S \Delta T_{23} = \frac{\dot{Q} L_2}{\lambda_2}; \\ S \Delta T_{34} &= \frac{\dot{Q} L_3}{\lambda_3}; \quad \dots \end{aligned}$$

i ovi izrazi saberu, dobija se:

$$\begin{aligned} S (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \dots) &= \\ \dot{Q} \left( \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \dots \right). \end{aligned}$$

Zbir temperaturskih razlika kroz slojeve jednaka je razlici temperatura dva spoljašnja sloja složenog sistema:

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \dots = \Delta T_{n-1} = T_1 - T_n \equiv \Delta T.$$

a druge strane, na osnovu definicije koeficijenta prolaza toplote (12), sledi:

$$\frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \dots = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \dots \equiv \frac{1}{K_U}, \quad (14)$$

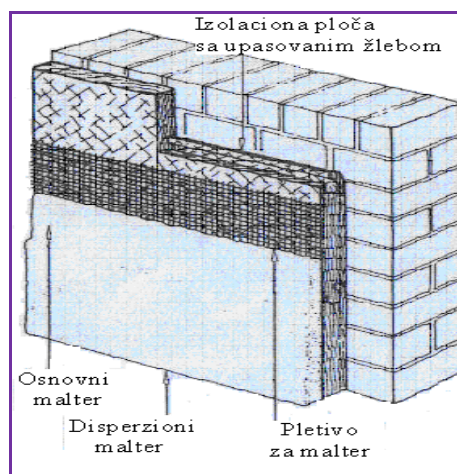
gde je  $K_U$  – ukupni (efektivni) koeficijent prolaza toplote složenog sistema, takođe u  $[W/(m^2 \text{ } ^\circ C) \equiv W/(m^2 K)]$ . Na osnovu izraza (13) do (14), dobija se izraz toplotnu struju – količinu toplote u jedinici vremena, složenog sistema – višeslojnog zida, u sledećem obliku:

$$\dot{Q} = K_U S \Delta T. \quad (15)$$

Ovo je jedna od najbitnijih veličina koja procenjuje energetska efikasnost zida, a preko toga i objekta u celini [7–9]. Koeficijenti prolaza toplote pojedinih slojeva računaju se na osnovu standardnih (tabelarnih) podataka za koeficijente toplotne provodnosti materijala od koga su napravljeni i njihove potrebne debljine, a veličine površina zidova zadate su u projektu objekta, dok se najveće temperaturske razlike zadaju u odnosu na geografski položaj i orijentaciju objekta.

## 2. IZOLACIJA SPOLJAŠNJEG ZIDA

Danas se koristi veliki broj izolacionih materijala. U zavisnosti od stepena izolacije, može se izabrati odgovarajuća kombinacija materijala [1, 4, 5]. U ovom delu biće predstavljeno nekoliko mogućih kombinacija i razmatrana njihova primenljivost u svetlu energetske efikasnosti.



Slika 6. Redosled postavljanja spoljašnje izolacije  
Slika 6. The order of placing external insulation

Na noseći zid izolacija se nanosi spolja. Najpre se stavlja izolaciona ploča na koju se kao fasadna obrada stavlja mineralni malter. Spoj lakih izolacionih ploča i mineralnog maltera predstavlja trajnu



i krajnje otpornu zaštitu fasade. Mineralni malter sastoji se iz tri sloja: podloge za malter sa cementnim mlekom, donjeg grubog (krečno-cementnog) maltera i gornjeg finog specifičnog završnog sloja. Podloga za malter mora se stvrdnjavati više nedelja pre nego što se nanese drugi slojevi maltera. Pre nanošenja ova tri sloja maltera, zid se mora armirati (obložiti) zavarenim i pocinkovanim žičanim pletivom. Gore opisana konstrukcija je prikazana na slici 6.

Tabela 1. Ukupni koeficijent prolaza za različite spojeve materijala - računa se za kombinaciju krečnog maltera, pune fasadne opeke i termoizolacionog materijala, a menja se debljina i vrsta termoizolacije

Table 1. Total transfer coefficient for various compounds of material – account for the combination of lime mortar. Field with brick façade and insulating materials and changes in the thickness and type insulations

Broj kombinacija	Materijal	Toplotna provodnost	Koeficijent prolaza $K = \lambda/L$ [W/(m <sup>2</sup> °C)]				Ukupni koeficijent prolaza $K_U$ [W/(m <sup>2</sup> °C)]			
			Debljina izol. materijala L				L = 0,02 m	L = 0,03 m	L = 0,06 m	
			0,02 m	0,03 m	0,06 m					
	Krečni malter 3 cm	0,85				28,33				
1.	Termoizolacioni materijal debljine L	Durisol	0,25	12,5	8,33	4,17		1,90	1,77	1,46
2.		Taroklit i heraklit	0,30	15,0	10,00	5,00		1,95	1,83	1,55
3.		Jednozrni-kaverozni betoni	0,80	40,0	26,67	13,33		2,13	2,07	1,92
4.		Gasobetoni	0,20	10,0	6,67	3,33		1,83	1,68	1,34
5.		Ekspandirani perlit	0,07	3,5	2,33	1,17		1,37	1,14	0,77
6.		Mineralna vuna	0,14	7,0	4,67	2,33		1,70	1,52	1,14
7.		Meki lesanit	0,07	3,5	2,33	1,17		1,37	1,14	0,77
8.		Tvrđi lesanit	0,20	10,0	6,67	3,33		1,83	1,68	1,34
9.		Ploče od plute	0,04	2,0	1,33	0,67		1,06	0,84	<b>0,51</b>
10.		Ploče od prošivene trske	0,05	2,5	1,67	0,83		1,18	0,96	<b>0,61</b>
11.		Ploče od prošivenene slame	0,09	4,5	3,00	1,50		1,50	1,28	0,90
12.		Stiropor-ekspandirani polistirol	0,05	2,5	1,67	0,83		1,18	0,96	<b>0,61</b>
13.		Saćaste plastične mase	0,02	1,0	0,67	0,33		0,69	<b>0,51</b>	<b>0,30</b>
14.		Penoplasti	0,08	4,0	2,67	1,33		1,44	1,22	0,84
	Puna fasadna opeka 25 cm	0,61				2,44				

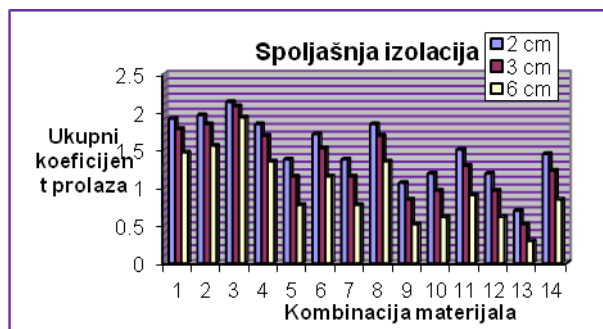
Iz tabele 1 i grafika 7 jednostavno se primećuje da kombinacija materijala sa ekspaniranim polistirolom debljine 6 cm daje dvostruko slabiju izolaciju od kombinacije sa saćastom plastičnom masom kao izolacionim materijalom iste debljine. Najbolja termička svojstva ima kombinacija data pod br.13. Sa pločama od prošivene slame debljine 6 cm, dobija se ista izolacija kao kod kombinacije sa ekspaniranim polistirolom iste debljine, dok ploče od plute debljine 3 cm daju izolacionu vrednost istu

U tabeli 1. i grafiku na slici 7 predstavljene su izračunate vrednosti koeficijenata prolaza toplote  $K$  za nekoliko mogućih kombinacija izolacionih materijala, saglasno konstrukciji (slika 6), kao i za ukupni koeficijent prolaza  $K_U$ . Neophodni tabelarni podaci za koeficijente toplotne provodnosti  $\lambda$  uzimani su iz standardnih pravilnika o energetskej efikasnosti zgrada [8].

Table 1. Total transfer coefficient for various compounds of material – account for the combination of lime mortar. Field with brick façade and insulating materials and changes in the thickness and type insulations

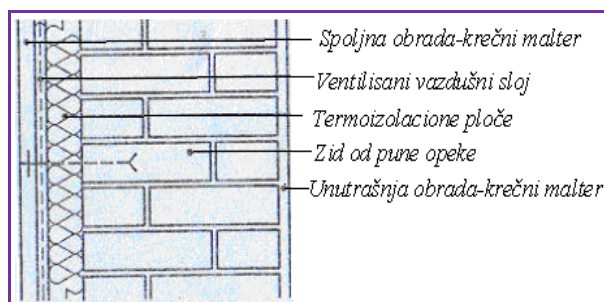
kao i ploče od penoplasta od 6 cm. Prema tome, koristeći ploče od plute, može se smanjiti ukupna debljina zida, a pri tome dobiti zadovoljavajuća termo-izolacija.

Od spoljnih zidova zahteva se i tzv. toplotna stabilnost, tj. da zid u letnjem razdoblju sačuva relevantnu postojanost temperature na svojoj unutrašnjoj površini. Ako se u zidnoj oblozi, sa spoljne strane, predvidi provetravani vazdušni sloj, nije potrebna provera toplotne stabilnosti.



Slika 7. Grafički prikaz vrednosti koeficijenta  $K_U$ , u zavisnosti od kombinacija slojeva (tab. 1) i debljine termoizolacionog materijala (dato u legendi)

Figure 7. Graphic coefficients  $K_U$ , depending on the combination of layers (table 1) and the thickness of the thermo-insulating material (given in the legend)



Slika 8. Presek konstrukcije za spoljašnju izolaciju sa vazdušnim slojem

Figure 8. The cross section of the constructions for the external insulation for the air-layer

Taj vazdušni sloj služi i za odvođenje vodene pare iz termoizolacionih materijala (slika 8). Računske vrednosti za ovakav sklop date su u tabeli 2 i grafički predstavljene na slici 9.

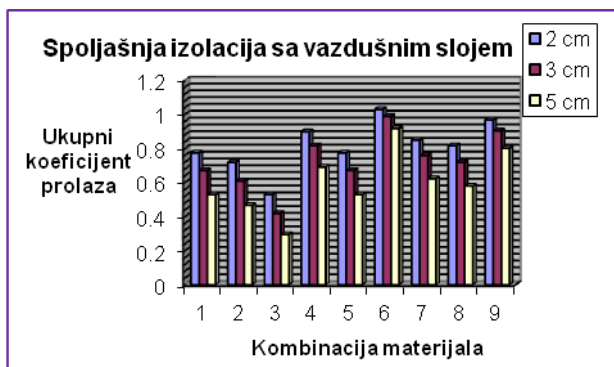
Tabela 2. Ukupni koeficijent prolaza za različite spojeve materijala; računa se za kombinaciju dva krečna maltera sa vazdušnim međuslojem, pune fasadne opeke i termo-izolacionog materijala

Table 2. The total transfer coefficient for various compounds of the material; accounts for the combination of two lime mortar with an air interlayer, full brick facade and thermo-insulation material

Broj kombinacije	Materijal	Toplotna provodnost	Koeficijent prolaza $K = \lambda/L$ [W/(m <sup>2</sup> °C)]			Ukupni koeficijent prolaza $K_U$ [W/(m <sup>2</sup> °C)]				
			Debljina izolacije L			L = 0,02 m	L = 0,03 m	L = 0,06 m		
			0,02 m	0,03 m	0,05 m					
	Krečni malter 2 cm	0,85				42,50				
	Vazdušni sloj 1 cm	0,02				2,30				
1.	Izolacija debljine L ploče od:	Stiropora-ekspandiranog polistirola	0,05	2,5	1,67	1,0		0,77	0,67	<b>0,53</b>
2.		Plute	0,04	2,0	1,33	0,8		0,72	<b>0,61</b>	<b>0,47</b>
3.		Poliuretana	0,02	1,0	0,67	0,4		0,53	<b>0,42</b>	<b>0,29</b>
4.		Prošivene slame	0,09	4,5	3,00	1,8		0,90	0,82	0,69
5.		Prošivene trske	0,05	2,5	1,67	1,0		0,77	0,67	<b>0,53</b>
6.		Durisol	0,25	12,5	8,33	5,0		1,30	0,99	0,92
7.		Ekspandirani perlit	0,07	3,5	2,33	1,4		0,85	0,76	0,63
8.		Saćaste plastične mase	0,06	3,0	2,00	1,2		0,82	0,72	<b>0,58</b>
9.		Mineralne vune	0,14	7,0	4,67	2,8		0,97	0,90	0,80
	Puna opeka 25 cm	0,61					2,44			

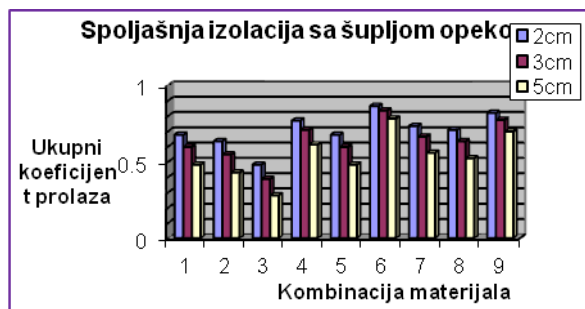
Kao što se iz tab. 2 i grafika sa slici 9 lako može primetiti, ukupna debljina zida ne prelazi 35 cm. Sudeći po tim vrednostima, vazdušni sloj veoma doprinosi toplotnoj izolaciji datog sklopa. Uočava se da kombinacija 3 daje najmanju vrednost ukupnog koeficijenta prolaza toplote, prema tome pruža najbolju toplotnu izolaciju. Kombinacije 1 i 2, kao i 5 i 8 takođe daju veoma dobre rezultate.

U poslednje vreme više se koriste šuplji blokovi, delom zato što je zidanje brže, zgrade su lakše, a i zbog potrebe za štednjom toplotne energije (propisi za toplotnu zaštitu su strožiji, pa bi se debljine spoljašnjih zidova građenih punom opekam znatno povećale). U tabeli 3 biće data ista kombinacija materijala kao u tabeli 2, samo sa šupljom opekam. Grafički prikaz ovih rezultata dat je na slici 10.



Slika 9. Grafički prikaz vrednosti koeficijenata  $K_U$ , u zavisnosti od kombinacija slojeva (tab. 2) i debljine termoizolacionog materijala (dato u legendi)

Figure 9. Graphical presentation of coefficients  $K_U$ , in dependence of the combination of layers (Tab. 2) and thickness of thermo-insulating material (given in legend)



Slika 10. Grafički prikaz vrednosti koeficijenata  $K_U$ , u zavisnosti od kombinacija slojeva (tabela 3) i debljine termoizolacionog materijala (dato u legendi)

Figure 10. Graphical presentation of coefficients  $K_U$ , in dependence on the combination of layers (Table 3) and the thickness of thermo-insulating material (given in the legend)

Tabela 3. Ukupni koeficijent prolaza za različite spojeve materijala; računa se za kombinaciju dva krečna maltera sa vazдушnim međuslojem, šuplje opeke i termo-izolacionog materijala

Table 3. The total transfer coefficient for various compounds of the material; accounts for the combination of two lime mortar with air interlayer, hollow bricks and thermo-insulation material,

Broj kombinacije	Materijal		Toplotna provodnost	Koeficijent prolaza $K = \lambda/L$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]			Ukupni koeficijent prolaza $K_U$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]			
				Debljina izolacije L			L = 0,02 m	L = 0,03 m	L = 0,05 m	
				0,02 m	0,03 m	0,05 m				
	Krečni malter 2 cm		0,85				42,5			
	Vazdušni sloj 1 cm		0,02				2,3			
1.	Izolacija debljine L ploče od:	Stiropora-ekspandiranog polistirola	0,05	2,5	1,67	1,0		0,68	<b>0,60</b>	<b>0,48</b>
2.		Plute	0,04	2,0	1,33	0,8		0,63	<b>0,55</b>	<b>0,43</b>
3.		Poliuretana	0,02	1,0	0,67	0,4		<b>0,48</b>	<b>0,39</b>	<b>0,28</b>
4.		Prošivene slame	0,09	4,5	3,00	1,8		0,77	0,71	<b>0,61</b>
5.		Prošivene trske	0,05	2,5	1,67	1,0		0,68	<b>0,60</b>	<b>0,48</b>
6.		Durisol	0,25	12,5	8,33	5,0		0,86	0,84	0,78
7.		Ekspandirani perlit	0,07	3,5	2,33	1,4		0,73	0,66	<b>0,56</b>
8.		Sačaste plastičnec mase	0,06	3,0	2,00	1,2		0,71	0,63	<b>0,52</b>
9.		Mineralne vune	0,14	7,0	4,67	2,8		0,82	0,77	0,70
	Šuplja opeka 25 cm		0,42				1,7			

Iz tabele 3 i sa slike 10 uočljivo je da je maksimalna debljina zida 35 cm, ali se dobija veoma dobra izolacija i već sa ukupnom debljinom zida od 32 cm. Uočava se da najbolju izolaciju pruža kombinacija sa pločom od poliuretana

debljine 5 cm, data pod br.5. Najslabiju zaštitu daje ploča od durisola debljine 2 cm. Može se primetiti da približno istu vrednost ukupnog koeficijenta prolaza daje spoj sa ekspandiranim polistirolom, plutom i trskom debljine 5 cm. Skoro istu zaštitu

pruža i kombinacija sa poliuretanom debljine 2 cm. Spoj sa slamom ili mineralnom vunom debljine 5 cm pruža sličnu zaštitu kao kombinacija sa trskom, ekspaniranim perlitom ili sačastom plastičnom masom debljine 3 cm.

Upoređujući rezultate iz tabela 2 i 3, kao i grafičkih prikaza sa slika 9 i 10, primetno je da se bolja zaštita kod svake kombinacije dobija kada se koristi šuplja, umesto pune opeke.

### 3. ZAKLJUČAK

U ovom radu je razmatrano provođenje toplote kroz različite zidove. Navedene su prednosti i neophodnost postavljanja termoizolacije i dati su i analizirani primeri nekoliko kombinacija za dva načina pasivne izolacije. Razmatrana je samo toplotna izolacija zida. Predstavljeni su brojni termoizolacioni materijali i data je vrednost ukupnog koeficijenta prolaza za velik broj kombinacija. Konstatovano je da je adekvatnije postaviti spoljašnju izolaciju od unutrašnje, jer tada ne dolazi do prekidanja izolacionog omotača, čime se izbegava nastajanje „toplotnih mostova“ i zaštita postaje kompletnija.

Rezultati koji su dobijeni prilikom računanja ukupnog koeficijenta prolaza toplote govore sami za sebe. Jasno se vidi da ostavljanje vazdušnog sloja ne samo da reguliše odvođenje vodene pare iz termoizolacionih materijala, nego se dobija bolja zaštita. Pokazano je da korišćenje šuplje opeke u kombinaciji sa vazdušnim slojem daje najbolju izolaciju i dato je još nekoliko razloga zašto je zgodnije koristiti šuplju opeku umesto pune opeke. Nedostatak te konstrukcije u odnosu na spoljašnju izolaciju je to da se dobijaju zidovi velike debljine,

npr. 45 ili 40 cm, mada se ta debljina može svesti i na 32 cm i da ispunjava uslove određene energetske zahteve.

### Zahvalnica

*Istraživanja čiji su rezultati izloženi u ovom radu delimično su finansirala: Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekti ON171039 i TR34019) i Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske (Projekat 19/6-020/961-16/15), kao i Sekretarijat za visoko obrazovanje i naučnu delatnost AP Vojvodine (Projekat 114-451-2092/2016).*

### 4. LITERATURA

- [1] M.Muravljev (2007) Građevinski materijali, Građevinska knjiga, Beograd.
- [2] J.P.Šetrajčić (2000) Energetski resursi – potencijali i perspektive, Zbornik radova – 3. Međunarodno savetovanje o dostignućima elektro i mašinske industrije, Banja Luka, R.S., p.207.
- [3] J.P.Šetrajčić, D.Lj.Mirjanić (2012) Biofizičke osnove tehnike i medicine, ANURS, Banja Luka.
- [4] B.M.Živanović (1981) Materijali u građevinarstvu, FTN, Novi Sad.
- [5] W.S.Janna (2000) Engineering Heat Transfer, 2<sup>nd</sup> Ed., CRC Press, New York.
- [6] K. Fodor (2011) Provođenje toplote kroz zid – diplomski rad, PMF, Novi Sad.
- [7] N. Nenadov (2014) Projekat energetske efikasnosti za stambeni objekat u Novim Karlovcima – diplomski rad, FTN, Novi Sad.
- [8] Portal građevinske industrije Srbije: [www.gradjevinarstvo.rs/](http://www.gradjevinarstvo.rs/)
- [9] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, Službeni glasnik RS, br.61/2011.

## ABSTRACT

### HEAT EXCHANGE THROUGH COMPOSITE WALLS

*We investigated the heat conduction through different composite walls and analysed heat balance – thermal efficiency on both sides of the walls. Advantages are commented and the necessity of thermal isolation is emphasized. Examples of several combinations for two ways of passive isolation are analysed. Numerous materials for thermal isolation are presented and value of the overall coefficient of transmission is calculated for different combinations. It is concluded that for construction of walls it is better to use shallow brick rather than full and that it is more efficient to place thermal isolation on the exterior side of wall because only in that case continual isolating layer can be realized.*

**Keywords:** heat conduction, thermal efficiency, composite walls, passive isolation.

*Scientific paper*

*Paper received: 02. 12. 2016.*

*Paper accepted: 19. 01. 2017.*

*Paper is available on the website: [www.idk.org.rs/journal](http://www.idk.org.rs/journal)*