

## EXPERIMENTÁLNA ZOSTAVA PRE MERANIE TEPELNÉHO TOKU CEZ OKENNÉ SKLÁ

BRODNIANSKÁ, Zuzana – ČERNECKÝ, Jozef, SR

**Resumé:** Príspevok sa zaoberá návrhom experimentálnej zostavy pre meranie tepelného toku cez okenné sklá. Na skonštruovanej zostave boli vykonané experimenty pre určenie tepelného toku prechádzajúceho z interiéru cez sklenené výplne do exteriéru. Pre porovnanie boli použité dve vzorky sklenených výplní so súčiniteľom prechodu tepla 0,7 a 1,0 W/(m<sup>2</sup>.K), pričom jedna z nich bola naplnená argónom. Experimentálna zostava s kompletným meracím reťazcom vhodne podporí vyučovanie prenosu tepla študentov vysokoškolského vzdelávania technického smeru. Študenti môžu zostavu využiť pri riešení svojich semestrálnych projektov a záverečných prác. Experimentálnu zostavu možno s rôznou variabilitou využiť aj pre výskum ďalších parametrov prenosu tepla v danej oblasti.

**Key words:** tepelný tok, sklo, okno, meranie

### EXPERIMENTAL SETUP FOR MEASURING OF HEAT FLUX THROUGH THE GLASS WINDOWS

**Abstract:** The contribution deals with the experimental setup for measurement of heat flux through the glass windows. Experiments were carried out on the constructed experimental setup to determine the heat flux flowing through the glass windows from interior to exterior. Two samples of glass windows were compared (heat transfer coefficient 0.7 and 1.0 W/(m<sup>2</sup>.K)), one of which was filled with argon gas. Complete measuring system of the experimental setup will properly support the teaching of heat transfer for students at technical universities. The experimental setup can be used by students in the course projects and final theses. The experimental setup can be used with different variability for a research of the other heat transfer parameters.

**Key words:** heat flux, glass, window, measurement

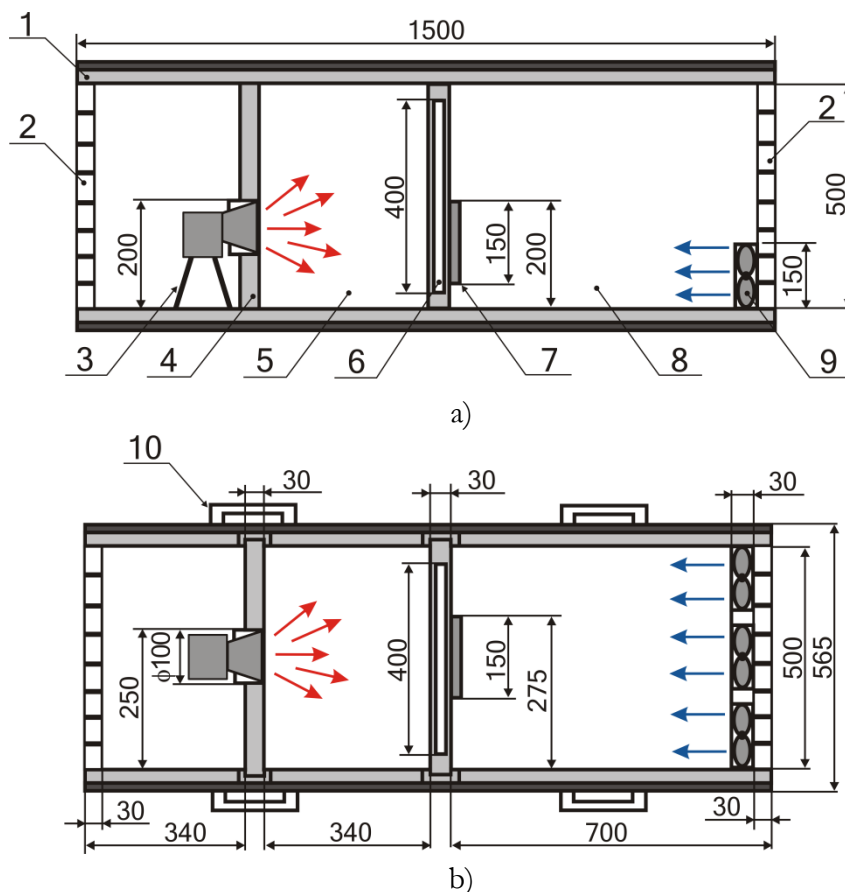
#### 1 Úvod

Okenné výplne, ako transparentné konštrukcie v stavebníctve, sa značne podieľajú na stave vnútorného prostredia budov a na potrebe tepla na vykurovanie, resp. chladenie. Komfort vnútorného prostredia budov závisí aj od množstva a spektrálneho zloženia žiarenia prechádzajúceho zasklením, od tepelnoizolačných a zvukovoizolačných vlastností. Kompletne navrhnuté okenné konštrukcie preto musia spĺňať podmienky tepelnej pohody, denného osvetlenia, vetrania, musia byť ekonomicky efektívne a racionálne využívať energiu. Tiež je dôležitá požiarne a osobná bezpečnosť a ochrana majetku. Najdôležitejším parametrom z hľadiska prechodu tepla cez okenné výplne je súčiniteľ prechodu tepla  $U$  v jednotkách W/(m<sup>2</sup>.K). Ide o tepelný tok cez povrch 1 m<sup>2</sup> pri jednotkovom rozdiel teplôt. S poklesom tejto hodnoty má konštrukcia lepšie tepelnoizolačné vlastnosti. Okenné výplne sú zabezpečené dištančným rámkom, ktorý udržiava rovnakú vzdialenosť medzi tabuľami skiel a môže byť naplnený vysušiacim prostriedkom zabráňujúcim oroseniu skla z vnútornej strany okna. Energetická bilancia okna pozostáva z tepelných strát a tepelných ziskov. Tepelné straty cez samotné sklo sú vyjadrené súčiniteľom prechodu tepla  $U_g$  v jednotkách W/(m<sup>2</sup>.K) a tepelné zisky solárnym faktorom  $g$  v %. Súčiniteľ prechodu tepla oknom  $U_w$  pozostáva zo súčiniteľa prechodu tepla sklom  $U_g$  a súčiniteľa prechodu

tepla rámom  $U_f$ . Hodnota súčiniteľa prechodu tepla sklenenej výplne závisí od hrúbky skiel, plynových vrstiev medzi sklami a selektívnych vrstiev. Hodnotu súčiniteľa prechodu tepla možno stanoviť výpočtom, meraním alebo podľa tabuliek monogramov [1, 2].

## 2 Experimentálna zostava

Jednotlivé časti a základné rozmery navrhutej a zostrojenej experimentálnej zostavy sú uvedené na Obr. 1. Pri návrhu sa vychádzalo tiež z noriem uvedených v literatúre [3, 4].



**Obr. 1:** Základné časti a rozmery experimentálnej zostavy (rozmery sú v mm)

a) nárys v reze, b) pôdorys v reze

1 – základná konštrukcia (plech a izolácia), 2 – mriežka, 3 – zdroj tepla, 4 – izolácia s otvorom, 5 – teplá strana (komora A), 6 – rám so vzorkou sklenenej výplne, 7 – snímač tepelného toku, 8 – chladná strana (komora B), 9 – sústava ventilátorov, 10 – rukoväť

Základná konštrukcia (1) s rozmermi (výška 565 mm, šírka 565 mm, dĺžka 1500 mm) je tvorená plechom a je rozoberateľná. Súčasťou základnej konštrukcie (1) je z vnútornej strany osadená izolácia z polystyrénu hrúbky 25 mm so súčiniteľom tepelnej vodivosti  $0,038 \text{ W/(m.K)}$ . Rukoväte (10) umiestnené na bočných stenách umožňujú manipuláciu s konštrukciou. Pre správne geometrické zostavenie a spevnenie zostavy z vonkajšej strany možno použiť kovové klipsy. Komora A (5) je teplá časť a komora B (8) je chladná časť. V komore A je umiestnený zdroj tepla (3) vyžarujúci infračervené žiarenie na vzorku sklenenej výplne. Pre usmernenie tepelného sálenia zo zdroja tepla (3) a zároveň izoláciu komory A slúži izolácia s otvorom  $\phi 100$  mm (4). Izolácia tiež oddeľuje teplú časť komory

od vodičov elektrického napätia, aby sa nepoškodili. V komore B je umiestnená sústava ventilátorov (9) pre prívod okolitého chladnejšieho vzduchu. Komory A, B sú zakryté mriežkovanými stenami (2). V strednej časti zostavy je umiestnený rám so vzorkou sklenenej výplne (6), ktorý je vymeniteľný. Na jednotlivé vzorky sklenených výplní s rozmermi  $400 \times 400$  mm bol umiestňovaný snímač tepelného toku (5) s rozmermi  $150 \times 150$  mm. Izolácia (4) a rámy so sklenenými výplňami sú osádzané do drážok základnej konštrukcie.

Do experimentálnej zostavy boli zabudované snímače pre meranie vnútorných teplôt v teplej časti (komora A) a v chladnej časti (komora B), pre meranie teploty povrchu sklenenej vzorky na teplej a chladnej strane a pre meranie hustoty tepelného toku cez vzorku zasklenia (v komore B). Na meranie teplôt boli použité termistory ZA 9040-FS2. Hustota tepelného toku sklenenou výplňou bola meraná snímačom tepelného toku FQA018 CSI. Snímače boli napojené na dataloger Almemo 2290-3 [5].

### 3 Experimentálne merania

Po navrhnutí a skonštruovaní experimentálnej zostavy boli vykonané experimenty na vzorkách okenných skiel s rozmermi  $400 \times 400$  mm. Pre merania sme využili vzorku izolačného trojskla so súčiniteľom prechodu tepla  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  nenaplnenú vzácnym plynom – označené ako Vzorka 1, a vzorku izolačného dvojskla so súčiniteľom prechodu tepla  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  naplnenú argónom – označené ako vzorka 2. Šírka dištančného rámika bola 12 mm a šírka skiel bola 4 mm.

Po osadení snímačov teploty a tepelného toku do meracej zostavy a pripojení na dataloger boli vykonané merania parametrov prenosu tepla. V intervale 60 sekúnd boli zapisované údaje o teplotách vzduchu v komore A a B, údaje o teplotách na povrchu sklenenej výplne v komore A a B a údaje o hustote tepelného toku. Zapisovanie prebiehalo do času, kým nenastal teplotný rozdiel medzi komorami A a B približne  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Následne došlo k ustálenému stavu a po 15 minútach sa odčítali údaje opäť.

Na určovanie hustoty tepelného toku zasklením  $q$  v jednotkách  $\text{W}/\text{m}^2$ , bol použitý snímač tepelného toku, ktorého snímacia časť bola pripevnená na vzorke zasklenia v komore B. Snímač tepelného toku bol napojený na dataloger. Snímač vytváral už známy tepelný odpor medzi sklenenou vzorkou a okolím, pričom z rozdielu teplôt na protíľahlých plochách bola určovaná hustota tepelného toku. Merania na sklenených povrchoch boli vykonané plochými termočlánkovými spojmami.

Tepelný tok bol následne počítaný podľa vzorca:

$$\Phi = q \cdot S \quad [\text{W}], \quad (1)$$

pričom  $S$  je plocha skúmanej sklenenej vzorky ( $0,16 \text{ m}^2$ ).

### 4 Výsledky a vyhodnotenie

Výsledky meraní okenného skla - vzorky 1 sú spracované v Tab. 1. Vzorka 1 predstavovala izolačné trojsklo so súčiniteľom prechodu tepla  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  a nebola naplnená vzácnym plynom. Šírka dištančného rámika bola 12 mm. Teplota vzduchu v teplej komore A, označovaná ako  $T_i$  [ $^\circ\text{C}$ ], bola zapisovaná v časovom intervale  $t = 60$  s. V čase 420 s bol teplotný rozdiel medzi teplou a chladnou komorou približne  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  a nasledovala výdrž ďalších 900 s (15 minút). Podobným postupom boli zapisované tiež údaje o teplote v chladnej komore  $T_e$  [ $^\circ\text{C}$ ], teplota na povrchu okenného skla v teplej komore  $T_{pi}$  [ $^\circ\text{C}$ ],

teplota na povrchu okenného skla v chladnej komore  $T_{pe}$  [°C]. Z datalogera boli odčítavané hodnoty hustoty tepelného toku  $q$  [W/m<sup>2</sup>]. Z hodnôt hustoty tepelného toku a plochy zasklenia boli počítané hodnoty tepelného toku  $\Phi$  v jednotkách W, prechádzajúce z teplej komory A – interiéru, cez vzorku zasklenia, do chladnej komory B – exteriéru.

Tab. 1 Namerané a vypočítané hodnoty – Vzorka 1 (izolačné neplnené trojsklo)

t [s]	0	60	120	180	240	300	360	420	1320
$T_i$ [°C]	23,60	26,80	30,20	33,10	35,50	37,80	39,60	41,30	58,30
$T_e$ [°C]	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,80
$T_{pi}$ [°C]	22,15	28,96	31,52	33,68	35,35	36,59	37,87	39,01	55,81
$T_{pe}$ [°C]	20,80	20,90	20,90	20,94	20,99	21,03	21,07	21,11	22,51
$q$ [W/m <sup>2</sup> ]	10,50	18,10	20,30	22,90	25,20	27,50	29,70	32,20	58,30
$\Phi$ [W]	1,68	2,89	3,25	3,66	4,03	4,40	4,75	5,15	9,33

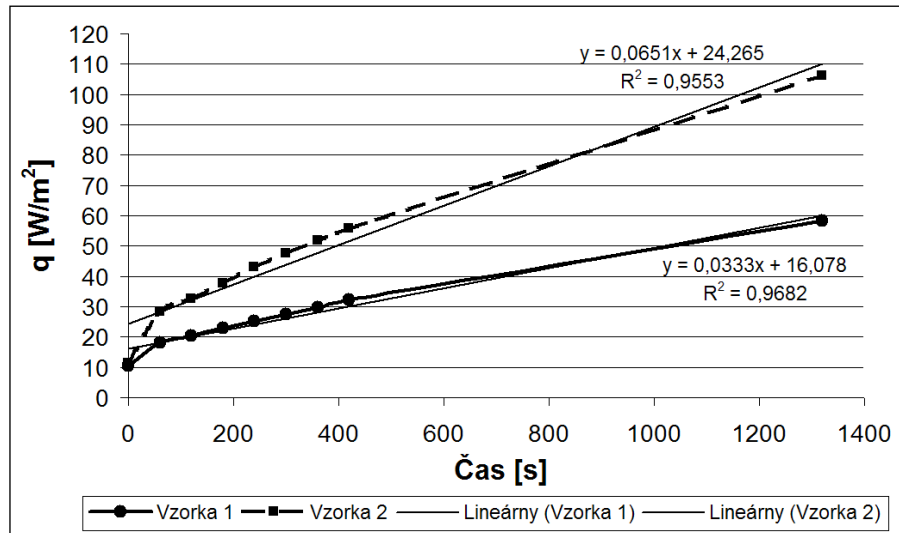
Výsledky meraní okenného skla (vzorka 2) sú spracované v Tab. 2. Vzorka 2 predstavovala izolačné dvojsklo so súčiniteľom prechodu tepla 1,0 W/(m<sup>2</sup>.K) a bola naplnená argónom. Šírka dištančného rámika bola 12 mm. Postup merania bol podobný ako pri vzorke 1. Nasledovala výdrž ďalších 900 s a odčítanie teplôt a hustoty tepelného toku.

Tab. 2 Namerané a vypočítané hodnoty – Vzorka 2 (izolačné dvojsklo naplnené argónom)

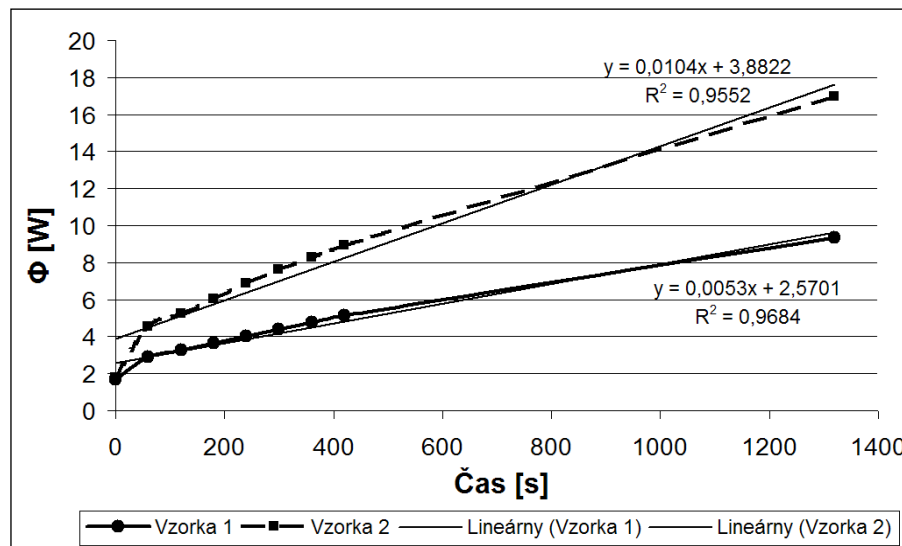
t [s]	0	60	120	180	240	300	360	420	1320
$T_i$ [°C]	24,00	26,50	29,80	32,10	34,50	36,90	38,70	40,20	57,30
$T_e$ [°C]	21,20	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,90
$T_{pi}$ [°C]	22,09	28,37	31,49	33,48	35,10	36,42	37,53	38,73	54,81
$T_{pe}$ [°C]	20,80	21,22	21,38	21,54	21,73	21,92	22,16	22,37	25,95
$q$ [W/m <sup>2</sup> ]	11,20	28,20	32,60	37,60	42,90	47,60	51,70	55,80	106,10
$\Phi$ [W]	1,79	4,51	5,22	6,02	6,86	7,62	8,27	8,93	16,98

Porovnanie vzorky 1 a 2 je graficky znázornené na Obr. 2, 3. Z grafického priebehu hustoty tepelného toku  $q$  a tepelného toku  $\Phi$  je zjavné, že vzorka 1 (izolačné trojsklo neplnené argónom) dosahovala s narastajúcim časom nižšie hodnoty.

Lineárne priebehy boli preložené trendovými čiarami, z ktorých vyplynuli funkcie tepelného toku v závislosti od času (Obr. 2, 3). Pre každú trendovú čiaru bola určená aj rovnica spoľahlivosti. V čase 1320 s dosahovala vzorka 1 (neplnené izolačné trojsklo) 55 % z hodnoty tepelného toku vzorky 2 (izolačné dvojsklo naplnené argónom).



Obr. 2: Grafický priebeh hustoty tepelného toku v závislosti od času pre rôzne vzorky



Obr. 3: Grafický priebeh tepelného toku v závislosti od času pre rôzne vzorky

Z výsledkov je zrejmé, že použitie izolačného trojskla so súčiniteľom prechodu tepla  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  má vplyv na zníženie prechodu tepelného toku z interiéru do exteriéru. V tomto prípade možno konštatovať, že neplnené izolačné trojsklo má vyššie izolačné schopnosti ako izolačné dvojsklo naplnené argónom.

### Záver

Za účelom výskumu parametrov prestupu tepla cez okenné sklá bola navrhnutá a skonštruovaná experimentálna zostava pozostávajúca z teplej a chladnej komory. Pre porovnanie boli skúmané dve vzorky sklenených výplní s rovnakou medzerou medzi sklami a hrúbkou skiel. Prvá vzorka bola izolačné trojsklo so súčiniteľom prechodu tepla  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  nenaplnená vzácnym plynom a druhá vzorka bola izolačné dvojsklo so súčiniteľom prechodu tepla  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  naplnená argónom. V čase merania 1320 s bol tepelný tok prechádzajúci izolačným trojsklom  $9,33 \text{ W}$  a izolačným dvojsklom naplneným argónom  $16,98 \text{ W}$ . Výsledky ukazujú, že izolačné trojsklo má vyšší vplyv na zníženie

tepelných strát z interiéru do exteriéru v porovnaní s izolačným dvojsklom naplneným argónom.

Experimentálnu zostavu môžu využiť študenti v rámci cvičení z predmetov zaoberajúcich sa prenosom tepla alebo pri riešení svojich záverečných prác. Merania môžu byť realizované pre rôzne typy dištančných rámkov, rôzne typy skiel, rôzne medzery medzi sklami naplnenými plynmi, pre rôzny počet a hrúbku skiel. Sklá môžu byť rôzne povrchovo upravené. Pre vizualizáciu teplotných polí môže byť využitá aj termovízna technika s použitím vhodnej vizualizačnej fólie, keďže sa jedná o sklá.

Výskumom a následným zostavením optimálnych zasklení možno dosiahnuť príjemné prostredie v budove, znížiť náklady na kúrenie a prispieť k zníženiu zaťaženia životného prostredia emisiami, znížiť hluk z vonkajšieho prostredia a zabrániť nadmernému prehrievaniu miestnosti slnečným žiarením.

### PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantových projektov KEGA 001TU Z-4/2016 a VEGA 1/0538/14.

### Literatúra

- [1] PUŠKÁR, A., SZOMOLÁNYIOVÁ, K., FUČILA, J. a VAVROVIČ, B., *Okená, zasklené steny, dvere, brány*. Vydavateľstvo Jaga group, Bratislava, 2008. ISBN 978-80-8076-062-5.
- [2] CHMÚRNY, I., *Tepelná ochrana budov*. Vydavateľstvo Jaga group, Bratislava, 2003. ISBN 80-889-0527-3.
- [3] STN ISO 8990:2000. *Tepelná izolácia: Stanovenie vlastností pri prechode tepla v ustálenom stave. Kalibrovaná a chránená teplá komora*.
- [4] STN EN ISO 12567-1. *Tepelnotechnické vlastnosti okien a dverí. Stanovenie súčiniteľa prechodu tepla metódou teplej komory. Časť 1: Kompletne okená a dvere*.
- [5] OHANKA, L., KONIAR, J., BLASIAK, P. a DANIELOVÁ, Z. *Experimental setup for evaluation of contact thermal resistance*. In: XVII. medzinárodná vedecká konferencia mladých, 2015. ISBN 978-80-228-2781-2.

**Lektorované:** doc. Mgr. Elena Pivarčiová, PhD.

### Kontaktná adresa:

Zuzana Brodnianská, Ing. PhD.,  
Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika,  
Tel.: +421455206678, e-mail: zuzana.brodnianska@tuzvo.sk

Jozef Černecký, Prof. Ing., CSc.,  
Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika,  
Tel.: +421455206698, e-mail: jozef.cernecky@tuzvo.sk