

Ing. Tomáš BOLDIŠ,
Prof. Ing. Dušan PETRÁŠ, PhD,
STU, Stavebná fakulta, Katedra TZB

Experimentálne overenie prevádzky nového typu elektrického sálavého panela

Ing. Peter MATIAŠOVSKÝ, CSc.
Ing. arch. Marek Klučár
Ústav stavebníctva a architektúry SAV

Experimental operation checking of new type of electric radiant panel

V súčasnosti sa na trhu v oblasti elektrického sálavého vykurovania nachádza niekoľko typov sálavých panelov. Predmetom tohto odborného článku je prezentácia experimentálneho merania prevádzky elektrického sálavého panela vyrobeného z dielektrickej dosky hrúbky 2 mm. Cieľom experimentálneho merania bolo stanoviť týchto 5 fyzikálnych parametrov: závislosť teploty na napätí, charakteristická vlnová dĺžka, emisivita povrchu (zistenie koeficientu emisivity), sálavý výkon v závislosti na napätí a prúdových charakteristikách, pomer sálania a konvekcie. Vzhľadom k rozsiahlosti výsledkov experimentálneho merania, prezentujeme len výsledky zamerané na zistenie koeficientu emisivity ako aj určenie sálavého výkonu v závislosti na napätí a prúdových charakteristikách. [9]

Kľúčová slova: elektrický sálavý panel, experimentálne meranie, koeficient emisivity

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

At the present a few types of radiant panels are available at the market at the field of electric radiant heating. The object of this technical article is the presentation of experimental operation measuring of electric radiant panel manufactured of dielectric plate of 2 mm thickness. The aim of this measuring was to determine the following 5 physical parameters: temperature-voltage relation, characteristic wave length, surface emissivity (coefficient of emissivity determination), radiant output in dependence on voltage and current characteristics, radiation-convection relation. With regard to the extensiveness of the results of experimental measuring, only those results are presented that are oriented to determination of emissivity coefficient and also to determination of radiant output in dependence on voltage and current characteristics [9].

Key words: electric radiant panel, experimental measuring, coefficient of emissivity

1. VYKUROVANIE ELEKTRICKÝMI SÁLAVÝMI PANELMI (ESP)

Tepelný efekt ESP je produktom sálania ich aktívneho povrchu, ktorý býva pre zabezpečenie čo najvyššej účinnosti špeciálne povrchovo upravený [1]. Ak konvekčné zdroje tepla (akumulačné pece, konvektory, ...) odovzdávajú teplo do okolitého prúdiaceho vzduchu, ESP prvotne zohrievajú predmety (steny, podlaha, ...), na ktoré dopadá sálavý tok a vzduch sa zohrieva až od týchto predmetov [6].

2. EXPERIMENTÁLNE OVERENIE PREVÁDZKY ELEKTRICKÝCH SÁLAVÝCH PANELOV V KLIMATICKEJ KOMORE [8,9]

2.1 Cieľ experimentálneho merania

Cieľom experimentálneho merania bolo zistenie emisivity povrchu (zistenie koeficientu emisivity) a sálavého výkonu v závislosti na napätí a prúdových charakteristikách.

2.2 Metodika experimentálneho merania

2.2.1 Identifikácia elektrického sálavého panela

Predmetom experimentálneho merania boli tri elektrické sálavé panely rovnakých rozmerov, označené číslami 1, 2 a 3, ktorých základné technické parametre sú uvedené v tab. 1. Panely boli identické, prípadné menšie rozdiely boli výrobného charakteru (obr. 1).



Obr. 1 – Pohľad na zavesené sálavé panely

Základným prvkom elektrického sálavého panela je dielektrická doska o hrúbke 2 mm, vyrobená z transformátorovej oceli, opatrená smaltom. Hrúbka dosky je určená požiadavkou, aby nedošlo k jej prepáleniu (skra-

Tab. 1 – Technické parametre posudzovaných elektrických sálavých panelov

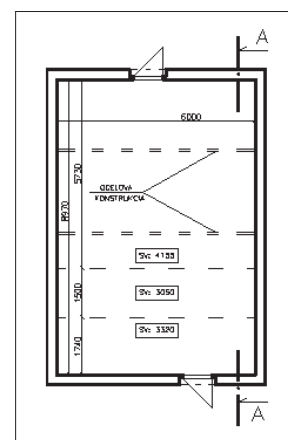
Panel č.	Hmotnosť [kg]	Merná tepelná kapacita [J/kg.K]	Rozmery [mm]	Celková povrchová plocha [m ²]
1	3,385	452 pri 20 °C 465 pri 100 °C	750/500/2	0,75
2	3,461			
3	3,460			

tovaní) po zavedení prúdu. Dielektrická doska bola po prebehnutí výrobného procesu ponorená zvisle do nádoby s polyakrylnitridom (čiernou hmotou na báze polykarbonátu – pod obchodným názvom PAN°Calor). Táto posledná vrstva má za účel vytvoriť podmienky pre vyžarovanie sálavého tepla.

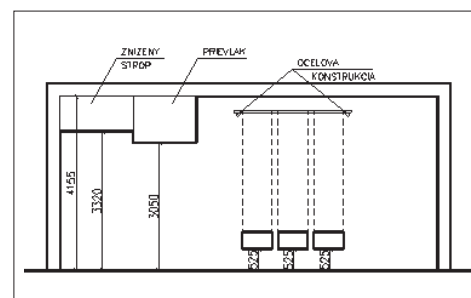
2.2.2 Identifikácia simulačno – experimentálneho modelu interiéru

Experimentálne meranie sa realizovalo na Ústave stavebníctva a architektúry SAV pri ustálených laboratórnych podmienkach v prostredí s teplotou 20 °C a relatívnou vlhkosťou 40 %, v klimatickej komore (obr. 2 a obr. 3).

Elektrické sálavé panely boli umiestnené vo vertikálnej polohe v osi dĺžky komory, pri výške spodnej hrany 0,525 m od podlahy.



Obr. 2 – Pôdorys klimatickej komory



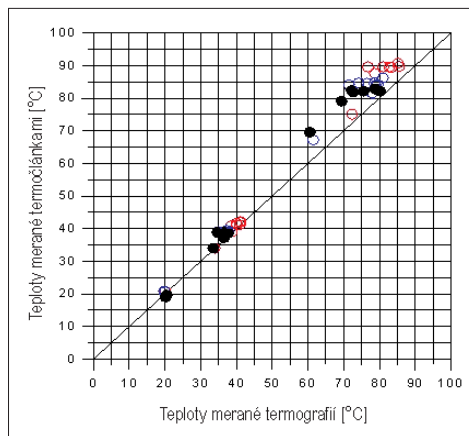
Obr. 3 – Rez A-A klimatickou komorou

2.2.3 Metodika merania

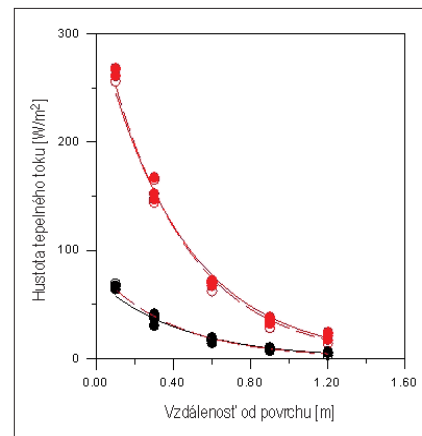
Metodika z hľadiska určenia veličín

Na konštrukcii ESP a v priestore klimatickej komory boli pri danom napätí spojitne sledované a registrované tieto fyzikálne veličiny:

- a) na konštrukcii ESP:
 - teplota θ_{ESP} (°C)
 - charakteristická vlnová dĺžka λ_m (μm)
 - emisivita povrchu ε (-)
 - hustota tepelného toku sálaním q (W.m⁻²)
 - napätie U (V)
 - elektrický odpor R (Ω)
- b) v priestore klimatickej komory:
 - teplota vzduchu θ_i (°C)
 - povrchové teploty θ_p (°C)
 - relatívna vlhkosť vzduchu ϕ_i (%)
 - rýchlosť prúdenia vzduchu v_i (m.s⁻¹)
 - pomer sálania a konvekcie (-).



Obr. 4 – Porovnanie povrchových teplôt meraných v strede plochy panelov bezkontaktné pri uvažovaní konštantnej emisivity 0,98 a kontaktným spôsobom čierne, modrá, červená. Na vodorovnej osi sú teploty merané bezkontaktné, na zvislej dotykovo.



Obr. 5 – Závislosť hustoty tepelného toku sálaním od vzdialenosti od povrchu panela pre napätia zdroja 55 a 110 V – panel 1

Metodika z hľadiska meracích prístrojov

Na meranie veličín a ich registráciu boli použité nasledovné prístroje: termočlánky, termografická kamera, LCD digitálny multimeter, guľový teplomer Vernon-Jokl, DAS čítacia karta, vlasový termohygrograf a žiarový anemometer Brüel & Kjaer.

Metodika z hľadiska času

Experimentálne merania prebiehali pre každý analyzovaný elektrický sáľavý panel samostatne, pri dvoch režimoch: pri striedavom napätí zdroja 55 a 110 V. Prevádzkový cyklus každého panela (zohrievanie, vykurovanie, chladnutie) pri rôznych hodnotách napätia trval cca 2 hodiny a opakovalo sa trikrát. Pri meraniach boli rozlišované obidve strany elektrického sáľavého panela, označené písmenami A a B.

3. ANALÝZA VÝSLEDKOV EXPERIMENTÁLNEHO MERANIA [8]

3.1 Emisivita povrchu

3.1.1 Definovanie monochromatickej emisivity [2]

Monochromatická emisivita povrchov ε_λ je definovaná ako pomer monochromatického vyžarovania teplotného zdroja E_λ a monochromatického vyžarovania absolútne čierneho telesa $E_{\sigma\lambda}$. Celková emisivita je vzťahovaná k celkovému žiareniu nezávisle na vlnovej dĺžke. S monochromatickou emisivitou je celková emisivita spojená vzťahom

$$\varepsilon = \frac{\int_0^\infty \varepsilon_\lambda \cdot E_{\sigma\lambda} d\lambda}{\int_0^\infty E_{\sigma\lambda} d\lambda} \quad [-] \quad (1)$$

Charakteristickou vlastnosťou mnohých povrchov je ich sivosť. Sivý povrch má monochromatickú emisivitu nezávislú na vlnovej dĺžke a preto sa jeho celková emisivita rovná monochromatickej emisivite a vplyv zmeny teploty sivého povrchu na zmenu emisivity je malý.

3.1.2 Určenie celkovej emisivity

Celková emisivita povrchu meraných panelov bola určená pomocou infračervenej kamery NEC TH7102MX nasledujúcim spôsobom: panely boli stabilizované v ustálenom prostredí a ich teplota bola určená kontaktným spôsobom. Potom bola kamerou meraná teplota panelov bezkontaktným spôsobom, pričom bola emisivita ich povrchu nastavovaná dovtedy, kým nebola dosiahnutá zhoda takto meranej teploty s teplotou meranou kontaktné.

Týmto spôsobom získaná priemerná hodnota celkovej emisivity povrchu ESP je 0,98, čo je hodnota blízka emisivite absolútne čierneho telesa. Z analýzy rovnosti teplôt v strede sáľavých panelov meraných súčasne infračervenou kamerou i termočlánkami (obr. 4), pri uvažovaní konštantnej emisivity 0,98, vyplýva, že v danom teplotnom rozsahu nie je emisivita povrchu panelov závislá na teplote a povrchy možno považovať za sivé.

3.1.3 Čiastkový záver

Emisivita povrchu ESP je rovná 0,98, blízka emisivite absolútne čierneho telesa a nie je závislá na teplote.

3.2 Sáľavý výkon v závislosti na napätí a prúdových charakteristikách

3.2.1 Meranie tepelných tokov sálaním

Na konci každého prevádzkového cyklu boli súčasne s povrchovými teplotami merané tepelné toky sálaním. Tepelné toky sálaním boli merané v rôznych vzdialenostiach od povrchu oproti stredu sáľavých panelov (vo vzdialenosti 10, 30, 60, 90 a 120 cm), pričom meraná hustota tepelného toku sa zvyšovala s klesajúcou vzdialenosťou medzi snímačom a panelom (obr. 5).

3.2.2 Pomer osáľania

Hodnota tepelného toku vyžarovaneho panelom bola stanovená na základe toho, že tepelný tok medzi panelom a snímačom je daný pomerom osáľania $\varphi_{1,2}$, udávajúcím aká časť tepla vysáľaného plochou panela – 1 dopadá na bodový snímač – 2. Závislosť na obr. 5 je potom závislosťou pomeru osáľania na vzdialenosti h snímača od panela s rozmermi $a \times b$. Pre bodový snímač vo vzdialenosti h kolmo nad stredom plochy panela platí vzťah

$$\varphi_{1,2} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \arctg \frac{\left[1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2 + \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right]^{0,5}}{\frac{a}{h} \cdot \frac{b}{h}} \quad [-] \quad (2)$$

Na základe tohoto vzťahu možno pre stanovenie hustoty tepelného toku vyžarovaneho panelom použiť hodnoty namerané vo vzdialenosti h , vynásobené podielom pomeru osáľania v nekonečne malej vzdialenosti od povrchu (rovného jednej) a pomeru osáľania vo vzdialenosti h [3]. Tento podiel predstavuje, v prípade geometrie posudzovaných sáľavých panelov, pre h rovnú 0,1 m hodnotu 1,21.

V tab. 2 sú uvedené hodnoty hustoty tepelného toku sálaním pre opakované prevádzkové cykly. Rozptyl nameraných hodnôt pre jednotlivé ESP pri rovnakých režimoch je malý, výrazná je odlišnosť hodnôt len v prípade panela č. 3.

Tab. 2 – Hodnoty tepelných toků sálaním na konci převádzkového cyklu

Panel č.	Strana panela	Tepelný tok [W/m ²] na konci převádzkového cyklu			
		1	2	3	Priemer
Napätie 55 V					
1	A	81	81	77	80
	B	81	84	77	81
2	A	79	85	84	83
	B	79	82	83	81
3	A	98	97	96	97
	B	99	97	94	97
Napätie 110 V					
1	A	316	323	324	321
	B	310	323	324	319
2	A	347	333	349	343
	B	356	339	342	346
3	A	388	387	380	380
	B	391	388	369	383

3.2.3 Určenie vykurovacieho výkonu elektrickým odporom

Vykurovací výkon ESP pri danom napätí zdroja U [V] je na základe Joule-Lencovho zákona určený ich elektrickým odporom R [Ω]: [5]

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [\text{W}] \quad (3)$$

Pre jednotlivé panely bol meraný elektrický odpor pri dvoch rôznych teplotách. Výsledky sú spracované v tab. 3, výrazná je odlišnosť elektrického odporu panela č. 3.

Tab. 3 – Hodnoty elektrického odporu posudzovaných panelov merané pri rôznych teplotách

Panel č.	Elektrický odpor [Ω] pri teplote	
	20 °C	80 °C
1	28,0	28,1
2	27,0	27,2
3	22,7	22,5

* Grafít kouzlí s teplem

Před 4 lety vyrobila americká firma Poco Graphite první expandovaný (pěnový) grafit s vysokou tepelnou vodivostí PocoFoam v licenci laboratoří ORNL. Letos uvedla německá SGL Technologies (SGL Carbon Group) nový lehčí pěnový grafit Conductograph® s hustotou 0,07 až 0,2 g.cm⁻³ a ještě lepší tepelnou vodivostí.

SGLT zvládla i výrobu kompozitu polypropylen/pěnový grafit. Tepelná vodivost λ kompozitu PP/Conductograph je 15 až 59 W.m⁻¹K⁻¹ dle % grafitu. Deskové materiály s výraznou anizotropií λ mají podél a napříč po ploše až 25 W.m⁻¹K⁻¹, kolmo až 45 W.m⁻¹K⁻¹. Uvažují se pro management tepla a chlazení v elektronice, automobilu aj. Vyrábí se i lehké nehořlavé tepelné vodivé materiály hustoty 0,02 až 0,3 g.cm⁻³ pro teploty -200 až 3 000 °C (od 100 °C se 100 % grafitem). Deskové a cihlové materiály z keramiky plněné pěnovým grafitem mají označení Brulafit®.

Novinkou je kompozitní PCM (Phase Change Materials či Phase Control Materials) materiál SIGRAλ®, užívající k tepelným izolacím a k akumulaci tepla a chladu skupenského tepla fázových změn tuhá/tekutá fáze. Stavební materiály s PCM mohou nahradit klimati-

3.2.4 Čiastkový záver

Sálavý výkon panela je závislý na jeho elektrickom odpore, napätí zdroja, geometrii a emisivite povrchu. Predstavuje 53 až 56 % celkového vykurovacieho výkonu. Elektrický odpor ESP sa pohybuje medzi hodnotami 22,5 až 28 Ω a nie je závislý na teplote.

ZÁVER

Okrem už spomínaných výhod ESP, treba podotknúť, že vykurovanie miestností a priestorov pomocou ESP znižuje prašnosť, znižuje kolísanie vlhkosti vzduchu a predmetov vo vykurovaných priestoroch, čo je výhodné pre alergikov. Vyššia povrchová teplota stien zabraňuje kondenzácii vodných pár, prípadne následných problémov, ako je vlhnutie stien a vznik plesní. Rozloženie teplôt v miestnosti vo zvislom profile je pri správnom umiestnení panelov rovnomerné, z hľadiska tepelnej pohody optimálne, ako aj to, že akumulačný efekt sa tvorí tak v stene ako aj v podlahe. Vlastnosti a výhody vykurovania pomocou ESP preduroujú tento systém na vykurovanie bytov, verejných budov, čakární, kancelárií, obchodov, skladov, garáží, zdravotníckych ordinácií, ako aj na lokálne vykurovanie pracovných stolov, lavíc v kostoloch, galériách a múzeách, vykurovanie novinových stánkov a podobne [7].

Spojení na autory:

tomasboldis@hotmail.com, Prof. Ing. Dušan PETRÁŠ, PhD,
STU, Stavebná fakulta, Katedra TZB, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.
Ing. Peter MATIAŠOVSKÝ, CSc., Ing. arch. Marek Klučár,
Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava.

Použitie zdroje:

- [1] Cihelka, J. a kol.: Vytápění, větrání a klimatizace. SNTL, Praha 1985.
- [2] Vaško, A.: Infračervené záření a jeho užití. SNTL, Praha 1963.
- [3] Ražnjevič, K.: Tepelné tabulky a diagramy. ALFA, Bratislava 1964.
- [4] Thermo Tracer TH7102MX/WX Operation Manual. NEC SAN-ei Instruments, Ltd 2001.
- [5] Rohsenow, W.M., Hartnett, J.P.: Handbook of Heat Transfer. McGraw-Hill, New York 1973.
- [6] Petráš, D., Koudelková, D., Kalús, D.: Sálavé elektrické vykurovanie v rodinných domoch. TZB HAUSTECHNIK 1/1997, Alfa konti, Bratislava, s.35-37.
- [7] Boldiš, T.: Vykurovanie elektrickými sálavými panelmi. Zborník medzinárodnej konferencie Vykurovanie 2004, SSTP Bratislava, s. 263-266.
- [8] Petráš, D., Boldiš, T., Matiašovský, P., Klučár, M.: Experimentálne overenie prevádzky elektrických sálavých panelov. Záverečná správa experimentálneho merania, 2004.
- [9] Petras, D., Boldiš, T., Matiašovský, P.: Experimental examination of a new type electric radiant panel operation. Handbook from the international conference ENERGY FOR BUILDINGS 2004, P. 352-359. ■

zaci. K tomu slouží mikrokapsle s parafinem, rozptýlené ve stavebním materiálu budov. Při ohřevu na 22 °C parafin taje a na roztavení spotřebává teplo z místnosti.

Naopak při nočním ochlazení pod 22 °C tekutý parafin tuhne, teplo vydává a zajišťuje kolísání teploty místnosti jen ve velmi úzkém rozmezí. Zatím se z PCM materiálů používá parafin a různé hydráty solí.

Výhodou kompozitu PCM/grafit (85 % obj. parafin, 10 % obj. pěnový grafit a 5 % obj. póru) s vyšší tepelnou vodivostí je vyšší dynamika fázové změny, vyšší tepelný tok, menší plocha, objem a hmotnost, a vyšší hustoty energie. Typické hodnoty λ pro SIGRAλ tohoto složení u desek jsou λ_{\perp} 8 W.m⁻¹K⁻¹ a λ_{\parallel} 25 W.m⁻¹K⁻¹, když parafin a mají 0,2 resp. 0,58 W.m⁻¹K⁻¹; u granulátu na zásyp akumulátorů trubka/trubkovnice jsou 4 W.m⁻¹K⁻¹. SIGRAλ je určen k použití ve vytápění, kogeneraci, klimatizaci, chlazení a ochraně proti přehřátí elektroniky. V akumulaci tepla či chladu je výhodou 2 až 5násobná hustota energie proti vodním systémům.

Tisková informace SGL Technologies GmbH, Meiningen,
k veletrhu Hannover Messe 2004

(AB)