Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (V)

Šířka a teplota sálavých panelů mají podstatný vliv na hospodárnost vytápění

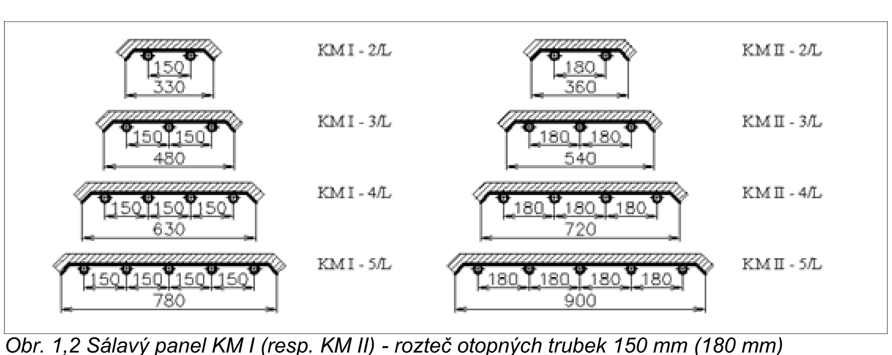
Datum: *15.5.2006*
Autor: *Ing. Miroslav Kotrbatý*

Umístění sálavé otopné plochy v horních částech haly a konstrukční řešení panelů umožňuje dělení výkonu na sálavou a konvekční složku. To pak vytváří podmínky pro navrhování otopného zařízení. Článek je určen pro odbornou veřejnost, projektanty vytápění, studenty vysokých a středních škol.

1.0 Úvod

Vytápění průmyslových hal sálavými panely se začalo používat v bývalém Československu v roce 1954. Tehdy pracovník Československé akademie věd Dr. Ing. Jaromír Cihelka CSc. přišel s teorií výpočtu tohoto progresivního způsobu vytápění.

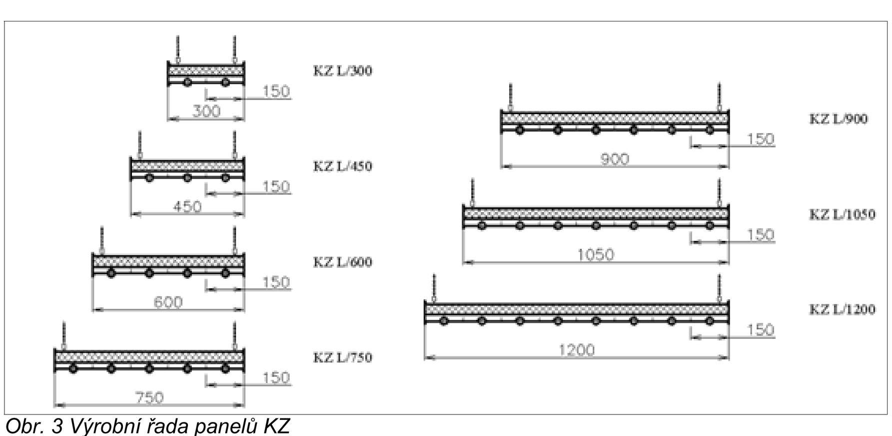
Měl jsem tu možnost s ním od samých začátků spolupracovat, vyvíjet sálavé panely, projektovat a realizovat v různých druzích průmyslových hal a jiných velkoplošných objektů. Původní panely byly vytvářeny přímo na stavbě a byly konstruovány ve dvou provedeních: ocelový plech 1,5 mm, otopné trubky 1" a rozteče trubek 150 mm, resp. 180 mm, izolace 40 mm s hliníkovou fólií označené KM I - 150 resp. KM II - 180 (obr. 1 a obr. 2). Šířky resp. 360 ÷ 900 mm.



Obr. 1,2 Sálavý panel KM I (resp. KM II) - rozteč otopných trubek 150 mm (180 mm)

Zařízení instalovaná a sestavovaná do pásů v roce 1956 pracují bez problémů dodnes.
Od té doby jsme realizovali stovky zařízení a ve spolupráci s pracovníky "Ústavu hygieny práce a chorob z povolání v Praze (Dr. Ing. Oppl a Ing. Bašus) jsme provedli měření ve dvaceti průmyslových halách s různými otopnými soustavami. Vývoj panelů a výpočtových metod pokračoval v roce 1988 a začaly se vyrábět panely KZ (sálavý panel s reflexní plochou pro vytápění a sušení) v závodě Stross Sedlčany dle autorského osvědčení (A0 242 787/88 - Kotrbatý).

Konstrukce: hliníkové moduly (0,8 mm) šířky 150 mm, otopné trubky Ø 28/2,6 resp. Ø 28/1,5, izolace 40 mm s hliníkovou fólií (obr. 3). Šířky panelů 300 ÷ 1200 mm. Po ukončení činnosti v Sedlčanech v roce 1998 přešla výroba po inovaci panelu do soukromého výrobního závodu KOTRBATÝ V.M.Z. s.r.o. - Pelhřimov - CZ.



Obr. 3 Výrobní řada panelů KZ

Nová měření na realizovaných zařízeních (15 výrobních hal), výsledky ze zkušebny HKL Stuttgart, jakož i výpočetní a grafické simulace v programu Flovent Flomerics prováděná v rámci doktorské práce (Ing. Zuzana Kovářová - Univerzita Bratislava) a diplomního projektu (Ing. Josef Pouba - Ústav techniky prostředí - ČVUT v Praze) umožnily získat další poznatky, které mohou posunout tento způsob vytápění o další krok kupředu jak ve snižování spotřeb tepla, tak i zvýšení komfortu výrobního prostoru. Objasňování problematiky sálavého vytápění velkoprostorových objektů je také potřebné proto, že se na Českém trhu objevili i zahraniční výrobci panelů, jejichž zástupci mnohdy manipulují nepravdivými údaji a argumenty.

2.0 Výkony sálavých panelů

Pro určení velikosti otopné plochy má každý výrobce sálavých panelů od autorizované zkušebny k dispozici výkonové tabulky a základní výpočetní vztah pro určení výkonu. Tyto údaje pak musí být publikovány v prospektových materiálech. Na základě výpočtu tepelných ztrát objektu a celkových výkonů panelů q_o se určuje velikost otopné plochy. Jmenovité výkony jsou udávány na 1 bm sálavého pásu.

Výpočetní vztah dle zkušebny :

$$\mathbf{q}_0 = 1{,}1 \cdot C \cdot \Delta t^n \qquad [\mathrm{W/m}]$$

$$\Delta t = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{2} - t_g \qquad [\mathrm{K}]$$

kde

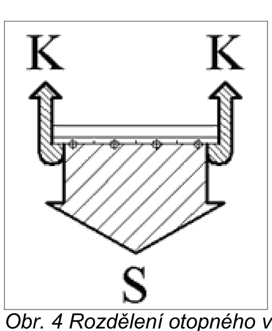
t_{m1} (°C)	teplota media - přívod
t_{m2} (°C)	teplota media - zpátečka
t_g (°C)	teplota referenční

š	C	n
300	1,52	1,18
450	2,17	1,18
600	2,67	1,19
750	3,24	1,19
900	3,78	1,19
1050	4,32	1,19
1200	4,85	1,19

Tab. 1 Výpočtové koeficienty pro jednotlivé šířky š panelů

Sálavé vytápění však "pracuje" na zcela odlišném principu dodávky tepla do vytápěného objektu, než na jaký jsou projektanti zvyklí (konvekční tělesa, teplovzdušné jednotky). Umístění sálavé otopné plochy v horních částech haly a konstrukční řešení panelů umožňuje dělení výkonu na sálavou a konvekční složku. To pak vytváří podmínky pro navrhování otopného zařízení.

Pro tvorbu prostředí v oblasti pobytu člověka má podstatný vliv sálavá složka (S), složka konvekční (K) se pak z velké části podílí na tepelné ztrátě v kontaktu se střešním pláštěm (obr. 4). Toto "funkční" rozdělení vede k důkladnému rozboru odměřených výkonů a to jak z hlediska dosažených povrchových teplot jednotlivých částí panelů, tak i zjištění celkové průměrné povrchové teploty s čímž souvisí i velikost sálavé složky výkonu.



Obr. 4 Rozdělení otopného výkonu sálavého panelu na sálavou a konvekční složku

2.1 Rozbor výkonu sálavého panelu KZ s reflexní plochou

Ze zkušebny byly předány údaje související s výkonem sálavých panelů tří šířek (š = 300 mm, š = 600 mm a š = 1200 mm) v závislosti na teplotě referenční (t_{ref}.°C) a teplotě otopné látky (t_m°C).

Další údaje: celkový výkon q_o (W/m); sálavý výkon q_r (W/m); konvekční výkon q_k (W/m) a sálavý podíl *r* (%) doplňují potřebné informace o způsobu dodávky tepelné energie do vytápěného prostoru.

Střední teplota vody	Teplota referenční	Rozdíl teplot	Celkový výkon	Sálavý výkon	Konvekční výkon	Sálavý podíl
t_m (°C)	t_g (°C)	Δt (K)	q_0 (W/m)	q_r (W/m)	q_k (W/m)	r (%)
90,21	19,75	70,46	216	147	69	68
70,40	19,92	50,48	145	94	51	65
50,47	19,92	30,55	81	51	30	63

Tab. 2 - Výkonové parametry ze zkušebny - šířka panelu š = 300 mm

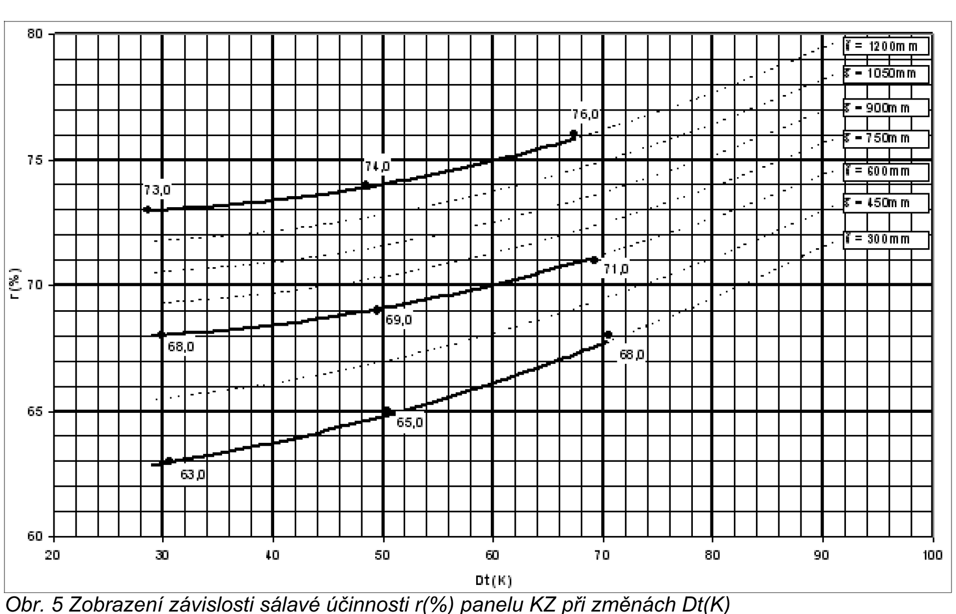
Střední teplota vody	Teplota referenční	Rozdíl teplot	Celkový výkon	Sálavý výkon	Konvekční výkon	Sálavý podíl
t_m (°C)	t_g (°C)	Δt (K)	q_0 (W/m)	q_r (W/m)	q_k (W/m)	r (%)
89,18	19,92	69,26	381	271	110	71
69,40	19,91	49,49	253	175	78	69
49,96	20,13	29,83	140	95	45	68

Tab. 3 - Výkonové parametry ze zkušebny - šířka panelu š = 600 mm

Střední teplota vody	Teplota referenční	Rozdíl teplot	Celkový výkon	Sálavý výkon	Konvekční výkon	Sálavý podíl
t_m (°C)	t_g (°C)	Δt (K)	q_0 (W/m)	q_r (W/m)	q_k (W/m)	r (%)
87,41	20,08	67,33	681	518	163	76
68,41	20,02	48,48	451	334	117	74
48,92	20,28	28,65	245	179	66	73

Tab. 4 Výkonové parametry ze zkušebny - šířka panelu š = 1200 mm

Příslušné hodnoty pro jednotlivé šířky panelů jsou uvedeny v tabulkách č. 2, 3 a 4 a následně vyjádřeny graficky v obrázku č. 5 - "Graf závislosti sálavé účinnosti*r* (%) panelu KZ při změnách Δt (K)". [$\Delta t = t_m - t_{ref}$ (K)].



Obr. 5 Zobrazení závislosti sálavé účinnosti r(%) panelu KZ při změnách Dt(K)

Plnými čarami jsou znázorněny hodnoty z měření, čárkovanými pak hodnoty odvozené.

Z provedeného rozboru je možné učinit dva závěry:

a. čím je šířka panelu větší, tím je i sálavá účinnost vyšší

b. čím je vyšší teplota otopné látky (resp. Δt), tím je vyšší i sálavá účinnost

Je tudíž zřejmé, že uvádění sálavé účinnosti jednou hodnotou je zavádějící. Získané údaje však ukazují zcela jiný problém při navrhování sálavého vytápění.

Údaje uváděné jako výkon $\mathbf{q_0}$ (předáno zkušebnou všem výrobcům panelů v závěrečném protokolu) jsou používány pro určení velikosti otopné plochy.

Jelikož pro vytápění je rozhodující sálavá složka - přímo ovlivňuje pracovní zónu, složka konvekční, která uniká pod střešní plášť je vlastně ztrátová. Potom je zajímavé porovnat jaké množství tepla se využije pro dodávku tepla do vytápěného prostoru při různých šířkách panelů a různých teplotách teplonosné látky. Sálavý výkon byl rovněž předán zkušebnou.

Tomuto zjištění poslouží nejlépe příklady. Vhodné je pro názornost porovnat všechny tři zvolené šířky panelů.

Základní tepelná ztráta:	Q = 100 000 W
Teplota otopné vody :	t_m = 80°C
Teplota referenční:	t_g = 18°C Δt = 62 K

Sálavý panel š = 300 mm

q_o = 218 W/m	L = 458,7 m ==> S = 137,6 m^2
r (%) = 0,665	Q_r = 100 000 x 0,665 = 66 500 W - sálavý výkon

Sálavý panel š = 600 mm

q_o = 399 W/m	L = 250,6 m ==> S = 150,4 m^2
r (%) = 0,72	Q_r = 100 000 x 0,72 = 72 000 W - sálavý výkon

Sálavý panel š = 1200 mm

q_o = 725 W/m	L = 137,9 m ==> S = 165,5 m^2
r (%) = 0,755	Q_r = 100 000 x 0,755 = 75 500 W - sálavý výkon

Vezmou - li se za základ hodnoty panelů šířky = 300 mm, pak panely šířky š = 600 mm dodávají do pracovní zóny o 8,2 % více tepelné energie a panely šířky š = 1200 mm o 13,5 % více.

Jelikož je to právě sálavá složka, která zajišťuje přípravu prostředí na vytápěné ploše, je zřejmé, že by při použití širších panelů bylo možné jejich otopnou plochu zmenšit.

Příklady :

$$S_{1200}^{red} = S_{1200} \cdot \frac{\eta_{300}}{\eta_{1200}} = 165{,}5 . \frac{0{,}665}{0{,}755} = 145{,}77 m^2$$

Plocha panelů může být až o 12% menší ==> Q_{red} = 100 000 W . 0,88 = 88 000 W

$$S_{600}^{red} = S_{600} \cdot \frac{\eta_{300}}{\eta_{600}} = 150{,}4 . \frac{0{,}665}{0{,}72} = 138{,}9 m^2$$

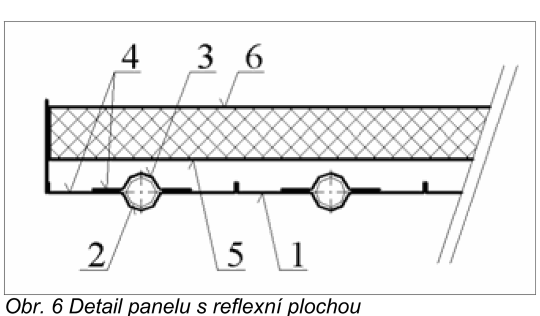
Plocha panelů může být až o 7,8 % menší ==> Q_{red} = 100 000 W . 0,922 = 92 200 W

Rozmezí mezi otopnou plochou stanovenou při použití údajů q_o (celkový výkon) zadanými zkušebnou a hodnotami redukovanými lze využít při navrhování sálavých pásů, kdy q_o zvolené šířky nedosahuje požadované hodnoty.

Odpovídající provozní parametry otopné látky zajišťuje regulace.

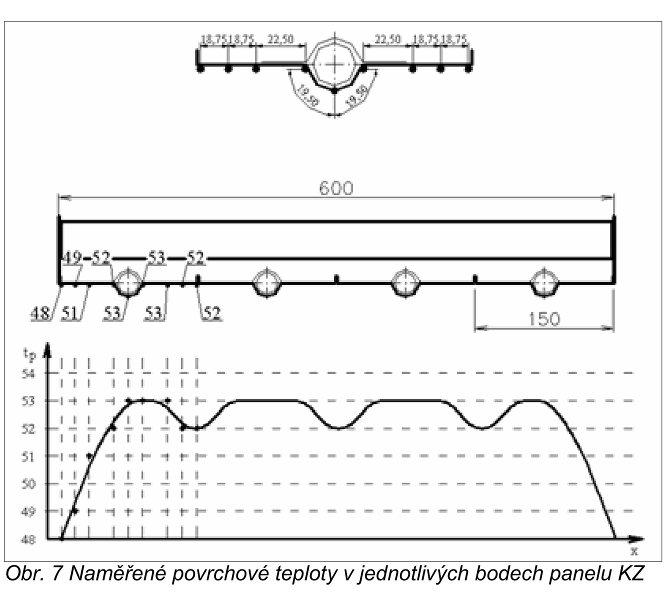
Jedním z důležitých požadavků pro dosažení maximální sálavé účinnosti panelu je maximální povrchová teplota činné plochy. Z tohoto požadavku vyplývá samotná konstrukce panelu a použité materiály.

"Sálavý panel s reflexní plochou pro vytápění a sušení" (obr. č. 6) je sestavován z hliníkových (0,8 mm) modulů (1) š = 150 mm. V každém modulu je zapuštěna ocelová otopná trubka (2) Ø 28/1,5 (spojování lisováním panelu), resp. Ø 28/2,6 (spojování panelů svařováním). Krytí trubky shora zajišťuje hliníkový pás (3). Obě plochy - modul i krycí pás jsou s vysoce lešténým povrchem, čímž se zamezuje přenos tepla ze sálavé plochy (4) na plochu izolace (5) - 40 mm minerální vlna - shora krytá hliníkovou fólií (6).



Obr. 6 Detail panelu s reflexní plochou

Vysoká vodivost hliníku (λ = 221 W/mK) a zdvojení hliníkových ploch, vytvářejí v části otopné plochy tloušťku 0,8 + 0,6 mm = 1,4 mm. Oba tyto faktory působí na minimální pokles teploty napříč povrchu panelu od otopné trubky k okraji modulu. Teplota povrchu panelu mezi dvěma moduly se téměř neliší od teploty povrchu v místě kontaktu s otopnou trubkou. Na obrázku č. 7 jsou uvedeny naměřené hodnoty povrchových teplot v jednotlivých bodech příčného profilu a stanoveny průměrné povrchové teploty panelů různých šířek (obr. č. 8). I zde se potvrzuje, že větší šířky mají vliv na sálavý výkon (vyšší střední teplota).



Obr. 7 Naměřené povrchové teploty v jednotlivých bodech panelu KZ

Poznámka:

Při vývoji sálavých panelů byla provedena v minulosti i měření na původních panelech KM - I, š = 150 mm rozteč otopných trubek, sálavý ocelový plech 1,5 mm (vodivost λ = 48 W/mK). Rozdíly teplot - na povrchu trubky a ve středu mezi trubkami se pohybovaly v rozmezí 4 ÷ 5 K. Ukázalo se tudíž, že přechod na hliník bylo výrazným zlepšením kvality výrobku, nehledě na podstatně jednodušší a snazší montáž, díky jejich menší hmotnosti.

Průměrná teplota panelů při povrchové teplotě ve vrcholu modulu t_{max} = 53 °C.

Okrajová část modulu:

18,75 mm	x 48,5°C	= 909, 375 mm°C
18,75 mm	x 50,0°C	= 937, 500 mm°C
22,50 mm	x 51,5°C	= 1158, 750mm°C
19,50 mm	x 52,5°C	= 1023, 760mm°C
---------------	---------------	--------------------------
79,50 mm		4029,385 mm°C

Průměrná teplota okrajové části modulu t_1 = 4029,385 : 79,5 = 50, 68°C

Vnitřní část modulu:

18,75mm	x 52,0°C	= 975, 000mm°C
18,75mm	x 52,5°C	= 984, 375mm°C
22,50mm	x 53,0°C	= 1192,500mm°C
19,50mm	x 53,0°C	= 1033,500mm°C
---------------	---------------	--------------------------
79,50 mm		4185,375 mm°C

Průměrná teplota vnitřní části modulu t_2 = 4185,375 : 79,5 = 52, 646°C

Průměrné povrchové teploty panelů při t_{max} = 53°C ve vrcholu trubky:

$$š = 300\ \mathrm{mm} \quad t_p^{300} = \frac{2x50{,}68 + 2x52{,}64}{4} = \frac{101{,}36 + 105{,}28}{4} = 51{,}66°C$$

$$š = 450\ \mathrm{mm} \quad t_p^{450} = \frac{2x50{,}68 + 4x52{,}64}{6} = \frac{101{,}36 + 210{,}56}{6} = 51{,}99°C$$

$$š = 600\ \mathrm{mm} \quad t_p^{600} = \frac{2x50{,}68 + 6x52{,}64}{8} = \frac{101{,}36 + 315{,}84}{8} = 52{,}15°C$$

$$š = 750\ \mathrm{mm} \quad t_p^{750} = \frac{2x50{,}68 + 8x52{,}64}{10} = \frac{101{,}36 + 421{,}12}{10} = 52{,}25°C$$

$$š = 900\ \mathrm{mm} \quad t_p^{900} = \frac{2x50{,}68 + 10x52{,}64}{12} = \frac{101{,}36 + 526{,}40}{12} = 52{,}31°C$$

$$š = 1050\ \mathrm{mm} \quad t_p^{1050} = \frac{2x50{,}68 + 12x52{,}64}{14} = \frac{101{,}36 + 631{,}68}{14} = 52{,}36°C$$

$$š = 1200\ \mathrm{mm} \quad t_p^{1200} = \frac{2x50{,}68 + 14x52{,}64}{16} = \frac{101{,}36 + 736{,}96}{16} = 52{,}39°C$$

Z výsledků jsou zřejmé dva poznatky:

a. s šířkou panelu roste jeho střední povrchová teplota ==> vliv na sálavou účinnost

b. konstrukce panelu umožňuje dosažení průměrné střední teploty povrchu panelu s minimální odchylkou od teploty (t = 53 °C) v místě kontaktu ve vrcholu trubky a sálavé plochy. (t_{300} = 53 - 51,66 = 1,34 K; Δt_{1200} = 53 - 52,39 = 0,61 K).

Závěr:

Po provedeném rozboru vlivu teploty otopné látky a šířky sálavého panelu jednoznačně vyplývá, že oba tyto faktory mají podstatný vliv na hospodárnost soustavy vytápění velkoprostorových objektů zavěšenými sálavými panely.

Zaklínací formule některých prodejců - 30% úspory tepla při použití jejich výrobků je zcela zavádějící. Šířka panelů a teplota otopné vody mají podstatný vliv na podíl sálavého tepla dodávaného do vytápěného prostoru. Sálavá účinnost je proměnná v závislosti na obou zmíněných faktorech.

Rozhodující vliv na hospodárnost soustavy má projektant. Musí při navrhování využívat jak vliv teploty otopné látky, tak vliv šířky panelu na sálavou účinnost. Neméně důležité je i vhodné rozmístění a zapojování sálavých pásů. *(Lit.: Kotrbatý, M.: Rozmísťování a zapojování sálavých panelů - VVI 5/2005).*

Při porovnání sálavé složky jednotlivých typů panelů hraje také roli "činná sálavá plocha". Panely s rovným podhledem - otopné trubky zapuštěny uvnitř - mají reálnou šířku otopné plochy odpovídající šířce panelu a větší α_k, než panely z poloviny zapuštěny mezi trubkami, které mají o 6% větší činnou sálavou plochu a menší α_k.

Využíváním všech zmíněných poznatků umožnilo v poslední době realizovat zařízení, kde se dosáhlo 35 ÷ 40 % nižších spotřeb tepla proti stávajícím teplovzdušným soustavám s nástěnnými soupravami.

Literatura

Z důvodu komplexnosti pohledu na vytápění zavěšenými sálavými panely je tato stať převzata z článku "Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů - Šířka a teplota sálavých panelů mají podstatný vliv na hospodárnost vytápění," publikovaného v časopise VVI 2/2006.