

Zvyšování hospodárnosti vytápění průmyslových hal zavěšenými sálavými panely

Increasing Heating Economy of Industry Halls by Suspended Radiant Panels

Recenzent
doc. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Podstatnou částí celkového tepelného výkonu sálavých panelů je jejich sálavá složka. Ta je v rámci vytápění průmyslových hal sálavými panely rozhodujícím faktorem, ovlivňujícím tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru. Autor se zaměřil na podstatné parametry ovlivňující právě sálavou část tepelného výkonu panelů při jejich návrhu a metodicky je posoudil. Srozumitelnou formou seznamuje čtenáře s nejdůležitějšími závěry.

Klíčová slova: vytápění, sálavý panel, sálavé pasy

The substantial part of the total heat output of radiant panels is their radiant component. It is the crucial factor within the scope of industry halls heating by radiant panels, influencing the thermal comfort in the heated space. The author focused on the essential parameters affecting exactly the radiant part of panels' heat output during their design process, and gives a methodical review. A reader is comprehensibly apprised with the most important conclusions.

Key words: heating, radiant panel, radiant belt

ÚVOD

V krátkém časovém úseku po zveřejnění nových poznatků z oblasti navrhování zavěšených sálavých panelů (VVI 2/2006, konference Třeboň 2007, T2B info,...) je nutné vrátit se znovu k problematice volby šířky panelu a teploty teplonosné látky.

Nové poznatky byly získány jednak díky upřesnění výkonů panelů podle normy EN 14037 a hlavně pak rozboru vyplývajícím ze specifiky této soustavy vytápění.

V dalším bude ukázáno, jak může významně ovlivnit provozní náklady nevhodná volba obou zmíněných parametrů.

1. VÝKONY SÁLAVÝCH PANELŮ

Pro určení velikosti otopné plochy (panel KZ) je autorizovanou zkušebnou určen výpočetní vztah:

$$q_0 = K_1 \cdot \Delta t^n \quad [\text{W/m}] \quad (1)$$

kde

$$\Delta t = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{2} - t_g \quad (\text{K}) \quad (2)$$

q_0	celkový výkon panelu na 1 m délky	[W/m]
K_1	koeficient určený zkušebnou pro daný typ panelu	[-]
Δt	rozdíl teplot media a operativní teploty	[K]
t_{m1}	teplota otopné vody – primáru	[°C]
t_{m2}	teplota otopné – zpátečka	[°C]
t_g	teplota operativní	[°C]
n	součinitel daný druhem otopné plochy (KZ)	[-]

Pro určení celkového výkonu sálavého panelu dané šířky, teploty teplonosné látky a teploty referenční se použije hodnot uvedených v tab. 1 (B – šířka panelu v mm).

Tab. 1 Hodnoty potřebné pro určení celkového výkonu sálavého panelu KZ

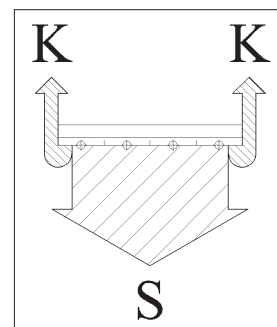
B [mm]	K_1 [-]	n [-]
300	1,7149	1,1754
450	2,3418	1,1832
600	2,8947	1,1910
750	3,5162	1,1910
900	4,1419	1,1894
1050	4,7715	1,1886
1200	5,4049	1,1878

2. VLIV ŠÍŘKY PANELU A TEPLoty TEPLONOSNÉ LÁTKY NA HOSPODÁRNOST VYTÁPĚNÍ

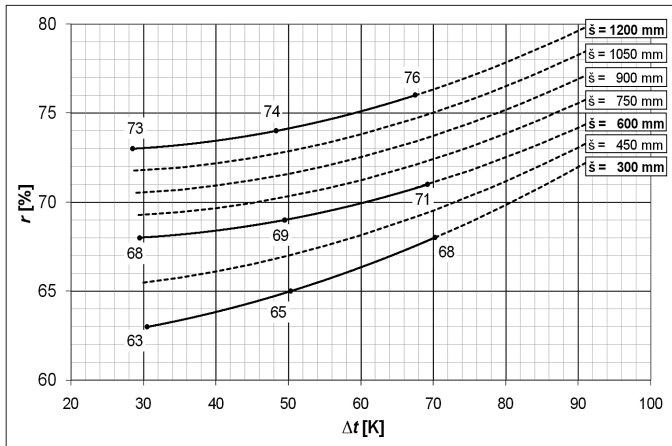
Následující rozbor uvádí praktický přístup k naplnění postupu řešení s doporučenými stupni hospodárnosti uvedenými na konferenci vytápění Třeboň 2007.

Umístování zavěšených sálavých panelů v horní části vytápěného prostoru a tomu odpovídající způsob sdílení tepla do zóny pohybu člověka, vyžaduje dělení celkového výkonu (q_0) na sálavou (q_s) a konvekční (q_k) složku (obr. 1).

Na tvorbu tepelného komfortu v takto vytápěném prostoru má podstatný vliv složka sálavá (q_s). Složka konvekční (q_k) se v kontaktu se střešním pláštěm z velké části podílí na tepelné ztrátě objektu. Toto „funkční“ rozdělení vede k důkladnému rozboru výkonů odměřených jednotlivých šířek panelů, včetně vlivu teploty teplonosné látky. Ze zkušebny byly výrobcům předány údaje související s výkonem celkovým (q_0), sálavým (q_s), konvekčním (q_k) a sálavým podílem (r).



Obr. 1 Způsob sdílení tepla zavěšených panelů do vytápěného prostoru
K – konvekce, S – sálání



Obr. 2 Závislost podílu tepla sdíleného sáláním na středním rozdílu teplot $\Delta t = t_m - t_g$

Príslušné údaje jsou vyjádřeny graficky na obr. 2. Obr. 2 vyjadřuje závislost podílu tepla sdíleného sáláním r (%), na změnách $\Delta t = (t_m - t_g)$. Plnými čarami jsou znázorněny hodnoty naměřené, tenkými pak hodnoty odvozené.

2.1 Rozbor výkonu sálavých panelů

Panely lze sestavovat do pásů buď jako kompaktní s maximální šířkou, nebo z různých důvodů je rozdělit na více pásů užších (obr. 3).

KOMPAKTNÍ	mm	DĚLENÉ	mm
	300		-
	450		-
	600		2 x 300
	750		1x300+1x450
	900		3 x 300
	1050		2x300+1x450
	1200		4 x 300

Obr. 3 Varianty sestavování panelů do sálavých pásů

Důvody pro takový návrh jsou různé. Jako příklad lze uvést snahu o omezení montážní hmotnosti u panelů celooceľových, která je podstatně vyšší proti panelům kombinovaným. Dalším důvodem může být hydraulické řešení soustavy.

V každém případě je účelný důkladný rozbor, který ukáže zda zvolený postup návrhu rozdělení pásů na užší elementy je vhodný či nikoliv.

Za použití výpočetních vztahů (1) a (2) a grafu z obr. 2 byly sestaveny tabulky výkonů pro porovnání obou variant: kompaktní x dělení.

Tab. 2, 3, 4 a 5 znázorňují porovnání výsledků při různých teplotních rozdílech teplotnosné látky.

V levé polovině tabulky jsou uvedeny vypočtené hodnoty q_0 , r , q_s , q_k ze vztahů a grafu z obr. 3. V pravé polovině tabulky pak hodnoty korigované vztahem na $q_s = 1000$ W/m sálavého výkonu. Důvodem tohoto postupu je možnost přímého porovnání jednotlivých variant řešení.

Porovnání (při dosažení $q_s^{kor} = 1000$ W/m)

$$\begin{aligned}
 B = 600 \text{ mm} & & B = 2 \times 300 \text{ mm} \\
 q_0^{kor} = 425 \text{ W/m} & & q_0^{kor} = 1506 \text{ W/m} \\
 q_k^{kor} = 425 \text{ W/m} & & q_k^{kor} = 506 \text{ W/m} \\
 n = 1506 / 425 = 1,057 \Rightarrow & \mathbf{5,68 \%}
 \end{aligned}$$

Tab. 2 Vyhodnocení výkonů kompaktních a dělených sálavých panelů 90/70 °C, $t_g = 18$ °C, $\Delta t = 62$ K

B	q_0	r	q_s	q_k	q_0^{kor}	q_s^{kor}	q_k^{kor}
mm	W/m	%	W/m				
300	219	66.4	145	74	1506	1000	506
450	309	68.3	211	98	1464	1000	464
600	395	70.2	277	118	1425	1000	425
750	480	71.5	343	137	1399	1000	399
900	561	72.7	408	153	1376	1000	376
1050	644	74.0	477	167	1351	1000	351
1200	727	75.1	546	181	1332	1000	332
2x 300	438	66.4	290	148	1506	1000	506
1x 300	219	66.4	145	74	1506	1000	506
1x 450	309	68.3	211	98	1464	1000	464
Σ	528	67.4	356	172	1483	1000	483
3x 300	657	66.4	435	222	1506	1000	506
2x 300	438	66.4	290	148	1506	1000	506
1x 450	309	68.3	211	98	1464	1000	464
Σ	747	67.1	501	246	1491	1000	491
4x 300	876	66.4	580	296	1506	1000	506

$$\begin{aligned}
 B = 900 \text{ mm} & & B = 3 \times 300 \text{ mm} \\
 q_0^{kor} = 1376 \text{ W/m} & & q_0^{kor} = 1506 \text{ W/m} \\
 q_k^{kor} = 376 \text{ W/m} & & q_k^{kor} = 506 \text{ W/m} \\
 n = 1506 / 1376 = 1,094 \Rightarrow & \mathbf{9,44 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B = 750 \text{ mm} & & B = 1 \times 300 \text{ mm} + 1 \times 450 \text{ mm} \\
 q_0^{kor} = 1399 \text{ W/m} & & q_0^{kor} = 1483 \text{ W/m} \\
 q_k^{kor} = 399 \text{ W/m} & & q_k^{kor} = 483 \text{ W/m} \\
 n = 1483 / 1399 = 1,061 \Rightarrow & \mathbf{6,00 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B = 1050 \text{ mm} & & B = 2 \times 300 \text{ mm} + 1 \times 450 \text{ mm} \\
 q_0^{kor} = 1351 \text{ W/m} & & q_0^{kor} = 1491 \text{ W/m} \\
 q_k^{kor} = 351 \text{ W/m} & & q_k^{kor} = 491 \text{ W/m} \\
 n = 1491 / 1351 = 1,104 \Rightarrow & \mathbf{10,36 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B = 1200 \text{ mm} & & B = 4 \times 300 \text{ mm} \\
 q_0^{kor} = 1332 \text{ W/m} & & q_0^{kor} = 1506 \text{ W/m} \\
 q_k^{kor} = 332 \text{ W/m} & & q_k^{kor} = 506 \text{ W/m} \\
 n = 1506 / 1332 = 1,131 \Rightarrow & \mathbf{13,06 \%}
 \end{aligned}$$

Tab. 3 Vyhodnocení výkonů kompaktních a dělených sálavých panelů 110/70 °C, $t_g = 18$ °C, $\Delta t = 72$ K

B	q_0	r	q_s	q_k	q_0^{kor}	q_s^{kor}	q_k^{kor}
mm	W/m	%	W/m				
300	261	68.1	178	83	1468	1000	468
450	369	69.8	258	111	1433	1000	433
600	472	71.6	338	134	1397	1000	397
750	573	72.8	417	156	1374	1000	374
900	670	74.0	496	174	1351	1000	351
1050	770	75.2	579	191	1330	1000	330
1200	869	76.5	665	204	1307	1000	307
2x 300	522	68.1	356	166	1468	1000	468
1x 300	261	68.1	178	83	1468	1000	468
1x 450	369	69.8	258	111	1433	1000	433
Σ	630	69.2	436	194	1445	1000	445
3x 300	783	68.1	534	249	1468	1000	468
2x 300	522	68.1	356	166	1468	1000	468
1x 450	369	69.8	258	111	1433	1000	433
Σ	891	68.9	614	277	1451	1000	451
4x 300	1044	68.1	712	332	1468	1000	468

Porovnání při dosažení $q_s^{kor} = 1000 \text{ W/m}$

B = 600 mm B = 2 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1397 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1468 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 397 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 468 \text{ W/m}$
 $n = 1468 / 1397 = 1,051 \Rightarrow 5,08 \%$

B = 900 mm B = 3 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1351 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1468 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 351 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 468 \text{ W/m}$
 $n = 1468 / 1351 = 1,087 \Rightarrow 8,66 \%$

B = 750 mm B = 1 × 300 mm + 1 × 450 mm
 $q_o^{kor} = 1374 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1445 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 374 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 445 \text{ W/m}$
 $n = 1445 / 1373 = 1,052 \Rightarrow 5,24 \%$

B = 1050 mm B = 1 × 450 mm + 2 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1330 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1451 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 330 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 451 \text{ W/m}$
 $n = 1451 / 1330 = 1,091 \Rightarrow 9,10 \%$

B = 1200 mm B = 4 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1307 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1468 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 307 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 468 \text{ W/m}$
 $n = 1468 / 1307 = 1,123 \Rightarrow 12,30 \%$

Tab. 4 Vyhodnocení výkonů kompaktních a dělených sálavých panelů
 130/70 °C, $t_g = 18 \text{ °C}$, $\Delta t = 82 \text{ K}$

B	q_o	r	q_s	q_k	q_o^{kor}	q_s^{kor}	q_k^{kor}
mm	W/m	%	W/m				
300	305	69.9	213	92	1431	1000	431
450	431	72.5	312	119	1379	1000	379
600	551	73.0	402	149	1370	1000	370
750	669	74.2	496	173	1348	1000	348
900	783	75.5	591	192	1325	1000	325
1050	898	76.8	690	208	1302	1000	302
1200	1014	78.0	791	223	1282	1000	282
2x 300	610	69.9	426	184	1431	1000	431
1x 300	305	69.9	213	92	1431	1000	431
1x 450	431	72.5	312	119	1379	1000	379
Σ	736	71.3	525	211	1402	1000	402
3x 300	915	69.9	639	276	1431	1000	431
2x 300	610	69.9	426	184	1431	1000	431
1x 450	431	72.5	312	119	1379	1000	379
Σ	1041	70.9	738	303	1411	1000	411
4x 300	1220	69.9	852	368	1431	1000	431

Porovnání při dosažení $q_s^{kor} = 1000 \text{ W/m}$

B = 600 mm B = 2 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1370 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1431 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 370 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 431 \text{ W/m}$
 $n = 1431 / 1370 = 1,045 \Rightarrow 4,45 \%$

B = 900 mm B = 3 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1325 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1431 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 325 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 431 \text{ W/m}$
 $n = 1431 / 1325 = 1,080 \Rightarrow 8,00 \%$

B = 750 mm B = 1 × 300 mm + 1 × 450 mm
 $q_o^{kor} = 1348 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1402 \text{ W/m}$

$q_k^{kor} = 348 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 402 \text{ W/m}$
 $n = 1402 / 1348 = 1,040 \Rightarrow 4,01 \%$

B = 1050 mm B = 1 × 450 mm + 2 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1302 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1411 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 302 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 411 \text{ W/m}$
 $n = 1411 / 1302 = 1,084 \Rightarrow 8,37 \%$

B = 1200 mm B = 4 × 300 mm
 $q_o^{kor} = 1282 \text{ W/m}$ $q_o^{kor} = 1431 \text{ W/m}$
 $q_k^{kor} = 282 \text{ W/m}$ $q_k^{kor} = 431 \text{ W/m}$
 $n = 1431 / 1282 = 1,116 \Rightarrow 11,62 \%$

Tab. 5 Procentní hodnocení vlivu teploty teplotnosné látky na využití sálavé složky panelu; uspořádání kompaktní a dělené

B [mm]	90/70 °C	110/70 °C	130/70 °C
	$\Delta t = 62 \text{ K}$	$\Delta t = 72 \text{ K}$	$\Delta t = 82 \text{ K}$
	%		
600			
2x 300	5,68	5,08	4,45
750			
1x 300+1x 450	6,00	5,24	4,01
900			
3x 300	9,44	8,66	8,00
1050			
2x 300+1x 450	10,36	9,10	8,37
1200			
4x 300	13,06	12,30	11,62

Uváděná procenta znamenají, že pro dosažení stejného sálavého výkonu je zapotřebí dodat vyšší celkový výkon tepelný dělených panelů proti kompaktnímu řešení panelů.

2.2 Vyhodnocení získaných podkladů

Srovnáváním hodnot tepelných výkonů panelů (q_o , q_s , q_k) různých šířek (300 až 1200 mm) a teplot teplotnosné látky lze zjistit, že sálavý podíl r se s rostoucí teplotou teplotnosné látky a šířkou panelu zvyšuje. To má za následek vyšší efektivnost vytápění.

Ze srovnání z tab. 5 jednoznačně vyplývá, že by projektant při návrhu sálavých panelů měl cílevědomě používat co nejvyšší teploty teplotnosné látky a co nejširší panely.

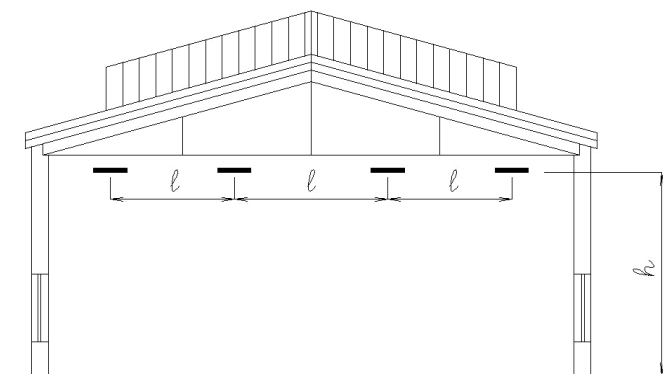
Využití vysoké teploty teplotnosné látky spočívá již v návrhu tepelného zdroje. V teplovodních soustavách menšího rozsahu se vlivem využívání kondenzačních kotlů pracuje s nízkými teplotami. Zde je zapotřebí naopak instalovat teplovodní kotle s max. teplotou na výstupu ($t_m = 105 \text{ °C}$), které podstatně sníží pořizovací náklady na dodávku sálavých panelů.

V soustavách, kde se pracuje s vyššími teplotami (horká voda) je vhodné používat v sálavých panelech přímo primární teplotnosnou látku s regulací ejektorem a minimálním rozdílem teplot v přívodu primáru a přívodu sekundáru. Příklad: **130 / 125 / 70 °C**.

$t_{m1} = 130 \text{ °C}$ přívod primární
 $t_{m4} = 125 \text{ °C}$ přívod sekundární
 $t_{m2} = t_{m3} = 70 \text{ °C}$ vratná větev primární, sekundární

K dosažení co největší šířky panelů vede cesta přes využití největší rozteče zavěšení jednotlivých pásů (obr. 4).

Pro dosažení rovnoměrnosti rozložení sálavého tepelného toku při vytápění hal, je stanovena podmínka:

Obr. 4 Zobrazení rozteče zavěšení jednotlivých pásů l

$$l \leq h$$

kde

l rozteč zavěšení pásů (obr. 4)

h výška zavěšení pásů.

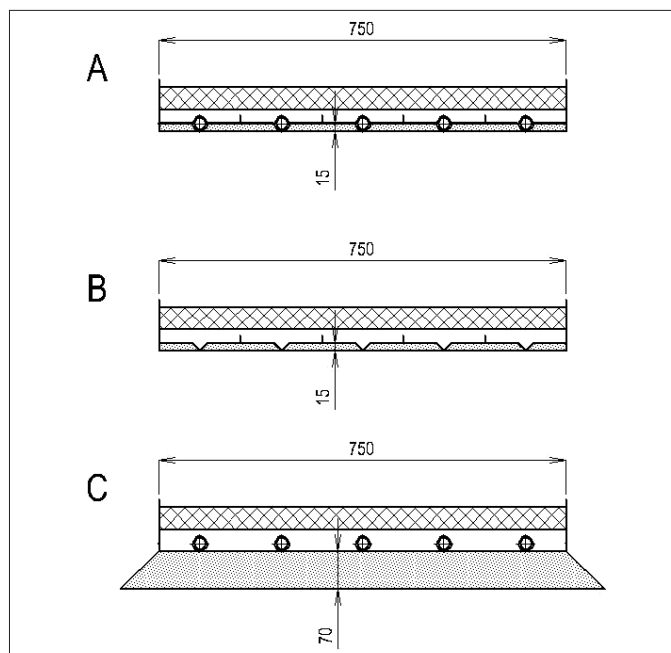
V případě, že se pracuje s malými teplotními rozdíly (např. 90/70 °C) nebo panely širšími než 900 mm, je možné rozteč l uvažovat jako vzdálenost mezi dvěma pásy. Dalším ovlivňujícím činitelem, který umožní zvětšení rozteče zavěšení pásů, je transportní cesta v ose haly. Zde je možná vzdálenost l zvětšit o šířku komunikační cesty.

3. OMEZENÍ KONVEKČNÍ SLOŽKY SÁLAVÉHO PANELU

Dalším prvkem pro dosažení maximální hospodárnosti vytápění sálavými panely je omezení konvekční složky panelu. Již v samých začátcích zavádění této soustavy jsme se spolu s Dr. Cihelkou, a Ing. Bašusem, tehdy ještě pracovníky Československé akademie věd, zabývali tímto problémem. Bylo doporučeno instalovat po stranách sálavého pásu a hladké otopné plochy postranní křídélka, která vytvoří „kapsu“ v hloubce cca 10 % šířky panelu.

Při konstrukci sálavého panelu KZ vyráběného od roku 1988 (obr. 5 A) je tato problematika řešena tak, že otopné trubky z poloviny svého profilu vyčnívají ze sálavého pásu do prostoru v hloubce 15 mm a tím vytvářejí dílčí sálavé pásy šířky 150 mm s hloubkou „kapsy“ (B) omezující konvekční složku v požadované hodnotě cca 10 %.

V případě, že by otopná plocha byla hladká bez vyčnívajících trubek, potom pro dosažení stejného efektu jako u panelů KZ a šířky 750 mm by bylo zapotřebí instalovat boční křídélka, která vytvoří „kapsu“ v hloubce 70 mm (C).



Obr. 5 Konstrukční řešení sálavého panelu s postranními křídélky za účelem snížení konvekční složky tepelného výkonu

ZÁVĚR

Z rozboru jednoznačně vyplývá, že pouhé tvrzení, že vytápění zavěšenými sálavými panely je v provozu ekonomičtější než vytápění nástěnnými teplovzdušnými soupravami nestačí.

Jak se ukazuje, každý detail v řešení, a to jak v koncepci návrhu, tak i samotné konstrukci panelu, může hrát velmi důležitou roli a může podstatně snížit energetickou náročnost soustavy.

Především rozborů a jiné získané poznatky umožnily v posledních letech podstatné úspory tepla (35 až 40 %) v halách, kde se stávající teplovzdušné vytápění nahradilo zavěšenými sálavými panely.

Kontakt na autora: miroslav.kotrbaty@kotrbaty.cz

Použité zdroje:

- [1] Kotrbatý, M. Šířka a teplota sálavých panelů mají podstatný vliv na hospodárnost vytápění. *Vytápění, větrání, instalace*, 2006, roč. 15, č. 2, s. 69–72
- [2] Kotrbatý, M. *Stupně hospodárnosti při vytápění sálavými panely*. Konference vytápění Třeboň 2007. ■