

Ing. Miroslav KOTRBATÝ,
Praha – soukromý podnikatel

Šířka a teplota sálavých panelů mají podstatný vliv na hospodárnost vytápění

The Width and Temperature of Radiant Panels Have a Substantial Influence on Heating Economy

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

V článku se specifikuje vliv rozměrů a konstrukce sálavých pásů na jejich sálavou účinnost.
Klíčová slova: přednos tepla sáláním, přenos tepla konvencí, tepelné ztráty, sálavá účinnost

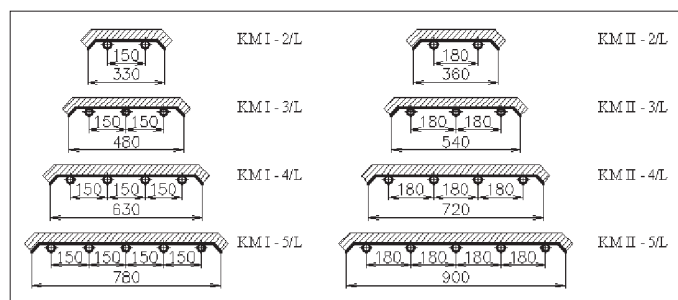
In the article, the influence of dimensions and temperature of radiant panels on their efficiency of radiation are specified and discussed.

Key words: heat transfer by radiation, heat transfer by convection, heat losses, radiant efficiency

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

Měl jsem tu možnost s ním od samých začátků spolupracovat, vyvíjet sálavé panely, projektovat a realizovat je v různých druzích průmyslových hal a jiných velkoprostorových objektech. 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 2). Šířky 330 až 780 mm, resp. 360 až 900 mm.



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

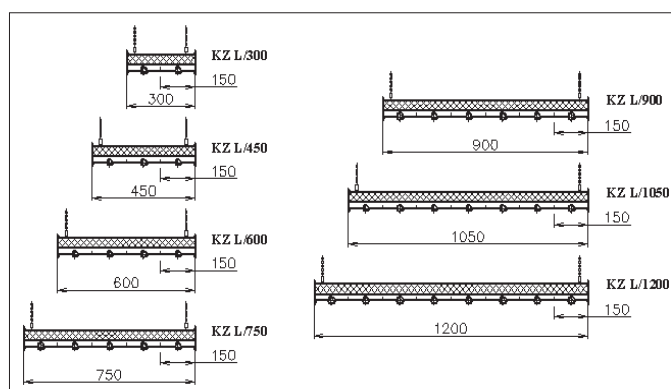
Zařízení instalovaná a sestavovaná do pásů v roce 1956 pracují bez problémů dodnes.

Od té doby jsme realizovali stovky zařízení a ve spolupráci s pracovníky Ústavu hygieny práce a chorob z povolání v Praze (Ing. dr. Oppl a Ing. Bašus) jsme měřili ve dvaceti průmyslových halách s různými otopnými systémy. Vývoj panelů a výpočtových metod pokračoval v roce 1988, kdy se začaly 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 lamely (0,8 mm) šířky 150 mm, otopné trubky ocelové ϕ 28/2,6, resp. 28/1,5, izolace 40 mm s hliníkovou fólií (obr. 3). Šířky panelů je 300 až 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.

Nová měření na realizovaných zařízeních (15 výrobních hal), výsledky ze zkušebny HLK Stuttgart, jakož i výpočetní a grafické simulace v programu



Obr. 3 Výrobní řada panelů KZ

Flovent Flomerics doktorandkou Ing. Zuzanou Kovářovou – Univerzita Bratislava a diplomantem Ing. Josefem Poubou – Ústav techniky prostředí – ČVUT v Praze, umožnily získat další poznatky, které mohou posunout tento způsob vytápění o další krok kupředu jak ve snižování spotřeby tepla, tak i zvýšení komfortu ve vytápěném prostoru. Objasnění 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.

1.0 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_0 se určuje velikost otopné plochy. Jmenovité výkony jsou udávány na 1 m délky sálavého pásu.

Výpočetní vztah dle zkušebny:

$$q_0 = 1,1 \cdot C \cdot \Delta t^n \quad [\text{W/m}]$$

$$\text{kde: } \Delta t = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{2} - t_g \quad [\text{K}]$$

$$t_{m1} - \text{teplota teplotonosné látky – přívod} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$t_{m2} - \text{teplota teplotonosné látky – zpátečka} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$t_g - \text{teplota (operativní)} \quad [^\circ\text{C}]$$

Hodnoty C a n jsou dány zkušebnou pro konkrétní výrobek, tab. 1.

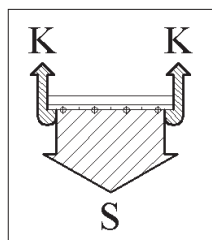
Tab. 1 Výpočtové koeficienty pro jednotlivé šířky š panelů

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

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 rozlišit 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) pak se 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

1.1 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_g) a teplotě otopné látky (t_m).

Další údaje: celkový výkon q_0 [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.

Příslušné hodnoty pro jednotlivé šířky panelů jsou uvedeny v tab. 2; 3 a 4 a následně vyjádřeny graficky v obr. 5 – „Graf závislosti sálavého podílu r (%) panelu KZ při změnách Δt (K) $\Delta t = t_m - t_g$ (K).

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

Z rozboru je možné učinit dva závěry:

- čím je šířka panelu větší, tím je i sálavý podíl větší,
- čím je vyšší teplota otopné látky (resp. Δt), tím je větší i sálavý podíl.

Je tedy zřejmé, že uvádění sálavé účinnosti pro všechny rozměry a teploty jednou hodnotou je zavádějící. Získané údaje však ukazují zcela jiný problém při navrhování sálavého vytápění.

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

Jelikož pro vytápění je rozhodující složka sálavá – přímo ovlivňuje pracovní zónu, složka konvekční, která uniká pod střešním pláštěm je vlastně ztrátová. Potom je zajímavé porovnat, jaký podíl tepla se využije pro dodávku do vy-

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

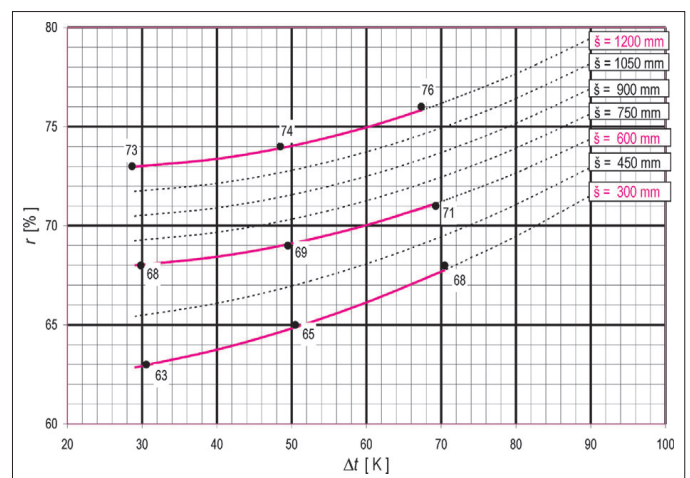
Střední teplota vody	Teplota referenční	Rozdíl teplot	Celkový výkon	Sálavý výkon	Konvekční výkon	Sálavý podíl
t_m [°C]	t_g [°C]	Δt [K]	q_0 [W/m]	q_r [W/m]	q_k [W/m]	r [%]
90,21	19,75	70,46	216	147	69	68
70,40	19,92	50,48	145	94	51	65
50,47	19,92	30,55	81	51	30	63

Tab. 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 [%]
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. 4 Výkonové parametry ze zkušebny – šířka panelu š = 1200 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



Obr. 5 Zobrazení závislosti sálavého podílu r (%) panelu KZ při změnách Δt (K)

tápěného prostoru při různých šířkách panelů a různých teplotách teplosné 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

$$Q = 100\,000 \text{ W}$$

$$\text{Teplota otopné vody } t_m = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

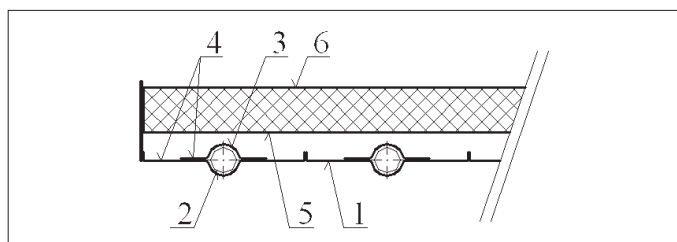
$$\text{Teplota referenční } t_g = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 62 \text{ K}$$

Sálavý panel š = 300 mm

$$q_0 = 218 \text{ W/m} \quad L = 458,7 \text{ m} \Rightarrow S = 137,6 \text{ m}^2$$

$$r [\%] = 66,5 \% \quad Q_r = 100\,000 \times 0,665 = 66\,500 \text{ W} - \text{sálavý výkon.}$$



Obr. 6 Detail panelu s reflexní plochou

Sálavý panel š = 600 mm

$q_0 = 399 \text{ W/m}$ $L = 250,6 \text{ m} \Rightarrow S = 150,4 \text{ m}^2$
 $r (\%) = 70,2 \%$ $Q_r = 100\,000 \times 0,702 = 70\,200 \text{ W}$ – sálavý výkon.

Sálavý panel š = 1200 mm

$q_0 = 725 \text{ W/m}$ $L = 137,9 \text{ m} \Rightarrow S = 165,5 \text{ m}^2$
 $r (\%) = 75,2 \%$ $Q_r = 100\,000 \times 0,752 = 75\,200 \text{ W}$ – sálavý výkon.

Vezmou-li se za základ výkonu panelů šířky $\check{s} = 300 \text{ mm}$, pak panely šířky $\check{s} = 600 \text{ mm}$ dodávají do pracovní zóny o 8,2 % více tepelné energie a panely šířky $\check{s} = 1200 \text{ mm}$ 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

$$S_{1200}^{red} = S_{1200} \cdot \frac{\eta_{300}}{\eta_{1200}} = 165,5 \cdot \frac{0,665}{0,752} = 146,35 \text{ m}^2$$

Plocha panelů může být až o 12 % menší $\Rightarrow Q_{red} = 100\,000 \text{ W} \cdot 0,88 = 88\,000 \text{ W}$.

$$S_{600}^{red} = S_{600} \cdot \frac{\eta_{300}}{\eta_{600}} = 150,4 \cdot \frac{0,665}{0,702} = 142,47 \text{ m}^2$$

Plocha panelů může být až o 7,8 % menší $\Rightarrow Q_{red} = 100\,000 \text{ W} \cdot 0,947 = 94\,720 \text{ W}$.

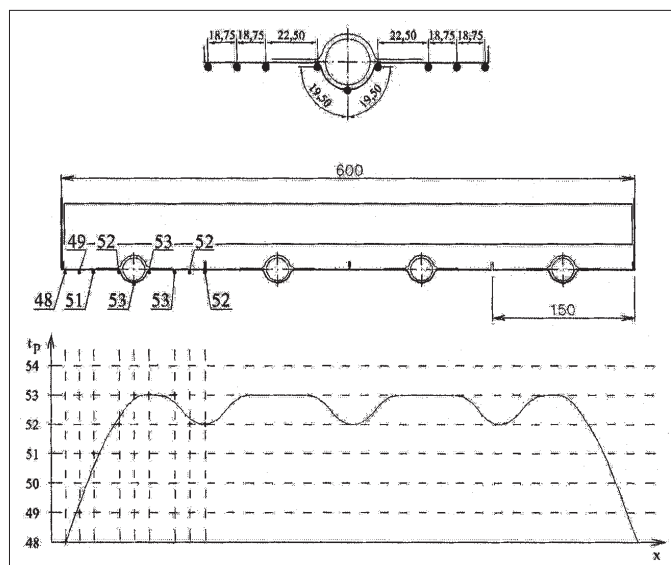
Rozmezí mezi otopnou plochou stanovenou při použití údajů q_0 (celkový výkon) zadanými zkušebníou a hodnotami redukoványými lze využít při navrhování sálavých pásů, kdy q_0 zvolené šířky nedosahuje požadované hodnoty.

Odpovídající provozní teploty 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. 6) je sestavován z hliníkových (0,8 mm) lamel (1) $\check{s} = 150 \text{ mm}$. V každé lamele je zapuštěna ocelová otopná trubka (2) $\phi 28/1,5$ (spojování panelů lisováním), resp. $\phi 28/2,6$ (spojování panelů svařováním). Krycí trubky shora zajišťuje hliníkový pás (3). Obě plochy – lamela i krycí pás jsou s vysoce leštěným povrchem, čímž se zamezuje přenosu tepla sáláním ze sálavé plochy (4) na plochu izolace (5) – 40 mm minerální vlna – shora krytá hliníkovou fólií (6).

Vysoká vodivost hliníku $\lambda = 221 \text{ W/(m K)}$, a zdvojení hliníkových ploch, v pásmu kolem trubky vytvářejí tloušťku $0,8 + 0,6 \text{ mm} = 1,4 \text{ mm}$. Tyto skutečnosti působí jen malý pokles teploty napříč povrchem 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



Obr. 7 Naměřené povrchové teploty v jednotlivých bodech panelu KZ

obr. 7 jsou uvedeny naměřené hodnoty povrchových teplot v jednotlivých bodech příčného profilu a stanoveny průměrné povrchové teploty panelů různých šířek (obr. 8). I zde se potvrzuje, že větší šířky mají vliv na sálavý výkon (vyšší střední teplota).

Poznámka

Při vývoji sálavých panelů byly měřeny i v minulosti původní panely KM – I, $\check{s} = 150 \text{ mm}$ rozteč otopných trubek, sálavý ocelový plech 1,5 mm vodivost $\lambda = 48 \text{ W/(mK)}$. Rozdíly teplot – na povrchu trubky a ve středu mezi trubkami se pohybovaly v rozmezí 4 až 5 K.

Ukázalo se tudíž, že přechod na hliník znamená výrazné zlepšení kvality výrobku, nehledě na podstatně jednodušší a snazší montáž, díky jeho nižší hmotnosti.

Průměrná teplota panelů je při povrchové teplotě ve vrcholu modulu $t_{max} = 53 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 =	1158,750 mm °C
19,50 mm x 52,5 °C =	1023,760 mm °C
79,50 mm	4029,385 mm °C

Průměrná teplota okrajové části lamely $t_1 = 4029,385 : 79,5 = 50,68 \text{ }^\circ\text{C}$

Vnitřní část modulu:

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

Průměrná teplota vnitřní části lamely $t_2 = 4185,375 : 79,5 = 52,65 \text{ }^\circ\text{C}$

Průměrné povrchové teploty panelů při $t_{max} = 53 \text{ }^\circ\text{C}$ ve vrcholu trubky:

$$\check{s} = 300 \text{ mm} \quad t_p^{300} = \frac{2 \times 50,68 + 2 \times 52,64}{4} = \frac{101,36 + 105,28}{4} = 51,66 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\check{s} = 450 \text{ mm} \quad t_p^{450} = \frac{2 \times 50,68 + 4 \times 52,64}{6} = \frac{101,36 + 210,56}{6} = 51,99 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\check{s} = 600 \text{ mm} \quad t_p^{600} = \frac{2 \times 50,68 + 6 \times 52,64}{8} = \frac{101,36 + 315,84}{8} = 52,15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\delta = 750 \text{ mm} \quad t_p^{750} = \frac{2 \times 50,68 + 8 \times 52,64}{10} = \frac{101,36 + 421,12}{10} = 52,25^\circ \text{C}$$

$$\delta = 900 \text{ mm} \quad t_p^{900} = \frac{2 \times 50,68 + 10 \times 52,64}{12} = \frac{101,36 + 526,40}{12} = 52,31^\circ \text{C}$$

$$\delta = 1050 \text{ mm} \quad t_p^{1050} = \frac{2 \times 50,68 + 12 \times 52,64}{14} = \frac{101,36 + 631,68}{14} = 52,36^\circ \text{C}$$

$$\delta = 1200 \text{ mm} \quad t_p^{1200} = \frac{2 \times 50,68 + 14 \times 52,64}{16} = \frac{101,36 + 736,96}{16} = 52,39^\circ \text{C}$$

Z výsledků jsou zřejmé dva poznatky:

- s šířkou panelu roste jeho střední povrchová teplota \Rightarrow vliv na sálavou účinnost,
- konstrukce panelu umožňuje dosažení průměrné střední teploty povrchu panelu s minimální odchylkou od teploty ($t = 53^\circ \text{C}$) v místě kontaktu ve vrcholu trubky a sálavé plochy.
($\Delta t_{300} = 53 - 51,66 = 1,34 \text{ K}$; $\Delta t_{200} = 53 - 52,39 = 0,61 \text{ K}$).

ZÁVĚR

Po rozboru vlivu teploty otopné látky 55°C a šířky sálavého panelu jednoznačně vyplývá, že oba tyto faktory mají podstatný vliv na hospodárnost soustavy vytápění velkoprostorových objektů se zavěšenými sálavými panely.

Zakládací 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 [1] (Při porovnání sálavé složky jednotlivých typů panelů hraje také roli „činná sálavá plocha“. Panely s rovinným podhledem – otopné trubky zapuštěny uvnitř – mají reálnou šířku otopné plochy odpovídající šířce panelu a větší \dot{a}_k , než panely se z poloviny zapuštěnými trubkami, které mají o 6 % větší činnou sálavou plochu a menší \dot{a}_k .

Využíváním všech zmíněných poznatků umožnilo v poslední době realizovat zařízení, kde se dosáhlo o 35 až 40 % nižších spotřeb tepla proti stávajícím nástěnným teplovzdušným soustavám.

Použité zdroje:

- Zkušební protokol – panel KZ HLK Stuttgart 2002
- Katalog K2 – výrobky pro ústřední vytápění STU 1958
- Kotrbatý, M.: Rozmístění a zapojování sálavých panelů. 14, VVI 5/2005, s. 211–216
- Kovářová, Z., Seidl, T., Poubá, J.: – garanční měření sálavých soustav (7 hal) v závodě ZSNP – Žiar nad Hronom – fa Kotrbatý 2005. ■

* Multifunkční strop

Nové požadavky na kvalitu vzduchu spolu s osvětlením a architektonickým designem vedly v SRN k vývoji multifunkčního stropu „CCS-Dekoplan“, který byl poprvé použit u novostavby hotelu Bellevue v Drážďanech.

Strop CCS se vyznačuje, kromě nízké stavební výšky 170 mm, tepelným výkonem 200 W/m^2 , chladicím 140 W/m^2 , laminárním přívodem vzduchu mikroperforací, absorpcí hluku, integrovaným osvětlením a opticky příjemným designem co do barvy a tvaru. Do stropu je možno integrovat i sprinklery. Systém podle situace upravuje vzduch i ionizací. Je kontrolován podíl kyslíku a ten stabilně aktivován, čímž se podstatně eliminují aerosoly vč. mikroorganismů. Emise ozónu jsou přítom pod kontrolou. Vzduch dodávaný stropem, vzhledem k laminárnímu proudění, může mít při chlazení teplotu jen 10°C nebo při vytápění až 35°C . Ionizace vzduchu umožňuje využití oběhového vzduchu.

Celý systém je monitorován z datového centra, příp. přes Internet.

* CCI 4/2005 (Ku)

* Čína – tvrdý oříšek

Podle průzkumu prof. Wang Zhiliho z Institutu pro mezinárodní obchod v Pekingu, dosahuje jen asi každý třetí zahraniční podnik v Číně zisky. Vybudování si pozice v Číně je obtížné: jazyk, národní nedůtklivost, zvláštnosti náborového trhu, politické vměšování do hospodářství, hrubé porušování autorské ochrany, obtížný odbyt. Dosti často končí čínský sen neočekávaně vysokými náklady, krádežemi know-how, podvody místních prodejců a rozvadenými partnery.

CCI 8/2005 (Ku)

* Světový trh klimajednotek v roce 2004 a 2005

Podle sdělení japonského časopisu Jarn, vzroste v roce 2005 prodej klimajednotek asi o 7 procent na 62 mil. kusů. Přitom se jedná především o okenní a split jednotky

s chladicími výkony do 5 kW a „balené“ (packaged) jednotky s vyšším výkonem plus nástěnné centrály. Pokud se týče zemí je na špičce Čína s 22,2 mil. přístrojů, následována USA s 13,1 mil. kusů, Japonskem se 7,7 mil. kusů a Evropou s 6 mil. Na zbytek (Korea, Afrika, střední a jižní Amerika, Oceánie, Indie a Střední východ) připadá 13,1 mil. kusů. V údajích bohužel není obsaženo Rusko.

CCI 8/2005 (Ku)

* Carrier sází na Čínu

Výstavbou výzkumného a vývojového centra o ploše 20 000 m² v čínském Jinqiao potvrzuje vedoucí světová firma Carrier (obrat v r. 2004 cca 10,6 miliard \$) budoucí strategický význam čínského trhu. Toto 15. Carrierovo výzkumné a vývojové centrum přijde na cca 150 milionů \$ a má po dohotovení v roce 2008 zaměstnávat asi 150 osob.

CCI 8/2005 (Ku)

* „Proudové“ ventilátory

Po mnoha diskusích a informačních akcích na téma „ochrana před požárem a odkuřování“ bylo přijato k ochraně únikových cest, kromě běžného řešení odsávacími systémy s ocelovým potrubím, použití „proudových“ ventilátorů (Jet Fans). To se týká zejména odkuřování velkých podzemních garáží. Ventilátory mají teplotní odolnost 300°C po dobu 60 minut.

Ventilátory se umísťují, místo rozvodu potrubí, pod stropem v určitých vzdálenostech. Podle sdělení výrobců se jimi dosáhne efektivního odvodu kouře z daného požárního úseku, kam se na jedné straně přivádí vzduch buď podtlakem nebo nuceně a na druhé straně odvádí šachtami s ventilátory. Odstup proudových ventilátorů se udává cca 20 m a jeden ventilátor údajně pokrývá asi 400 m² plochy.

Ventilátory se sdružují do skupin po 5 až 8 kusech do jedné sekce.

CCI 8/2005 (Ku)