

Ing. Ondřej HOJER
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí.

Kombinace světlých zářičů a zpětného získávání tepla

Combination of High Intensity Luminous Radiators and Heat Recovery

Recenzenti
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.
doc. Ing. Jiří Bašta, CSc.

V článku je diskutován problém absence minimálního hygienického větrání při vytápění průmyslové haly světlymi plynovými zářiči a jako jedno z možných řešení je uvažována jednotka se zpětným získáváním tepla. Na základě simulačního výpočtu v softwaru Fluent jsou navrženy optimální umístění přívaděcích resp. odváděcích výustek.

Klíčová slova: vytápění, zpětné získávání tepla, světlé zářiče, průmyslové haly

In the article, the problem of absence of even a minimum level of ventilation rate requirements in industrial halls heated by high intensity gas radiators is discussed. Installing heat recovery units in these situations were considered as one of the possible solutions. Simulations of such combinations based on the FLUENT software were carried out. As a result, the optimum locations of supply and exhaust outlets of the air system were defined.

Key words: heating, heat recovery, heat transfer by convection, bright radiators, industrial halls

ÚVOD

V současné technické praxi se v průmyslových objektech při použití světlých zářičů velmi často mlčky přechází problém s absencí minimálního hygienického větrání. V důsledku tvrdého konkurenčního boje jsou projektanti postaveni před volbu: navrhnout technicky správné řešení, které splňuje všechny požadavky, ale vyžaduje zvýšené investiční prostředky nebo navrhnout jen nezbytně nutná opatření pro stavební povolení, aby jejich projekty byly z finančního hlediska schopné konkurence. Bohužel v dnešní době se již tolik nehledí na technické řešení, ale každý investor srovnává hlavně cenu.

Zabýváme se konkrétním případem vytápění průmyslové haly infračervenými zářiči. Ve většině případů se větrání v projektu řeší pouze odvodem spalín. Konkrétně v případě vytápění světlymi zářiči se spočítá podle ČSN 06 0219 (EN 13410) minimální průtok odváděného vzduchu na 1 instalovaný kW (10 m³/h) a na tento průtok vzduchu se nejčastěji určí axiální ventilátor, který se umístí do čela světlíku. Mlčky se přitom předpokládá, že vzduch který se musí přivádět do haly, se do ní dostane infiltrací díky vzniklému podtlaku. Musíme přitom uvažovat infiltraci způsobenou dvěma vlivy. První je podtlak v místnosti a druhý je účinek větru. Ve starých halách, mnohdy s děravými okny, světlíky a nedoléhajícími vraty se žádný problém neobjeví, ale při současném trendu snižování nákladů na vytápění v důsledku zdražování primárních energií se jako součást úsporných opatření instalují do hal těsná okna a dveře. Snižuje se tak počet instalovaných kW a rovněž průtok větracího vzduchu. Do haly tedy vniká mnohem méně čerstvého vzduchu.

Příklad 1

Špatně zateplená hala 60 x 18 x 9 m
(jedna stěna venkovní, okno po celé délce, dvoje vrata, uprostřed střechy sedlový světlík, B8, $t_{ev} = -15\text{ °C}$)

Tepelné technické parametry konstrukcí:

okna a světlík	$U = 7,0\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, i = 1,90 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}^{0,67})$;
vnější stěna	$U = 1,7\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
vnitřní stěna	$U = 1,5\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Instalovaný výkon (tepelná ztráta)	260 kW
Objem odváděného (přiváděného) vzduchu	2600 m³/h
Průtok vzduchu přiváděného infiltrací (účinky větru)	780 m³/h.

Abychom dostali nějaké srovnávací hodnoty, budeme uvažovat, že v takovéto hale pracuje 30 lidí.

Minimum venkovního vzduchu 30 · 70 = 2100 m³/h.

Minimální hygienický průtok venkovního vzduchu dle Nařízení vlády č. 523/2002 Sb. (novelizace NV 178/2002 Sb.), kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci a to v příloze č. 4 musí být 50 m³/h na osobu pro práci převážně vsedě, 70 m³/h na osobu pro práci převážně vstojе a v chůzi a 90 m³/h na osobu při těžké fyzické práci.

Příklad 2

Hala 60 x 18 x 9 m zateplená dle ČSN 73 0540-2

Tepelné technické parametry konstrukcí:

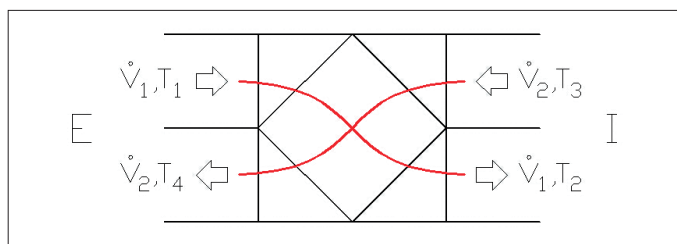
okna	$U = 1,7\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, i = 0,40 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}^{0,67})$
sveřlík	$U = 1,5\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, i = 0,87 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}^{0,67})$
vnější stěna	$U = 0,3\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
vnitřní stěna	$U = 2,7\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Instalovaný výkon (tepelná ztráta)	130 kW
Průtok odváděného (přiváděného) vzduchu	1300 m³/h
Průtok vzduchu přiváděného infiltrací (účinky větru)	260 m³/h
Minimum venkovního vzduchu	30 · 70 = 2100 m³/h.

V prvním příkladu je uvažována špatně zateplená hala, reprezentující variantu s vyhovujícím průtokem venkovního vzduchu. Musíme si však uvědomit, že ideální stav z pohledu hygienického to také není, neboť stále počítáme, že se potřebný průtok venkovního vzduchu do haly dostane infiltrací. Na druhém příkladu je vidět, že u dobře zateplené a izolované haly jsme již pod úrovní hygienických limitů a měli bychom jako projektanti uvažovat o náhradním řešení, které by bylo na jednu stranu co nejlevnější a na druhou technicky optimální.

REKUPERACE

Jedním z možných řešení připadajících v úvahu je instalace rekuperační nebo regenerační jednotky do oblasti pod střešní plášť. Pokud se odtah umístí v hale do místa s nejvyšší teplotou je možné rekuperační jednotkou ušetřit značné množství energie. Ta by jinak byla znehodnocena buď ohřátím střešního pláště a následným zvýšením tepelné ztráty prostupem, nebo přímo odvedena axiálním ventilátorem mimo objekt.

Zpětné získávání tepla nabývá, díky zvyšujícím se nákladům na energie, čím dál víc na důležitosti. Instaluje se do velkého množství projektů týkajících se větrání nebo klimatizace a to buď ve formě rekuperace tepla nebo v létě chladu. Vždy je však instalace spojena s otázkou doby návratnosti investice. Výrobci na tuto potřebu reagují stále se zlepšujícími parametry zařízení, nazýváme je jednotně rekuperační jednotky. Průtok vzduchu je možné volit ve velmi široké škále a nastavit parametry pro každou konkrétní



Obr. 1 Schéma výměníku zpětného získávání tepla

ní aplikaci. Účinnost rekuperačního výměníku se obvykle pohybuje od 55 do 90 % u špičkových výrobků. Také maximální teplota nasávaného vzduchu se již pohybuje poměrně vysoko. Můžeme se setkat i s teplotami nad 65 °C.

Účinností výměníku je poměr tepelného toku sdíleného přiváděnému vzduchu (se změnou teploty z t_1 na t_2) a maximálně možného daného vstupními teplotami odváděného t_3 a přiváděného t_1 vzduchu do výměníku (obr. 1).

$$\eta_v = \frac{C_1(t_2 - t_1)}{C_{\min}(t_3 - t_1)} \quad [-] \quad (1)$$

kde

C tepelná kapacita průtoku vzduchu; $C = \rho V_c$

[J/K]

ρ hustota vzduchu při teplotách vzduchu

[kg/m³]

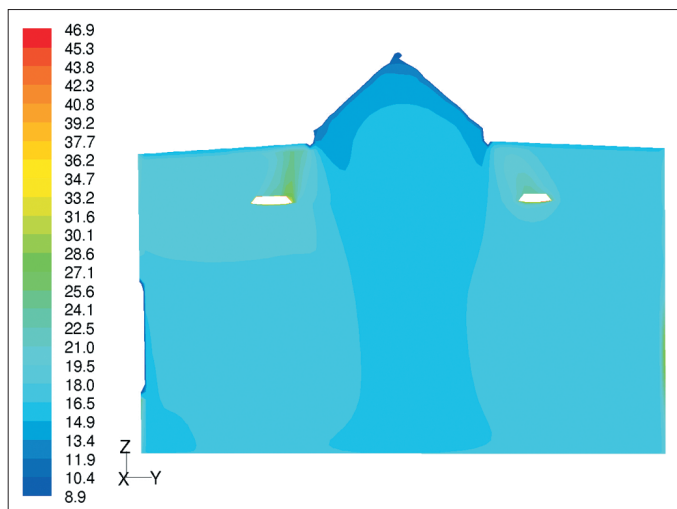
U běžných zařízení se objemové průtoky rovnají a rozdíl v měrných tepelných kapacitách a hustotách je zanedbatelný. Pak je účinnost daná vztahem

$$\eta_v = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \quad [-] \quad (2)$$

Ze vztahů (1) a (2) plyne, že účinnost bude tím vyšší, čím menší bude rozdíl mezi teplotou přiváděného t_2 a odváděného t_3 vzduchu.

INSTALACE

Pro určení optimálního umístění odváděcí, popř. přiváděcí výústky byla použita počítačová simulace průmyslové haly vytápěné světlymi zářiči vytvořená v programu Fluent. Rozbor některých výsledků byl již publikován a použit pro optimalizaci návrhu světelných zářičů (VVI 4/2005). Z důvodu vysokých nároků na výpočetní čas a komplikovanosti, byla simulace zjednodušena. Nejvýznamnějším zjednodušením je eliminace toku vlastních



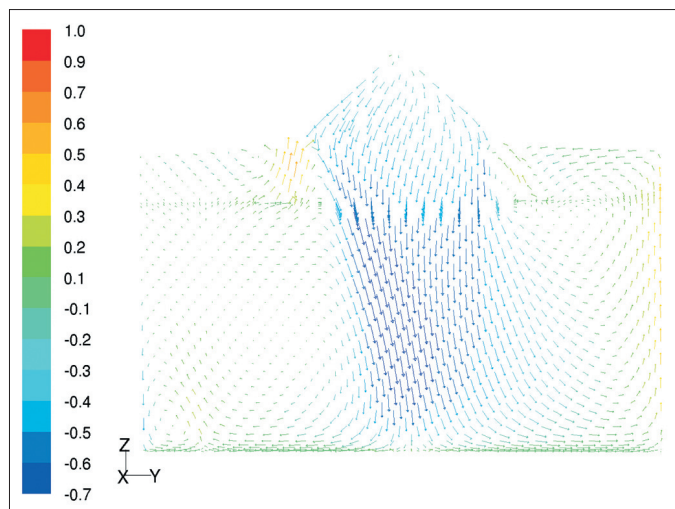
Obr. 2 Rozložení teplot vzduchu v 9 m vysoké hale vytápěné světlymi plynovými zářiči

spalin nad zářičem. Znamená to, že výsledné obrázky reprezentují poměry v hale, ale teplota přímo nad zářičem je vyšší. Pro určení optimálního umístění výústek rekuperační jednotky by neměl mít tento faktor významný vliv.

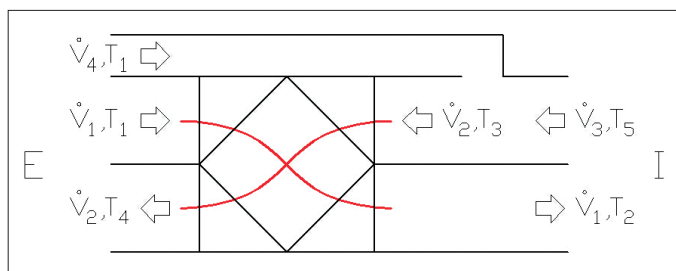
Řešená hala je stejná jako byla uvažována v příkladu 1. Jedná se o krajní loď většího halového komplexu. Jednu z dlouhých stěn má ochlazovanou a ostatní jsou vnitřní neochlazované. Po celé délce vnější stěny jsou asi 1,5 m nad zemí umístěná okna. Vytápění je navrženo světlymi plynovými zářiči, které jsou napočítány podle zpřesněné metodiky [2]. Výsledkem návrhu je umístění zářiče vyššího výkonu k ochlazované stěně. Pro prezentaci výsledků byl vybrán řez vedený v místě, kde jsou zavěšeny zářiče.

Z obr. 2 je patrné rozložení teplot vzduchu v řezu halou. Aby měl obrázek určitou vypovídající hodnotu bylo zvoleno měřítko od 282 do 320 K (9 až 53 °C). Z toho důvodu jsou místa, kde je teplota buď vyšší nebo nižší než zvolené měřítko, bílá. Podle rozložení teplot je možné usuzovat, že celý prostor haly ovlivňují hlavně studený proud vzduchu od světlíku a částečně i od okna a zároveň teplé konvekční proudy vznikající v oblasti zářičů. Nad každým zářičem vzniká silný konvekční proud, smíšený s proudem spalin, který stoupá směrem pod střešní plášť. Zároveň si můžeme všimnout i teplého proudu vznikajícího u vnitřní stěny. Z obr. 2 můžeme konstatovat, že optimální místo pro umístění odváděcí výústky je přímo nad zářičem mírně posunutě směrem ke světlíku. Pro umístění přiváděcí výústky je třeba ještě zobrazit vektory rychlostí proudění v hale (obr.3).

Obr. 3 potvrzuje předchozí předpoklady o obrazu proudění v hale, vycházející z rozložení teplot vzduchu. Vidíme zde, že teplý proud od zářiče s vyšším výkonem je podle předpokladů mnohem mohutnější, než od zářiče menšího a proto bude lépe zpřesnit ještě umístění odváděcí výústky. Ta by měla být umístěna nad zářičem s vyšším výkonem. Obr. 3 je velmi důležitý hlavně pro umístění výústky přiváděcí. Jak je vidět, chladný konvekční proud od světlíku nejen že klesá směrem k podlaze, ale způsobuje promývání celé pracovní oblasti. Umístit přiváděcí výústku do tohoto proudu se tedy jeví jako ideální řešení. Teplota přiváděného vzduchu by měla být podle konkrétní rekuperační jednotky stanovena tak, aby výrazně nenarušovala ráz přirozeného proudění. Doporučuje se teplota vzduchu 15 až 18 °C. Výústku bude vhodné umístit zhruba do úrovně zářičů, kde má padající proud již dostatečnou rychlost a případný rozdíl teploty přiváděného vzduchu a vzduchu okolního konvekčního proudu výrazně nenaruší. Umístění přívodu venkovního vzduchu z půdorysného hlediska již není tak důležité, nabízí se však umístění doprostřed mezi čtyři instalované zářiče, čímž se teoreticky sníží jejich potřebný počet. Musíme ovšem dbát na to, aby přiváděcí ventilátor posky-



Obr. 3 Rozložení rychlostního pole v 9 m vysoké hale vytápěné světlymi plynovými zářiči



Obr. 4 Schéma napojení pro eliminaci vysoké teploty před výměníkem

tovat dostatečný dopravní tlak. Umístění samotné rekuperační jednotky už je spíše otázkou vlastní konstrukce haly a také konstrukce jednotky. Umístit jednotku do oblasti teplejšího vzduchu by mohlo být z hlediska její účinnosti pouze výhodou. Existují však i jednotky, které pracují při vysoké účinnosti i při instalaci na střeše objektu. Jednotky pro ZZT mohou být různě komplikované a mohou mít i velké množství funkcí (větrání, cirkulace, ZZT) dokonce je lze použít i v letních měsících k nočnímu chlazení, což může být z hlediska ekonomického zhodnocení investice dalším pádným argumentem.

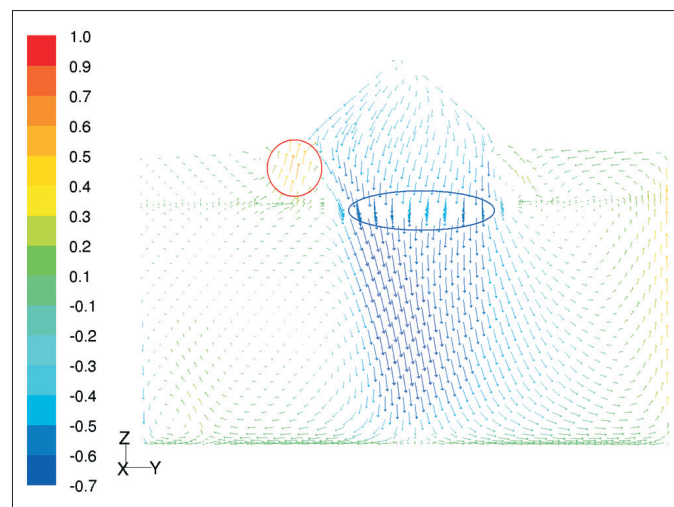
Mezi hlavní problémy instalace rekuperační jednotky v kombinaci se světly patří extrémně vysoká teplota spalin. V oblasti těsně nad zářičem se teplota může pohybovat až okolo 200 °C. Dalším problémem je, že není možné přivádět v zimním období vzduch do haly nějak extrémně teplý, neboť bychom velmi narušili přirozené proudění v hale, které chceme využít k distribuci čerstvého vzduchu do pracovní oblasti.

Problém s vysokou teplotou se dá vyřešit regulovaným smíšením odpadního vzduchu se vzduchem venkovním a to ještě před vstupem do výměníku. V odtahu může být instalováno čidlo a podle jeho údaje je možné regulovat průtok venkovního vzduchu, aby teplota ve výměníku nepřestoupila konstrukční mez (obr. 4).

Zapojení z obr. 4 má ještě jednu velkou výhodu a to, že rekuperační jednotky se většinou dodávají jako nedělitelný celek, kde se maximálně dají nastavit přepnutím různých otáček různé průtoky na ventilátorech, ale pokud umístíme samostatný ventilátor do obtoku budeme schopni jeho regulaci poměrně přesně stanovit výstupní teplotu jdoucí do haly. Můžeme tedy ze známých parametrů od výrobce (účinnost výměníku, parametry ventilátorů) nadimenzovat různé varianty distribuce vzduchu.

ZÁVĚR

Začlenění ZZT do návrhu vytápění průmyslové haly se ukazuje při dnešním trendu snižování spotřeb energie jako jedno z možných a zároveň úsporných řešení problematiky větrání (přivodu čerstvého vzduchu) hal. Při instalaci takového zařízení je ovšem nutné dbát základních pravidel. Umísťovat odtah teplého vzduchu do oblastí s nejvyšší teplotou (obr. 5 červená oblast), a přívod čerstvého ohřátého vzduchu ze ZZT do oblastí padajícího chladného proudu (obr. 5 modrá oblast). Tímto způsobem získáme maximální možné množství využitelné energie a zároveň zajistíme i dodávku čerstvého vzduchu do celé pracovní oblasti.



Obr. 5 Optimalní umístění odtahu (červeně), resp. přivodu (modře), od jednotky ZZT

Bylo podpořeno VZ MSM 684 077 0011.

Použité zdroje:

- [1] Hojer, O. Geometrie sálání světelných zářičů; Vytápění – sborník z konference Vytápění – Třeboň 2005; ISBN 80-02-01724-2; STP 2005; str. 85–88
- [2] Hojer, O. Metodika návrhu plynových zářičů; Časopis VVI 4/2005, str.171-172 ISSN 1210-1389; STP 2005
- [3] Morávek, P. Stavíme energeticky úsporný dům (X) – Mikroklima nízkoenergetických budov, rekuperace, teplovzdušné vytápění; článek publikovaný na portálu tzb-info.cz
- [4] Hemzal, K. Energeticky úsporné větrání průmyslových provozů; Konference – Pracovní prostředí průmyslových provozů; Příbram 1980. ■