Ing. Josef PLÁŠEK, Ph.D. doc. Ing. Ondřej ŠIKULA, Ph.D. Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov

Numerická simulace rozložení střední radiační teploty v hale provozního ošetření vozů metra, vytápěné sálavými panely

Numerical Simulation of Central Radiant Temperature Distribution in Hall for Metro Wagons Service Maintenance Heated with Radiant Heating Panels

Recenzenti: prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. Ing. Ondřej Hojer, Ph.D. Příspěvek se zabývá vnitřním prostředím v hale provozního ošetření vozů metra, která je vytápěna sálavými panely. V této sálavě vytápěné hale bylo v typickém 2D řezu numericky simulováno rozložení střední radiační teploty. K získání povrchových teplot byl použit radiační model "surface to surface" (S2S). Výsledky numerické simulace ukazují rozdílné rozložení střední radiační teploty v hale prázdné a v hale plné během provozního ošetření vozů metra. Tyto rozdíly střední radiační teploty podle výsledků z numerické simulace dosahují v pobytové zóně osob až 5 K.

Klíčová slova: sálavé vytápění, simulace, sálavé panely, střední radiační teplota

Authors deal with the inside environment in the hall for the service maintenance of metro wagons that is heated with radiant heating panels, in their article. The distribution of the central radiant temperature in this hall heated with radiation was simulated numerically in the typical 2D section. The radiation model "surface to surface" (S2S) was used for obtaining surface temperatures. Results of the central radiant temperature in the empty hall and the hall full during the process of the metro wagons service maintenance indicate the different distribution. Such differences of the central radiant temperature in the occupational zone achieve up to 5 K. **Key words:** radiant heating, simulation, radiant panels, central radiant temperature

ÚVOD

Průmyslové objekty jsou často vytápěny sálavými panely. Návrh těchto sálavých panelů se realizuje, s ohledem na rozložení operativní teploty v pobytové zóně osob – blíže viz [1]. Pro stanovení operativní teploty při sálavém vytápění je rozhodující hodnota střední radiační teploty v daném místě. Rozložení střední radiační teploty ve vnitřním prostředí je však proměnné a závisí na běžném provozu haly – blíže viz [2]. Příkladem prezentovaným v příspěvku je hala provozního ošetření vozů metra vybavená sálavým vytápěním, kdy jednotlivé vozy metra vytvářejí ve svém okolí radiační stíny. Tento nepříznivý stav byl numericky simulován v softwaru RadiA, který je v současné době vyvíjen na ústavu TZB, VUT v Brně. Výsledky získané z numerické simulace jsou uvedeny dále v příspěvku.

GEOMETRIE HALY

Vybraná výpočetní geometrie haly pražského metra (DEPO Kačerov) byla převzata podle skutečné projektové dokumentace sálavého vytápění. Vybraná hala provozního ošetření vozů metra je tvořena ocelovým skeletem šířky 24 m v délce 200 m se střešními příhradovými vazníky a podélným světlíkem v hřebeni sedlové střechy. Vzhledem k řádově delší délce vzhledem k šířce haly, a obdobně rozloženým okrajovým podmínkám, lze s dostatečnou přesností redukovat celý problém na 2D. Řešená hala provozního ošetření ($t_0 = 16$ °C) přiléhá z jedné strany k hale mytí ($t_0 = 16$ °C) a na druhé straně k hale remizování ($t_0 = 2$ °C). Řešená hala provozního ošetření vozů metra je vytápěna čtyřmí průběžnými teplovodními sálavými pasy typu KZ 600 firmy Kotrbatý [3], které jsou zavěšeny ve výšce 5300 mm nad podlahou.

VÝPOČETNÍ MODEL

Výpočetní model sálavě vytápěné haly, ve které probíhá provozní ošetření vozů metra, byl vytvořen ve vyvíjeném softwaru RadiA. Celá výpočetní geometrie je definována 147 konstrukcemi (294 povrchy) v rastrové síti o rozměru 50 × 50 mm. Zvolený výpočetní algoritmus – blíže popsaný



Obr. 1 Výpočetní geometrie vybrané haly provozního ošetření vozů metra (DEPO Kačerov)



Obr. 2 Výpočetní model haly provozního ošetření vozů metra

v literatuře [4] – umožňuje řešit rozložení střední radiační teploty v ploše, kde ke stanovení povrchových teplot využívá radiačního modelu surface to surface (S2S) v kombinaci s jednorozměrným vedením tepla v konstrukcích. Každé zadané konstrukci byly přiřazeny její tepelně technické vlastnosti, které jsou uvedeny v tab. 1. Emisivita všech povrchů byla zjednodušeně uvažována hodnotou $\varepsilon = 0,90$.

Numerická simulace haly provozního ošetření vozů metra byla provedena v následujících variantách: Varianta A – prázdná hala provozního ošetření vozů metra,

- **Varianta B** obsazená hala pěti vozy metra, kdy jsou vozy metra dobře větrány, a teplota uvnitř vozů je rovna teplotě vzduchu v hale $(t_a = 12 \text{ °C})$,
- Varianta C obsazená hala pěti vozy metra, kdy nejsou vozy metra větrány, a teplota uvnitř vozů převyšuje teplotu vzduchu díky tepelnému toku ze sálavých panelů.

Název konstrukce	Tloušťka <i>d</i> [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ _{eff} [W/(m K)]*	Tepelný odpor při vedení tepla <i>R</i> [(m²K)/W]
Podlaha + zemina	2,00	2,14	0,935
Cihlová stěna	0,35	0,88	0,398
Střešní plášť	0,20	1,24	0,161
Hřebenový světlík	0,04	0,76	0,053
Sálavý panel - izolace	0,04	0,05	0,800
Opláštění vozu metra	0,04	7,34	0,005
Okno vozu metra	0,03	1,00	0,030

Tab. 1 Materiálové vlastnosti jednotlivých konstrukcí zadaných v numerické simulaci

*Materiálové vlastnosti konstrukcí jsou v numerickém modelu zadány ekvivalentními hodnotami

Dále byly v numerickém modelu, viz tab. 2 definovány okrajové podmínky výpočtu. Sálavé panely byly zadány vnitřním zdrojem tepla, jehož výkon byl hledán iteračně tak, aby při teplotě vzduchu $t_a = 12$ °C byla dosažena střední radiační teplota v pobytové zóně osob $t_m = 20$ °C, a tím bylo v hale docíleno požadované operativní teploty $t_o = 16$ °C. Výkon vnitřního zdroje tepla byl ve všech variantách konstantní a to Q = 995 W/m², což také přibližně odpovídá technickým listům výrobce [3]. Zde výrobce sálavých panelů uvádí u šířky 600 mm výkon Q = 597 W/m při rozdílu teplot $t_{pm} = 90$ K, jako rozdíl mezi teplotou vzduchu a střední povrchovou teplotou panelů. Podle podkladů výrobce tato povrchová teplota odpovídá přibližně střední teplotě vody ≈ 100 °C.

Tab. 2 Okrajové podmínky výpočtu definované v numerické simulaci

Prostředí	Teplota <i>t</i> [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m²K)]*	Vnitřní zdroj tepla <i>Q</i> [W/m²]
Zemina	8 ¹		0
Exteriér	-10	23	0
Interiér	12	44	0
Hala mytí	16	44	0
Hala remizování	2	44	0
Sálavý panel	12	10	995 ²
Uvnitř vozu metra ³	12 ³	4 ^{3,4}	0 ³

Poznámky:

¹ Průměrná roční teplota zeminy v hloubce 2 m pod halou (Dirichletova okrajová podmínka).

² Výkon vnitřního zdroje tepla vytvoří povrchovou teplotu sálavého panelu 100 °C.

³ Okrajová podmínka je uplatněna pouze ve variantě B.

⁴ Uvažovaný součinitel přestupu tepla je pouze konvekcí.

VÝSLEDKY NUMERICKÉ SIMULACE

Rozložení střední radiační teploty po výšce haly a v horizontálních řezech ve výšce 0,1 m, 1,1 m a výšce 1,7 m nad podlahou je zobrazeno na následujících obrázcích 3 až 6.



Obr. 3 Horizontální rozložení střední radiační teploty v příčném řezu halou ve výšce 0,10 m



Obr. 4 Horizontální rozložení střední radiační teploty v příčném řezu halou ve výšce 1,10 m



Obr. 5 Horizontální rozložení střední radiační teploty v příčném řezu halou ve výšce 1,70 m



Obr. 6 Vertikální rozložení střední radiační teploty v Řezu I., Řezu II. a Řezu III

ZÁVĚR

Z výsledků numerické simulace vyplývá, že rozdíl střední radiační teploty mezi prázdnou a obsazenou halou při uvažování časově ustálených dějů je až 5 K a to ve výšce h = 0,1 m nad podlahou, jak dokládá horizontální řez halou (obr. 3). Naopak ve výšce h = 1,7 m (obr. 5) nad podlahou je rozdíl menší, přibližně 2 K. Zkoumaný negativní vliv radiačního stínu v okolí vozu metra je tedy patrný, ale s rostoucí výškou klesá, viz obr. 6 - – svislé řezy mezi vozy metra.

Další testovaný vliv větrání vozu metra se projevuje vyšší radiační teplotou uvnitř vozu metra a to přibližně o 2 K, přesto je střední radiační teplota ve voze metra příliš nízká ($t_{rm} = 14$ °C) a pro práci uvnitř vozu nevyhovující, jak ukazují horizontální řezy halou (obr. 3 až 5 a obr. 8 a 9). Mezi vozy se vliv větrání (Varianta B) a nevětrání vozu (Varianta C) metra příliš neprojevuje.

Průměrná operativní teplota v pobytové oblasti haly se pohybuje kolem požadovaných 16 °C. Provedená numerická simulace však ukazuje, že rozložení střední radiační teploty se mění podle způsobu užívání haly.



Obr. 7 Varianta A – Rozložení střední radiační teploty v prázdné hale



Obr. 8 Varianta B – Rozložení střední radiační teploty v hale s větranými vozy metra



Obr. 9 Varianta C – Rozložení střední radiační teploty v hale s nevětranými vozy metra

Tento jev může i při správně navrženém sálavém vytápění v hale způsobit dočasný lokální diskomfort, kterému lze při návrhu sálavých panelů jen těžko předcházet.

Platinový LEED v prosklené fasádě

Po tříleté přestavbě vznikla z budovy bývalé centrály koncernu Unilever v Hamburku nová kancelářská budova Emporio Tower. Za dvojitě proskleným pláštěm budovy se skrývá památkově chráněná originální fasáda budovy z roku 1963, s 98 m a 24 nadzemními podlažími s plochou 37 700 m² jedna z prvních výškových budov města. Právě originální prosklené opláštění odhalující původní plášť bylo podmínkou povolení stavby. V říjnu 2012 získala nová budova platinový certifikát LEED amerického US Green Building Council. Investorem budovy podle projektu Hentrich-Petschnigg & Partner z Düsseldorfu je hamburská společnost Investors Union.

Nový dvojitý plášť z 16 mm vrstveného bezpečnostního skla s odstupem 13,5 cm zajišťuje dokonalé větrání, tepelnou a zvukovou izolaci. Na stavbě byla pozoruhodná synchronizace montážních prací, při které bylo vyměněno 2700 skleněných elementů původní fasády, která zajistila rovnoměrné zatěžování původní konstrukce.

Výměna zajistila, že proti původní konstrukci má ta nová při stejném vnějším vzhledu o 75 % nižší náklady budovy na vytápění a větrání. Okenní elementy v otočném provedení umožňují snadnou čistitelnost fasádního pláště. Vysoce výkonná větrací zařízení mají 90% účinnost ZZT a zajišťují až 2,3násobnou výměnu vzduchu s potřebou 50 až 60 m³/h čerstvého



Obr. 10 Nezanedbatelný vliv radiačních stínů mezi prázdnou a obsazenou halou

Využití časově ustálených dějů vychází z předpokladu, že soupravy metra stojí v hale delší dobu. Pokud by byl uvažován časově neustálený děj odehrávající se po příjezdu souprav z venkovního chladnějšího prostředí do haly, byly by povrchové teploty souprav ještě nižší, čímž by snižovaly i střední radiační teploty ve svém okolí a výše prezentované nepříznivé jevy by se tak ještě zvýraznily.

Použitý numerický model výpočtu střední radiační teploty s využitím metody S2S implementovaný v softwaru RadiA se tak jeví být vhodným a užitečným nástrojem pro identifikaci těchto negativních jevů. Umožnění identifikace negativních jevů je nezbytným předpokladem pro případný návrh opatření vedoucích k jejich eliminaci.

Kontakt na autora: plasek.j@fce.vutbr.cz

Tento příspěvek byl podpořen projekty číslo CZ.1.07/2.3.00/30.0039, Excelentní mladí vědci na Vysokém učení technické v Brně a FAST-J-13-2098 Specifického výzkumu 2013 na Vysokém učení technickém v Brně.

Použité zdroje:

- Kabele K., Hojer O., Kotrbatý M., Sommer K., Petráš D. Energy efficient heating and ventilation of large halls. Rehva guidebook no. 15. REHVA. Bruxelles 2011. ISBN 978-2-930521-06-0
- Hojer O. Zonal method for radiant heating design in large space buildings. Rehva journal. 48(6), 2011. ISSN 1307-3729
- [3] Kotrbatý s.r.o. Sálavé panely KOTRBATÝ KZ, [online]. http://www.kotrbaty.cz
- [4] Plášek J., Šikula O. Modelování tepelného sálání v budovách. Vysoké učení technické v Brně, 150 stran, ISBN: 978-80-214-4383- 9.

vzduchu na osobu. Střešní nástavba poskytuje skvělý kruhový výhled na Hamburk. Vedle Emporio Tower byla přistavěna též 7patrová novostavba hotelu Scandic Hotel se 17 700 m² a 325 pokoji, která má též 3800 m² obytné a 835 m² kancelářské plochy.

Pramen: CCI 14/2012

(AB)

Odprašování abrazivních prachů

Nová stavební řada VH odprašovacích zařízení PowerCore firmy Donaldson je vhodná pro průtoky 3000 až 27 000 m³/h v prostředí s výskytem abrazivních prachů jako jsou brusné prachy ze zpracování kovů. Ve srovnání s konvenčními filtračními hadicemi nebo patronami jsou zařízení PowerCore až o 65 % menší. Jako filtrační materiál slouží tkaniny Ultra-Web z nanovláken, upravené do tvarů kanálů.

Jestliže předtím bylo nutno filtrační hadice a patrony použít nejdříve 10 minut po výměně, zkracuje se nyní tato doba na 2 minuty. Současně se zvyšuje účinnost filtrace. Podle laboratorních testů snižují nová filtrační média emise prachů až o 78 % proti dosavadním polyesterovým materiálům. Impulzní proudění také udržuje nízký tlakový spád a zvyšuje životnost filtrů.

Pramen: CCI 13/2012

(AB)