

TEPELNO-FLUIDNÁ NUMERICKÁ ANALÝZA PRÚDENIA VZDUCHU S PODPOROU TERMOVÍZIE

THERMAL AND FLUID NUMERICAL ANALYSIS OF THE AIR FLOW SUPPORTED BY THERMOVISION

Bohumil TARABA, Stanislav ŠŤASTNÍK*, Maria BEHÚLOVÁ,
Hana KMÍNOVÁ*

Autori: **Doc. Ing. Bohumil Taraba, CSc., RNDr. Mária Behúlová, CSc.**
***Doc. Ing. RNDr. Stanislav Šťastník, CSc., *Ing. Hana Kmínová**
Pracovisko: **Katedra aplikovanej mechaniky, Materiálovotechnologická fakulta STU**
v Bratislave
***Ústav stavebných hmot a dílců, Fakulta stavební Vysokého učení technického**
v Brně
Adresa: **MtF STU, Paulínska 16, 917 24 Trnava, Slovenská republika**
***FS VUT, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Česká republika**
Tel.: **+421 55 11 733, *+420 541 141 111**
E-mail: **bohumil.taraba@stuba.sk, maria.behulova@stuba.sk,**
[*Stastnik.S@fce.vutbr.cz](mailto:Stastnik.S@fce.vutbr.cz), [*Kminova.H@fce.vutbr.cz](mailto:Kminova.H@fce.vutbr.cz)

Abstract

Článok sa zaoberá problematikou numerického riešenia teplotných a fluidných polí vo vykurovanej miestnosti so sprievodným experimentálnym meraním. Numerická analýza bola realizovaná s využitím konečno-prvkového programového systému ANSYS-Flotran. Uvedená je metodológia riešenia, tvorba simulačného modelu a podmienky experimentálneho merania teplôt na vnútornej a vonkajšej strane okna. Výsledky numerickej analýzy sú porovnané s výsledkami experimentálnych meraní.

The article deals with the numerical analysis of temperature and fluid fields in heated room supported by experimental measurement. The numerical analysis is carried out using the finite element code ANSYS-Flotran. The simulation model, solution methodology and conditions of experimental temperature measurement on the internal and external window sides are presented. The results of numerical simulation and experimental temperature measurement are compared.

Key words

simulácia numerická, termovízia, ANSYS-Flotran, prúdenie vzduchu

numerical simulation, thermovision, ANSYS-Flotran, air flow

Úvod

Vývojová činnosť v oblasti tepelno-technického správania sa budov sa v súčasnosti sústreďuje na zníženie tepelných strát v budovách (straty tepla vedením, prúdením a žiarením) a zvýšenie účinnosti využitia dodávaného tepla pri súčasnom udržaní alebo zlepšení mikroklimatických podmienok vnútorného prostredia. Tomuto trendu odpovedá aktuálny stav požiadaviek tepelno-technických noriem, ktoré sú záväzné pre navrhovanie jednotlivých stavebných konštrukcií a budov.

Numerická simulácia tvorí popri matematicky formulovanom fyzikálnom modeli systému a fyzikálnom experimente jeden z troch vrcholov trojuholníka súčasného poznávacieho procesu. Výsledkom tvorby simulačného modelu a jeho riešenia sú výstupy, ktoré majú charakter predikcie správania sa skúmaného systému v reálnych podmienkach alebo pomáhajú určiť mieru účinku jednotlivých parametrov [1, 2, 3].

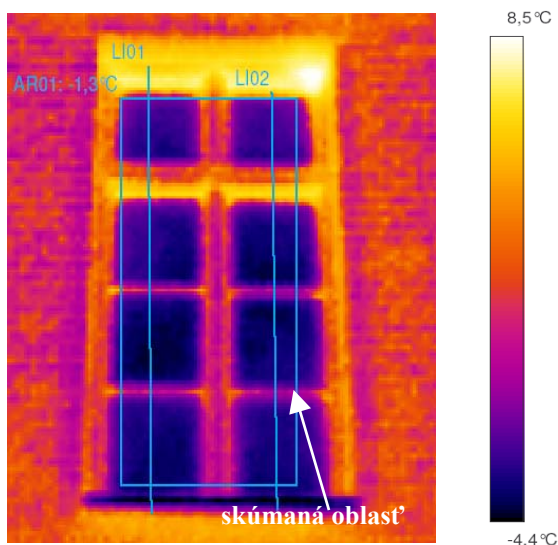
Cieľom príspevku je na základe numerickej simulácie analyzovať teplotné a rychlostné polia, ktoré vznikajú vo vykurovanej miestnosti a porovnať vypočítané teploty na vnútornom povrchu okna s výsledkami experimentálneho merania pomocou termovíznej kamery. Zdrojom tepla v miestnosti je podokenné teleso ústredného vykurovania. Odvod tepla do vonkajšieho prostredia sa uskutočňuje predovšetkým oknom. Ako interpretačný prostriedok je použitý programový systém ANSYS-Flotran CFD [4].

Experiment

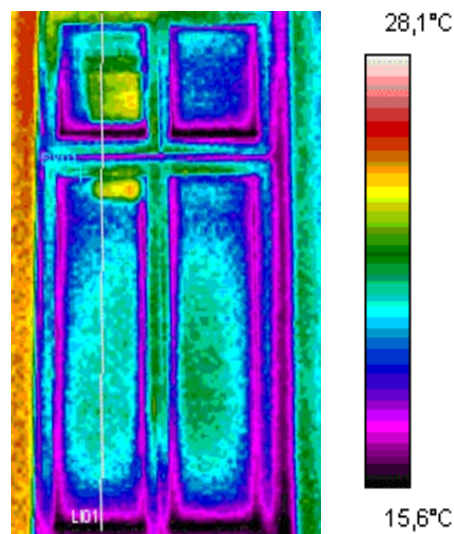
Experimentálne meranie bolo zamerané na zosnímanie teplotných polí na plochách okna a vyhrievacieho telesa pre prípad ustáleného tepelného procesu prechodu tepla z vykurovanej miestnosti do vonkajšieho prostredia cez teplovýmennú plochu okna. Dvojrozmerné teplotné polia boli získané termovíznou kamerou FLIR typu E4, (obr. 1) [5]. Emisivita povrchov okien bola uvažovaná 0,98 a emisivita povrchu vyhrievacieho telesa 0,7 [6]. Zmerané teplotné pole na vonkajšej strane okna je zobrazené na obr. 2. Pre potreby numerickej analýzy bola zadefinovaná skúmaná oblasť v tvare obdĺžnika a úsečky LI01 a LI02, pozdĺž ktorých bolo vyhodnocované rozloženie teplôt. Podľa obr. 3 sa teploty na vnútornej ploche okna pohybovali v intervale 15,6 °C až 28,1 °C. Rozloženie teplôt na povrchu teplovodného vyhrievacieho telesa je znázornené na obr. 4. Teplota spodnej plochy vyhrievacieho telesa bola 20 °C, vrchná plocha mala teplotu 46 °C. Pribeh teplôt po výške okna pozdĺž úsečky LI01 (obr. 5) bol získaný pomocou softvéru ku kamere FLIR a aplikovaný v simulačnom modeli ako okrajová podmienka 1. druhu.



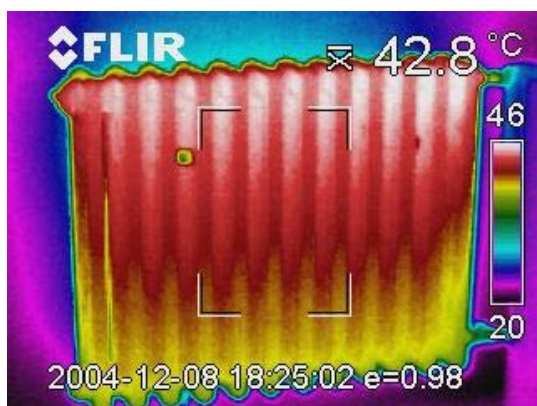
Obr. 1. Termovízna kamera FLIR E4 [5]



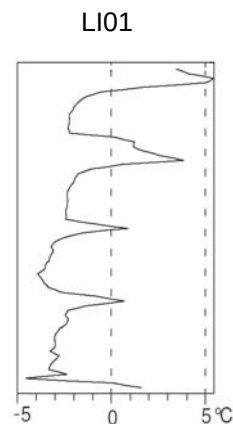
Obr. 2. Zmerané teplotné pole na povrchu vonkajšej plochy okna [°C]



Obr. 3. Zmerané teplotné pole na povrchu vnútornej plochy okna [°C]



Obr. 4. Zmerané teplotné pole na povrchu vyhrievacieho telesa [°C]

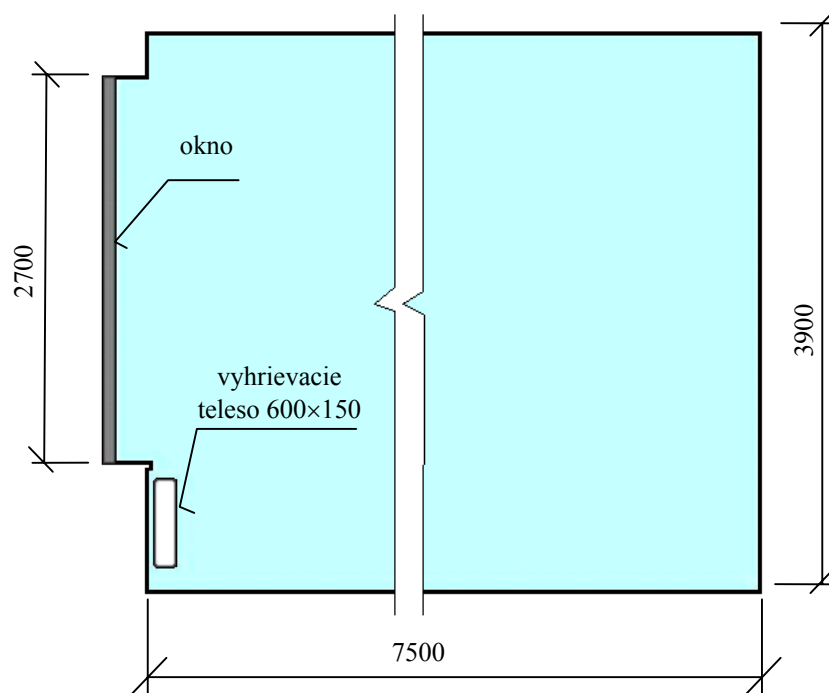


Obr. 5. Priebeh vonkajšej teploty po výške okna pozdĺž úsečky LI01

Numerická simulácia

Základným východiskom tvorby simulačného modelu je predstava nezariadenej nekonečne dlhej miestnosti s prierezom podľa obr. 6. Rovinný model uvažuje, že teplo prechádza z ohriateho prúdiaceho vzduchu cez okno do okolia. Okno má podľa výrobcu definovanú hodnotu tepelného odporu $R = 0,625 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$. Potom pre hrúbku dvojitého zasklenia s plynou výplňou 0,04 m je ekvivalentná hodnota koeficienta tepelnej vodivosti $\lambda_{\text{ekv}} = 0,064 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Kedže skúmaná miestnosť tvorí časť stavby a teplota interiéru je v čase ustálená, je možné zadať na obvodové steny adiabatickú podmienku $dq = 0$.



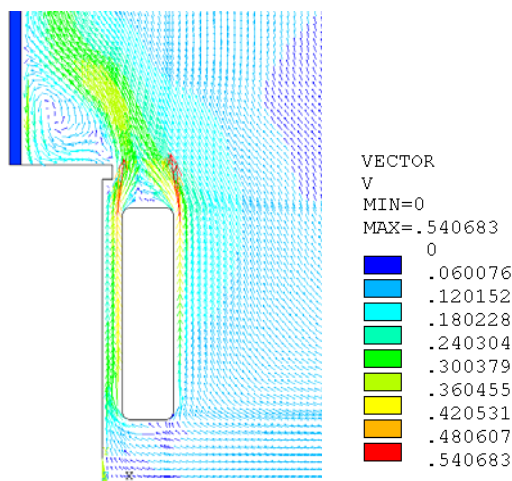
Obr. 6. Základné rozmery dvojrozmerného modelu miestnosti

Absolútny tlak vzduchu je v sledovanej oblasti 101325 Pa. Rýchlosť prúdenia vzduchu na stenách miestnosti, vnútornej ploche okna a teplovýmennej ploche vyhrievacieho telesa je nulová, t. j. $w_x = 0$, $w_y = 0$. Výpočtová procedúra zahŕňa stacionárny tepelno-fluidný výpočet so stlačiteľnou pracovnou látkou - vzduchom. Termofyzikálne vlastnosti vzduchu sú uvažované ako funkcie teploty [7]. Predpokladá sa, že teplota povrchu vyhrievacieho telesa je lineárne rozložená v intervale 46 °C až 20 °C a emisivita povrchu telesa je 0,98. Prenos tepla z teplovýmennej plochy vyhrievacieho telesa do okolitého prostredia je modelovaný kombináciou voľnej konvekcie a radiácie.

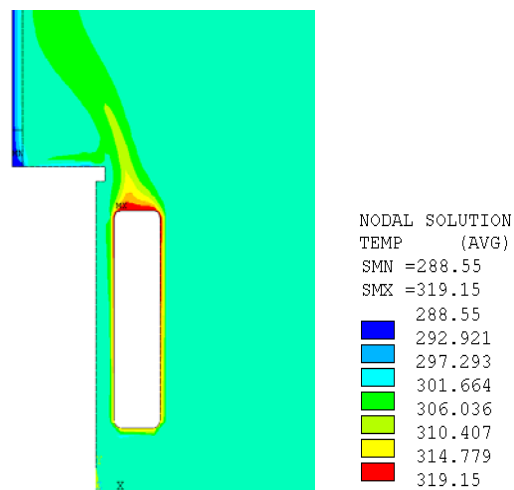
Výsledky numerickej simulácie

Zo širokého spektra výsledkov, ktoré poskytuje numerická simulácia, sú vybrané a uvedené len niektoré dôležité výsledky s cieľom poukázať na charakter riešenej úlohy. Na obr. 7 je znázornené rýchlostné pole prúdenia vzduchu okolo stien vyhrievacieho telesa a v spodnej časti okna. Rýchlosť prúdenia vzduchu je najvyššia v okolí hornej časti vykurovacieho telesa, na prechode zvislých plôch a hornej vodorovnej plochy vyhrievacieho telesa, kde dosahuje maximálnu hodnotu $0,54 \text{ m.s}^{-1}$. Zabrzdené prúdenie vzduchu s rýchlosťami blízkymi nule sú v oblastiach rohov a kútov miestnosti, kde steny zvierajú pravý uhol a tesne nad parapetnou doskou. Nad parapetnou doskou dochádza k víreniu vzduchu, ktoré je síce generované prúdiacim teplým vzduchom, ale neprenáša teplo prúdením na vnútornú plochu okna. V dôsledku takéhoto prúdenia sa vzniká v spodnej časti okna oblasť, kde sú teploty minimálne (obr. 8 a 9), čo môže viesť k tvorbe kondenzátu vodnej pary práve v dolnej časti okna. Obr. 8 ďalej dokumentuje ustálené teplotné pole v oblasti ohrevu a v spodnej časti okna a vplyv vztakových síl na tvar izotermických plôch. Teplota vzduchu v sledovanej oblasti je v zmysle 2. zákona termodynamiky nižšia ako je najvyššia teplota

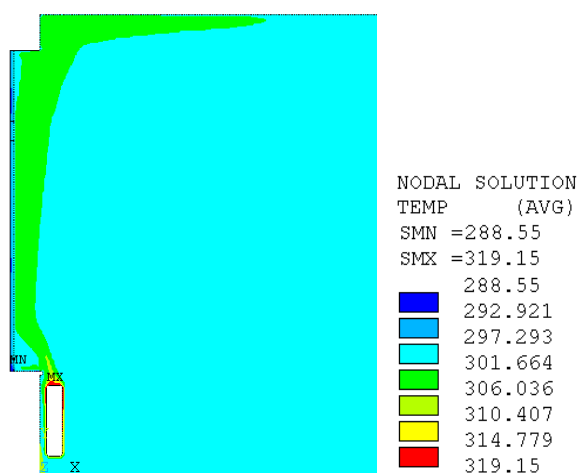
na povrchu vykurovacieho telesa. Obr. znázorňuje prehľadne rozloženie teplôt v prednej časti miestnosti po celej jej výške.



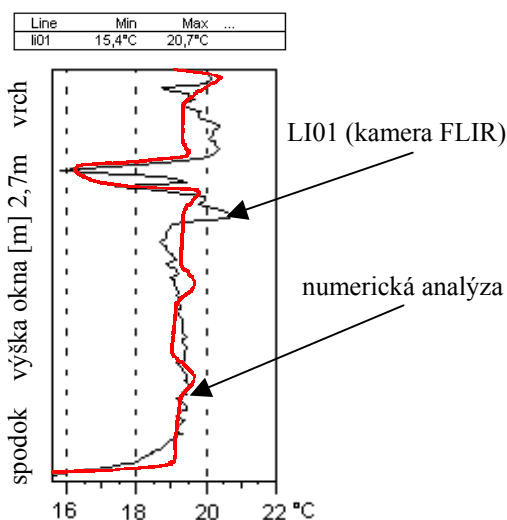
Obr. 7. Rýchlostné pole prúdenia vzduchu okolo stien vyhrievacieho telesa a spodnej časti okna [m.s^{-1}]



Obr. 8. Teplotné pole v okolí vyhrievacieho telesa a spodnej časti okna [K]



Obr. 9. Teplotné pole po výške miestnosti [K]



Obr. 10. Porovnanie nameraných a vypočítaných teplôt [$^{\circ}\text{C}$] po výške okna pozdĺž úsečky LI01

Porovnanie získaných výsledkov

Porovnanie výsledkov z experimentu a numerickej simulácie bolo uskutočnené pre vnútorný povrch okna. Porovnané boli teploty po výške okna pozdĺž úsečky LI01 (obr. 10). Z obrázku je zrejmé, že bola dosiahnutá veľmi dobrá zhoda medzi nameranými teplotami a výsledkami numerickej analýzy. Najvýraznejšie odchýlky medzi experimentálnymi a vypočítanými hodnotami teplôt sú v okolí miesta delenia okna z dôvodu reflexie stropného svetidla od vnútornej plochy okna.

Záver

Využitie experimentálneho merania povrchových teplôt pomocou termovízie je vysoko hodnotným zdrojom vstupných a verifikačných dát pre numerickú simuláciu teplotných polí so zahrnutím konvekcie. Skúsenosti z riešenia združenej tepelno-fluidnej úlohy poukazujú na použiteľnosť počítačového modelovania pre akýkoľvek tvar skúmanej oblasti a rôzne podmienky jednoznačnosti s predpokladom dosiahnutia výsledkov s vysokým stupňom vierohodnosti.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] TARABA, B. *Priama úloha prúdenia vzduchu s prestupom tepla - 3 D aplikácia ANSYS-Flotran CFD, Výpočtová mechanika*. Nečtiny, 2001.
- [2] TARABA, B. Velocity and diffusion analysis of the binary species injected into the air flow. In *Hungarian electronic journal of science*. [online]. [Cit 18-09-2003]. Dostupné na internete [http://heja.szif.hu/MET/ISSN 1418-7108: HEJ Manuscript no: MET-030110-A](http://heja.szif.hu/MET/ISSN%201418-7108%3A%20HEJ%20Manuscript%20no%3A%20MET-030110-A).
- [3] BEHÚLOVÁ, M., MAŠEK, B., MEYER, L.W. Thermal analysis of internally cooled spike for the process of rotary spin extrusion. In CO-MAT-TECH 2005, 13th International Scientific Conference. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2005.
- [4] Teoretical Manual ANSYS, 2004.
- [5] www.americaninfrared.com, [online], [cit. 2005-10-24 14:00 seč]
- [6] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J. *Zkoušení izolačních materiálů*. Brno: CERM, 2002.
- [7] TARABA B., BEHÚLOVÁ M., KRAVÁRIKOVÁ H. *Mechanika tekutin. Termomechanika*. Zbierka príkladov. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2002.

Acknowledgement

Príspevok bol vypracovaný v rámci česko-slovenského projektu č. 086 medzi Materiálovotechnologickou fakultou STU v Bratislave so sídlom v Trnave a Fakultou stavební VUT Brno a súvisiacich projektov GAČR 103/03/0839 a VEGA 1/2101/05.