

30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Modelovanie nestacionárneho prenosu tepla stavebnými konštrukciami v programe TRNSYS

Júlia MIČKOVÁ¹

¹ Ing. Júlia Mičková, odbor termomechaniky a techniky prostredí, FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, y129126@stud.fme.vutbr.cz

Abstrakt: *Tepelnoakumulačné vlastnosti stavebných konštrukcií sú spravidla dané tepelným odporom a ich tepelnou kapacitou. Z hľadiska dynamického správania je významnejším parametrom časová konštanta, popisujúca čas oneskorenia systému pod vplyvom skokovej zmeny vstupného parametru. Príspevok popisuje približné metódy výpočtu časových konštánt vybraných zložených stien s využitím prenosových funkcií v simulačnom prostredí programu TRNSYS.*

1. Teoretický úvod

Maximálnu možnú úsporu energie, pri súčasnom zachovaní optimálnej tepelnej pohody je možné dosiahnuť prerušovaným vykurovaním. Po fáze teplotného útlmu, kedy dochádza k opätovnému zohrievaniu vykurovaných priestorov, ovplyvňuje dynamickú odozvu systému viacero významných faktorov, ako tepelné zisky od slnečného žiarenia, vnútorných zdrojov tepla a schopnosť budovy akumulovať teplo. Zamerajme sa na obvodovú stenu a uvažujme, že je zložená z rôznorodých vrstiev, ktorých fyzikálne vlastnosti sú uvažované homogénne. Navyše, ak predpokladáme hrúbku steny nekonečne malú v porovnaní s jej ďalšími rozmermi, môžeme pre jednorozmerné vedenie tepla naprieč rovinou stenou napísať podľa [2], [3] lineárnu diferenciálnu rovnicu v tvare,

$$\frac{\partial T_{j(x,t)}}{\partial t} = \frac{\lambda_j}{c_j \cdot \rho_j} \cdot \frac{\partial^2 T_{j(x,t)}}{\partial x^2} \quad (1)$$

kde tepelná vodivosť, hustota a merná tepelná kapacita sa menia s polohou j -tej vrstvy.

Umiestnime počiatok súradnicového systému na vonkajší povrch steny a jeho kladnú orientáciu definujeme smerom dovnútra. Okrajové podmienky potom môžeme napísať nasledovne,

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_\infty \cdot [T_{(\infty,t)} - T_{(0,t)}] \quad (2)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha_i \cdot [T_{(L,t)} - T_{(i,t)}] \quad (3)$$

čo vyjadruje závislosť konvektívnych tepelných tokov od teplôt na vonkajšom, resp. vnútornom povrchu obvodovej konštrukcie.

Ak predpokladáme na počiatku jednotné teploty a skokovú zmenu vnútornej teploty,

$$T_{(\infty,t)} = T_{(i,t)} = T_s, \quad t < t_o \quad (4)$$

$$T_{(i,t)} = T_o, \quad t \geq t_o \quad (5)$$

vychýli sa systém z rovnovážnej polohy, čoho dôsledkom je okamžitý nárast časovo závislých tepelných tokov na strane vybudenia. Podľa [1] možno uvažovať, že priebeh tepelných tokov má exponenciálny charakter podľa rovnice,

$$\frac{\dot{q}_{(L,t)} - \dot{q}_s}{\dot{q}_{(L,t_o)} - \dot{q}_s} = e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

teda z maximálnej hodnoty v okamihu skokového vybudenia konverguje asymptoticky k ustálenému stavu. Tvar exponenciálnej funkcie je jednoznačne určený konštantou τ , ktorá nezávisí od veľkosti počiatočného teplotného vybudenia. V prípade steny zloženej z rôznorodých vrstiev je časová konštanta funkciou nielen fyzikálnych vlastností jednotlivých vrstiev, ale aj ich rozloženia v stene.

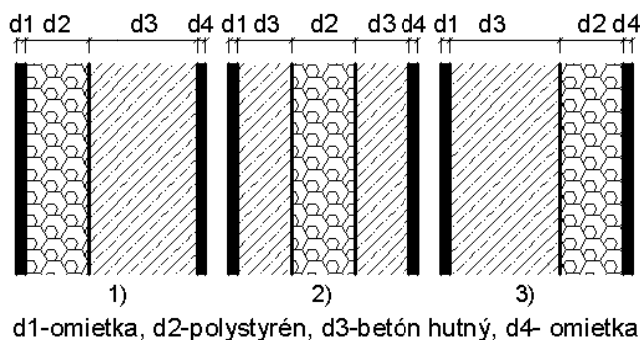
2. Popis modelu

Za účelom porovnávania dynamických vlastností obvodových konštrukcií bol v prostredí programu TRNSYS vytvorený zodpovedajúci model. Keďže použitý typ 56b neumožňuje vytvoriť zónu zloženú len z jednej steny, musela byť navyše vytvorená nehmotná priečka s najmenšou možnou plochou, čím sa minimalizuje vplyv radiácie. Aby nedošlo ku skresleniu výpočtov, bola zadaná symetrická okrajová podmienka, a teda tepelný tok priečkou je nulový. Významné zjednodušenie náročnosti

simulácií bolo dosiahnuté nastavením radiačnej teploty oblohy tak, aby sa zhodovala s teplotou vonkajšieho vzduchu.

Počiatkové teploty sú nastavené zhodné, aby nedochádzalo k výmene tepla medzi vnútorným priestorom a okolím. Model vykurovacej sústavy vychádza z energetickej bilancie vykurovaného priestoru. V podstate ide o ideálny tepelný zdroj, ktorý dodáva len toľko tepla, koľko je potrebné pre dosiahnutie požadovanej teploty. Vykurovanie tohto typu je čisto konvektívne, bez radiačnej zložky, a teda všetok výkon sa použije na ohrev vzduchu v miestnosti, od ktorého sa následne zahrieva konštrukcia.

Obvodová stena sa skladá z hutného betónu, izolácie z penového polystyrénu s rôznou hrúbkou a obojstrannej omietky. Poloha izolačnej vrstvy bola u každej zo stien premiestňovaná tak, ako je znázornené v obrázku 1.



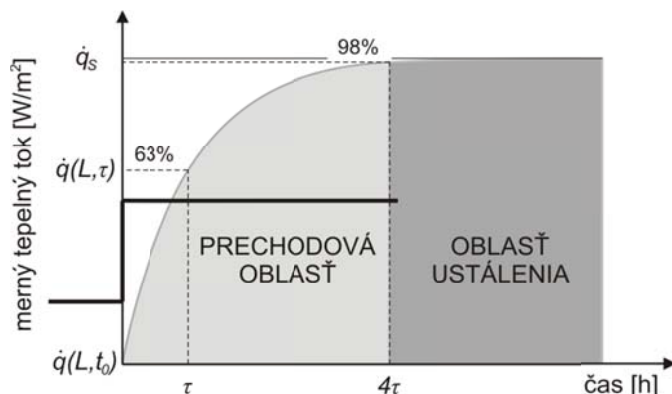
Obrázok 1: Typy obvodových stien

3. Vyhodnotenie simulácie

Priebeh časovo závislého merného tepelného toku môže byť s dostatočnou presnosťou popísaný exponenciálnou funkciou. Tá dosahuje maximum po vychýlení z rovnovážnej polohy a pozvoľna konverguje k ustálenej hodnote v nekonečne, čo popisuje rovnica (6). Z uvedeného je zrejmé, že merný tepelný tok zodpovedá časovej konštante len ak platí rovnosť $t = \tau$,

$$\dot{q}_{(L,\tau)} = \dot{q}_s + e^{(-1)} \cdot [\dot{q}_{(L,t_0)} - \dot{q}_s] \quad (7)$$

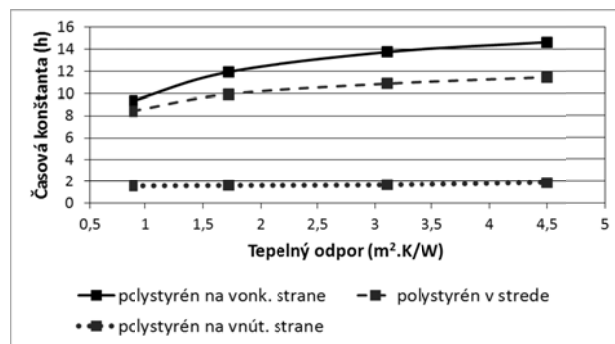
teda je daný 63% rozdielom medzi maximálnym a ustáleným merným tepelným tokom, ako vyplýva z obrázku 2.



Obrázok 2: Priebeh tepelného toku

Na základe vypočítaného merného tepelného toku a simulácií v programe TRNSYS bolo možné určiť časové konštanty uvedených stien. Ako ukazuje obrázok 3 a tabuľka 1, hodnoty časových konštánt sa menia v závislosti na polohe vrstvy polystyrénu a narastajúcim tepelným odporom. V prípade, že sa izolačná vrstva nachádza na vnútornej strane steny, vyznačuje sa táto iba malou akumulacnou schopnosťou, a to aj v prípade zvýšenia tepelného odporu. Tomu zodpovedajú aj hodnoty časových konštánt ktoré, ako vidieť z obrázku, narastajú len nepatrne.

Konštrukcie s polystyrénovou izolačnou vrstvou posunutou dovnútra alebo na vonkajší povrch majú relatívne veľkú akumulacnú schopnosť, ktorá ďalej narastá so vzrastajúcim tepelným odporom, čo sa v priebehu simulácií prejavilo na čase potrebnom k ustáleniu.



Obrázok 3: Závislosť časovej konštanty od polohy a hrúbky polystyrénu

Tabuľka 1: Časové konštanty stien

USPORIADANIE STENY	d=2 cm R=0,89 m ² .K/W τ (hod)	d=5 cm R=1,72 m ² .K/W τ (hod)	d=10 cm R=3,11 m ² .K/W τ (hod)	d=15 cm R=4,49 m ² .K/W τ (hod)
Polystyrén na vonkajšej strane	9,33	11,94	13,74	14,63
Polystyrén v strede	8,43	9,94	10,88	11,46
Polystyrén na vnútornej strane	1,59	1,62	1,68	1,92

4. Záver

Z uvedeného je zrejmé, že hrúbka izolačnej vrstvy a jej umiestnenie zásadne ovplyvňujú dynamické vlastnosti obvodovej konštrukcie. Predpokladá sa vytvorenie modelu učebne v prostredí programu TRNSYS, kde sa bude sledovať a vyhodnocovať vplyv analyzovaných stien na priebeh ohrievania vnútorného priestoru.

Zoznam symbolov

c	špecifická tepelná kapacita (J/kg.K)
L	hrúbka (m)
\dot{q}	merný tepelný tok (W/m ²)
t	čas (s)
T	teplota (°C)
x	priestorová súradnica (m)

Grécke symboly

α	súčiniteľ prestupu tepla (W/m ² .K)
λ	tepelná vodivosť (W/m.K)
ρ	hustota (kg/m ³)
τ	časová konštanta (s)

Indexy

i	vnútorná strana
o	skoková zmena
s	ustálený stav
∞	vonkajšia strana

Literatúra

- [1] TSILINGIRIS, P. T. On the thermal time constant of structural walls. Applied thermal engineering. 2004, 24, ISSN 743-757.
- [2] TSILINGIRIS, P. T. Parametric space distribution effects of wall heat capacity and thermal resistance on the dynamic thermal behaviour of walls and structures. Energy and Buildings 2006, 38, ISSN 1200-1211.
- [3] INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. Fundamentals of heat and mass transfer. 4th ed. United States: Wiley, 1996. 886 s. ISBN 0-471-30460-3.

Podakovanie:

Príspevok bol spracovaný s podporou grantu FSI-S-11-6 a grantu GAČR 101/09/H050 „Výzkum energeticky úsporných zařízení pro dosažení pohody vnitřního prostředí“.



30. Setkání kateder **Mechaniky tekutin** a **Termomechaniky**