

Ing. Ondřej ŠIKULA, Ph.D.
VUT v Brně
Fakulta stavební
Ústav technických zařízení

Simulace provozních režimů otopných systémů s velkou akumulací

Simulation of Heating Systems Operation Modes with High Accumulation

Recenzent
Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Autor, na základě matematických simulací v software CalA, hodnotí dynamické chování stěnové a podlahové otopné plochy. U stěnové otopné plochy byl zvolen model mokrého způsobu pokládky a u podlahové otopné plochy suchý způsob pokládky. V obou případech byl pro pokládku otopného hadu volen meandr.

Klíčová slova: Vytápění, matematická simulace, podlahové vytápění, stěnové vytápění

Author assesses dynamic behavior of the heating wall panel and the heating floor panel on the basis of mathematical simulations in the CalA software. The model of the wet method of placing was selected for the wall panel heating surface and the dry method of placing (laying) for the floor panel heating surface. The selected method for placing the heating coil pile was the meander in both cases.

Key words: heating, mathematical simulation, floor panel heating, wall panel heating

ÚVOD

Vytápění budov je dynamický proces, který závisí na mnoha faktorech. Velkoplošné vytápění se zabudovanými hady do stavebních konstrukcí patří mezi nejméně dynamické otopné systémy a vykazuje značnou tepelnou setrvačnost. Důsledkem toho je dlouhá doba odezvy na regulační zásahy, se kterou je třeba počítat a která snižuje uživatelský komfort a zvyšuje energetickou náročnost vytápění. Taková situace nastane, pokud v chladném období roku do místnosti zasvítí slunce. Tepelné zisky od slunce přehřejí místnost, vytápění vypíná, avšak kvůli velké tepelné setrvačnosti není tento regulační zásah dostatečný a dochází v místnosti k nárůstu vnitřní teploty.

Na druhou stranu je tepelná setrvačnost velkoplošných systémů důvodem pro jejich velmi pomalý náběh a tím prodloužení času než je ve vytápěné místnosti dosažen potřebný tepelný stav. Výhodou velkoplošných systémů vytápění je například zvýšení tepelné stability místnosti v zimním období a dále rovnoměrnější a tím příznivější rozložení parametrů vnitřního prostředí v místnosti.

Článek se zabývá dynamikou tepelného chování velkoplošných systémů vytápění, zde konkrétně vytápění stěnového a podlahového. K dosažení tohoto cíle byla použita teoretická metoda počítačové simulace časově neustáleného vedení tepla v softwaru Calculation Area (dále CalA).

Software CalA umožňuje řešit časově ustálené i neustálené 2D sdílení tepla vedením podle rovnice (1). Výpočet se realizuje na ortogonální výpočetní síti metodou kontrolních objemů. Kontrolní objemy jsou obdélníkového tvaru a v jejich geometrických středech jsou počítány teploty. Software umožňuje využití Newtonovy okrajové podmínky 3. druhu, která zvolením vysoké hodnoty součinitele přestupu tepla může nabýt charakteru okrajové podmínky 1. druhu – Dirichletovy. Tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů – c (měrná tepelná kapacita), ρ (objemová hmotnost), λ (tepelná vodivost) a vnitřní zdroje tepla jsou uvažovány jako konstantní nezávislé na teplotě – blíže viz [2].

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(\lambda \frac{\delta T}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\lambda \frac{\delta T}{\delta y} \right) + S = \rho \cdot c \frac{\delta T}{\delta \tau} \quad (1)$$

Software CalA v nejnovější verzi 3.2 umožňuje při výpočtu časově neustáleného vedení tepla přerušit výpočet a navázat na poslední spočtený časový krok jinými okrajovými podmínkami. Tímto způsobem je možné sle-

dovat vývoj teplotního pole, a případný zásah do okrajové podmínky teploty teplotnosné látky proudící otopným hadem podlahového vytápění – tedy simulovat zásah systému měření a regulace, což bude i náplní tohoto příspěvku.

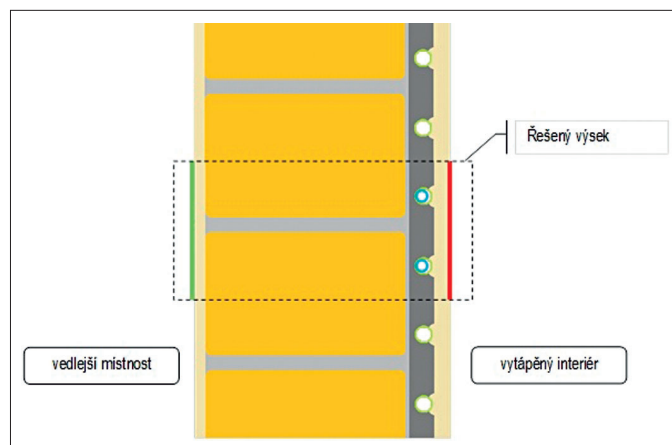
ŘEŠENÉ PŘÍPADY

Dynamické chování bylo simulováno pro vybrané:

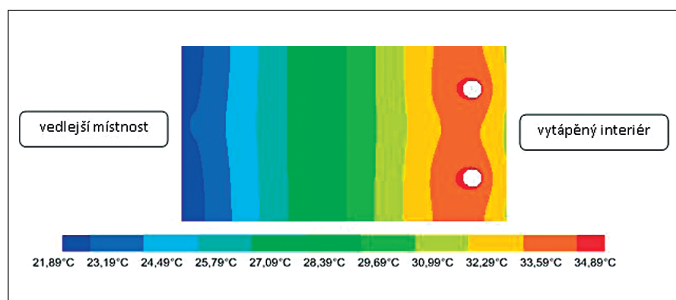
- ☐ Stěnové vytápění – případ A
- ☐ Podlahové vytápění – případ B

Stěnové vytápění reprezentuje případ mokrého a podlahové vytápění suchého způsobu pokládky. Zvolené uspořádání je zobrazeno na obr. 1 a 6. Jedná se o typický výsek meandrového způsobu kladení potrubí, který poměrně výstižně charakterizuje teplotní chování v celé ploše tohoto velkoplošného vytápění.

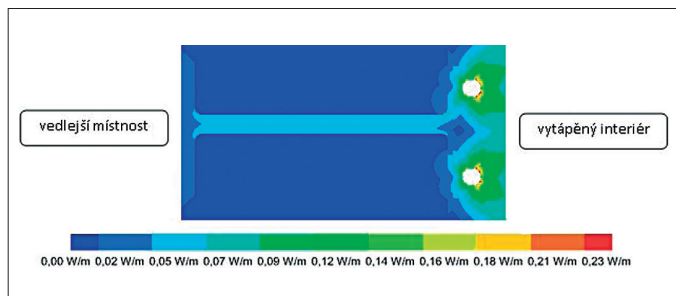
Použité tepelně-technické vlastnosti materiálů a okrajové podmínky jsou uvedeny v tabulkách 1, 2, 3, 4. V obou řešených případech byl zvolen velkoplošný systém vytápění umístěný mezi dvěma místnostmi se stejným teplotním režimem. Počáteční podmínkou byla teplota odpovídající teplotám vzduchu v přilehlých místnostech – tedy 20 °C. Okrajové podmínky v těchto místnostech byly po celou dobu simulace pro jednoduchost zvoleny jako v čase neměnné. Okrajové podmínky v trubkách otopných hadů byly měněny (simulace dvouplošné regulace vypnuto-zapnuto) tak, aby



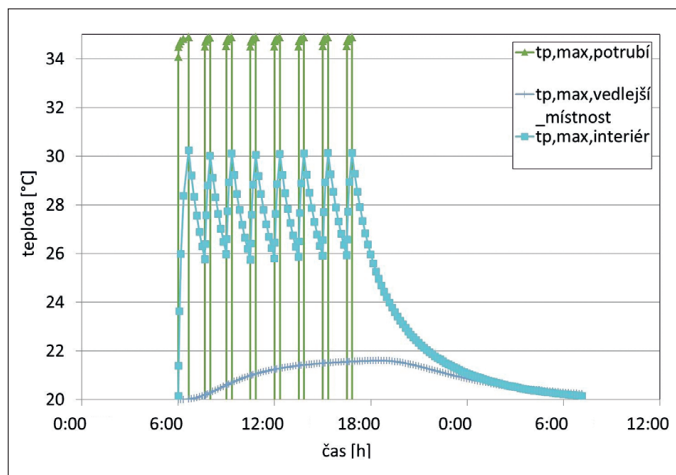
Obr. 1 Řešený detail A



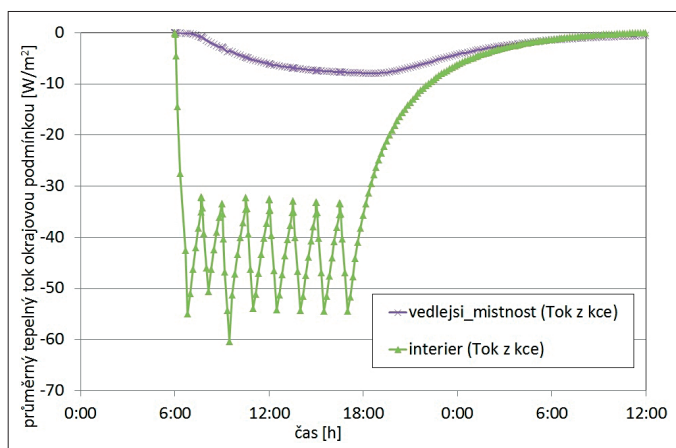
Obr. 2 Teplotní pole – případ A



Obr. 3 Tepelné toky – případ A



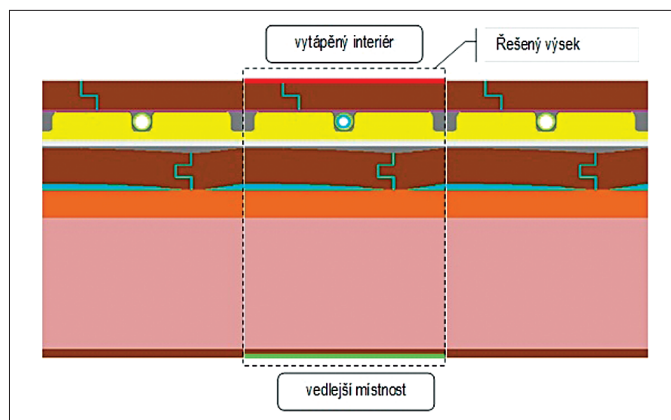
Obr. 4 Maximální povrchové teploty – případ A



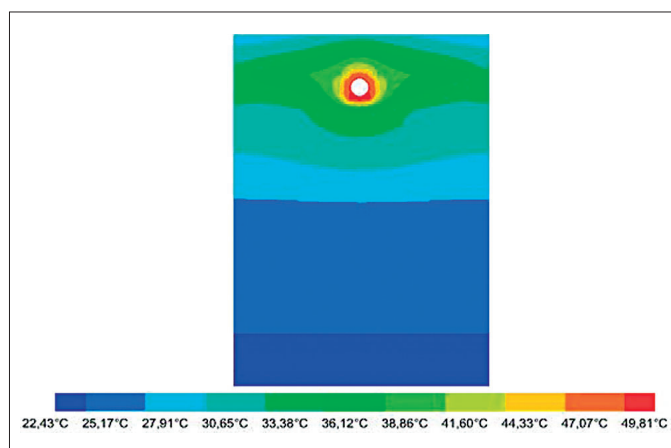
Obr. 5 Měrné tepelné toky – případ A

se maximální teplota na povrchu tepelně aktivní konstrukce udržovala v mezích od 26 do 30 °C. Řízení vytápění bylo přizpůsobeno předpokládané době využití místnosti, tedy od 6 do 18 h. Po 18. h otopná plocha již jen vychlázala.

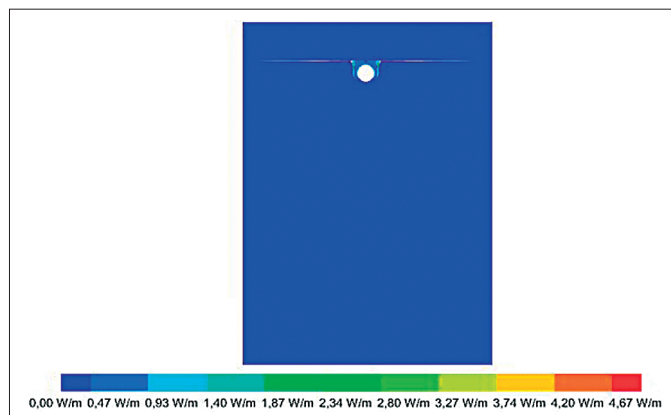
V případě A byla zvolena teplota otopné vody 35 °C. Výsledné teplotní pole a pole tepelných toků pro plný výkon vytápění je na obr. 2 a 3 (simula-



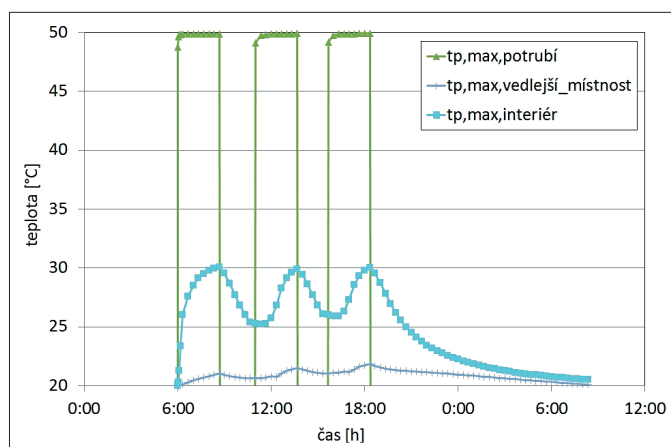
Obr. 6 Řešený detail – případ B



Obr. 7 Teplotní pole – případ B



Obr. 8 Lineární tepelné toky – případ B



Obr. 9 Maximální povrchové teploty – případ B

Tab. 1 Použité materiály, případ A

	Barva	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]	Měrná tepelná kapacita c [J/(kg·K)]
M03 - pórobetonové tvárnice		480	0,190	840
M04 - omítka a nosník		2000	1,200	800
M05 - omítka		1600	0,880	840
M06 - PE-Xa_16x2,0 mm		1400	0,350	1100
M15 - malta vápenocementová		1850	0,970	840

Tab. 2 Okrajové podmínky, případ A

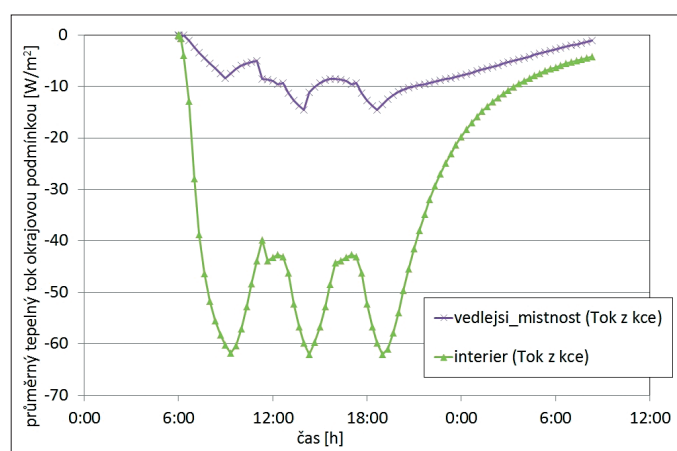
	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P01 - trubky		0,100	35	1 500
P02 - vedlejší místnost		0,127	20	8
P03 - interiér		0,127	20	8

Tab. 3 Použité materiály – případ B

Tabulka použitých materiálů	Barva	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]	Měrná tepelná kapacita c [J/(kg·K)]
M03 - separační vrstva		1400	0,210	960
M04 - srovnávací stěrka		1850	0,970	840
M10 - tepelná izolace		1270	0,040	20
M12 - dřevěný trámový strop		300	0,800	200
M14 - PE-Xa		1400	0,350	1100
M28 - dřevo tvrdé		600	0,220	2010
M29 - dřevo měkké		400	0,180	2510
M30 - dřevovláknitá deska		750	0,220	1060
M32 - krycí plech		7850	58	440
M37 - vzduchová mezera		1,20	0,200	1010

Tab. 4 Okrajové podmínky – případ B

Tabulka použitých okrajových podmínek	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P01 - trubky		0,049	50	1500
P02 - vedlejší místnost		0,180	20	8
P03 - interiér		0,180	20	8



Obr. 10 Měrné tepelné toky – případ B

ce časově ustáleného sdílení tepla). Maximální povrchová teplota je v tomto případě 31,7 °C a měrný výkon 92,6 W/m². V případě B byla několika pokusy stanovena teplota otopné vody 50 °C. Výsledné teplotní pole a pole tepelných toků pro plný výkon vytápění je na obr. 5 a 6 (simulace časově ustáleného sdílení tepla). Maximální povrchová teplota je v tomto případě 30,7 °C a měrný výkon 70 W/m². Výše uvedených maximálních povrchových teplot a tepelných toků nebylo v průběhu nestacionárních si-

mulací samozřejmě dosaženo, protože bylo vytápění regulováno tak, aby tato teplota nepřekročila 30 °C.

DISKUZE A ZÁVĚR

V provedených simulacích byly použity zjednodušující předpoklady o konstantní teplotě vzduchu ve vytápěném prostoru, i když je zřejmé, že ta se bude měnit například s měnícím se výkonem

vytápění. Dále bylo zanedbáno časové zpoždění vznikající tím, než doteče otopná voda do otopného hadu a začne zde působit o uvažované teplotě. Součinitele přestupu tepla z povrchu konstrukcí byly zvoleny zjednodušeně a jednotně 8 W/m²·K a jsou spíše nadhodnoceny. Všechna tato přijatá zjednodušení mají jistý vliv na vypovídající schopnost prezentovaných simulací.

Z dosažených výsledků je patrné, že existuje významný rozdíl v dynamice tepelného chování zvoleného podlahového a stěnového vytápění, zatímco stěnové vytápění je třeba za posuzovanou dobu spínat 8x podlahové jen 3x. Příčinou jsou menší rozestupy potrubí a také menší celková tepelná kapacita vrstev nad otopným hadem u stěnového vytápění. Tato situace nastává i přesto, že je díky vyšší teplotě otopné vody u podlahového vytápění sdílen větší tepelný tok z potrubí do konstrukce.

Dále lze konstatovat, že doby chladnutí a náběhu zde uvažovaného podlahového vytápění svědčí o značně omezené schopnosti reagovat na rychle se měnící potřebu tepla. Zvýšená setrvačnost se rovněž projevuje většími výkyvy tepelného výkonu.

Kontakt na autora: sikula.o.@fce.vutbr.cz

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory programu TRVALÁ PROSPERITA národní program výzkumu II., MPOČR kód 2A – 1TP1/119 a Specifického výzkumu 2011 na Vysokém učení technickém v Brně s číslem FAST-S-11–1.

Použité zdroje:

- [1] Petráš, D., Koudelková D., Kabele, K., Teplovodní a elektrické podlahové vytápění. Bratislava: Jaga group, 2004. – 216 s. ISBN 80–88905–97–4
- [2] Šíkula, O., Manuál k softwaru CalA, ISBN 978–80–7399–879–0, Tribun EU s. r. o., Brno, 2009. ■