

Ing. Dalibor VYTLAČIL, CSc.
 ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
 Katedra inženýrské informatiky

Návrh výkonu vytápěcího zdroje při přerušovaném vytápění

Heating Source output Design at Intermittent Heating

Recenzent
 prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Výchozím údajem pro stanovení výkonu vytápěcího zdroje je průběh výkonu tohoto zdroje během dne v závislosti na požadovaném průběhu vnitřní teploty vzduchu. Řešení využívá rychlé Fourierovy transformace a algoritmus je zabudován do simulačního programu. Použití je vhodné například pro stanovení výkonu zdroje při přerušovaném vytápění. Na příkladu je ukázán výpočet závislosti mezi poklesem teploty, který rozhoduje o provozních nákladech a potřebným výkonem vytápěcího zdroje, který ovlivňuje investiční náklady v projektované budově.

Klíčová slova: počítačová simulace, tepelný uzlový model, syntéza návrhu, výkon zdroje, spotřeba energie

The reference information for heating source output determination is represented by the output course of this source in the course of the day in dependence on the required course of indoor air temperature. The solution utilises the quick Fourier transformation and algorithm is built-in into the simulation programme. The use is suitable for example for source output determination at intermittent heating. As an example the calculation is indicated of the relation between the temperature decrease, deciding on operating expenses and the required heating source output, influencing the capital cost of the designed building.

Key words: computer simulation, thermal node model, design synthesis, source output, energy consumption

Řešení problémů navrhování budov a systémů technických zařízení budov počítačovými simulacemi zahrnuje širokou škálu metod. Cílem těchto metod je dosažení požadovaných parametrů vnitřního prostředí v budovách při minimální spotřebě energie. Naším cílem je tedy optimalizovat provozní a investiční náklady vhodným návrhem parametrů stavební konstrukce a výběrem komponentů vytápěcích, případně klimatizačních systémů.

Tradiční přístup při hledání optimalizovaného návrhu vychází z iteračního procesu, kdy počátečními hodnotami parametrů modelu pro řešení problémovou situaci vypočteme hledanou sledovanou veličinu. Obvykle to bývá teplota vzduchu v interiéru případně povrchová teplota stavebních konstrukcí. Pokud nevyhovují výsledky dosažené při prvním výpočtu, změníme hodnoty parametrů modelu stavební konstrukce nebo hodnoty časového průběhu tepelných toků a opakujeme analýzu. Tímto postupem v několika iteračních krocích dosáhneme požadovaných hodnot sledovaných veličin [1], [2].

Dalším přístupem, zde popsaným, je syntéza kdy lze ihned, případně analýzou v následujícím kroku po prvním pokusu, dosáhnout požadovaných hodnot [3], [4]. Proces návrhu obou metod je zachycen na obr. 1. Cílem vývoje těchto metod je zvýšení produktivity práce při projektování ale v některých případech je to i jediný způsob nalezení optimálního řešení.

POPIS

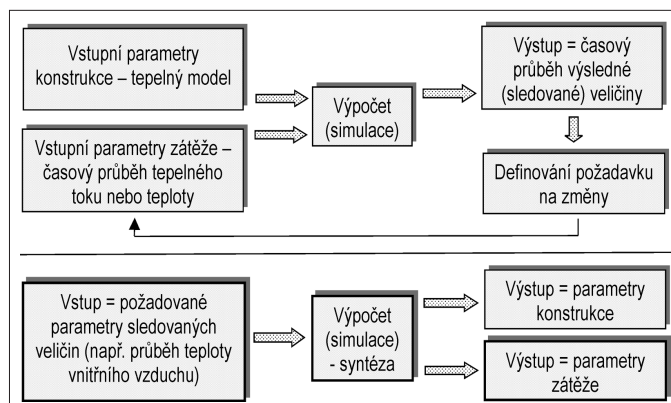
Metoda je zaměřena na syntézu zátěže, kterou může být obecně tepelný tok nebo také teplota. Z hlediska praktického použití se dá očekávat především stanovení průběhu tepelného toku.

Řešení využívá modely vytvořené jako elektrické obvody sestavené z odporů, kapacit a zdrojů elektrických toků analogické tepelným veličinám. Model může obsahovat i rozprostřené parametry, které zahrnují vlastnosti tepelného odporu i tepelné kapacity a používají se pro popis pláště budovy.

Odezva systému na poruchovou veličinu se stanoví z rovnice

$$T_k(j\omega_i) = H(j\omega_i) \cdot T_1(j\omega_i) \quad (1)$$

kde
 $H(j\omega_i)$ je matice popisující stavební konstrukci,
 $T_1(j\omega_i)$ je zátěž působící ve vstupním uzlu 1 modelu,
 $T_k(j\omega_i)$ je teplota v uzlu k .



Obr. 1 Návrh parametrů stavební konstrukce a energetických systémů budov analýzou (iteračním procesem) – nahoře a syntézou – dole

Ve frekvenční oblasti jsou proměnné v rovnici 1 definované takto

$$T_{1,k}(j\omega_i) = \sum_{i=1}^n |M_i| \cdot e^{j\phi_i} \quad (2)$$

kde

M_i , ϕ_i jsou moduly a argumenty vstupní zátěže případně výsledné veličiny, a

$$H(j\omega_i) = \sum_{i=1}^n |H_i| \cdot e^{j\phi_i} \quad (3)$$

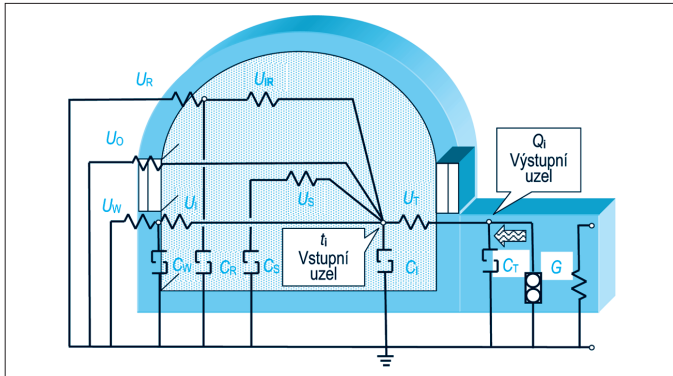
kde

H_i , ϕ_i jsou moduly a argumenty modelu konstrukce.

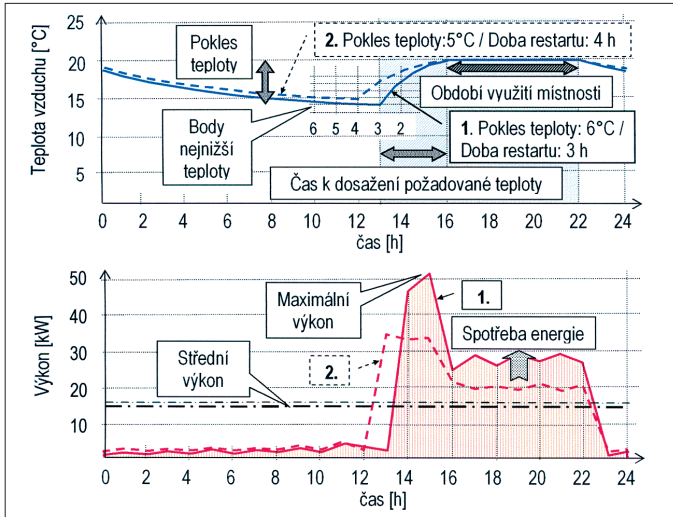
Při syntéze se zadají požadované hodnoty teploty v uzlu k a jako výsledek se vypočte zátěž v uzlu 1, což může být průběh teploty nebo tepelného toku během sledovaného časového období. Vypočteme tedy moduly a argumenty M_i , ϕ_i , se kterými lze sestavit hledaný průběh.

Příklad

Popsanou metodu lze použít například pro stanovení tepelného toku od zdroje v závislosti na požadovaném průběhu teploty vzduchu v interiéru. Za předpokladu přerušovaného vytápění je přesné stanovení průběhu tepelného toku při použití metody analýzy v simulačních programech velmi pracné. Bez využití počítačové simulace je stanoven maximální výkon zdroje zjednodušeně navýšením výkonu v závislosti na době přerušování vytápění.



Obr. 2 Řez konstrukcí a odpovídající tepelný uzlový model



Obr. 3 Příklad průběhu teploty v interiéru a vypočtený odpovídající tepelný tok

Pro řešení tohoto problému je potřeba uvažovat tepelné kapacity stavební konstrukce i tepelnou kapacitu tepelného zdroje. Výsledkem simulace v popisované případové studii bude časově závislý tepelný tok, který zajistí požadovanou teplotu vzduchu v interiéru po požadované době. Z výsledků lze odvodit maximální potřebný výkon pro vytápění místnosti a následně i investiční náklady na pořízení zdroje. Dalším výstupem bude spotřeba energie daná plochou pod vypočtenou křivkou, která je základem pro stanovení nákladů na vytápění. Přerušované vytápění zajistí úsporu přímých provozních nákladů [5].

Budova je koncertní sál, který je využíván pouze ve večerních hodinách po dobu představení, případně ve stejné době na zkoušky. Jedná se tedy o typický vnitřní prostor s občasným využitím a tedy s režimem přerušovaného vytápění. Protože je nutno zajistit vytápění i po dobu zkoušek, nelze pro stanovení maximálního výkonu započítat vliv návštěvníků.

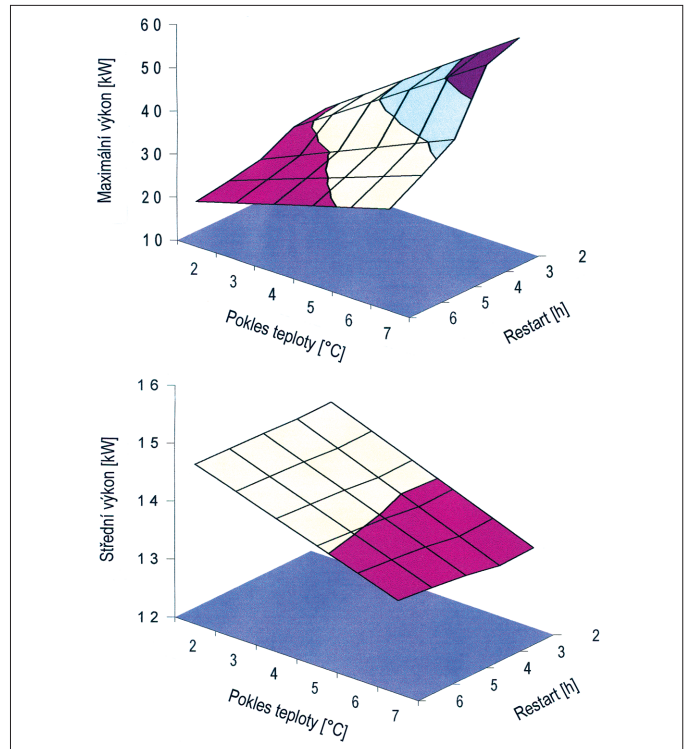
Řez konstrukcí a odpovídající tepelný uzlový model je na obr. 2. Obsahuje všechny prvky popisující konstrukci jako jsou tepelné kapacity (C) obvodových stěn, střechy, ohraničujících konstrukcí v budově i tepelnou kapacitu interiéru (vzduch, vybavení). Význam tepelných odporů (U) je zřejmý z obrázku. Odpor okenní konstrukce zahrnuje i infiltraci. Tepelný zdroj reprezentuje samotný zdroj tepelného toku a dále tepelná kapacita a odpor přestupu tepla do interiéru.

Maticový popis modelu je definován v rovnicích (4). Vstupní hodnoty modelu jsou v tab. 1.

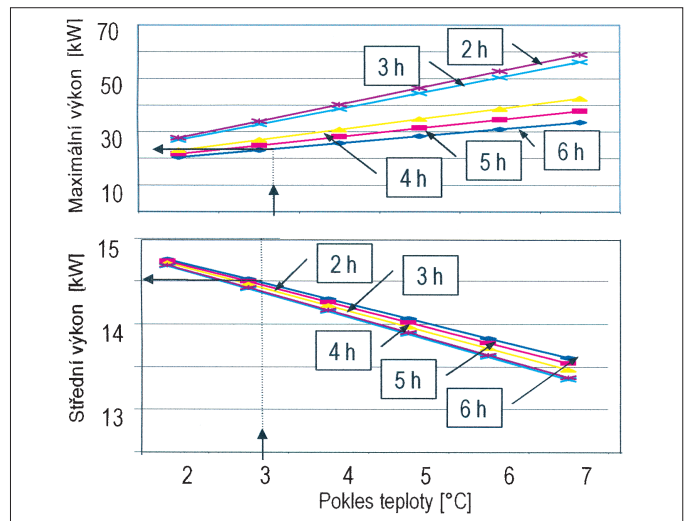
$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ U_T + pC_T + G & 0 & -U_T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -U_T & U_T + U_o + U_{IR} + U_S + pC_i & -U_1 & -U_S & -U_{IR} \\ 0 & 0 & 0 & -U_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -U_S & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -U_{IR} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_6 \end{bmatrix} \quad (4)$$

je vyznačeno na obr. 2.

Zadaný požadovaný průběh vnitřní teploty a vypočtený průběh tepelného toku je zobrazen na obr. 3. V horní části jsou příklady určené programem pož-



Obr. 4 Maximální a střední výkon pro různé hodnoty poklesu teploty a doby restartu



Obr. 5 Závislost mezi maximálním a středním výkonem

VÝSLEDKY

Pro zmapování chování systému byl vypočten pokles teploty v místnosti v intervalu od 2 do 7 °C a pro pět hodnot časového intervalu mezi sepnutím zdroje a dosažením požadované teploty (doba restartu). Interval byl mezi 2 a 6 hodinami. Zdroj měl zajistit požadovanou teplotu 20 °C mezi 16 a 22 hodinou. Venkovní teplota byla uvažována konstantní -12 °C. Průběh snižování teploty ve fázi chladnutí místnosti a nárůst teploty po zapnutí zdroje je vypočten programem na začátku výpočtu a použit jako vstup v uzlu interiéru pro zadání požadovaného průběhu vnitřní teploty. Výstupní uzel je v místě tepelného zdroje jak

Tab. 1 Vstupní hodnoty modelu

U_W	U_I	U_R	U_{IR}	U_S	U_T	U_O
[W.K ⁻¹]						
189,2	1056,0	295,4	1536,1	873,4	288,2	67,2
C_W	C_R	C_S	C_I	C_T		
[Wh.K ⁻¹]						
35 640	12 960	14 742	2360	560		

dované teploty a v dolní části odpovídající výsledky. Vyznačen je maximální a střední výkon zdroje. Z příkladu výsledků je vidět jak větší vychladnutí místnosti umožňuje snížit spotřebu energie ale zároveň zvyšuje nárok na maximální výkon zdroje.

Program zobrazí graficky výsledný průběh tepelného toku a vypočte i střední výkon, který po vynásobení sledovaným časovým intervalem (v tomto případě je to den) udává spotřebu energie a odpovídá tedy ploše pod křivkou průběhu tepelného toku. Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedeny v 3D grafech na obr. 4. Zde je vidět rychlý nárůst maximálního výkonu při zkrácení doby potřebné pro dosažení požadované teploty. Vztah mezi maximálním a středním výkonem je dobře patrný na grafech na obr. 5, kde lze odečíst tyto údaje pro jednotlivé hodnoty poklesu teploty a doby restartu.

ZÁVĚR

Najít odpověď na otázku jaký výkon vytápěcího zdroje, zvolit není jednoduché, neboť správné řešení je soubor hodnot, kdy pro jednotlivé hodnoty poklesu teploty na čáře chladnutí místnosti je uveden odpovídající maximální výkon a střední výkon (případně i s odpovídající spotřebou energie), viz tab. 2.

V tomto případě byl s uvažováním nabízených výkonů zdroje a odpovídajících cen doporučen výkon 40 kW. Přesnou odpověď může dát podrobné ekonomické vyhodnocení investičních nákladů na zdroj a provozních nákladů, respektive úspor provozních nákladů.

Tab. 2 Vztah poklesu teploty, maximálního výkonu, středního výkonu pro různé doby restartu

	Doba restartu [h]				
	6	5	4	3	2
$t_{i,min}$ [°C]	5,5	5,7	6,0	6,2	6,4
Maximální výkon [W]	29 664	33 639	38 781	51 781	55 213
Střední výkon [W]	13 952	13 856	13 715	13 556	13 535

Popsaná metoda pomůže nalézt nejlevnější zdroj, který zajistí požadovanou teplotu v místnosti při přerušovaném vytápění. Výsledky dosažené metodou syntézy byly ověřeny analýzou s vypočtenými hodnotami zátěže (průběhem tepelného toku).

Uvedený příklad je pouze jednou ukázkou užitečnosti metody určení zátěže v dynamických modelech. Metodu lze využít také při navrhování chladicího výkonu. Výpočet musí uvažovat proměnnou venkovní teplotu a změny průběhu vnitřní teploty způsobené vnější zátěží (sluneční radiace) a v závislosti na vyvolaných změnách definovat požadavek na snížení této teploty strojním chlazením.

Poděkování: Příspěvek vznikl s podporou MSM 6840770006.

Spojení na autora: vytlacil@fsv.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Athienitis, A. K., Sullivan, H. F., Hollands, K. G. T.: Discrete Fourier series models for building auxiliary energy loads based on network formulation techniques. *Solar energy*. Vol. 39, 203–210, 1987
- [2] Hong, T., Chou, S.K., Bong, T.Y.: Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and environment*. Vol. 35, No. 4, 347–361, 2000
- [3] Vytlačil, D.: Design of building parameters by means of theory of tolerances. Proceedings of 8th International IBPSA conference Building Simulation 2003. Vol.3, IBPSA, 1333–1337, 2003
- [4] Vytlačil, D.: Time-dependent load determination in thermal dynamic models. Proceedings of CIB World Building Congress, 2004
- [5] Fraise, G., Virgone, J., Yezou, R.: A numerical comparison of different methods for optimizing heating-restart time in intermittently occupied buildings. *Applied energy*, Vol. 62, No.2, 125–140, 1999

* Tiché větrání Silenceair

Australská firma Silenceair International ze Sydney využila doktorandské práce Sydney University ke konstrukci plastové tvarovky, která se umísťuje do zdíva a v přirozeném větrání pohlcuje až 85 % vnějšího hluku.

Krabicová tvarovka šířky cca. 6", výšky tří britských cihel cca. 9" a hloubky cca. 10" má ve spodní části vnějšího lince obdélníkový větrací kanál táhnoucí se diagonálně k hornímu vnitřnímu líci. Spodní polovina tvarovky je opatřena svislými voštinami čtvercového průřezu, zatímco vrchní polovina má čtvercové voštiny uloženy vodorovně. Vzduch prochází tvarovkou bez omezení, zatímco zvuk se láme a tlumí voštinami. Protihlukovou účinnost systému prokázaly zkoušky s nucenou ventilací.

Tvarovka je vyrobena z pevného rázuvzdorného a transparentního polykarbonátu (PC), jenž zároveň umožňuje denní prosvětlování. Pevnostní a rozměrové řešení dovoluje i dodatečnou vestavbu do zdíva nosných stěn a přiček. Silenceair zahájila výrobu 30 tis. kusů měsíčně s uvedením na trh v únoru 2005.

European Plastics News a firemní informace Silenceair

(AB)

* Elektrická požární signalizace

Společnost Siemens představila na 14. ročníku mezinárodního veletrhu zabezpečovací techniky, systémů a služeb, požární ochrany a záchranných zařízení Pragoalarm-Prago-sec 2005 mimo jiné i elektrickou požární signalizaci.

Prezentována byla kompletní řada požárních ústředí s příslušenstvím pro všechny typy aplikací vyžadujících vysokou odolnost proti planým poplachům. Požární ústředí této typové řady mají vynikající detekční vlastnosti.

Aktuálním trendem v oblasti EPS je integrace více systémů do jednoho grafického prostředí, které umožňuje jednoduché a přehledné ovládání. Prezentována byla integrace ústředí FC700 do grafické nadstavby. Ústředí FC700A jsou pro svou vysokou flexibilitu vhodné pro velké aplikace v nejrůznějších odvětvích, jako jsou rozlehlé areály, průmyslové objekty a rozsáhlejší komplexy budov.

Tisková zpráva Siemens.

(Tom)

* Klimatizace v automobilech

Toyota vyvinula extra lehký, externí objemový kompresor pro klimatizaci automobilů, který šetří energii a snižuje emise CO₂. Firma uvádí, že tento kompresor, využívající freon HFC 134a, je o 25 % lehčí a umožňuje snížit spotřebu paliva o 60 % a zároveň zvýšit zrychlení o 30 %.

Firma Valeo vyvinula klimatizační systém respektující životní prostředí a splňující budoucí kritéria EU (očekává se postupný zákaz používání freonu HFC 134a). Navrhovaný systém Valeo R 744 pracuje na bázi CO₂, který představuje chladivo přijatelné z hlediska globálního oteplování. Firma plánuje zavedení tohoto systému na trh v roce 2009.

www.toyota.com, www.valeo.com

(PB)