

KALIBRACE MODELU PRO SIMULACE CHLAZENÍ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY SE ZVÝŠENOU TEPELNOU SETRVAČNOSTÍ

Miloš Lain¹, Jan Hensen

¹České vysoké učení technické, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
Technická 4, Praha 6
Tel: 02 2435 2586, Fax: 02 2435 5616
E mail: lain@fsid.cvut.cz

²Center for Building & Systems TNO-TU/e, Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands

ANOTACE: Příspěvek popisuje počítačovou simulace skutečné budovy se zvýšenou tepelnou setrvačností a použitého klimatizačního systému s využitím nočního větrání. V první části příspěvku je řešen model budovy včetně atypických prvků (betonové stropy s žebry a venkovní stínění) model systému větrání a chlazení. Následně je prezentována kalibrace modelu na základě reálných dat naměřených v objektu. V závěru je zhodnocen význam počítačových simulací pro návrh systémů nízkoenergetického chlazení.

ABSTRACT: In the introduction the application of low energy cooling method for commercial buildings in the middle Europe is discussed. The main part of the paper deals with modeling and simulation of building it self and HVAC system including control. The calibration of the ESP-r building model according to the measured data is prescribed and problems with system simulation are discussed. The role of modeling and simulation for low energy cooling is presented on the conclusion.

KONCEPT BUDOVY

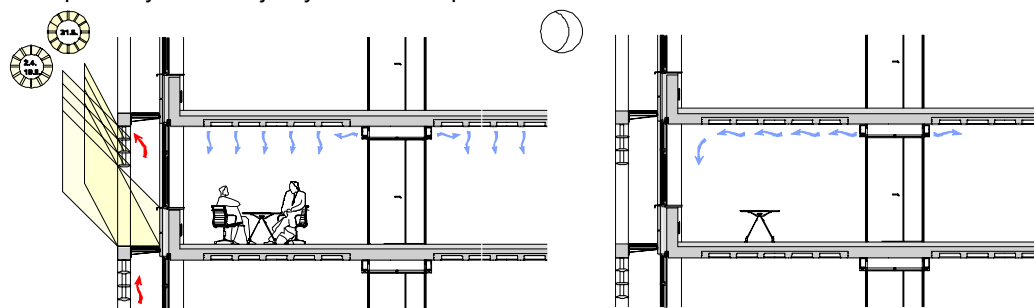
Budova, která slouží pro ústředí společnosti ČEZ, byla již v prvních fázích projektové přípravy koncipovaná jako nízkoenergetická budova z pohledu chlazení. V budově je uplatněno několik prvků pasivního a nízkoenergetického chlazení. Patří sem především venkovní odvětrané žaluzie na jižní fasádě, vysoká tepelná masa budovy a vzduchový systém umožňující využití nočního chlazení. Značná část budovy byla původně koncipována bez strojního chlazení, ale vzhledem ke zvýšení předpokládaného počtu osob a vybavení bylo nutné systém o strojní chlazení doplnit. Výsledkem je systém tzv. top-

cooling spočívající v kombinaci nízkoenergetického a strojního chlazení.

Budova získala v září 2002 cenu nadace ABF „Stavba roku“ (Dvoák 2002).

OPTIMALIZACE SYSTÉMU

Systém nuceného nočního větrání vyžaduje důkladnou analýzu a optimalizaci, neboť jak ukazuje řada prací, při vyšších průtocích vzduchu může spotřeba el. energie ventilátorů snadno překročit úspory v příkonu strojního chlazení. Obzvláště je-li noční větrání kombinováno se strojním chlazením, je potřeba optimalizace průtoku vzduchu a regulačního



Obr. 1: Princip stínění akumulace a nočního ho větrání

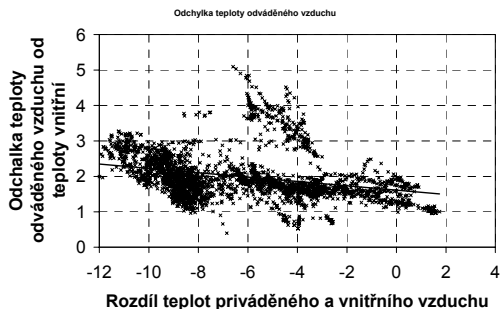
algoritmu ještě výraznější.

Pro optimalizaci systému bude využito detailního počítačového modelu budovy a systému větrání a klimatizace. Tento model je kalibrován podle reálných naměřených hodnot.

MĚŘENÍ

Podkladem pro kalibraci modelu jsou naměřené hodnoty ze tří zdrojů.

Jedná se především o data archivována systémem měření a regulace budovy. Tato data obsahují teploty vzduchu z řady míst klimatizačního systému, nastavení. Data jsou zaznamenávána v intervalu 5 minut. Bohužel kontrolní měření ukázlo, že teplota odváděného vzduchu měřená ve strojovně se výrazně liší od teploty v klimatizovaných kancelářích (viz obr. 2). To je způsobeno jednak ovlivněním odváděného vzduchu vzduchem přiváděným, tak i chybou čidla. Také čidlo teploty venkovního vzduchu není vhodně umístěno neboť ho výrazně ovlivňuje teplota fasády.



Obr.2: Odchylka čidla teploty v odváděním vzduchu od střední teploty vzduchu v kanceláři.

Dalším zdrojem dat bylo dlouhodobé měření parametrů prostředí (teploty vzduchu a relativní vlhkosti) ve vybrané referenční velkoplošné kanceláři. Data byla zaznamenávána kalibrovanými datalogery. Následně bylo v rámci ověření funkce zařízení provedeno jednorázové proměření výstupních rychlostí z vyústek a teplotních profilů v kancelářích.

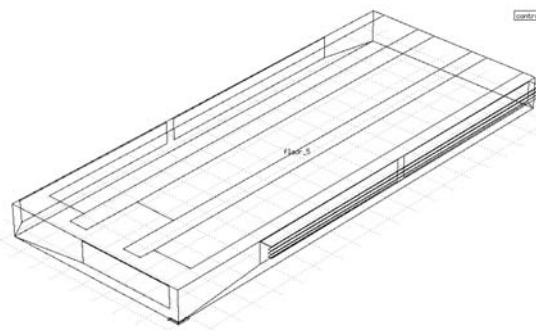
Posledním zdrojem dat byla klimatická data z meteorologické laboratoře ústavu techniky prostředí v Praze Dejvicích.

MODEL BUDOVY

Jako referenční bylo zvoleno páté podlaží bloku C budovy. Pro velkoplošnou kancelář v tomto podlaží byl sestaven počítačový model (viz obr.3). Simulace jsou prováděny programem ESP-r

Model obsahuje všechny základní prvky budovy. Některé prvky byly pro potřeby simulací mírně zjednodušeny. Žebrování stropu bylo nahrazeno třemi fiktivními žebry s povrchovou plochou shodnou s žebry skutečnými a s tepelnou masou rovnají se 80% tepelné masy skutečných žeber. Pracovní stoly byly nahrazeny souvislou deskou. Ve zvolené části budovy je několik samostatných kanceláří oddělených skleněnými příčkami. Model byl však ponechán jako jednozónový se zanedbáním těchto konstrukcí.

V kanceláři pracuje 52 osob (cca 11m² na osobu) vybavených počítači a LCD monitory. Nominální výkon počítače s monitorem je 190 W. Zisky od osvětlení byly uvažovány 20 W/m².

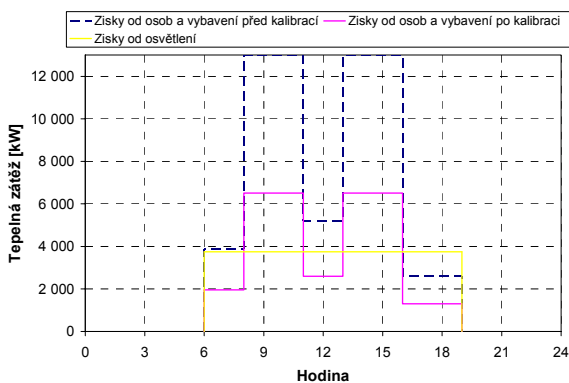


Obr. 3: Počítačový model podlaží 5 (bez stolů a žeber)

Časový profil vnitřních zisků vychází z běžného využití kanceláře a to tak aby odpovídal osmihodinové pracovní době zaměstnanců (viz obr.4).

KALIBRACE MODELU

Vzhledem k tomu, že řada vstupních parametrů pro simulace není k dispozici, je třeba provést kalibraci modelu. Pro kalibraci bylo využito



Obr. 4: Vnitřní zisky kanceláře před a po kalibraci

naměřených hodnot (viz. výše). Kalibrace probíhala ve třech stupních.

V prvním stupni byl kalibrován pouze **model budovy** a jejích vnitřních zátěží. Vnitřní teplota ve sledované zóně byla nastavena podle naměřených hodnot a systém byl nahrazen pouze chladicím výkonem v zóně (základní ideální regulace). Proměnnými jejichž hodnota byla hledána jsou především velikost a časové rozložení vnitřních zisků.

Při kalibraci jsou hledány součinitele korigující výkon vnitřních zdrojů tak, aby bylo dosaženo téměř shodných hodnot chladicího výkonu a to jak celkové spotřeby chladu, tak průběhu chladicích výkonů (viz obr 6 a 7). Z naměřených hodnot byl vyhodnocen chladicí výkon podle rozdílu teplot přiváděného a odváděného vzduchu a průtoku.

Profil vnitřních zisků před a po kalibraci reprezentuje obrázek 4. Součinitel použitý pro korekci nominálních výkonů počítačů a monitorů je 34% (dobrá shoda s literaturou-Duška uvádí rozsah 20-50%).

PLANT MODEL

Další stupeň představovala kalibrace modelu budovy včetně klimatizačního systému.

Systém větrání a klimatizace kanceláře je modelován jako plant systém v programu ESP-r. Venkovní vzduch je přiváděn do výměníku ZZT (plocha výměníku byla nastavena tak, aby odpovídala účinnost výměníku). Dále je osazen chladič a ventilátor s proměnným průtokem vzduchu (dvě hodnoty 0,6 nebo 1,2 m³/h - podle časového programu). Chladič je ovládán PID regulací dle teploty vzduchu v zóně.

Z obrázku č. 8 je patrný průběh teploty v kanceláři (zóně) a chladicí výkon přiváděný do

kanceláře. Simulace ukazuje mírně nižší teploty v nočních hodinách, ale průběh chladicího výkonu se u modelu zahrnujícího i klimatizační systém velmi přibližuje naměřenému.

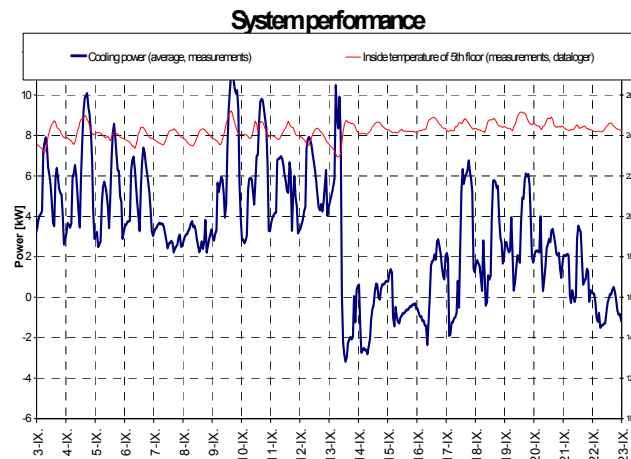
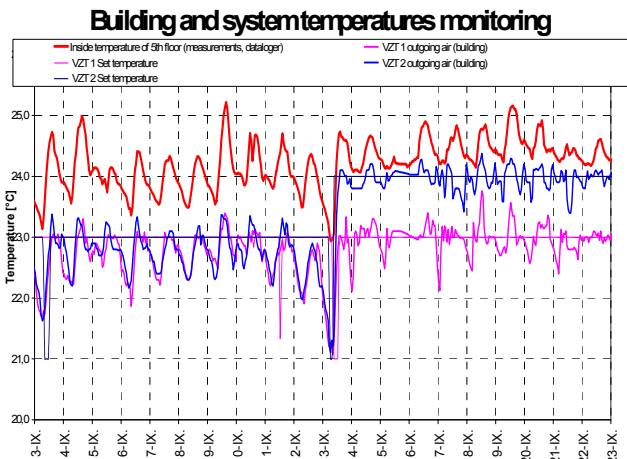
ZÁVĚR

Model budovy byl kalibrován podle naměřených dat s dobrou shodou jak průběhu teplot, tak chladicích výkonů. Dalším krokem bude kontrola použití kalibrovaného modelu v jiném monitorovaném období a jeho použití pro optimalizaci systému nočního větrání.

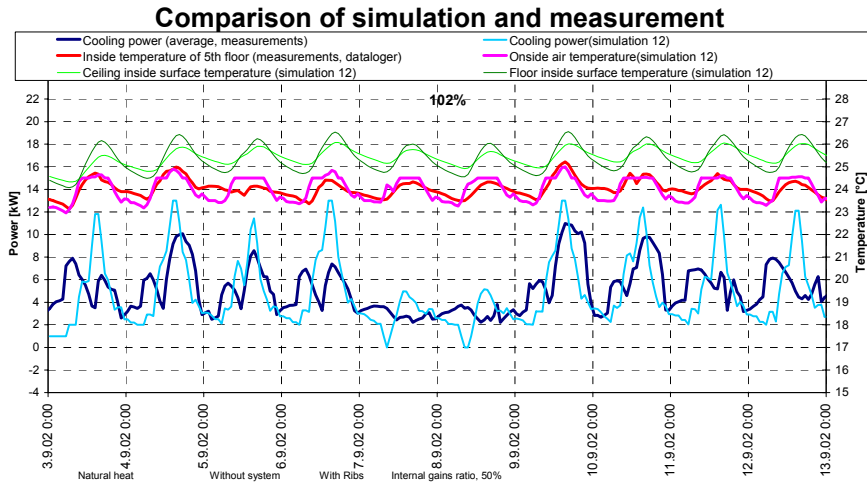
LITERATURA

- [1] J.Dvořák, J. „Hlavní správa CEZ: noční chlazení“, *Proc. Simulace budov a techniky prostředí 2002*, IBPSA-CZ, Praha 2002, p. 15 to 17.
- [2] Behne, M., 1997, Alternatives to Compressive Cooling in Non-Residential Buildings to Reduce Primary Energy Consumption, Final report, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
- [3] Duška, M. Drkal, F. Lain, M. „Tepelné zisky z vnitřního vybavení administrativních budov“ In: *Klimatizace a větrání 2004*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2004, s. 165-174. ISBN 80-02-01598-3
- [4] Lain, M., 2002, Počítačové simulace při řešení alternativních způsobů chlazení budov, *Proc. Simulace budov a techniky prostředí 2002*, IBPSA-CZ, p. 93 to 96.

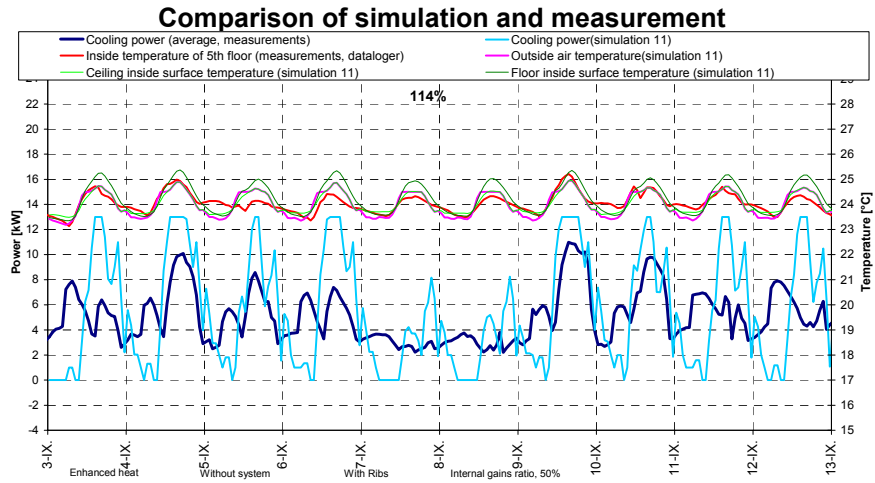
Tento výzkum byl prováděn s podporou výzkumného záměru MSMT 21000011



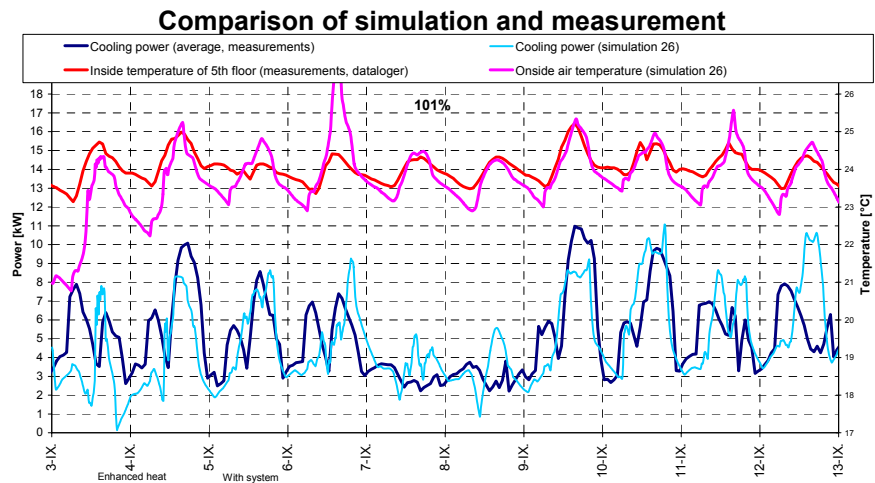
Obr.5: Měřená data pro kalibraci modelu



Obr. 6: Porovnání naměřených dat a výsledků simulace pro budovu s přirozenou konvekcí



Obr. 7: Porovnání naměřených dat a výsledků simulace pro budovu s nucenou konvekcí



Obr. 8: Porovnání naměřených dat a výsledků simulace pro budovu a systém klimatizace