

Dr. Ing. Michal JAROŠ
Energetický ústav, odbor termo-
mechaniky a techniky prostředí,
Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně
Ing. Dalibor PLŠEK
Ing. Jitka MOHELNÍKOVÁ, Ph.D.
Ústav pozemního stavitelství
Fakulta stavební VUT v Brně

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Vnitřní prostředí v kancelářských prostorech s vysokým podílem prosklení 2. část – měření

Indoor Environment in Office Rooms with High Rate of Glazing part 2 – Measurement

Článek se zabývá vyhodnocením celoročního měření vnitřního prostředí zasedací místnosti pobočky Všeobecné zdravotní pojišťovny (VZP) v Brně, zejména z hlediska vlivu vysokého podílu prosklení obvodového pláště budovy na nutnost klimatizace. Odhad energetické bilance prosklené části fasády ukazuje, že solární zisky převyšují ztráty tepla prostupem již od března. To potvrzují naměřené vnitřní teploty, které prokazují nutnost chlazení místnosti za slunečných dnů nejen v letním, ale i v přechodných obdobích roku, cca od poloviny března až do poloviny října. Zvýšené solární zisky tak přinášejí užitek v podobě snížených nákladů na vytápění pouze v období listopad–únor, případně za polojasných dnů na jaře a na podzim. Pro jejich regulaci po zbytek roku je nutno použít pokročilé zasklívací systémy s nízkým solárním faktorem a účinná stínicí zařízení, jinak dochází ke zvýšení energetických nároků budovy.

Klíčová slova: prosklená fasáda, energetická bilance, solární zisky, klimatizace

The article deals with an evaluation of all-year monitoring of inner environment in the conference room of General Health Insurance Company branch office in Brno. The main attention paid to the influence of high portion of glazed areas on air-conditioning demands. The energy balance assessment indicates that the solar gains exceed the heat losses since March. The measured inner temperatures confirm the need of air-conditioning on sunny days not only in summer but in transitional seasons, too. Increased solar gains can therefore be utilized only from November to February, or on half-cloudy days in spring and autumn. In the rest of the year, they should be controlled using advanced glazed systems and efficiency shading devices.

Key words: glazed façade, energy balance, solar gains, air-conditioning

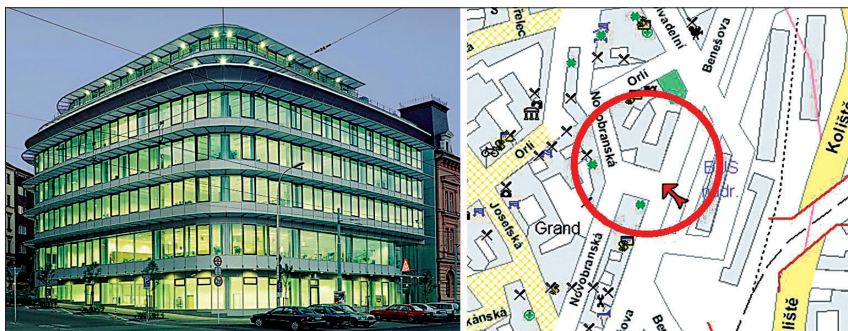
První část tohoto článku [1] se zabývala vlivem prosklení obvodového pláště budovy na celoroční spotřebu energie pro vytápění a chlazení. Význam jednotlivých parametrů byl posouzen na základě výsledků celoroční energetické simulace zasedací místnosti pobočky Všeobecné zdravotní pojišťovny (VZP) v Brně (obr. 1). V této části budou popsány výsledky měření této lokality v letech 2005 až 2007.

MĚŘENÍ PARAMETRŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

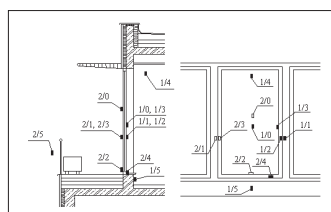
Měření proběhlo v kancelářských prostorech VZP ve dvou etapách. Cílem prvních měření v březnu a dubnu 2005 bylo zjištění teplotních profilů v prosklené části fasády během přechodného období roku a následný odhad energetické bilance prosklených ploch. Měřeno bylo současně v 1. a 6. NP. Jako měřicí aparatura bylo použito mobilní záznamové zařízení s polovodičovými teplotními čidly AD-592 (fa Analog Devices, USA).

Kromě povrchových teplot skel a okenních ráamů byly měřeny teploty vzduchu v interiéru a exteriéru. Intenzita slunečního záření měřena nebyla.

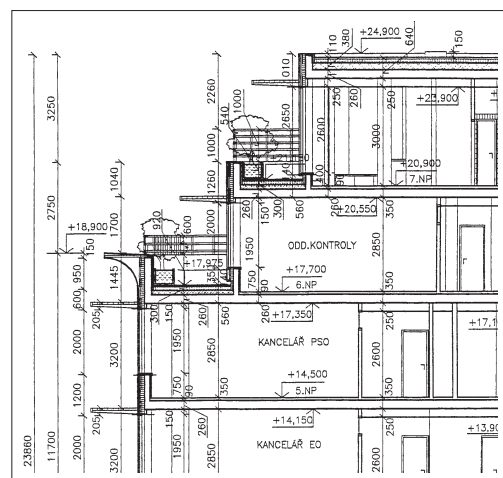
S využitím získaných zkušeností pak byla v období od ledna 2006 do konce roku 2007 realizována druhá etapa měření. Měřicí aparatura byla tentokrát instalována pouze v zasedací místnosti pobočky v šestém, tj. nejvyšším podlaží (obr. 2b). Použit byl již osvědčený distribuovaný měřicí systém, založený na modulech řady ADAM 4000 [2 až 4], který umožňuje dlouhodobá nepřetržitá měření s minimálními požadavky na obsluhu. Čtyři 8-kanálové měřicí moduly ADAM-4018 byly k řídicímu počítači připojeny sériovou sběrnici RS-485 přes konvertor ADAM-4520. Teploty byly měřeny 12 termočlánky typu J o průměru 0,5 mm (fa Omega, USA); jejich rozmístění je zřejmé z obr. 2a. Měření bylo rozšířeno o monitorování intenzity slunečního záření dvěma pyranometry SG-002 s napěťovým výstupem 0 až 2 V (fa Tlusa-



Obr. 1 Večerní pohled na budovu VZP v Brně a orientační mapka její polohy



Obr. 2a Rozmístění měřicích míst



Obr. 2b Průřez horní části venkovní fasády VZP (včetně zasedací místnosti v nejvyšším patře)

řák, Praha), jež byly před použitím kalibrovány podle pyranometru Kipp & Zonen CM6B (výrobce deklarován jako přístroj první třídy přesnosti)

[5]. Pyranometry byly umístěny v horizontální a vertikální, jižně orientované poloze na zábradlí přilehlé terasy. Měřené hodnoty byly snímány v minutových intervalech a archivovány na PC. Systémový čas byl průběžně korigován přijímačem časového signálu DCF77 (fa Omnipress, ČR).

ENERGETICKÁ BILANCE PROSKLENÉ FASÁDY V PŘECHODNÉM OBDOBÍ ROKU

Byla odhadnuta z výsledků první etapy měření. Tepelné ztráty byly vypočteny podle normy [6] na základě naměřených průměrných vnitřních a venkovních teplot (vnitřního a venkovního vzduchu), součinitele prostupu tepla (který má pro prosklenou část fasády střední hodnotu $U = 1,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) a celkové plochy této části fasády. Jejich hodnoty byly porovnány s teoretickými solárními zisky nezastíněné fasády. Vzhledem k absenci údajů o skutečném množství dopadající sluneční energie byly tyto zisky určeny z průměrných hodnot globálního slunečního záření podle ČSN 73 0542 [7] a celkové propustnosti sluneční energie instalovaných oken $g = 63 \%$.

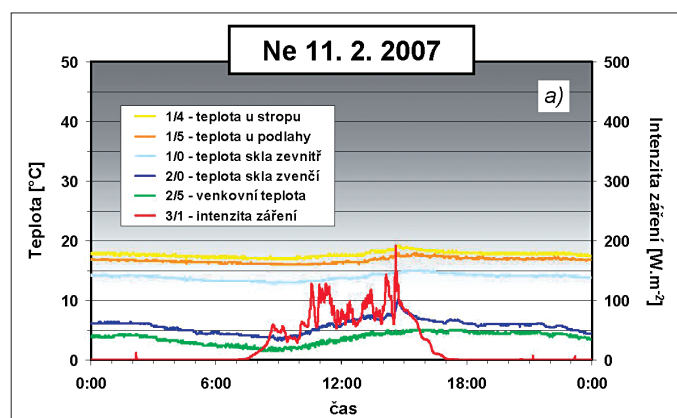
Tab. 1 Porovnání tepelných ztrát prostupem a teoretických solárních zisků prosklenou částí fasády VZP

Tepelné ztráty a zisky		Ztráta tepla prostupem Q_T	Teoretické solární zisky $Q_{S, \text{teor}}$	Celková tepelná bilance prosklení $Q_{S, \text{teor}} - Q_T$
		[kW h]	[kW h]	[kW h]
Jihovýchodní fasáda	Březen	10 908	15 422	4514
	Duben	6707	17 077	10 370
Jihozápadní fasáda	Březen	3636	5141	1505
	Duben	2236	5692	3457
Celá prosklená fasáda	Březen	14 544	20 563	6019
	Duben	8942	22 769	13 827

Jak je patrné z tab. 1, výsledná energetická bilance prosklené části fasády je v obou vyhodnocovaných měsících pozitivní – solární zisky převyšují ztráty tepla prostupem, a to nejen v dubnu (s průměrnou naměřenou venkovní teplotou $8,5^\circ\text{C}$), ale i v březnu (s průměrnou teplotou pouhých $1,9^\circ\text{C}$). Svou roli zde hraje i skutečnost, že celková solární energie dopadající na svislou plochu je v březnu o něco vyšší než v dubnu [8].

Třebaže se tento závěr zdá být příznivý, problémy může působit nesoučasnost obou jevů. Nejsou-li solární zisky regulovány použitím vhodných stínících elementů, může v době intenzivního slunečního svitu (kdy jsou obvykle i venkovní teploty vyšší a potřeba vytápění klesá) docházet k přehřívání místnosti. To je pak nutno řešit např. zvýšenou intenzitou větrání, případně i provozem klimatizace.

Obojí samozřejmě vede ke zvýšené energetické spotřebě budovy (pomineme-li nejjednodušší opatření – větrání otevřenými okny, které však ve většině moderních administrativních budov není možné). Tato situace odpovídá variantě VAR 10 energetické simulace, jejíž výsledky uvádí první část tohoto příspěvku [1].



Obr. 3a až i – Teploty naměřené v zasedací místnosti VZP v různých obdobích roku

TEPLOTNÍ POMĚRY V ZASEDACÍ MÍSTNOSTI VZP

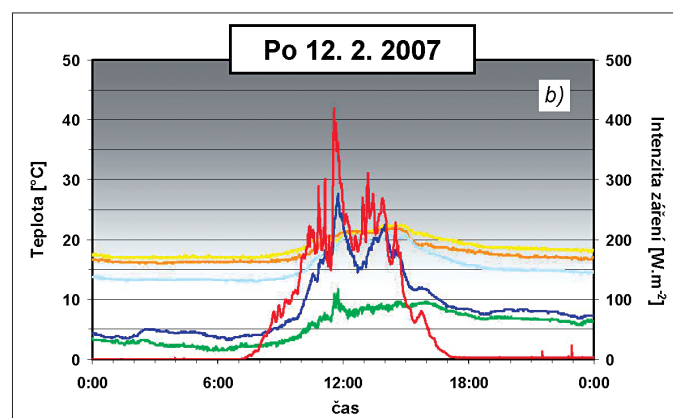
Jak prokázaly výše uvedené propočty i výsledky energetické simulace, přehřívání budov s prosklenými fasádami hrozí nejen v horkém letním období, ale i v přechodných měsících roku.

Cílem druhé etapy proto bylo zjistit – na základě měření teplotních poměrů – vliv prosklené fasády na klima v přilehlé místnosti, a to v průběhu celého roku. Vyhodnocení těchto měření nebylo zcela jednoduché. Vytápění i klimatizace zasedací místnosti jsou ovládány manuálně (nastavením prostorového termostatu, případně spuštěním chodu podstrojní klimatizační jednotky) a jejich provoz není nijak monitorován. Poněvadž měření probíhala za běžného provozu s podmínkou minimálního narušení interiéru, nebylo možno instalovat čidla na ventily otopných těles či na výstup klimatizace (což by umožnilo přesně identifikovat dobu jejich provozu). Na činnost obou zařízení tak lze usuzovat pouze z průběhu teplot uvnitř místnosti.

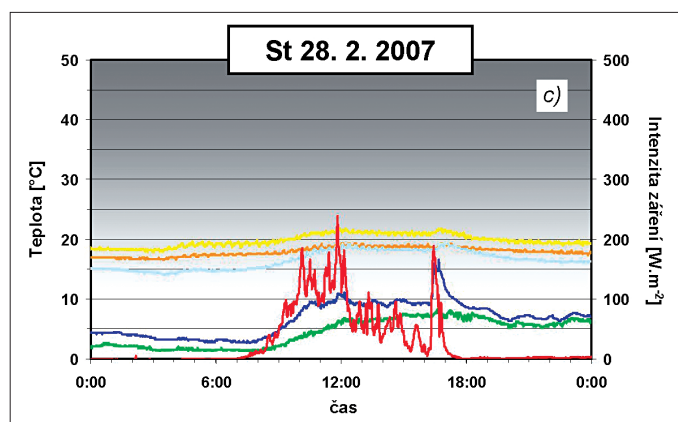
Teplotní poměry naměřené v neděli 11. 2. 2007 (obr. 3a) představují jakési „základní nastavení“ dané místnosti. Vzhledem k tomu, že se jedná o den pracovního klidu, je místnost vytápěna jen na 16 až 18°C (teplota u podlahy; teplota u stropu je vyšší o cca 1°C). Venkovní teploty se pohybují mezi 2 až 5°C . Sluneční záření dosahuje po většinu dne intenzity 50 až 100 W/m^2 s ojedinělými překmity (maximální hodnota v horizontální rovině 190 W/m^2 byla naměřena ve $13:36 \text{ h SEČ}$), což odpovídá zataženému dni s převládající difúzní složkou záření. Teplotu vzduchu v místnosti proto prakticky neovlivňuje (což je zřejmé i z toho, že teploty napříč prosklením směrem zevnitř ven tvoří po celý den klesající posloupnost).

Následující den, pondělí 12. 2. 2007 (obr. 3b), lze vyhodnotit jako **polojasný zimní den** – intenzita slunečního záření na vodorovné ploše se pohybuje od 150 do 300 W/m^2 (špičkově 420 W/m^2 v $10:35 \text{ h SEČ}$), na svislé jižní ploše je ještě o něco větší (200 až 500 W/m^2 , špičkově 614 W/m^2 , což ovšem není v grafu zobrazeno). Rovněž venkovní teploty jsou o něco vyšší a dosahují téměř 10°C . Vzduch v místnosti se postupně ohřívá, pravděpodobně vlivem solárních zisků, až na příjemných 22°C , teplotní rozdíly se opět pohybují kolem 1°C (zajímavé ovšem je, že kolem poledne dochází k inverznímu teplotnímu zvrstvení, pravděpodobně vlivem oslnění podlahy). O vlivu slunečního záření svědčí i nárůst teploty vnějšího skla (respektive teplotního čidla – termočlánku, jehož pohltivost a tedy i míra ohřátí jsou podstatně větší než u skla). Celkově lze konstatovat, že za daných podmínek postačují solární zisky na udržení přijatelné vnitřní teploty – prosklená fasáda je energeticky neutrální.

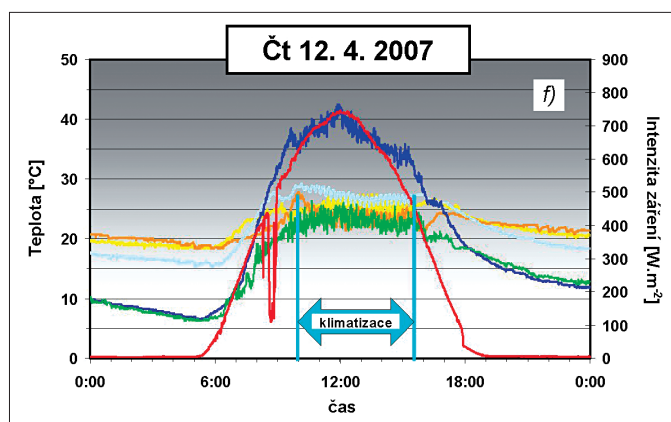
Naproti tomu **za zataženého zimního dne** (středa 28. 2. 2007, obr. 3c) musela být místnost pro dosažení tepelné pohody celodenně vytápěna (jak o tom svědčí pilovitý průběh naměřených vnitřních teplot), a to i přesto, že venkovní teploty byly srovnatelné s předchozím případem. Vnitřní teploty se během dne pohybovaly od $17,5^\circ\text{C}$ (u podlahy) do $21,8^\circ\text{C}$



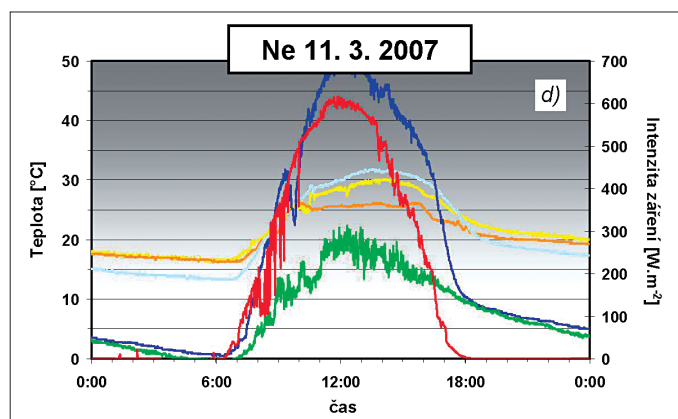
Obr. 3b



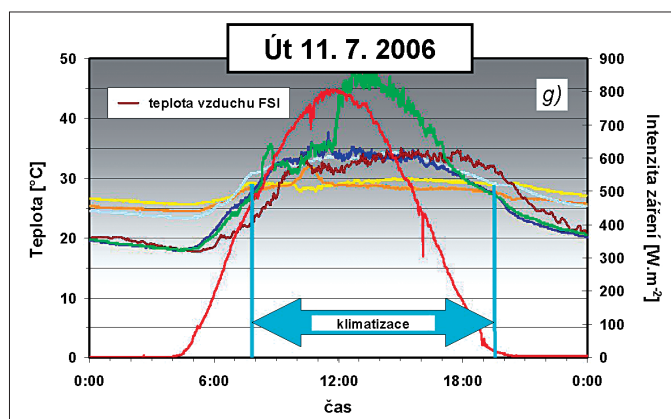
Obr. 3c



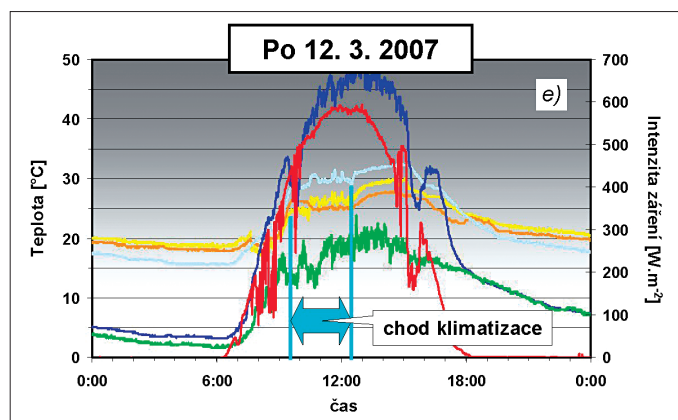
Obr. 3f



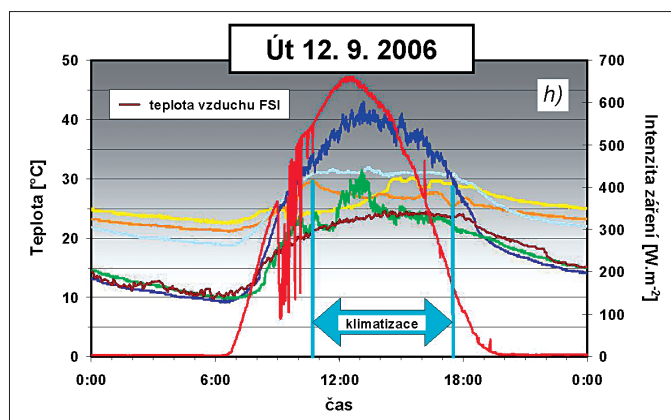
Obr. 3d



Obr. 3g



Obr. 3e



Obr. 3h

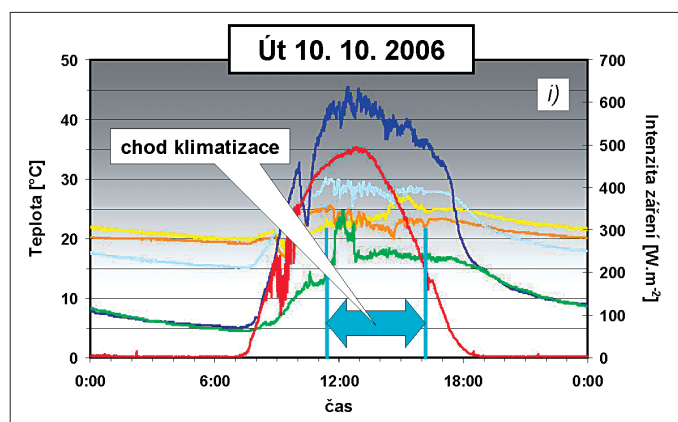
(u stropu) při průměrné teplotní stratifikaci kolem 2 °C. Vliv slunečního záření se vzhledem k jeho nízké intenzitě (srovnatelné s prvním případem) prakticky neprojevuje.

Neděle 11. a pondělí 12. 3. 2007 (obr. 3d, e) představují poměrně teplé a slunečné jarní dny (třebaže kalendářně jaro ještě nenastalo), během nichž se již vliv solárních zisků projevuje naplno. Maximální intenzita slunečního záření (v horizontální rovině) se v obou dnech pohybuje kolem 600 W/m², venkovní teploty přesahují 20 °C. Rozdíl mezi oběma dny je v pracovním režimu. V neděli, kdy nebylo nutno vnitřní prostředí v místnosti udržovat na přijatelné úrovni (a klimatizace tedy nebyla zapnuta), zde teploty vystoupily až ke 30 °C (u stropu; u podlahy byly nižší o cca 4 °C). Naopak v pondělí 12. 3. již byla klimatizace spuštěna, takže teploty vzduchu v místnosti se udržely na 25 až 27 °C (s teplotním rozdílem mezi podlahou a stropem 1 až 2 °C). Z grafu na obr. 3e je rovněž dobře patrné, jak začala po vypnutí klimatizace teplota vzduchu v místnosti narůstat (opět až ke 30 °C). Za slunečných dnů v dubnu (jako např. ve čtvrtek 12. 4.

2007, obr. 3f) pak byl pro dosažení přijatelného klimatu v místnosti nutný již celodenní chod klimatizace (a to i přesto, že venkovní teploty nedosahovaly nijak vysokých hodnot – jen cca 23 až 25 °C).

Podobná situace ovšem panuje i za slunečných podzimních dnů, a to nejen během „babího léta“, jako např. v úterý 12. 9. 2006, kdy lze z naměřených teplotních průběhů usuzovat na činnost klimatizace v době 10:50 až 17:30 h (obr. 3h), ale ještě i v první půli října. Jak je vidět z obr. 3i (Út 10. 10. 2006), i v této roční době bylo nutno krátkodobě použít klimatizaci pro snížení poměrně vysokých vnitřních teplot. Teprve koncem října se situace normalizuje, jak dokládají hodnoty naměřené v úterý 31. 10. 2006 (obr. 3j): sluneční záření má již menší intenzitu (kolem 500 W/m² na vodorovné ploše), přesto dokáže místnost ohřát na 22 až 23 °C, čímž se situace blíží únorovému stavu (obr. 3b).

Závěrem se ještě podíváme na situaci za horkých letních dnů (měřeno 11. 7. 2006, obr. 3g). V takových dnech vyžaduje místnost celodenní klimati-



Obr. 3i

zaci; v tomto případě byla zapnuta od cca 9 hod. ráno (když vnitřní teplota dosáhla 28 až 29 °C již v 7:36 h SEČ, tj. 8:36 h LSEČ) až do pozdního odpoledne (jak lze soudit z víceméně konstantního průběhu vnitřních teplot). Prostup tepla zvenčí skrz okno je v tomto případě malý (teploty vnějšího i vnitřního skla jsou takřka shodné), je nutno odvádět především solární zisky. Shoda teplot obou skel však svědčí o tom, že slunolamy jsou dobře navrženy a zastiňují v tomto ročním a denním období podstatnou část okna.

V grafech na obr. 3g–h uvádíme pro zajímavost i venkovní teploty naměřené na objektu laboratoří Fakulty strojního inženýrství VUT, který je umístěn mimo kompaktní městskou zástavbu [9]. Shoda zářijových teplot naměřených v obou lokalitách je, s výjimkou občasných oslunění čidla na budově VZP, velmi dobrá; v červenci již dochází k větším disproporcím. Mezi oběma průběhy lze pozorovat především fázový posun; ten však může být způsoben odlišnou zeměpisnou orientací obou objektů.

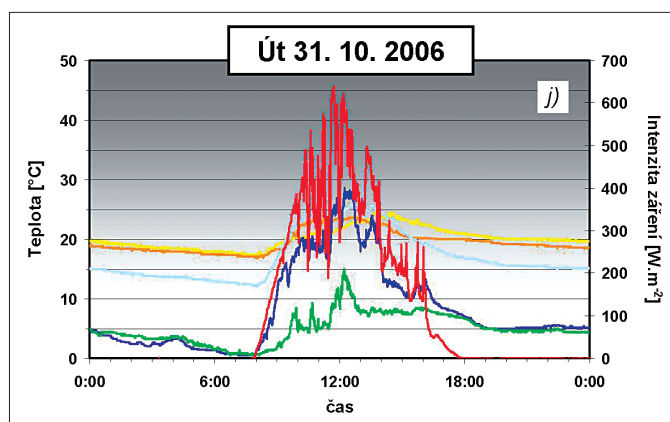
Z hlediska vyhodnocení měření na objektu VZP je však podstatné, že maximální denní teploty obou měření dobře korespondují (odchyly způsobené osluněním nezastíněného čidla na VZP lze snadno identifikovat z průběhu naměřené teploty).

ZÁVĚR

Výsledky dlouhodobého měření vnitřního prostředí ve sledované místnosti zcela odpovídají závěrům energetické simulace [1] a názorně ukazují, že v budovách s velkým podílem prosklených fasádních ploch dochází k přehřívání přilehlých prostor nejen za teplých a slunečných letních dnů, ale i na jaře a na podzim. V uvedeném případě bylo nutno místnost klimatizovat již v polovině března (obr. 3e) a tato potřeba trvala až do poloviny října (obr. 3i). Zvýšené solární zisky tak přinášejí užitek v podobě snížených nákladů na vytápění pouze v období listopad–únor, případně za polojasných dnů v přechodných obdobích roku.

Nedostatek lze do značné míry eliminovat použitím pokročilých zasklivačích systémů, s nízkým součinitelem prostupu tepla, ale zejména – alespoň z hlediska klimatizace – s nízkou hodnotou celkové propustnosti sluneční energie. Především je však nutno použít účinný stínicí systém – vhodně navržené slunolamy, případně doplněné nastavitelnými vnějšími žaluziemi. Použití slunolamů spotřebu energie výrazně snižuje (v uvedeném případě takřka pětikrát) [1]. Vnitřní žaluzie nemají pro eliminaci přehřívání takřka žádný význam (zachycené teplo zůstává v místnosti). Jejich vliv se omezuje pouze na regulaci denního světla a estetické působení. Jako ideální se jeví dálkově ovládané vnější žaluzie, jejichž nastavení je řízeno inteligentním měřicím a regulačním systémem budovy v závislosti na aktuálních klimatických podmínkách a požadavcích uživatelů.

Závěry potvrzují známý fakt, že v současných kancelářských budovách nelze prakticky vytvořit přiměřené vnitřní prostředí bez nějakého způsobu



Obr. 3j

jeho úpravy. Náklady na jeho udržení v předepsaných mezích přitom výrazně závisí na podílu prosklených ploch v obvodovém plášti. Je ovšem otázkou, jakou roli hraje jejich výše v celkové ekonomice budovy a zda problematika jejich snižování leží v ohnisku zájmu investorů. Z celospolečenského hlediska – v souvislosti s rostoucí spotřebou energie i probíhajícími klimatickými změnami – se nicméně hledání nových, energeticky méně náročných způsobů regulace vnitřního prostředí, jako je např. metoda pasivního nočního chlazení [10], stává vysoce aktuálním.

Poděkování

Príspevek byl zpracován za podpory grantového projektu GAČR 101/05/H018 „Výzkum efektivních systémů pro zlepšení kvality vnitřního prostředí“. Autoři děkují rovněž p. Jaroslavu Koláčkovu, s jehož laskavým svolením bylo možno uvedená měření realizovat.

Spojení na autora: e-mail: jaros@fme.vutbr.cz

Energetický ústav, odbor termomechaniky a techniky prostředí,
Technická 2, 616 69 Brno, tel.: 541 143 282, fax: 541 143 269

Príspevek byl ve zkrácené formě přednesen na konferenci
Klimatizace a větrání 2008.

Použité zdroje:

- [1] Jaroš, M., Kubát, P., Mohelníková, J.: Vnitřní prostředí v kancelářských prostorech s vysokým podílem prosklení. 1. část – Simulace spotřeby energie. *Vytápění, větrání, instalace*, 2008, roč. 17, č. 3, s. 118–123. ISSN 1210-1389.
- [2] Jaroš, M., Štětina, J., Charvát, P.: Dlouhodobá měření vnitřního prostředí v budovách – I. část. *Vytápění, větrání, instalace*, 2006, roč. 15, č. 2, s. 76–79. ISSN 1210-1389.
- [3] Jaroš, M., Štětina, J., Charvát, P.: Dlouhodobá měření vnitřního prostředí v budovách – II. část. *Vytápění, větrání, instalace*, 2006, roč. 15, č. 3, s. 119–123. ISSN 1210-1389.
- [4] ADVANTECH: Industrial Automation: Distributed I/O Modules [online]. [cit. 27. 8. 2008]. Dostupné z: http://www.advantech.com/products/Distributed-I-O-Modules/sub_1_23HXZV.aspx.
- [5] Jaroš, M., Charvát, P.: K některým aspektům měření parametrů solární radiace. Sborník XXII. mezinár. věd. konference kateder a pracovišť mechaniky tekutin a termomechaniky. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003, s. 175–180. ISBN 80-7083-710-1.
- [6] ČSN EN 832: Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [7] ČSN 73 0542: Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov. Praha: ČNI, 1995.
- [8] Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Praha: Nakl. T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [9] Energetický ústav FSI VUT, odbor termomechaniky a techniky prostředí: Solární komín [online]. Dostupné z: <http://otp.fme.vutbr.cz>.
- [10] Charvát, P.: Využití solárních komínů a materiálů se změnou skupenství pro pasivní chlazení budov. Projekt GAČR 103/07/0907 (2007–2009). Viz http://pala.gacr.cas.cz/web/Seznam_php.htm.