

Dr. Ing. Michal JAROŠ,  
Ing. Josef ŠTĚTINA,  
Ing. Pavel CHARVÁT, Ph.D.  
Odbor termomechaniky a techniky  
prostředí  
Fakulta strojního inženýrství VUT  
v Brně

# Dlouhodobá měření vnitřního prostředí v budovách – II. část

## Long-term Measurements of Building Indoor Environment – Part 2

Recenzent  
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

### PŘÍKLADY MĚŘENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ NA RŮZNÝCH TYPECH BUDOV

Naše pracoviště doposud realizovalo s využitím modulů ADAM tři rozsáhlejší měřicí systémy. Jednotlivá provedení nyní v krátkosti popíšeme.

#### Měřicí systém vnitřního prostředí solárního skleníku

byl v letech 1999–2004 instalován v tzv. Slunečním penzionu ve Svitavách (obr. 9). Systém byl průběžně rozšiřován a modifikován; schéma jedné z jeho variant je uvedeno na obr. 10.

„Mozkem“ systému je řídicí počítač typu PC AT 486 v obvyklé konfiguraci; doplněny byly pouze dvě další sériové linky RS-232. Na ně je připojen přijímač časového signálu DCF77 a digitální termický anemometr Lutron AM 4204, který měří teplotu a rychlost proudění vzduchu, nasávaného ze solárního skleníku do teplovzdušného větracího systému. Na zbývající sériovou linku RS-232 je přes konverzní modul ADAM 4520 napojena sběrnice RS-485, propojující vlastní distribuovaný měřicí systém. Ten obsahuje čtyři osmikanalové měřicí moduly ADAM 4018, které se od vylepšeného typu 4019 liší především jednotným nastavením měřicího rozsahu pro všechny kanály. To působí určité komplikace při připojení čidel nebo přístrojů se značně odlišnou úrovní výstupního signálu. Pak je nutno provádět všechna měření na nejvyšším požadovaném rozsahu (což s sebou nese snížení citlivosti měření) nebo po každém přepnutí kanálu nastavit nově měřicí rozsah. Ustálení přístroje po přepnutí rozsahu však trvá přibližně 10 s, takže lze toto řešení použít pouze při nižší vzorkovací frekvenci. Celý systém je napájen zdrojem stejnosměrného proudu 24 V/3 A typu PWR-244 (Advantech).

Jedním z hlavních cílů výzkumu bylo monitorování teplot vzduchu v solárním skleníku v závislosti na vnějších podmínkách (intenzitě solárního záření, venkovní teplotě, rychlosti a směru větru) a režimu provozu větracího systému budovy, který ze skleníku nasává ohřátý vzduch. Pro měření teplot vzduchu byly použity termočlánky typu J (Fe-konstantan) Omega 5TC-TT-J-24-72 o  $\varnothing$  0,5 mm a délce 1,83 m, izolované teflonem. Ty byly rozmístěny tak, aby mapovaly teplotu v kolmém řezu (obr. 11), a zapojeny na měřicí moduly č. 1, 2 a 3. Na zbývající modul byly zapojeny ostatní měřicí přístroje s analogovými výstupy:

- ❑ Pyranometr Kipp&Zonen CM 6B pro měření venkovní intenzity solární radiace, s napěťovým výstupem 0 až 15 mV (umístěn v horizontální rovině na střeše budovy).
- ❑ Dva pyranometry SG 002 firmy tm J. Tlusták, Praha s napěťovým výstupem 0 až 2 V (napájeny ss napětím 24 V ze zdroje měřicího systému), umístěné pod prosklenou částí střechy a monitorující vnitřní intenzitu solární radiace v horizontální rovině a v rovině střechy (na obr. 10 nejsou zakresleny).
- ❑ Ultrazvukový anemometr Airflow UA6 s analogovým výstupem 0 až 1 V (napájen síťovým adaptérem 6 V ss), který měřil rychlost proudění vzduchu uvnitř skleníku.

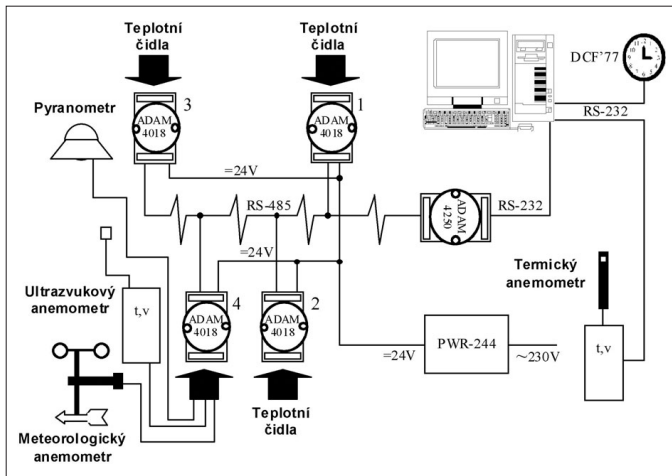
- ❑ Lopatkový meteorologický anemometr Anemo-Noví ANA 953 pro měření rychlosti a směru větru. Přístroj se skládá z vlastního čidla – rotačního lopatkového kříže a otočné lopatkové směrovky – a měřicí jednotky, která řídí a vyhodnocuje měření. Obě části jsou propojeny dvou vodičovým stíněným vedením o maximální délce 500 m. Přístroj má vlastní napájení ze sítě 230 V, které zajišťuje i vytápění čidla v případě nepříznivých povětrnostních podmínek. Analogové výstupy 0 až 10 V byly odporovým děličem převedeny na úroveň 0 až 2,5 V, kterou je měřicí modul ADAM schopen zpracovat.
- ❑ Čidlo venkovní teploty na severní, neosluněné straně budovy. Vzhledem ke značné délce přívodního vedení byl zde použit integrovaný polovodičový teplotní senzor AD592 (fa Analog Devices, Tchajwan), jehož proudový výstup je úměrný absolutní teplotě (citlivost 1  $\mu$ A/K). Měřicí rozsah  $-25$  °C až  $+105$  °C pokrývá většinu požadavků v technice prostředí. Senzor může být napájen stejnosměrným napětím v rozsahu 4 až 30 V; proudový výstup zaručuje nízkou úroveň rušení. V dané aplikaci bylo čidlo napájeno přímo z měřicího modulu napětím 24 V; proudový výstup byl přesnými odpory 125  $\Omega$  převeden na napěťový s úrovní 0 až 50 mV.

Měření probíhala nepřetržitě, s časovým krokem 1 min. Naměřené hodnoty byly zprvu stahovány příležitostně na diskety nebo do přenosného počítače, později byl k řídicímu počítači připojen faxmodem a datové soubory byly odesílány touto cestou. Protože to však vyžadovalo spolupráci obsluhy na místě, byl počítač posléze připojen k Internetu, který zde byl nově instalován. Ani toto řešení se však příliš neosvědčilo: řídicí program BrLab-Win běžící pod OS Windows, který bylo nutno použít, vykazoval – na rozdíl od obslužného programu pod OS DOS – občasně výpadky, které bylo nutno řešit ručním restartem počítače. Řešení problému dálkové obsluhy měřicího systému, které mělo přispět ke zvýšení celkové spolehlivosti, se tak stalo spíše zdrojem jeho poruch.

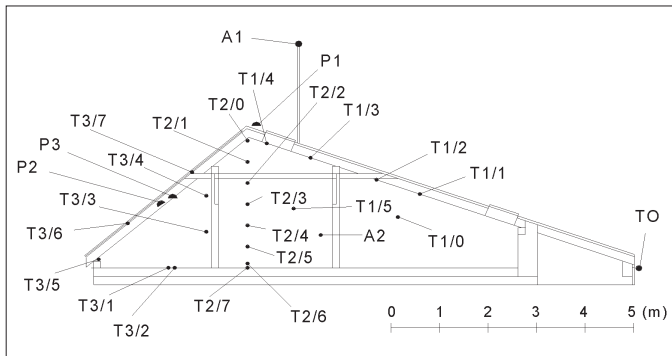
V průběhu pěti let, během nichž byl systém provozován, došlo nicméně pouze k několika vážnějším závadám. Pravděpodobně v důsledku náročných provozních podmínek – teplota v solárním skleníku překračuje v letním období 50 °C, v zimním období je jen o málo vyšší než venkovní teplota – došlo k poruše řídicího počítače a jednoho z modulů ADAM 4018 (byl nahrazen modernějším typem ADAM 4019). Jako nepříliš spolehlivý se ukázal ultrazvukový anemometr UA6, který musel být po roce nahrazen jiným (jednalo se ovšem o jeden z prvních vyrobených přístrojů tohoto typu). U termického anemometru AM 4204 došlo cca po 2 letech nepřetržitého provozu k poruše termistorové sondy a musel být vyměněn celý přístroj (u náhradní sondy neodpovídala kalibrace). Kuriózní porucha postihla venkovní měření solární radiace (obr. 12) – přívodní kabel poškozený hlodavci (kunami) za deště navhl a zkratoval výstupní signál pyranometru. Po vyschnutí kabelu se obnovil původní stav a měření probíhalo normálně. V naměřených datech se tak střídaly správné hodnoty s hodnotami evidentně špatnými. Naproti tomu měření teplot termočlánky probíhalo zcela bez závad. Celkově lze jako hlavní problém hodnotit horší dostupnost měřené lokality (cca 1,5 hodiny jízdy autem z pracoviště autorů) a z toho plynoucí dlouhé intervaly servisních návštěv.



Obr. 9 Solární skleník Slunečního penzionu ve Svitavách



Obr. 10 Měřicí systém solárního skleníku



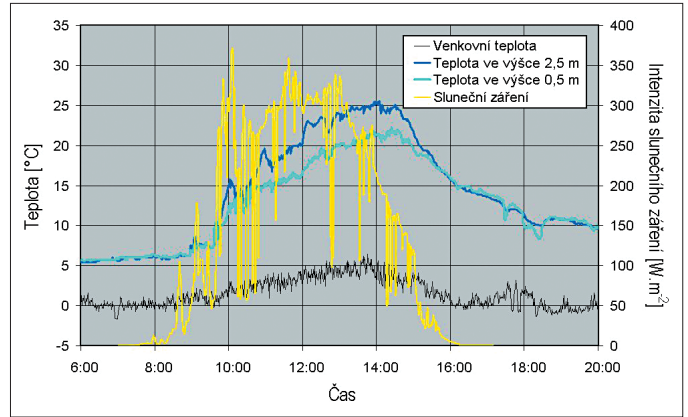
Obr. 11 Rozmístění čidel v solárním skleníku

(A – anemometry, P – pyranometry, T – termočlánky, TO – venková teplota)

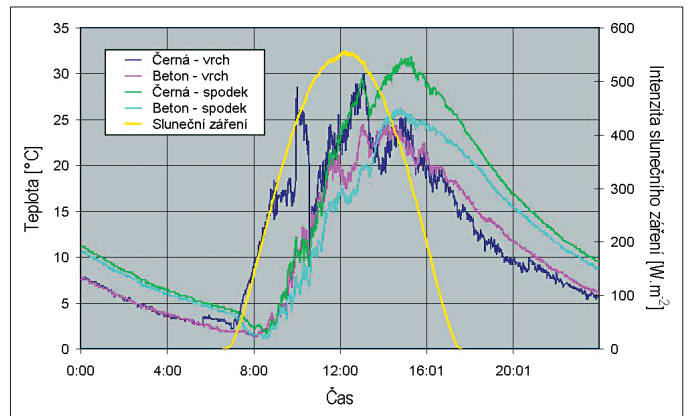


Obr. 12 Měření solární radiace

Výsledky měření vnitřního prostředí solárního skleníku byly publikovány v článku [4], proto zde uvádíme pouze ilustrativní ukázkou. Obr. 13 dokumentuje ohřev vzduchu v solárním skleníku za slunečných zimních dnů i vertikální stratifikaci teplot po výšce půdního prostoru. Z obr. 14 je patrné,



Obr. 13 Teploty v solárním skleníku za jasného zimního dne (9. 12. 1999)



Obr. 14 Vliv nátěru na teplotu podlahových dlaždic (26. 2. 2003)



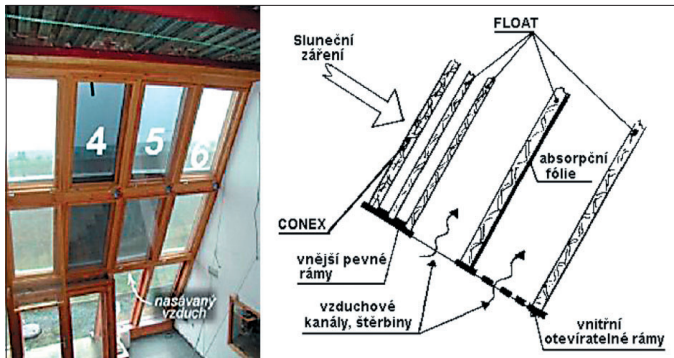
Obr. 15 Ekodům VÚES v Podolí u Brna

že vhodný nátěr podlahy podstatně zvýší její pohltivost a tím i množství zachyceného slunečního záření.

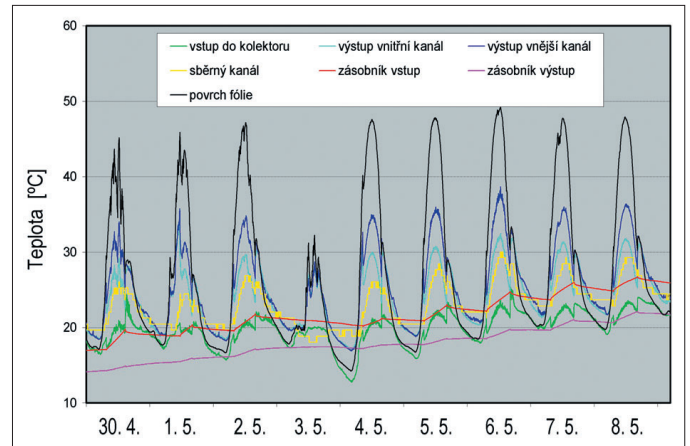
## Měřicí systém vzduchových solárních kolektorů

Ekodům VÚES v Podolí u Brna (obr. 15) byl postaven na počátku devadesátých let minulého století jako experimentální a demonstrační objekt obnovitelných zdrojů energie. Zaměřen je zejména na různé způsoby využití sluneční energie – je zde instalována řada solárních a doplňkových systémů, jako fotovoltaické a hybridní panely, vodní a vzduchové solární kolektory, šterkový akumulční tepelný zásobník, tepelná čerpadla aj.

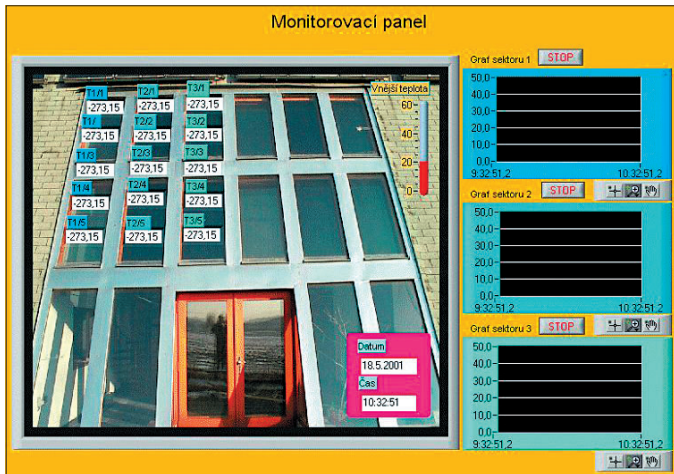
Vzduchové solární kolektory (obr. 16) jsou řešeny jako doplněk solární stěny osazené v jižně orientovaném obvodovém plášti. Byly projektovány s cílem využít solární energii pro ohřev větracího vzduchu, případně pro přitápění objektu v jarním a podzimním období. Ohřátý vzduch je z kolektorů



Obr. 16 Solární stěna a vzduchové kolektory v Ekodomu VÚES



Obr. 19 Nabíjení štěrkového zásobníku ohřátým vzduchem



Obr. 17 Panel pro monitorování provozu vzduchových solárních kolektorů

torů veden buď přímo do větrací soustavy budovy nebo do akumulačního štěrkového zásobníku. Tímto způsobem lze získané teplo využít pro ohřev větracího vzduchu i v době, kdy nelze vzhledem k malé intenzitě slunečního záření odebírat teplý vzduch přímo z kolektorů.

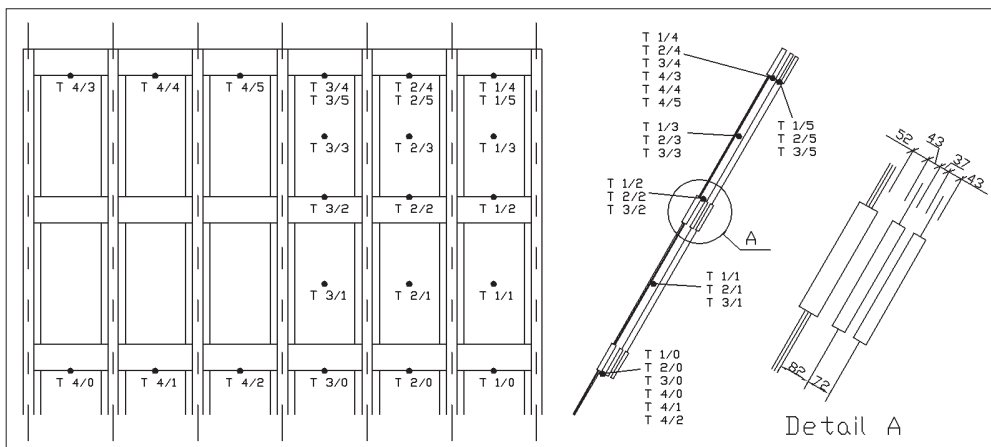
Kolektory jsou jednoduché konstrukce: mezi nosné trámy solární stěny byly vsazeny další dva okenní rámy, čímž vznikly dva souběžné kanály. Na středním okně jsou nalepeny absorpční fólie s různou pohltivostí. Vzduch vstupuje do kolektorů spodem přímo z místnosti. Výstupy jsou vyvedeny do sběrného kanálu s ventilátorem a rozvaděčem. Ventilátor je napájen frekvenčním měničem, který umožňuje plynulé řízení průtoku vzduchu.

Pro zjištění výkonových charakteristik kolektorů byl zde v r. 2000 instalován distribuovaný měřicí systém, který poskytuje průběžná data o rele-

vantních veličinách. V prvotní verzi obsahoval čtyři měřicí moduly ADAM 4018. Pro měření teplot byla použita teplotní čidla AD592 (Analog Devices, Taiwan), jejichž proudový výstup byl převeden na napěťový přesnými externími odpory. Intenzita slunečního záření v rovině kolektorů byla měřena pyranometrem CM 11 (Kipp&Zonen, Holandsko). Časový krok měření 1 min byl opět řízen přijímačem přesného času DCF77. Tím byla zaručena synchronizace s měřicím systémem Ekodomu, který poskytuje údaje o meteorologických veličinách (směr a rychlost větru, horizontální intenzita solární radiace atd.). Řídicí počítač je umístěn ve velínu budovy. Monitorovací panel této aplikace je uveden na obr. 17 [5].

Teplotní snímače (celkem 24 měřicích míst) jsou instalovány na vstupu, na výstupu a ve třech mezilehlých polohách ve vnějším kanálu kolektorů (ze strany venkovního skla), a to v každé ze tří sekcí, které se navzájem liší různou pohltivostí absorpční fólie (obr. 18). Kvůli porovnání výstupních teplot jsou další čidla umístěna na výstupech vnitřních kanálů kolektorů (vstupní teplota se předpokládá stejná). Pro účely kontrolních měření je šest dalších čidel instalováno na vstupech a výstupech druhé, symetricky umístěné sady kolektorů. Dále je měřena venkovní teplota a teplota vzduchu v kanálu hlavního vzduchovodu před ventilátorem.

Měřicí systém byl v r. 2003 rozšířen o další modul ADAM-4018, na který byla zapojena teplotní čidla instalovaná ve štěrkovém akumulačním zásobníku. Obr. 19 ilustruje „nabíjení“ zásobníku teplým vzduchem ve dnech 30. 4. až 8. 5. 2003, kdy byl ventilátor zapínán vždy na 8 až 9 hodin denně. Z orientačního výpočtu vyplývá, že se v zásobníku akumuluje přibližně 50 % tepla zachyceného kolektory při denním nárůstu teploty cca 1 K [6]. Vzhledem k nutnosti ruční obsluhy bylo navrženo rozšířit systém o dálkové řízení frekvenčního měniče ventilátoru výstupním modulem ADAM-4021. To by umožnilo automatizovat a optimalizovat provoz kolektorů i celého větracího systému [7].



Obr. 18 Rozmístění teplotních čidel v kolektorech

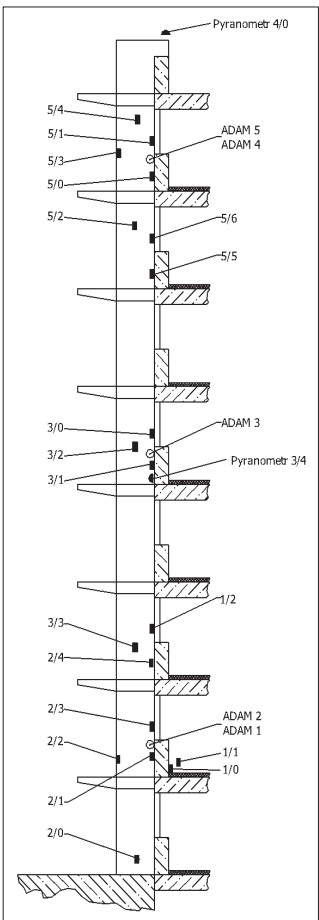
### Měřicí systém solární energetické fasády

na jižním křídle Moravské zemské knihovny v Brně (obr. 20) je nejrozsáhlejší současnou realizací distribuovaného měřicího systému uvedeného provedení. Samotná fasáda je tvořena skleněnými deskami, zavěšenými na předsazené kovové konstrukci. Některé sekce lze dálkově otevírat. V jednotlivých patrech jsou uvnitř i vně fasády osazeny pevné kovové rošty, tvořící průběžné pochůzné lávky. Tyto lávky slouží pro údržbu fasády i jako stínící protisluneční elementy. Prostor fasády



Obr. 20 Moravská zemská knihovna v Brně a její solární energetická fasáda

17 teplotních senzorů typu AD592). Další dvě čidla jsou umístěna v přilehlých místnostech. Intenzita solárního záření je monitorována dvěma pyranometry SG 002, umístěnými v horizontální poloze na střeše budovy a vertikálně na vnitřní zdi fasády (obr. 22). Údaje o povětrnostních podmínkách jsou přebírány z meteorologické stanice Stavební fakulty VUT, vzdálené cca 200 m. Získaná data slouží pro vyhodnocení chování, energetických zisků a účinnosti fasády za různých povětrnostních podmínek. Celý systém pracuje prakticky bez poruch už pátým rokem (od září 2001). Příklad naměřených dat je na obr. 23.



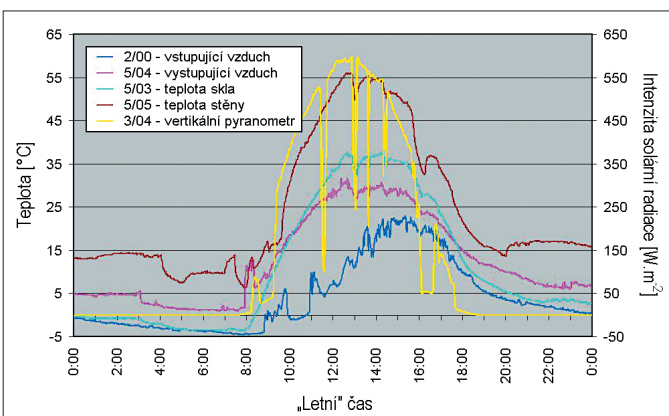
Obr. 21 Polohy měřicích míst v solární fasádě MZK



Obr. 22 Měření intenzity dopadajícího záření

je v létě přirozenou konvekcí odvětráván do ovzduší, zatímco během topné sezóny se ohřátý vzduch z fasády využívá pro větrání budovy [8, 9].

Měřicí systém monitorující provozní parametry fasády (obr. 21) obsahuje pět modulů ADAM 4018 rozmístěných v různých podlažích, což umožňuje sledovat změny teploty vzduchu po výšce fasády (celkem



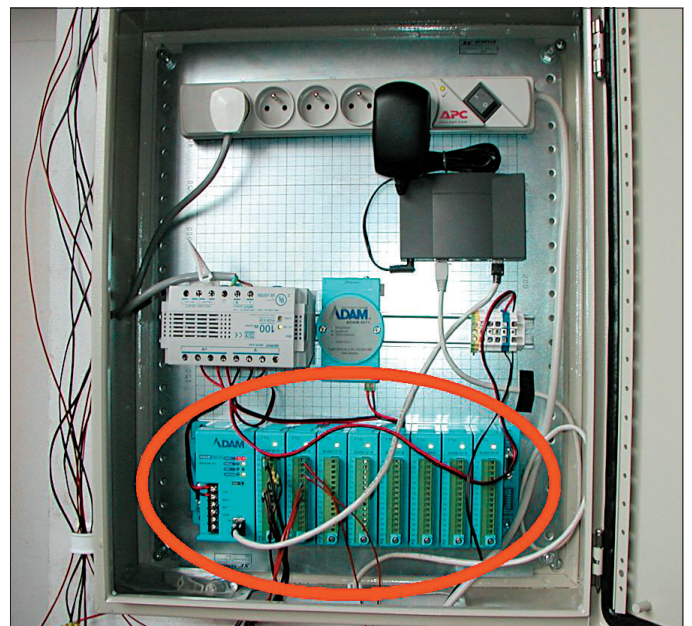
Obr. 23 Teploty v solární fasádě za jasného zimního dne (24. 2. 2003)

## Modulová měřicí hnízda

jsou další variantou distribuovaných měřicích systémů, vhodnou zejména v případech, kdy je potřeba realizovat velký počet měřicích míst na malém prostoru. Hnízda se skládají z měřicích modulů – např. ADAM řady 5000 (Advantech) nebo FieldPoint firmy National Instrument – které nejsou schopny samostatně pracovat, ale zasunují se do základové stanice, s níž vytvoří jeden celek. To umožňuje přizpůsobit jejich konfiguraci aktuálním potřebám měření. Výhodou je větší počet kanálů, a to i různého charakteru (např. měření teploty různými druhy čidel, měření napětí, proudu atd.). Systémy této kategorie mohou nahradit klasické měřicí ústředny nebo zásuvné měřicí karty do PC v laboratorních měřicích systémech. Při měření v budovách jsou vhodné jedině při větším počtu nepříliš vzdálených měřicích míst nebo pro trvalé instalace měřicího a řídicího systému budovy.

Hnízda komunikují s nadřazeným počítačem prostřednictvím standardizovaných komunikačních systémů, např. RS-485, CAN, Ethernet. Na jedné sběrnici lze navíc kombinovat s jednoduchými autonomními moduly a tak vytvářet rozsáhlé systémy.

Na našem pracovišti využíváme tohoto způsobu měření při monitorování experimentálních solárních komínů, určených pro výzkum hybridního větrání a pasivního chlazení [10]. Základní částí měřicího systému je jednotka ADAM 5000/TCP s osmi pozicemi pro zásuvné moduly (obr. 24), která je připojena přímo do běžné počítačové sítě (Ethernet s komunikačním protokolem TCP/IP). Tím odpadá nutnost použít lokální řídicí počítač; po-



Obr. 24 Měřicí hnízdo řady ADAM 5000

třebný je pouze rozvod počítačové sítě v místě měření. Řídicí počítač může být umístěn kdekoli (např. i v jiné budově).

Vlastní měření zajišťuje osm zásuvných modulů ADAM 5018, jejichž parametry odpovídají typu ADAM 4018. Jedinou odchylkou je využití osmého kanálu pro měření teploty svorek, čímž odpadá nutnost kompenzace studeného konce termočlánků. K modulům jsou připojeny čtyři kalorimetrické anemometry Vent-captor 3202.30 (Captor, SRN), pyranometr CM 11 (Kipp&Zonen, Holandsko), meteorologický anemometr W2t (tm J. Tlusták, Praha), snímač tlaku PTLN-K (Airflow, SRN) a 11 termočlánků typu J (Omega), které měří rozhodující teploty. Pro tuto aplikaci byl vyvinut nový obslužný program BrLabTCP, který kromě běžných operací provádí i dynamické generování WWW stránek. To umožňuje on-line prezentaci měření na Internetu [11]. Naměřená data jsou mimoto ukládána do SQL databáze Firebird pro pozdější zpracování.

## ZÁVĚR

Tento článek se neklade za cíl poskytnout vyčerpávající přehled možných způsobů měření vnitřního prostředí v budovách. Nejsou zde např. zmíněny inteligentní snímače MIDAM [12], jejichž použití pro dlouhodobé sledování prostředí v experimentálním rodinném domku Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně [13] je ve stádiu zkušebního provozu.

Snahou autorů bylo podělit se se čtenáři o zkušenosti a poznatky, získané při realizaci a provozu uvedených aplikací, a demonstrovat, jak lze prostředky určenými původně pro průmyslovou automatizaci sestavovat měřicí systémy pro výzkumné a výukové účely. Předností distribuovaných systémů je nejen přijatelná cena (u modulů ADAM méně než 2000 Kč na jeden měřený kanál), ale zejména možnost přiblížení měřících přístrojů místům měření.

Další výhodou je modularita systémů a z toho plynoucí možnost jejich průběžného rozšiřování či změny konfigurace. Rostoucí nabídka v této oblasti možnosti použití dále rozšiřuje.

### Spojení na autory:

Energetický ústav, odbor termomechaniky a techniky prostředí, FSI VUT,  
Technická 2, 616 69 Brno, tel.: 541 143 282, fax: 541 143 269,  
e-mail: jaros@fme.vutbr.cz, stetina@fme.vutbr.cz, charvat@fme.vutbr.cz,

### Použité zdroje:

- [4] JAROŠ, M. a kol.: *Solární skleník jako zdroj tepla pro teplovzdušné větrání*. Vytápění, větrání, instalace, 13, č. 4, 2004, s.146-148.
- [5] VALNÍČEK, T.: *Měřicí systém pro dům s ekologickými prvky*. Diplomová práce, FSI VUT Brno, 2001.
- [6] JAROŠ, M., CHARVÁT, P., KLEPÁRNÍK, J., KOUŘIL, T., OREL, V.: *Větrací systém se vzduchovými solárními kolektory*. Sborník konf. „Klimatizace a větrání 2004“, Praha, 2004, s. 226-232.
- [7] KLEPÁRNÍK, J.: *Návrh měřicího a regulačního systému pro solární systém TZB*. Diplomová práce, FSI VUT Brno, 2003.
- [8] GORNÝ, R., JAROŠ, M., KATOLICKÝ, J.: *CFD-model solární energetické fasády a jeho využití pro výpočet provozních stavů fasády*. Sborník konf. „Klimatizace a větrání 2002“, Praha, 2002, s. 43-49.
- [9] JAROS, M., KRAJCA, K., CHARVÁT, P., SEDLAK, J., MOHELNIKOVA, J., PLSEK, D.: *Using Double-Skin Solar Energy Façade for Pre-Heating of Ventilating Air*. Proc. of 9<sup>th</sup> Int. Conf. „RoomVent 2004“, Coimbra (Portugal), 2004, pp. 7-8 + CD-ROM (6 p.).
- [10] CHARVÁT, P., JÍCHA, M., ŠTĚTINA, J.: *Solární komín pro větrání a pasivní chlazení*. Vytápění, větrání, instalace, 13, č. 5, 2004, s.196-197.
- [11] <http://ottp.fme.vutbr.cz/laboratore/komin.php>.
- [12] <http://www.midam.cz>.
- [13] <http://ottp.fme.vutbr.cz/laboratore/dum.php>. ■

## \* Novinky ze stavebního veletrhu Brno 2006

Firma *HPI-CZ s.r.o.* z Hradce Králové představila novinku pro odvětrání střechy, která se uplatní v konstrukcích nad půdním bytem. Zatímco na klasické půdě může vzduch volně proudit, nad půdním bytem je pro proudění vzduchu, odvádění vlhkost a nadbytečné teplo, jen velmi malý prostor. O to dokonalejší musí být odvětrání v kritických místech hřebene střechy a nároží. Dosavadní již používané pásy TOP-ROLL a univerzální celokovové pásy letos doplnily pásy VentOTec o šířce 210 mm, samolepicí hliníkové pásy EKO-ROLL šíře 310 mm a celohliníkové pásy VentAL o šířce 310 mm a 350 mm. Pro šindelové střechy HPI-CZ nově nabízí konstrukční prvek "větrací pás hřebene" o délce 122 mm. Novinkou pro odvětrání střešního pláště vláknitocentových (Betternit) a šindelových střech jsou nové hlavice s označením T2, T4 a T5. Plocha větracích otvorů pásů pro hřebeny a nároží je zhruba 20 % celkové plochy a zaručuje spolehlivé větrání. Větrací systém doplňují ventilační turbíny, zajišťující aktivní větrání bez jakýchkoli energetických nároků.

Firma *ROTO-Frank AG* je jediným výrobcem plastových střešních oken na světě. Uživatelé nabízí možnost volby mezi profilem z lepeného dřeva a profilem z plastu. Plastová okna jsou prakticky bezúdržbová a proto oblíbená. Firma má patentovaný zateplovací blok, který je vyroben z polypropylenu a chrání všechny vnější strany rámu okna po celé jeho výšce před chladem a výrazně zvyšuje kvalitu zateplení ve spoji okna a střechy. Izolace okna vystupuje i nad úroveň krytiny. Je to v současnosti nejdokonalejší způsob zateplení střešního okna. Střešní okna ROTO mají tři způsoby otevírání. Na klice střešních oken ROTO lze nastavit spárové přivětrávání. Předpokladem správné funkce okna je jeho kvalitní zabudování.

Firma *Schiedel* představila jako novinku svůj nový komínový systém Schiedel Absolut, tvořený komínovou tvárnici s integrovanou tepelnou izolací a tenkostěnnou keramickou profilovanou vložkou. Součástí je izolovaná multifunkční šachta. Jde o převratné řešení v oblasti komínové techniky. Tento univerzální komínový systém je oceněn Grand Prix For Arch 2005, získal zlatou medaili Aqua-therm 2005 a je nositelem topenářské značky kvality. Více na [www.schiedel.cz](http://www.schiedel.cz).

Pramen: *Stavení infozpravodaj 2/2006*

(Laj)