

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 – I. část

Long-term Measurements of Building Indoor Environment – Part 1

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek popisuje několik způsobů dlouhodobého měření vnitřního prostředí v budovách, které byly autory v minulosti použity. Jmenovitě se jedná o měření autonomními záznamníky Testo řady 175 a 177, distribuované měřicí systémy na bázi modulů ADAM řady 4000 a měřicí hnízda ADAM řady 5000. Jsou uvedeny zkušenosti autorů s provozem měřicích systémů a příklady naměřených dat.

Klíčová slova: teplota, vlhkost vzduchu, čidlo, přenos dat, záznamník dat, měřicí systém

The article describes selected ways applied for long-time monitoring of an inner environment in buildings, which were used by authors in the past. Namely, data loggers Testo 175/177, distributed data acquisition systems based on ADAM 4000 modules and measuring "nests" of ADAM 5000 series, respectively, were used for these purposes. Authors present experience with their operation, as well as examples of acquired data.

Key word: temperature, air humidity, sensor, data transfer, data logger, data acquisition system

Výzkumní pracovníci oboru Technika prostředí jsou mnohdy postaveni před úkol dlouhodobě měřit či monitorovat parametry vnitřního a vnějšího prostředí budov. Starší budovy neobsahují většinou žádná nebo jen lokální měřicí zařízení. Nově postavené objekty sice často disponují vlastním měřicím a regulačním systémem, někdy je však potřeba doplnit jej vlastním nezávislým měřením. Podobné úkoly vznikají při monitorování experimentálních zařízení a objektů. Ve všech těchto případech se jedná zpravidla o měření většího množství teplot a dalších termodynamických veličin, a to při nízké vzorkovací frekvenci (perioda měření řádově v minutách), avšak s požadavkem na schopnost dlouhodobého autonomního provozu bez zásahu či dozoru obsluhy.

V minulosti byla takováto měření nejčastěji realizována měřicími ústřednami s prepínači kanálů. Jednotlivé kanály byly postupně připojovány k měřicímu přístroji, změřené hodnoty ukládány do paměti měřicí ústředny nebo připojeného počítače a následně zpracovávány. Přes některé dílčí výhody (např. přesnost měření) měl tento způsob i řadu nevýhod, především nutnost přivést všechny změřené signály do jednoho místa. Ze značné délky kabeláže pak vyplývaly další problémy, např. ochrana před rušením, složitost a nepřehlednost celého systému a z něho plynoucí zvýšené riziko poruch, obtížnost jejich odstraňování atd.

Následující příspěvek popisuje tři odlišné způsoby měření parametrů (tj. teploty a vlhkosti) prostředí, které byly autory úspěšně použity. Mimo popisu měřicího systému jsou vždy uvedeny i příklady jeho realizace a naměřených dat.

AUTONOMNÍ ZÁZNAMNÍKY TESTO ŘADY 175 A 177

jsou vhodné pro měření spíše menšího rozsahu – jak časového, tak co do počtu měřicích míst. Jedná se o malé kompaktní programovatelné přístroje (obr. 1), které měří teplotu, relativní vlhkost, napětí a proud. Naměřená data jsou ukládána v paměti typu EEPROM, což zajišťuje vysokou úroveň jejich bezpečnosti, ke ztrátě dat nedochází ani při úplném vybití nebo výměně baterie. Všechny záznamníky jsou vybaveny funkcí reálného času s přesností ± 2 min/měsíc. Doba spuštění a perioda měření jsou softwarově nastavitelné. Podobně lze nastavit počet měření, ukončení měření při zaplnění paměti nebo režim nepřetržitého měření s přepisem nejstarších dat. Tyto operace, stejně jako přenos naměřených hodnot, se provádějí prostřednictvím infračerveného portu z/do připojeného notebooku nebo speciálních doplňkových zařízení – sběrače dat nebo tiskárny. Přenos dat probíhá rychlostí přibližně 400 hodnot za sekundu, takže maximální kapa-

cita záznamníků je přenesena – bez přerušení měření – za cca 2 min. Záznamníky vybavené displejem zobrazují maximální, minimální a poslední naměřenou hodnotu, případně i jiné údaje.

Obě řady se liší především velikostí paměti a počtem měřených kanálů. Řada 175 umožňuje uložit maximálně 16 000 hodnot změřených ve dvou kanálech, řada 177 ukládá až 48 000 hodnot změřených na čtyřech kanálech. Při periodě vzorkování 5 min. to představuje nepřetržitou dobu měření cca 28 dnů u řady 175, resp. 42 dnů u řady 177. Při delší periodě vzorkování je i celková doba měření přiměřeně větší (udávaná životnost baterií 2,5 roku ji příliš neomezuje). Poté je nutno uložená data odstranit, jinak dojde k jejich přepsu, případně ukončení měření.

Většina záznamníků obsahuje vestavěné senzory, k některým modelům lze však připojit i externí čidla – termočláanky nebo termistory. K dispozici je široká škála sond pro nejrůznější použití, např. vpichovací či ponorné sondy pro použití v potravinářství, sondy pro měření povrchové teploty stěn, prostorové sondy apod. Specialitou jednoho z modelů je možnost monitorování stavu dveřního kontaktu, která najde uplatnění např. při sledování teplot v chladicích a mrazicích prostorech. Mimoto lze k záznamníkům připojit vlastní termočláanky typu K nebo T, případně – k modelu měřicímu napětí a proud – i jiné typy čidel s analogovým elektrickým výstupem.

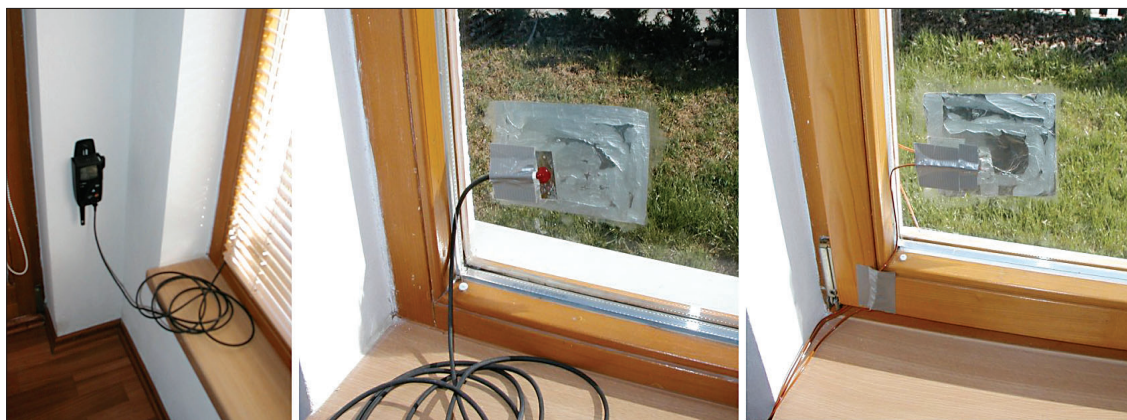
Záznamníky jsou vybaveny robustním plastovým krytem, držákem na stěnu a proti neoprávněné manipulaci je lze zajistit visacím zámkem. Některé modely jsou odolné i proti tlakové vodě (třída ochranného krytí IP 68). Škála možného použití záznamníků je tak opravdu široká – od potravinářství a zdravotnictví (skladování krve a krevních derivátů) přes dopravu, průmyslové procesy, topenářství a techniku prostředí až po měření v laboratořích – zkrátka všude tam, kde je potřeba dlouhodobě monitorovat teplotu a vlhkost.

NEKVALITNÍ STAVBA NEBO NEDOSTATEČNÉ VĚTRÁNÍ?

Uvedené přístroje byly použity při měření teplot a vlhkosti vzduchu ve dvou nedávno postavených nízkoenergetických rodinných domech. Cílem měření bylo zjistit, zda příčinou srážení vlhkosti na některých oknech, které bylo opakovaně pozorováno v zimním období, je překračování projektových parametrů vnitřního prostředí – tedy vysoká relativní vlhkost, případně nízká teplota, nebo nekvalitní provedení oken či jiné faktory. Pro posouzení problému bylo navrženo měřit vnitřní teplotu, relativní vlhkost vzduchu a povrchovou teplotu oken v kritických místech. Protože oba rodinné domky jsou situovány vedle sebe, stačilo měřit venkovní teplotu pouze



Obr. 1 Čtyřkanálový záznamník teploty/vlhkosti Testo 177-H1



Obr. 2 Měření povrchových teplot okenních skel záznamníky Testo 175/177

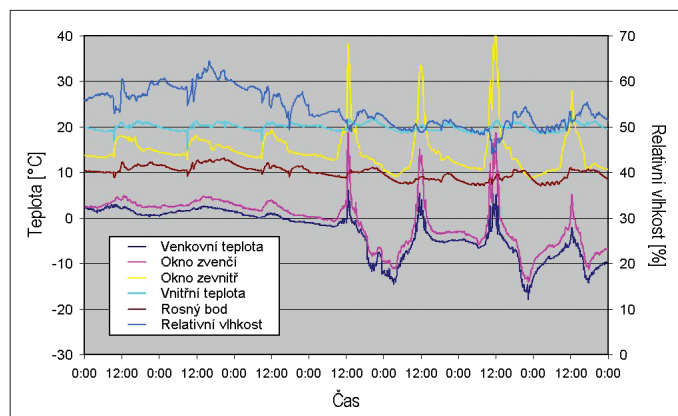
u jednoho z nich. Uživatelé byli požádáni, aby zaznamenávali období zvýšené kondenzace.

Pro měření byly použity následující přístroje:

- Dvoukanálový záznamník teploty a vlhkosti s interními senzory Testo 175-H2, doplněný čtyřkanálovým záznamníkem teploty pro externí termočlánky Testo 177-T4, pro měření v první lokalitě. Jako externí čidla byla použity termočlánky typu T (Cu-konstantan) Omega TT-T-24S-SLE, které měřily venkovní teplotu a teplotu vnitřního a vnějšího povrchu okna. Zbývající kanál byl využit k doplňkovému (kontrolnímu) měření vnitřní teploty vzduchu.
- Čtyřkanálový záznamník teploty a vlhkosti s externím senzorem Testo 177-H1 (obr. 1), doplněný čidlem pro měření povrchové teploty Testo 0628 7507 (měření v druhé lokalitě).

Záznamníky byly umístěny na stěny v blízkosti sledovaných oken (obr. 2). Čidla povrchových teplot byla k okenním sklům přilepena sanitárním silikonem Soudal. Čidlo venkovní teploty bylo umístěno pod parapet okna tak, aby bylo částečně chráněno proti slunečnímu záření. Nastavena byla 5minutová perioda vzorkování, přičemž start měření jednotlivých přístrojů byl synchronizován tak, aby všechna měření probíhala ve stejných časových okamžicích. Naměřená data byla v intervalech cca 4 týdnů přetažena do přenosného počítače a dále vyhodnocena. Celé měření proběhlo v období od listopadu 2003 do dubna 2004.

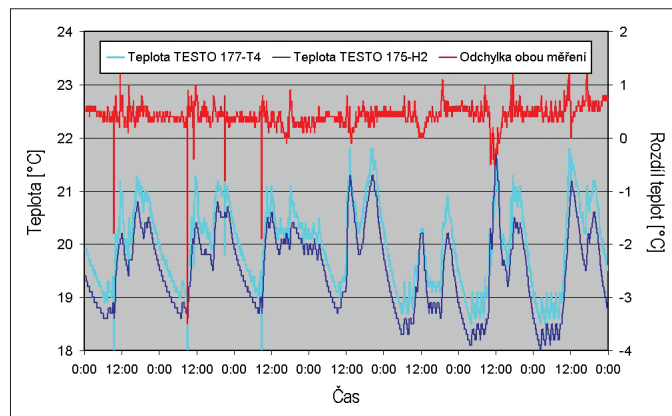
V průběhu měření došlo k určitým úpravám měřicí aparatury. Po vyhodnocení první sady naměřených hodnot bylo např. zjištěno poměrně velké ovlivnění povrchových teplot skel dopadajícím slunečním zářením (obr. 3). Měřicí místa byla proto zastíněna hliníkovou fólií, přilepenou na venkovních sklech oken. K tomuto ovlivnění však dochází pouze v poledních a odpoledních hodinách. V době, kdy dochází ke kondenzaci (brzy ráno a pozdě večer), se vliv slunečního záření neuplatní. To je dáno jednak jižní



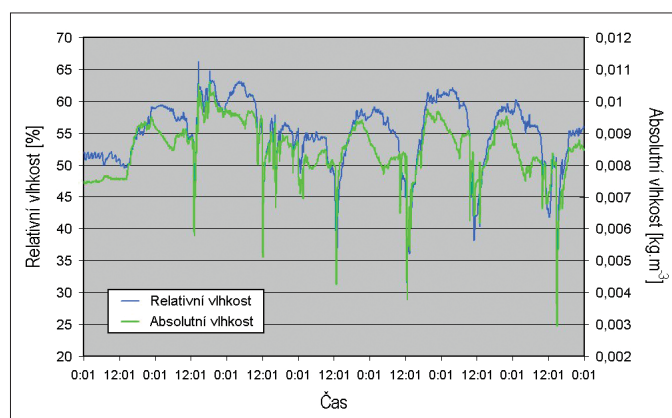
Obr. 3 Teploty a vlhkost vzduchu v nízkoenergetickém rodinném domě (měřeno 29. 12. 2003 až 4. 1. 2004)

orientaci měřených oken, jednak pozdní dobou východu slunce během zimy. Zvýšení povrchových teplot skel naopak umožnilo identifikovat období přímého slunečního svitu.

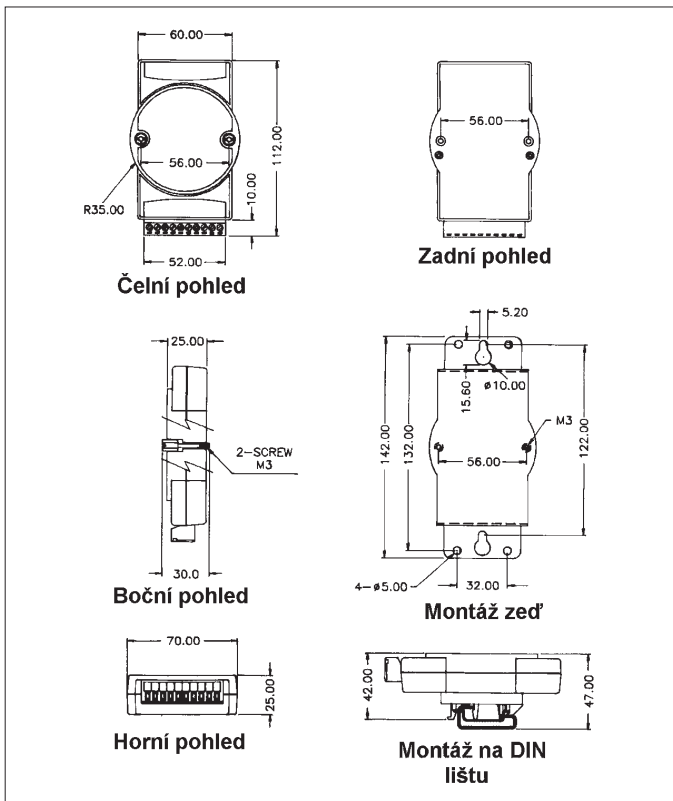
Některé výsledky měření jsou uvedeny na obr. 3 až 5. Vnitřní teplota vzduchu v první lokalitě byla měřena jednak interním senzorem záznamníku Testo 175-H2 (termistor), umístěným v blízkosti vnitřního koutu obvodových zdí ve výšce 150 cm, jednak kontrolním termočlánkem připojeným k záznamníku Testo 177-T4. Termočlánek byl umístěn poblíž měřeného okna ve výšce cca 130 cm, ve vzdálenosti 7,5 cm od stěny místnosti. Obě měření vykazují velmi dobrou shodu (obr. 4). Odchytky se pohybují převážně v rozmezí 0 až 1 K, což svědčí jak o přesnosti měření (obě čidla pracují na odlišném principu), tak o homogenitě teplotního pole v místnosti. Střední odchytka cca 0,5 K může být způsobena jak systematickou chybou měřících přístrojů, tak i celkově nižší teplotou v rohu místnosti. Krátkodobé odchytky obou hodnot jsou způsobeny větráním (termočlánek byl umístěn v blízkosti ventilačního křídla okna). Dlouhodobější odchytky



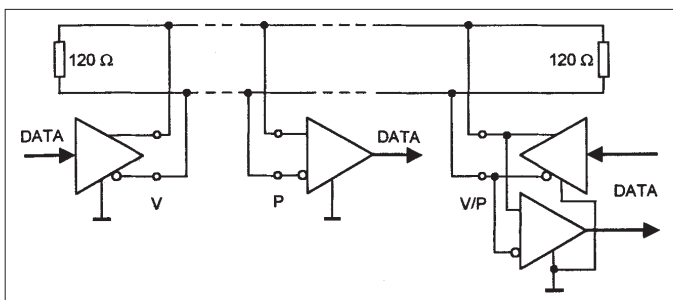
Obr. 4 Teploty vzduchu v nízkoenergetickém RD (29. 12. 2003 až 4. 1. 2004)



Obr. 5 Vlhkost vzduchu v sousedním domě (29. 12. 2003 až 4. 1. 2004)

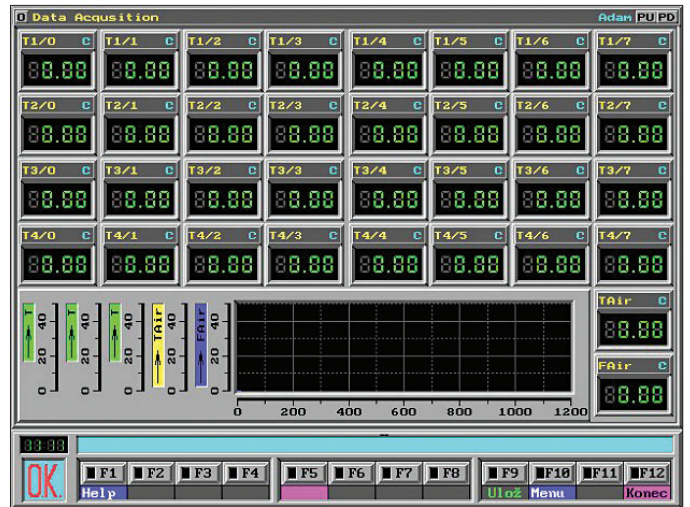


Obr. 6 Moduly ADAM řady 4000



Obr. 7 Blokové schéma sběrnice RS-485

v jiných časových obdobích souvisejí zřejmě s nehomogenitou teplotního pole v době slunečního záření, které za pozdního odpoledne dopadá do okolí termočládku (druhý přístroj byl v této době zastíněn). Pro vyhodnocení vnitřních teplot vzduchu byly nadále používány hodnoty naměřené termočládkem. Naměřená *teplota vnitřního vzduchu* se pohybovala až na malé výjimky v rozmezí 18 až 22 °C, s vyššími teplotami v denních a zvláště odpoledních hodinách a nižšími v nočních hodinách (zřejmě vlivem nastavení termostatu). Nejnižší teploty byly dosahovány zpravidla mezi 6. až



Obr. 8 Zobrazovací okno softwarové měřicí ústředny

8. hodinou ranní (kolem 18,5 °C). Výkyvy teplot mimo uvedené rozmezí byly způsobeny slunečním zářením (vyšší denní teploty), resp. větráním místnosti (krátkodobé poklesy pod teplotu 18 °C). *Relativní vlhkost vzduchu* se pohybovala vesměs mezi 40 až 60 %, tzn. pod maximální přípustnou hodnotou $\varphi_r \leq 60 \%$, stanovenou normou ČSN 06 0210 [1]. Vyšší relativní vlhkosti byly pozorovány pouze krátkodobě, s maximální naměřenou hodnotou 67,1 %. Projektové parametry vnitřního prostředí byly tedy vesměs dodrženy. Z naměřených průběhů je dobře patrný vliv větrání na relativní a absolutní vlhkost v místnosti (obr. 5).

Z hlediska posuzovaného jevu jsou rozhodující *vnitřní povrchové teploty oken*. Za podmínek, které se blížily normativním ve smyslu ČSN 73 0540-2 [2] (venkovní teploty kolem -15 °C v noci z 1. na 2. a ze 3. na 4. ledna 2004), došlo v místě měření k poklesu povrchové teploty skla prakticky až na rosný bod. Následná kondenzace vodní páry na skle pak udržovala minimální rozdíl obou teplot (obr. 3). Podobný průběh relevantních veličin byl pozorován i v dalších dnech. Na základě uvedených poznatků byl vysloven závěr, že kondenzace vlhkosti na oknech je důsledkem nedodržení jejich návrhových (a deklarovaných) parametrů. Naměřené povrchové teploty skla totiž leží jednoznačně jak pod minimální povrchovou teplotou 12,94 °C, požadovanou normou ČSN 73 0540-2, tak i pod hodnotou 15,15 °C, vypočtenou pro udávaný součinitel prostupu tepla okny $k = 1,3 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$. Doplňková měření termovizní kamerou tento závěr jen potvrdila.

DISTRIBUOVANÉ MODULOVÉ MĚŘICÍ SYSTÉMY

představují v jistém smyslu protipól předchozího řešení. Jedná se o systémy tvořené samostatnými měřicími moduly, které jsou sběrnici propojeny s nadřazeným řídicím počítačem. Tímto způsobem lze realizovat rozsáhlé měřicí systémy ve značně rozlehlých lokalitách. Hlavní výhodou je maximální přiblížení měřicích přístrojů místům měření a možnost modulárního rozšiřování systému.

Vhodné měřicí moduly vyrábí řada firem. Určitým standardem jsou moduly ADAM řady 4000 tchajwanské firmy Advantech (obr. 6). Někteří další výrobci se snaží o úplnou kompatibilitu s nimi (např. moduly NuDAM, iDAM) nebo naopak vyvíjejí osobitá řešení (moduly FieldPoint firmy National Instrument či MicroUnit české firmy Tedia [3]). Hlavní charakteristiky měřicích modulů řady ADAM 4000:

- Obsahují velmi přesný 16bitový převodník.
- Všechna nastavení a kalibrace jednotlivých měřených kanálů jsou uloženy v paměti typu EEPROM.
- Komunikace s řídicím počítačem probíhá po sběrnici RS-485 prostřednictvím ASCII řetězců (povely, naměřené hodnoty), takže nemůže být zkrslena.

- ❑ Moduly lze napájet stejnosměrným napětím v rozsahu 12 až 30 V, které je vhodné i pro většinu snímačů. Pro provoz v rozsáhlejších systémech je vhodné použít stejnosměrného zdroje 24 V, dimenzovaného podle počtu použitých modulů a ostatních připojených zařízení.
- ❑ Všechny moduly této řady mají stejné rozměry (obr. 6). Je možno je uchytit na DIN lištu nebo na závěsný držák, lze je rovněž stohovat na sebe.

Pro aplikace v technice prostředí se jako nejvhodnější jeví moduly ADAM 4019 – osmikanálové analogové vstupní moduly s individuálně nastavitelným rozsahem na všech kanálech. Disponují následujícími technickými parametry:

- ❑ Vstupní rozsahy pro měření napětí a proudu ± 15 mV, ± 50 mV, ± 100 mV, ± 500 mV, ± 1 V, $\pm 2,5$ V a ± 20 mA.
- ❑ Možnost připojení termočlánků typu J, K, T, E, R, S a B s linearizací a kompenzací studeného konce.
- ❑ Přesnost měření $\pm 0,1$ %.
- ❑ Izolační pevnost 3000 V.
- ❑ Volitelná rychlost přenosu dat (b/s) 1200, 2400, 4800, 9600, 19 200, 38 400.
- ❑ Max. komunikační vzdálenost 1200 m.
- ❑ Spotřeba elektrické energie 0,8 W.

Sběrnice RS-485, po níž probíhá komunikace s moduly, je v současné době nejrozšířenější průmyslovou sběrnici (obr. 7). Podle normy není definován maximální počet vysílačů, ale počet přijímačů je omezen na 32 na jedné sběrnici. Signál se přenáší v binární formě maximální přenosovou rychlostí 10 Mb/s, dvoudrát, většinou krouceným s přidavným stíněním, aby se snížilo rušení. Toto vedení patří mezi finančně nejméně nákladné a jeho instalace je jednoduchá. Jeho použití je kompromisem mezi cenou na straně jedné a přenosovou rychlostí a odolností proti vnějšmu rušení na straně druhé. Vedení je na obou koncích zakončeno odpory 120 Ω . Protože běžné PC nejsou touto sběrnici vybaveny, je třeba použít převodní modul ze sběrnice RS-232. Při delším vedení se doporučuje použít galvanicky oddělený modul ADAM 4520, který zajišťuje vyšší spolehlivost komunikace a zároveň zabraňuje poškození počítače.

V ostatních případech postačuje levnější neizolovaný konverzní modul ADAM 4522. Pro připojení notebooku je nejvhodnější modul ADAM 4561, který převádí signály sběrnice RS-485 na USB rozhraní. Jinou možností je použití zásuvných karet pro PC se sběrnici RS-485.

Pro měřicí systémy s moduly ADAM byl vyvinut vlastní řídicí software, a to ve dvou verzích. Program BrLab pracuje pod operačním systémem DOS, program BrLabWin je určen pro OS Windows. Vzhledem ke spolehlivosti a hardwarové nenáročnosti je zatím více používána verze pro DOS. Oba programy plní funkci tzv. softwarové měřicí ústředny s následujícími vlastnostmi:

- ❑ Plně grafické prostředí včetně trendových grafů (obr. 8).
- ❑ Volba počtu připojených modulů v rozmezí 1 až 32 (maximální počet 256 měřených kanálů).
- ❑ Vzorkovací frekvence nastavitelná v rozsahu 10 s až 60 min.
- ❑ Ukládání naměřených dat ve formátu kompatibilním s programem Microsoft Excel.

Z důvodu snadnější manipulace s velkým množstvím naměřených dat se v pravidelných intervalech vytváří nový výsledkový soubor s odlišným názvem. Soubory jsou typu ASCII, s hlavičkou umožňující jednoznačnou identifikaci. Dobu přechodu na nový soubor lze nastavit (typická je např. půlnoc – nový soubor tak začíná časem 0:00:00). Pro přesné určení času je měřicí systém doplněn přijímačem časového signálu DCF77, který průběžně seřizuje interní hodiny PC podle časového normálu. Programy vytvářejí rovněž tzv. logfile, v němž jsou zaznamenány všechny změny, které nastaly v průběhu měření (měřicí rozsahy jednotlivých kanálů, přestavení kalibrace, vypnutí-zapnutí počítače apod.). To umožňuje zjistit nastavení systému v libovolném čase a usnadňuje analýzu případných poruch.

Varianta pro OS Windows nepřináší v zásadě žádné lepší měřicí a grafické funkce. Je vyvíjena pro použití, kde se vyžaduje on-line prezentace měření na Internetu. Program přímo komunikuje s webovským serverem a předává mu naměřená data. Prostřednictvím serveru lze naopak dále nastavovat parametry měření.

Spojení na autora:

*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*

Použité zdroje:

- [1] ČSN 06 0210 „Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění“. ČNI Praha, 1993.
- [2] ČSN 73 0540-2 „Tepelná ochrana budov, část 2: Funkční požadavky“. ČNI Praha, 1993.
- [3] <http://www.tedia.cz/cz/index.htm>. ■

* Solární klima v Evropě: 70 zařízení

Na druhé evropské konferenci solární termie „estec 2005“ ve Freiburgu sdělil H. M. Henning z Fraunhoferova institutu pro solární energetické systémy (ISE) aktuální čísla z trhu solárního chlazení. Podle něho je nyní v Evropě instalováno 70 systémů. Ty mají celkovou chladicí kapacitu 6,3 MW. K výrobě k tomu potřebného tepla je použito celkem 17 500 m² plochy kolektorů. Z hlediska konfigurací zařízení jde o:

41 absorpčních zařízení

16 suchých systémů DEC*

8 adsorpčních zařízení

5 systémů DEC s metodou kapalně sorpce

*DEC = Desiccant and Evaporative Cooling (chlazení vysoušením a odpařováním)

CCI 11/2005

(Ku)

* Ochrana únikových cest při požáru

Zavzdušňovací zařízení jsou systémy, které zajišťují v chráněné oblasti přetlak nuceným větráním, aby se do této oblasti nedostal kouř z požárního úseku, popř. aby se kouř dostatečně zředil. V evropské normě prEN 12101-6 (září 2005) je tento

systém popsán a nazván „systém diferenčního tlaku“ (Pressure Differential System). Tento pojem podtrhuje souhru odkůvovacích a zavzdušňovacích zařízení. Únikovými cestami jsou především chodby a schodiště. Norma požaduje např. toto: Dojde-li v podlaží k požáru je třeba, aby ve dveřích mezi chodbou a schodištěm vznikla dostatečná rychlost proudění vzduchu (0,75 až 2 m/s) směrem k místu požáru. Tlakový rozdíl ve dveřích o ploše 2 m² nemá přesáhnout 50 Pa, neboť jinak by mohly tyto být tlakovým rozdílem blokovány. Na tlakový pokles po otevření dveří musí zavzdušňovací zařízení reagovat během 1 vteřiny. Dimenzování tohoto zařízení musí vycházet z tlakových ztrát schodiště.

CCI 11/2005

(Ku)

* Klimatizační jednotky LG nejprodávány na světě

Japonská firma Fuji Keizai CO. Ltd. uvádí na svých internetových stránkách, že v r. 2004 bylo na světě prodáno 51,520.000 klimatizačních jednotek. Z tohoto celkového počtu připadá 19,7 % na jednotky jihokorejské firmy LG, která se tak stává nejprodávány na světě. Podle údajů samotné firmy LG je to již pátý rok po sobě, kdy firma prodala nejvíce klimatizačních jednotek. Expandovala úspěšně i na český trh.

(Laj)