

Ing. Lenka ŠPAČKOVÁ  
 Doc. Ing. Jiří HIRŠ, CSc.  
 VUT v Brně, Fakulta stavební,  
 Ústav TZB

# Sledování kvality vnitřního prostředí v historické aule

## Observing inside Environment Quality in Historic Assembly Hall

Recenzent  
 Prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

*Autoři se v příspěvku zabývají zkoumáním kvality vnitřního prostředí v historické aule během cyklu promoci. Ve sledovaném období probíhalo v aule vlastní měření parametrů vnitřního prostředí. Tyto parametry byly současně zaznamenány i čidly monitorovacího systému budovy. V simulačním programu BSim2008 byl vytvořen model auly. Cílem autorů bylo ověřit, zda je v aule během promoci zajištěna přijatelná tepelná pohoda vnitřního prostředí. Přestože teplota vzduchu splňovala projektované parametry, od 10 hodin stoupalo předpokládané procento nespokojených na hodnotu < 15 %.*

**Klíčová slova:** tepelná pohoda, procento nespokojených, historická budova

*Authors are engaged in examining the quality of the environment inside the historic assembly hall during the cycle of graduation ceremonies in their contribution. The proper measurement of parameters of the inside environment took place during the examined period of time. Concurrently, such parameters were registered with sensors of the building monitoring system. The model of the assembly hall was modeled (created) in simulation program BSim2008. The aim of authors was to verify whether an acceptable thermal comfort of the inside environment has been achieved during graduation ceremonies in the assembly hall. The assumed percentage of dissatisfied audience increased up to the value < 15 % since 10:00 a.m. in spite of the fact that the air temperature accomplished the designed parameters.*

**Key words:** thermal comfort, percentage of dissatisfied (audience), historical building.

## ÚVOD

Objektem zájmu autorů se stala aula historické budovy A, která je součástí areálu Fakulty stavební, VUT v Brně. Aula je během roku využívána při různých příležitostech (konference, předávání cen, imatrikulace, promoce a další akademické obřady). Autoři článku si dali za cíl ověřit, zda v letním období nedochází k překročení limitu vnitřní teploty ( $T_i$ ), který zajišťuje přijatelnou tepelnou pohodu vnitřního prostředí. Měření se uskutečnilo během cyklu promoci v termínu od 7. 7. 2009 do 10. 7. 2009.

## SEZNÁMENÍ S OBJEKTEM

Aula se nachází v historické budově, která byla postavena v roce 1911. Půdorysné rozměry zkoumané místnosti jsou 20,25 × 12,1 m, konstrukční výška je 9,7 m (obr. 1). Aula se nachází ve 2. NP a probíhá přes 3. NP. Obvodové zdivo je masivní, zděné, tl. 600 až 1050 mm. V obvodové stěně, orientované na SV, jsou osazena tři velká repasovaná okna. Přístup do auly je zajištěn třemi vchody z chodby 2. NP, další dva vchody jsou situovány za pódiem a spojují aulu se zasedací místností. Ze 3. NP je třemi dveřmi zajištěn vstup na balkony. Aula je vyzdobena štukovou omítkou bílé a světle žluté barvy a do výšky 1,75 m nad podlahou má dřevěný obklad stěn s reliéfem. Nášlapnou vrstvu podlah tvoří vlysy, na pódiu je umístěn koberec. V roce 2001 prošla celá budova A rozsáhlou rekonstrukcí [1] [2].

## POPIS SYSTÉMU VZT

Při rekonstrukci v roce 2001 bylo do objektu A nainstalováno několik vzduchotechnických jednotek. Samostatnou jednotku tvoří zařízení pro klimatizaci auly a přilehlých zasedacích místností. Střídavý provoz pak zajišťuje to, že v případě kdy není aula využívána, jsou klimatizovány obě přilehlé zasedací místnosti. Vzduchotechnická jednotka, která se nachází ve strojovně 4. NP, je vybavena přívodním a odtahovým ventilátorem, vstupní a výstupní klapkou, filtry, ohřivačem vzduchu, chladičem vzduchu a rekuperátorem. V jednotce i na trase vzduchotechniky jsou osazena čidla MaR. Jednotka pracuje se 100 % čerstvého vzduchu. Vzduchotechnika byla navržena pro 300 osob. Distribuci přívodního vzduchu zajišťuje čtyřhranné vzduchotechnické potrubí, zakončené šesti obdélníkovými mřížka-

mi ve stupínku pódia a podlahovými mřížkami v zadní části auly. V prostoru pod pódiem jsou osazeny jednotky fan-coil, které slouží ke chlazení v letním období. Znehodnocený vzduch je odváděn mřížkami umístěnými pod stropem cca ve 2/3 výšky místnosti [1] [2].

Návrhové parametry vzduchotechniky auly pro letní období:

- Návrhová vnitřní teplota letní:  $t_{iL} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$
- Objemový průtok přiváděného a odváděného vzduchu:  $V_o = V_p = 9\,000 \text{ m}^3/\text{h}$
- Tepelný výkon vodního chladiče:  $Q_{ch} = 53 \text{ kW}$

## ZPŮSOB MĚŘENÍ

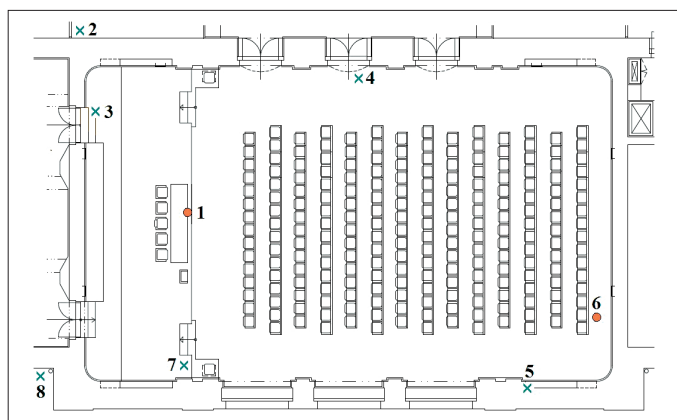
Během promoci byly v aule měřeny: teplota ( $t_a$ ,  $^\circ\text{C}$ ), relativní vlhkost ( $\varphi$ , %) a teplota rosného bodu ( $t_r$ ,  $^\circ\text{C}$ ). Veličiny byly zaznamenávány dataloggerem v pětiminutových intervalech. Teplota a vlhkost byly současně zaznamenávány i čidly monitorovacího systému budovy. Monitorovací systém zaznamenává parametry v šestiminutových intervalech. Sledované období začínalo dnem 4. 7. 2009 (sobota) a končilo dnem 13. 7. 2009 (pondělí). Promoce probíhaly ve dnech 7. 7. 2009 (úterý) až 10. 7. 2009 (pátek).

## PROVOZ AULY

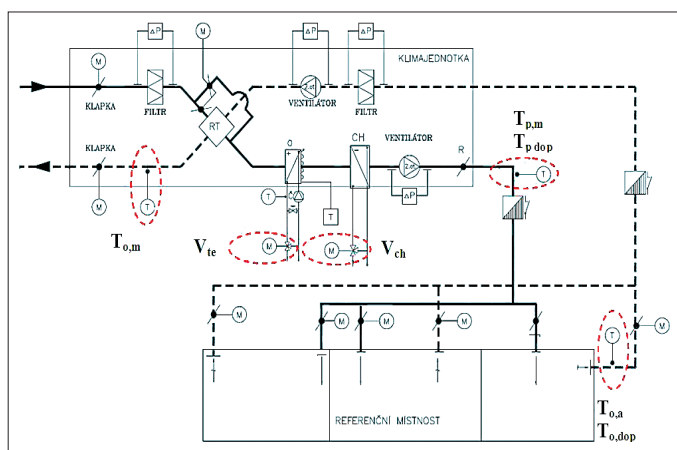
V úterý 7. 7. 2009 začínaly cykly promoci v 8:30, 10:00, 11:30, 13:00, 14:30, 15:45 a 17:00 h. Od středy 8. 7. 2009 do pátku 10. 7. 2009 pak byly začátky cyklů v 8:30, 9:45, 11:00, 12:15, 13:30, 14:45, 16:00 a 17:15 h, přičemž čtvrtek 9. 7. 2009 končil cyklem v 16:00 a pátek 10. 7. 2009 končil cyklem ve 14:45. Obsazenost auly se pohybovala kolem 160 lidí.

## PROVOZ VZT

Informace o provozu vzduchotechniky byly získány z monitorovacího systému. V období promoci byla aula větrána a chlazená. Chlazení bylo zapnuté od 6. 7. 2009 1:00 do 10. 7. 2009 17:00. V tomto rozmezí byl regulován přívod chladiče vody směšovací ventil v rozmezí od 1/4 výkonu do plného výkonu. Ventilátory byly v režimu zapnuto od 7. 7. 2009 7:00 do 10. 7. 2009 17:45 h.



Obr. 1 Půdorys auly s rozmístěním čidel



Obr. 2 Blokové schéma vzduchotechnické jednotky. Rozmístění čidel monitorovacího systému budovy ( $T_{o,m}$  – teplota odtaž – měřená,  $T_{o,dop}$  – teplota odtaž – doporučená,  $T_{o,a}$  – teplota odtaž auly – měřená,  $T_{p,m}$  – teplota výstup – měřená,  $T_{p,dop}$  – teplota výstup – doporučená,  $V_{te}$  – otevření směšovacího ventilu – teplo [%],  $V_{ch}$  – otevření směšovacího ventilu – chlad [%])

## UMÍSTĚNÍ VLASTNÍCH ČIDEL

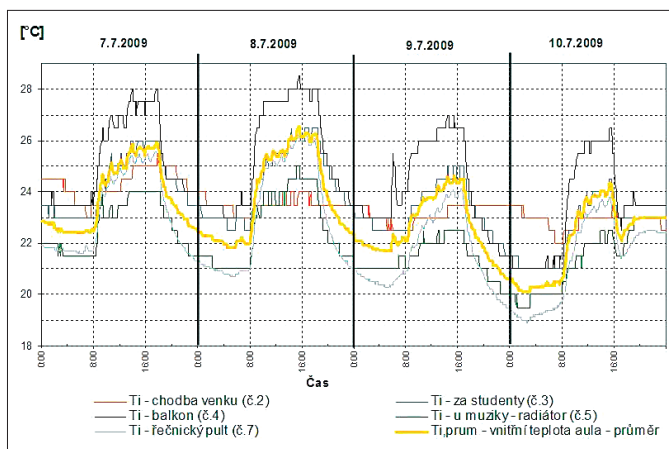
Rozmístění čidel v prostoru auly je znázorněno na obr. 1. Hodnoty vnitřních teplot v aule, naměřené v jednotlivých stanovištích jsou na obr. 3. Rozmístění dataloggerů v prostoru auly (1 – vyústka pod pódium, 2 – chodba, 3 – za promovanými studenty, 4 – na balkoně, 5 – u muziky (radiátor), 6 – vyústka v podlaze u muzikantů, 7 – řečnický pult, 8 – venkovní parapet)

## UMÍSTĚNÍ ČIDEL MONITOROVACÍHO SYSTÉMU BUDOVY

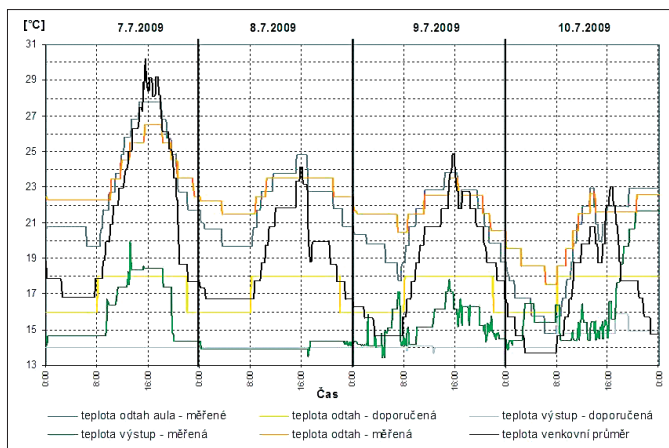
Čidla, jejichž hodnoty byly využity jsou označeny v obr. 2. Graf teplot, získaných z čidel monitorovacího systému je na obr. 4.

## MODEL AULY

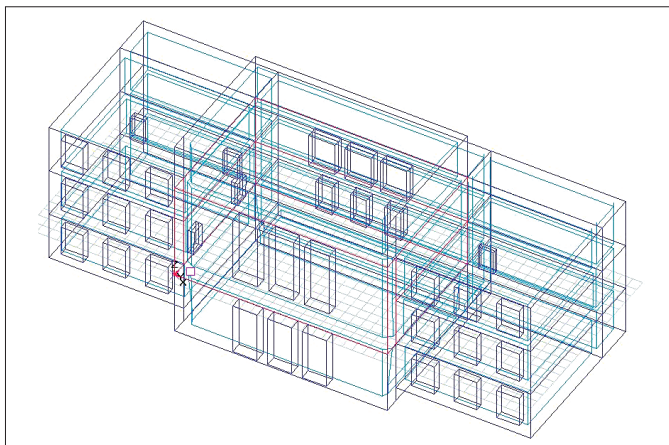
Model auly byl vytvořen v simulačním programu BSim2008. V modelu je postihnuta i návaznost auly na okolní místnosti. Parametry provozu systémů TZB a způsob obsazenosti byly nastaveny jednotlivě, pro skupiny místností (zóny) s obdobným profilem užívání. Aula představuje samostatnou zónu, kde kromě geometrie byly zohledněny parametry systému: chlazení, vytápění, osvětlení, klimatizace, infiltrace, provoz vybavení auly a obsazenost osobami. Prostředí programu BSim2008 a geometrii modelu znázorňuje obr. 5.



Obr. 3 Graf průběhu teplot z jednotlivých stanovišť v aule od 7. 7. 2009 do 10. 7. 2009



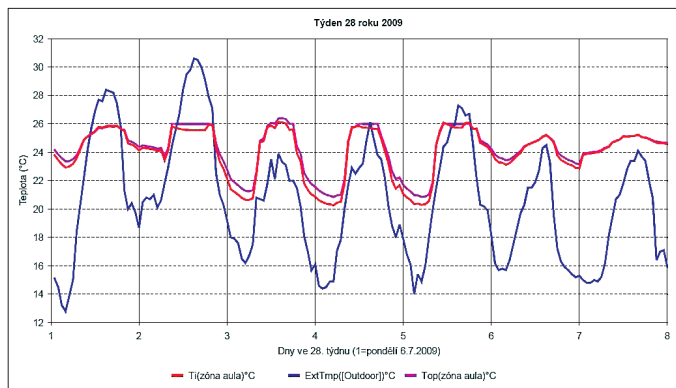
Obr. 4 Graf průběhu teplot naměřených monitorovacím systémem od 7. 7. 2009 do 10. 7. 2009



Obr. 5 Program BSim2008 – geometrický model auly s návazností na přilehlé místnosti

## VÝSLEDKY SIMULACE

Pro simulaci byla použita klimatická data referenčního roku ze stanice Brno – Tuřany (patnáctiletý průměr), upravená pro program BSim2008. Simulace byla nastavena s krokem 120/hod. Pro srovnání s naměřenými hodnotami byly ze simulace získány následující parametry (viz obr. 6):  $T_i$  – teplota vzduchu v aule (simulovaná vnitřní teplota se nachází ve středu zadané zóny; v případě auly se tento referenční bod nachází zhruba v polovině výšky auly a uprostřed jejího půdorysu),  $ExtT_{mp}$  – venkovní teplota (průběh venkovní teploty odpovídá hodnotám získaným z patnáctiletého průměru),  $T_{op}$  – operativní teplota v aule (získaná váženým průměrem z teploty vzduchu ( $T_i$ ) a střední radiční teploty okolních ploch ( $T_{mr}$ )).



Obr. 6 Průběh teplot získaný simulací v programu BSim2008

## SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

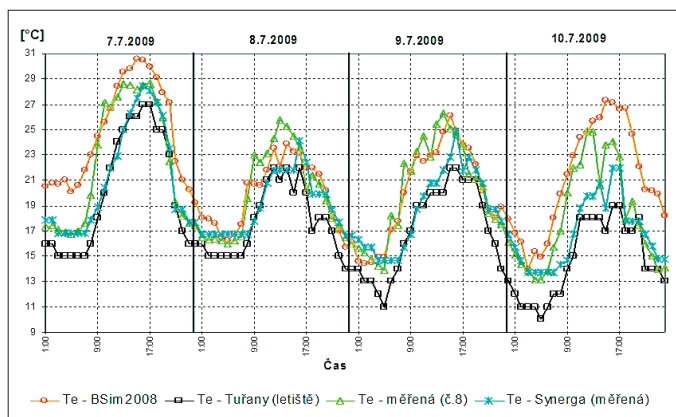
Vzájemně byly porovnány hodnoty získané z vlastního měření, z monitorovacího systému budovy a hodnoty získané simulací v programu BSim2008.

## PRŮBĚH VENKOVNÍCH TEPLIT $T_e$

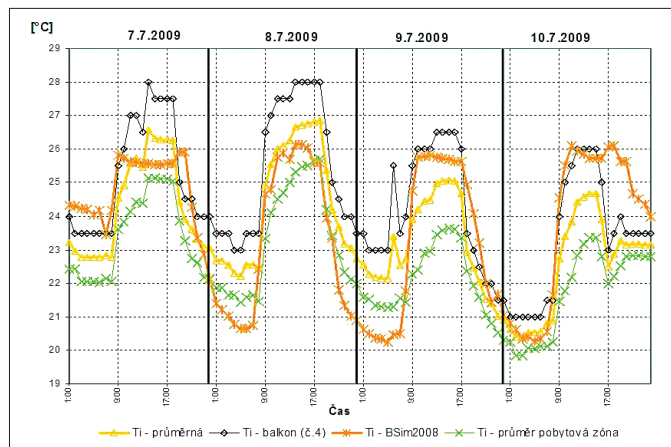
Z níže uvedeného grafu (obr. 7) je patrné, že průběh venkovních teplot získaný simulací ( $T_e$  – BSim2008) nabývá vyšších hodnot oproti skutečně naměřeným teplotám. Jak již bylo zmíněno, simulace pracuje s daty referenčního klimatického roku, která jsou získaná z 15letého průměru, proto se v některých případech liší od aktuálních teplot až o několik stupňů. Pokud srovnáme hodnoty naměřené vlastním dataloggerem ( $T_e$  – měřená (č.8)), zjistíme, že se blíží hodnotám simulace ( $T_e$  – BSim2008). Lze tedy předpokládat, že simulace ostatních parametrů bude vykazovat obdobnou odchylku, která je způsobena rozdílem v aktuálních klimatických datech. Pro srovnání je v grafu zobrazen ještě průběh teplot zaznamenaný monitorovacím systémem budovy ( $T_e$  – Synerga (měřená)) a průběh teplot ze stanice Brno – Tuřany ( $T_e$  – Tuřany (letišť)).

## PRŮBĚH VNITŘNÍCH TEPLIT $T_i$

Z teplot naměřených na stanovištích 3 (za promovanými studenty), 5 (u muzikantů) a 7 (řečnický pult), které se nacházely v jedné výškové úrovni cca 1,5 až 2 m nad podlahou, byla stanovena průměrná teplota „pobytové zóny“  $T_i$  – průměr pobytová zóna. Jak již bylo zmíněno výše, program BSim získává výslednou vnitřní teplotu v bodě, který se nachází uprostřed objemu místnosti. Proto bylo nutné vytvořit průměrnou teplotu



Obr. 7 Porovnání průběhu venkovních teplot získaných vlastním měřením, monitorovacím systémem a simulací



Obr. 8 Porovnání průběhu průměrných vnitřních naměřených teplot se simulací

$T_i$  – průměrná, ve které je zohledněna jak průměrná teplota pobytové zóny, tak i teplota na stanovišti balkon (ve výšce 4,8 m). S touto průměrnou teplotou bylo porovnáno měření se simulací (viz obr. 8).

Průměrná odchylka obou hodnot činí 1,15 °C, z toho max. odchylka dosahovala rozdílu 3,58 °C, min. odchylka pak 0,03 °C. Odchylka mohla být způsobena rozdílem aktuální venkovní teploty od teploty referenčního roku. Další zkresení hodnot mohlo být způsobeno tím, že nebylo možné měřit teploty v oblasti stropu. Tyto hodnoty by zcela jistě přispěly ke zvýšení průměrné teploty v místnosti. Dále mohlo dojít k ovlivnění výsledků měření neřízeným otevřením oken během promoci.

## STANOVENÍ OPTIMÁLNÍ VÝSLEDNÉ TEPLITY

Při určení optimální výsledné teploty bylo zohledněno složení osazenstva v aule, způsob oblečení a fyzická aktivita. Oblečení je vyjádřeno tepelným odporem v jednotkách *clo* (1 *clo* = 0,155 m<sup>2</sup> K/W), fyzická aktivita je pak vyjádřena jednotkou *met* (1 *met* = 58 W/m<sup>2</sup> = 100 W). Návštěvnost auly během promoci představovala průměrně 160 osob. Z toho zde bylo průměrně 34 promovaných studentů (cca 25 mužů v oblecích – *clo* = 1, *met* = 1,3 a 9 žen v letních šatech – *clo* = 0,28, *met* = 1,3), 7 promujících funkcionářů v talárech (*clo* = 1,7, *met* = 1), 3 muzikanti v oblecích (*clo* = 1, *met* = 2), 3 fotografové a kameramani v oblecích (*clo* = 1, *met* = 2) a 113 osob v publiku (cca 58 mužů v oblecích – *clo* = 1, *met* = 1 a 55 žen v šatech nebo kostýmcích – *clo* = 0,33, *met* = 1). Průměrná *clo* osazenstva auly je 0,76, *met* nabývá průměrné hodnoty 1,1 [3].

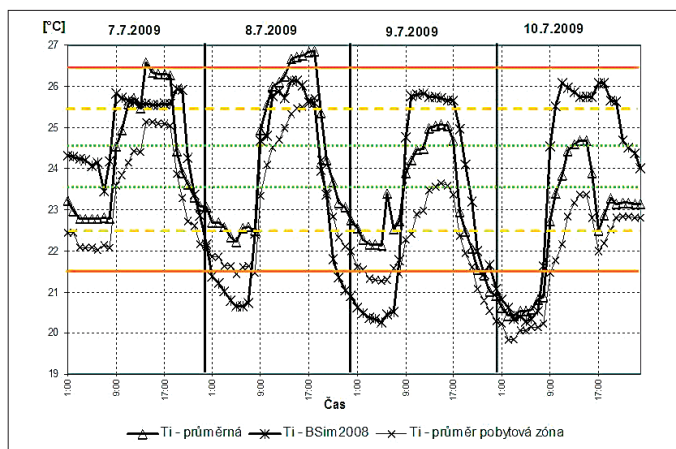
Z výše uvedených hodnot *clo* a *met* bylo stanoveno rozmezí, ve kterém se má pohybovat optimální výsledná teplota. Podle předpokládaného procenta nespokojených (PPD) je rozmezí členěno do 3. kategorií [4]:

- Kategorie A – PPD < 6 % → optimální výsledná teplota 24 °C ± 0,5 °C
- Kategorie B – PPD < 10 % → optimální výsledná teplota 24 °C ± 1,5 °C
- Kategorie C – PPD < 15 % → optimální výsledná teplota 24 °C ± 2,5 °C

V grafu jsou naznačena rozmezí, ve kterých by se měla výsledná teplota pohybovat (obr. 9).

## ZÁVĚR

Přestože teplota vzduchu během promoci splňuje projektované parametry vnitřního klimatu, je z obr. 9 patrné, že především v odpoledních hodinách se aula řadí do nevyhovujícího mikroklimatu z hlediska subjektivního pocitu tepla. Přibližně do 10 hodin dopoledne se předpokládaný počet nespokojených bude pohybovat na hodnotě < 10 %. Od 10 hodin stoupá předpokládané procento nespokojených na hodnotu < 15 %.



Obr. 9 Graf s naznačeným rozmezím optimální teploty podle kategorií

**Kontakt na autory:** spackova.l@fce.vutbr.cz, hirs.j@fce.vutbr.cz

**Použité zdroje:**

- [1] Špačková L., *Monitorování parametrů vnitřního klimatu v historické aule*. Juniorstav 2009, 11. odborná konference doktorského studia, ISBN 978-80-214-3810-1, Brno 2009
- [2] Hirs J., Špačková L., *Klimatizace historické auly*. Konference BUDOVA-ENERGIA 2008, Podbanské 2008
- [3] *Tzb-info*, článek ze dne 14. 6. 2001, CENTNEROVÁ L. *Izolace oblečení*. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=576>>, článek ze dne 7. 6. 2001, CENTNEROVÁ L. *Hodnota metabolismu*. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=569>>
- [4] ČSN EN 12 831, – Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu

*Príspevek vznikl s podporou specifického výzkumu VG FAST 2009 – projekt č. 288 – Analýza energetického managementu VUT z hlediska úspor energie na FAST; s podporou specifického výzkumu VG FAST 2010 – projekt č. 343 – Využití pasivní solární energie v historické budově a dále s podporou Jihomoravského centra pro mezinárodní mobilitu v rámci programu „Doplňková stipendia pro talentované doktorské studenty“. Program finančně podporuje Statutární město Brno a je součástí „Regionální inovační strategie 3“ Jihomoravského kraje*

**\* Sladký boj proti pachům**

Lidské vnímání pachů je velmi komplikované a dosud ne zcela vyjasněné. Je však známo, že člověk vnímá jen prchavé organické látky. Aby se potlačily nepříjemné pachy, často se překrývají silnějšími příjemně vnímanými látkami, což má za následek, že se množství pachově relevantních substancí ve vzduchu místností zvyšuje. Příkladem jsou deodoranty, voňavé spreje, nebo i vykuřovací tyčinky. Tato praxe však může vést k alergickým onemocněním a proto je lépe pachy odstraňovat než překrývat.

K odstraňování pachů se používají různé způsoby, jako filtrace vzduchu aktivním uhlím, UV zářením, nebo praní vzduchu vodou s chemickými aditivy. Nejnověji se používají filtrační media s cyklodextriny. Tyto sestávají ze šesti až osmi vzájemně vázanými molekulami cukru, které se seřazují do prstence s hydrofobní dutinou uprostřed, v níž se zachycují prchavé organické látky. Vázáním cyklodextrinů na textilní vlákna vznikají textilní filtry proti pachu.

Filtry s cyklodextriny v kombinaci s aktivním uhlím byly zkoušeny ve školních třídách, shromažďovacích místnostech a jedné kuřárně. V prvních dvou případech se vzduch podle výpovědi osazenstva významně zlepšil, zatímco v kuřárně nebylo dosaženo uspokojivých výsledků. Z toho plyne závěr, že cyklodextriny nemohou dosud používané látky ve filtrech nahradit, ale účelně je doplňují.

CCI 11/2009

(Ku)

**Konference Alternativní zdroje energie 2010**

Ve dnech 13. – 15. 7. 2010 proběhla v Kroměříži konference Alternativní zdroje energie věnovaná obnovitelným zdrojům tepla a chladu pro zásobování budov. Organizátorem byla odborná sekce 09 Alternativní zdroje energie Společnosti pro techniku prostředí ve spolupráci s Československou společností pro sluneční energii, Asociací pro využití tepelných čerpadel, sdružením CZ-Biom a Ligou ekologických alternativ. Konference hostila více než 160 účastníků z oboru solární tepelné techniky, tepelných čerpadel a energetického využití biomasy, kteří měli možnost vyslechnout 60 příspěvků ve třech paralelních sekcích. Jednání v tematicky zaměřených blocích konference potvrdilo velký zájem o využívání obnovitelných zdrojů tepla a chladu a význam jejich využití v souvislosti se snižováním energetické náročnosti budov z hlediska primárních zdrojů energie.

Úvodní plenární zasedání konference bylo věnováno především komplexnímu pohledu na alternativní zdroje energie z hlediska zajištění energetické bezpečnosti, jejich pozice v rámci státní energetické koncepce, historie využití OZE a jejich statistiky, legislativní problematiky a možných nástrojů podpory obnovitelných zdrojů tepla. Jako most do technicky zaměřených sekcí uzavřela úvodní zasedání přednáška o zkušenostech z více než 4 let provozu první české antarktické stanice zásobované z velké části obnovitelnými zdroji energie. Právě v Kroměříži se před 12 lety myšlenka kombinace antarktické stanice a obnovitelných zdrojů energie zrodila.

Jednotlivé technicky zaměřené bloky konference se v dalších dnech věnovaly využití sluneční energie od trendů, novinek výzkumu po výsledky laboratorních i provozních ověřování prvků i systémů, problematice navrhování především velkých solárních soustav, tepelným čerpadlům, jejich zkoušení, provozním výsledkům a aplikacím zvláště v bytových domech, využití energie biomasy od alternativních



paliv po technologie zajišťující vhodné spalování, kombinaci použití alternativních zdrojů energie s energetickými úsporami v budovách a možností využití alternativních zdrojů chladu, ať již pasivním nebo aktivním způsobem.

Kroměříž ukázala, že je tradičně vhodným místem pro setkání odborníků a zájemců o využití alternativních zdrojů energie. Již v minulosti hostila akce podobného zaměření, naposledy v roce 1998 velmi úspěšnou mezinárodní konferenci Obnovitelné zdroje energie, avšak v České republice na dlouhou dobu poslední v rozsahu podobném té letošní. Vzhledem k úspěchu letošního ročníku konference Alternativní zdroje energie 2010 se organizační výbor rozhodl v budoucnu pokračovat v pořádání podobných setkání s dvouletým odstupem.

(Mat)