

## TEPELNÉ PROSTREDIE V PRIESTORE S KAPILÁRNymi ROHOŽAMI

Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí  
Technická 4, 166 07 Praha 6  
[Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz](mailto:Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz)

### ANOTÁCIA

So zvyšujúcimi sa nárokmi na pohodu prostredia a tým aj na tepelný komfort osôb a zároveň so snahou o zníženie spotreby energie je nutné klásť si otázku ako takéto zdanlivo protichodné požiadavky dosiahnuť. Možnou alternatívou úpravy stavu prostredia pre vytvorenie optimálneho tepelného komfortu osôb bez vysokých nárokov na distribúciu vzduchu, je klimatizácia priestoru sálavými chladiacimi systémami. Citeľná tepelná záťaž priestoru je odvádzaná veľkoplošnými vodou chladenými panelmi, ktoré sú inštalované väčšinou do podláh miestností, ale môžu byť umiestnené aj priamo v stavebnej konštrukcii. Objemový prietok vzduchu paralelne pracujúceho vzduchotechnického zariadenia potom môže byť redukovaný len na potrebnú, minimálnu dávku čerstvého vzduchu. Sálavý spôsob chladenia je výhodný aj z ďalších hygienických hľadísk, pretože ho nesprevádzajú nežiadúce účinky akými sú hluk alebo prípadný prievan.

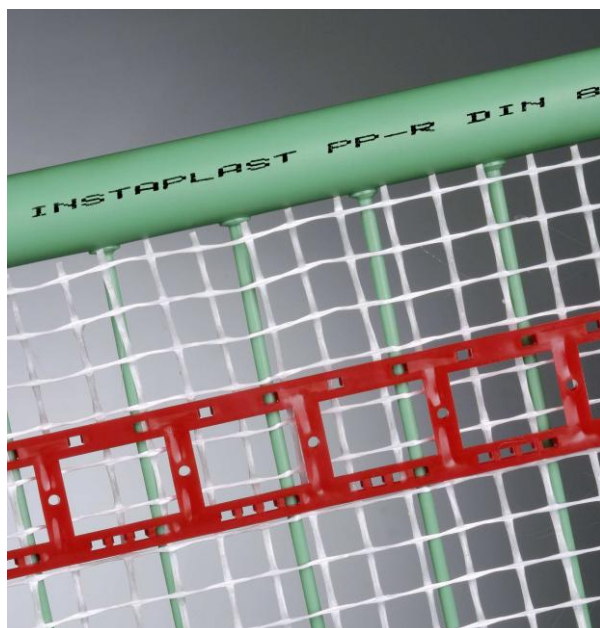
V posledných rokoch zaznamenali veľkoplošné sálavé systémy prudký rozmach najmä v západnej časti Európy. Pre svoje výhody sa sálavé systémy začínajú pomaly uplatňovať aj u nás, aj keď investične sú stále pomerne náročné. Jedným z nových sálavých klimatizačných systémov, ktorého výroba je uskutočňovaná aj na našom území, je systém s kapilárnymi rohožami. Článok analyzuje výsledky meraní tepelného stavu prostredia v reálnom priestore s kapilárnymi rohožami, nezaobrá sa ekonomickým hodnotením prevádzky systému ani návratnosťou investície.

### KAPILÁRNY SYSTÉM

Kapilárne rohože sú tvorené sieťou tenkých plastových trubičiek z polypropylénu (vonkajšia cca 3,5 mm), do ktorých je rozvádzaná chladiaca alebo vykurovacia voda. Medzi jednotlivými kapilármi je pomerne krátka vzdialenosť (cca 30 mm), čo v spojení s malým teplotným spádom spôsobí prakticky rovnomerné rozloženie povrchovej teploty. Najčastejšie sa rohože umiestňujú pod omietku na strop, ale môžu byť umiestnené aj na stenách miestnosti. V niektorých aplikáciách je možné ich umiestnenie aj v podlahovej konštrukcii, či v podlahe. Vďaka malým rozmerom kapilárnych trubičiek je hrúbka omietky 10 až 15 mm. Tá umožňuje pomerne rýchlu reakciu celého systému na zmenu okrajových podmienok. Kapilárne rohože je možné vyrábať prakticky v ľubovoľných rozmeroch, presne podľa objednávky na konkrétnu zákazku. Na stavbu sú kapilárne rohože dodávané ako celky pripravené pre montáž na konštrukciu steny, podlahy alebo stropu.

Zatiaľ čo pri chladení je teplota vstupnej vody obmedzená rizikom kondenzácie na stenách, pri vykurovaní je obmedzujúcou podmienkou asymetria radiačnej teploty. Maximálna prevádzková teplota systému s kapilárnymi rohožami vyrobeného z polypropylénu je 65 °C. Bežne sa teplota vykurovacej vody napríklad pre podlahové vykurovanie pohybuje okolo 40 °C, tak aby nebola prekročená maximálna prípustná povrchová teplota 29 °C. V prípade použitia systému pre chladenie sa teplota prívodnej vody TW1 volí 16 °C, z dôvodu zabránenia kondenzácie vodných pár obsiahnutých vo vzduchu na stenách miestnosti. Teplotný rozdiel odvádzanej a privádzanej vody býva 2 až 4 K.

Veľká teplovýmenná plocha umožňuje vykurovať priestor pri pomerne nízkej teplote vykurovacej vody. V spojení s malou tepelnou stratou objektu (nízkoenergetické domy) bude teplota vody blízka teplote vzduchu v priestore. Naopak chladenie prebieha s pomerne vysokými teplotami chladiacej vody (až 24 °C).



Obr. 1 Detail kapilárneho systému

### **APLIKÁCIA SYSTÉMU**

Kapilárny systém je možné použiť prakticky v akejkolvek budove. Nízka stavebná výška konštrukcie s kapilárnym systémom (cca 4 cm vr. Izolácie) umožňuje široké využitie pre novostavby aj rekonštrukcie budov. Uvedený prípad je aplikácia systému v nízkoenergetickom dome, ale možno ho použiť aj pre bežné rodinné, či bytové domy alebo obecné stavby. Vzhľadom k vyšším tepelným stratám takýchto objektov by systém pracoval s vyššou teplotou vykurovacej vody resp. s nižšou teplotou vody chladenia.

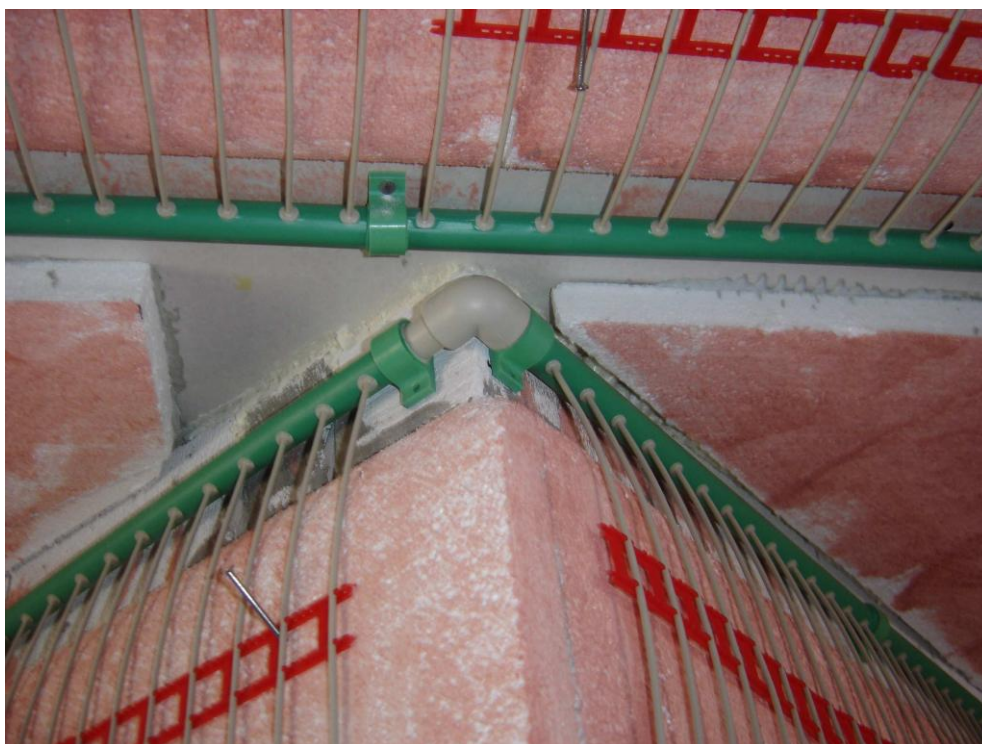
Kapilárnym systémom možno odvádzať len citeľnú tepelnú záťaž. Bežne sa merné chladiace výkony kapilárnych rohoží umiestnených na strope pod omietkou pohybujú okolo 80 W/m<sup>2</sup>, vykurovanie potom okolo 70 W/m<sup>2</sup> (vzťahuje sa na m<sup>2</sup> plochy kapilárnych rohoží) pri strednom účinnom rozdieli teplôt  $t_w = 10$  K.

Ako už bolo popísané vyššie, kapilárne rohože je možné umiestniť na ľubovoľnú stenu miestnosti. Voľba príslušných stien by mala zodpovedať architektonickému návrhu priestoru (nebezpečenstvo zastavania nábytkom). Pred vlastnou pokládkou rohoží sa na steny miestností umiestni najprv tepelná izolácia. Pri kladení izolačných dosiek je nutné vytvoriť drážky pre zabudovanie rozvádzacieho a zberného potrubia (obrázok 3). Ak sú izolačné dosky pripravené ako podklad pre omietku, je možné začať s pokládkou kapilárnych rohoží.

Rohože sa najprv rozmiestnia na steny podľa plánu pokládky a pripevnia sa k stene. Takto pripevnené kapilárne rohože sa medzi sebou spoja polyfúznym zvaraním. Po pripojení potrubia na zdroj tepla / chladu je ešte potrebné vykonať tlakovú skúšku. Po úspešnom vykonaní tlakových skúšok je možné naniesť omietku s minimálnou hrúbkou (spravidla 10 mm). V prípade, že dôjde vplyvom neopatrného zaobchádzania k narušeniu niektorej z kapilár napr. nežiadúcim navŕtaním, možno kapiláru čiastočne odkryť a narušenie zavariť.



Obr. 2 Montáž kapilárneho systému na steny a strop miestnosti



Obr. 3 Detail umiestenia kapilárnych rohoží v rohu miestnosti

### **EXPERIMENTÁLNE MERANIE**

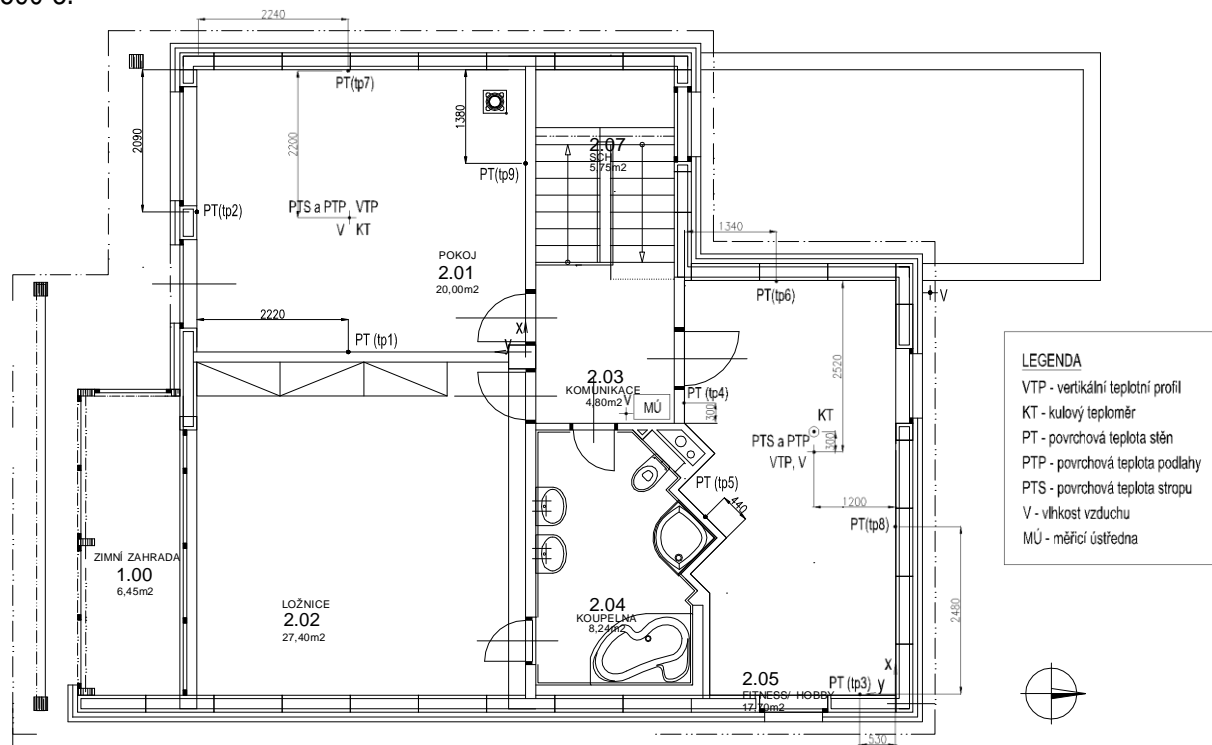
Meranie tepelného stavu prostredia bolo realizované v nízkoenergetickom dome firmy Instaplast v Zápech [3]. Jedná sa o stredne ťažkú stavbu, ktorej obvodové konštrukcie sú postavené z termoizolačného stavebného systému. Tepelne technické vlastnosti sú uvedené v tabuľke 1.

Dom je vybavený sálavým systémom s kapilárnymi rohožami, ktoré sú umiestnené prakticky na všetkých stenách objektu vr. podlahy a stropu (obr. 2). Veľká teplovýmenná plocha systému s kapilárnymi rohožami spoločne s malou tepelnou stratou objektu (5,7 kW) umožňuje upravovať tepelný stav prostredia pri strednej teplote teplonosnej látky blízkej teplote vzduchu v priestore. Pôdorysná schéma objektu je znázornená na obr 4. Vetranie objektu zaisťujú 2 rekuperačné jednotky (v 1.np je jednotka s prietokom vzduchu 280 m<sup>3</sup> / h, v 2.np s prietokom 80 m<sup>3</sup> / h) s distribúciou vzduchu tanierovými ventilmi. V miestnostiach kde prebiehalo meranie boli tanierové ventile znížené. V čase merania neboli miestnosti vybavené žiadnym nábytkom; na oknách boli sťahovacie záclony.

Tab. 1 Tepelné technické vlastnosti obvodových konštrukcií v skúmanom objekte

Konštrukcia	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]
Obvodová stena	0,20
Strecha	0,13
Podlaha 1.np	0,26
Podlaha 2.np	0,34

V miestnostiach 2.01 (južná orientácia) a 2.05 (sever) bolo inštalované meracie zariadenie, monitorujúce tepelný stav prostredia. Približne uprostred každej miestnosti boli umiestnené viacnásobné teplotné sondy pre meranie vertikálnych teplotných profilov. Pre tento účel boli použité špeciálne viacnásobné teplotné sondy s teplotnými snímačmi Pt100 o minimálnych rozmeroch (1,6 x 3,2 x 1,0 mm) umiestnenými na drôtových stojanoch. Na každom stojane bolo umiestnené celkom 10 senzorov pre meranie teploty vzduchu. Z dôvodu možného osálenia (najmä v miestnosti 2.01) boli teplotné čidlá vybavené tienením [4]. Pre zhromažďovanie dát bola použitá meracia ústredňa typu Ahlborn ALMEMO 5590-3.



Obr. 4 Pôdorysná schéma 2.np objektu vr. zakreslenia meraných parametrov

Spoločne s teplotou vzduchu bola meraná aj výsledná teplota (guľový teplomer) a vlhkosť vzduchu vo výške 1,1 m nad podlahou. Počas merania boli navyše monitorované povrchové teploty okolitých stien, teplota chladiacej resp. vykurovacej vody a vonkajšie podmienky (teplota, vlhkosť vzduchu a intenzita slnečnej radiácie). Schéma merania je znázornená na obr 4. Meranie prebiehalo nepretržite v dobe od februára do augusta 2006.

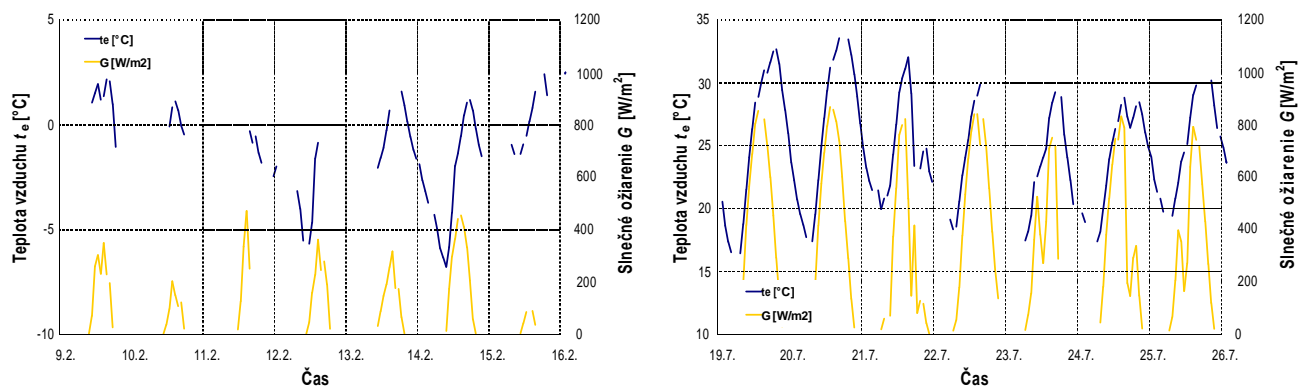
## VÝSLEDKY MERANÍ

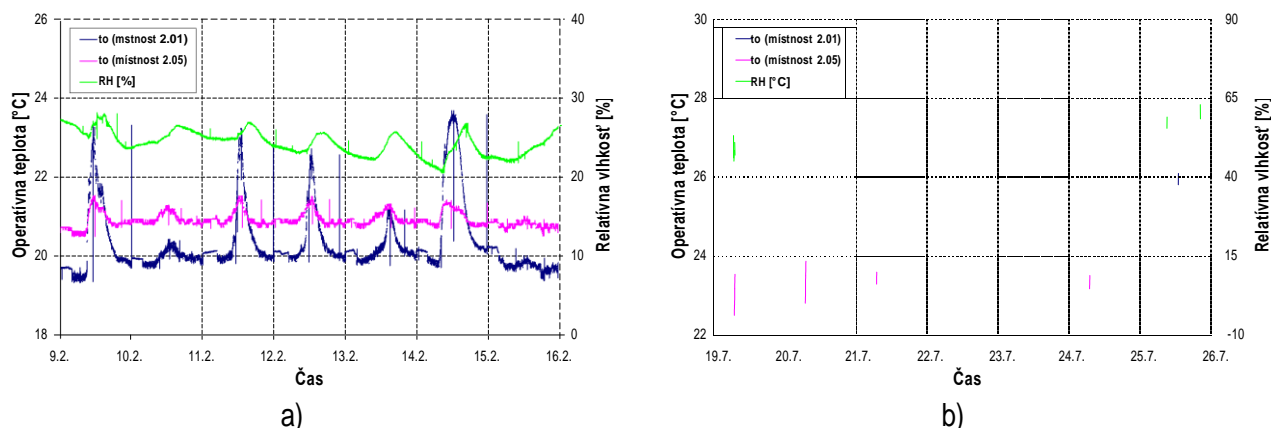
Na obrázku 5 je znázornený priebeh vonkajších klimatických podmienok (teplota vonkajšieho vzduchu a slnečné ožiarenie G) a operatívne teploty v sledovaných priestoroch počas vybraného týždňového intervalu v zimnom (obr. 5a) a v letnom období (obr. 5b).

Podľa údajov prevádzkovateľa je miestnosť 2.05 vykurovaná na vyššiu teplotu vzduchu (21 °C) ako miestnosť 2.01 (20 °C), čo potvrdzuje aj priebeh operatívnej teploty na obrázku 5a. Kým v severne orientovanej miestnosti (2.05) je operatívne teplota prakticky ustálená, v miestnosti orientovanej na juh je vidieť kolísanie operatívnej teploty počas dňa spôsobené vplyvom slnečnej radiácie. Podobne vyzerá situácia aj v letnom období (obr. 5b), s tým, že operatívna teplota dosahuje vyššie hodnoty. Je však zrejmé, že aj za extrémnych klimatických podmienok (te, G), nepresiahla operatívna teplota v priestore hodnotu 27 °C.

Vzhľadom k tomu, že monitorovanie tepelného stavu prostredia bolo vykonávané dlhodobo, boli namerané údaje vyhodnotené štatisticky. Výsledky meraní v priebehu skúmaných období (zima a leto) sú zhrnuté v tabuľkách 2 a 3, ktoré udávajú výskyt sledovaných teplôt (v percentách) v špecifikovanom intervale.

Operatívna teplota bola vyhodnotená pre rýchlosť prúdenia  $w < 0,2$  m/s, pretože v priestore merania nebol zdroj núteného vetrania. Stredná teplota stien predstavuje priemer nameraných povrchových teplôt všetkých aktívnych stien (s kapilárnym systémom). Vplyv povrchovej teploty transparentných plôch (okien) postihuje stredná radičná teplota tr vyhodnotená z výslednej teploty guľového teplomeru tg. Teplota prívodnej TW1 a vratnej vody tw2 bola monitorovaná priamo za výmenníkom tepla.





Obr. 5 Priebeh vonkajších klimatických podmienok a operatívnej teploty počas vybraného týždňa  
a) zimné obdobie  
b) letné obdobie

Z tabuľky 2 je zrejmé, že pre dosiahnutie požadovanej teploty vzduchu (operatívnej teploty) v zimnom období v skúmanom priestore s kapilárnymi rohožami bude teplota vykurovacej vody blízka teplote vzduchu, maximálne však 26 °C. To je vidieť najmä z hodnôt pre miestnosť 2.05 (severná orientácia), kedy výskyt teploty vody (spiatočky) prakticky zodpovedá výskytu teploty vzduchu a operatívnej teploty. Miestnosť 2.01 je výraznejšie zaťažovaná tepelnými ziskami z vonkajšieho prostredia ako miestnosť 2.05, preto operatívna teplota v ojedinelých prípadoch presahuje 25 °C.

V letnom období (tab. 3) sa už plne prejavuje zaťaženie miestnosti 2.01 z vonkajšieho prostredia, kedy operatívna teplota výnimočne presahuje hodnotu 26 °C. Opäť je ale zrejmé, že teplota chladiacej vody je blízka teplote vzduchu v miestnosti, čo znamená, že kapilárne rohože majú rozhodujúci vplyv na teplotné podmienky v priestore.

Tab. 2 Percentuálne časový výskyt intervalov teplôt počas zimného obdobia (od 8.2. do 5.4.2006)

Miestnosť	2.01 – izba					2.05 – fitness, hobby				
Od [°C]		19	21	23	25		18	20	22	24
Do [°C]	19	21	23	25		18	20	22	24	
Operatívna teplota	0	80,0	13,0	5,2	1,8	0	0,2	99,4	0,5	0
Teplota vzduchu	0	82,7	13,0	4,1	0,2	0	0,5	99,5	0	0
Stredná teplota stien	0	84,2	14,0	1,7	0	0,7	0,4	98,9	0	0
Teplota prívodnej vody	0	0	31,8	66,1	2,0	0	0	22,0	38,9	39,0
Teplota vratnej vody	0,1	1,8	97,4	0,7	0	0,1	0	98,3	1,6	0

Tab. 3 Percentuálne časový výskyt intervalov teplôt počas letného obdobia (od 12.6. do 3.8.2006)

Miestnosť	2.01 – izba					2.05 – fitness, hobby				
Od [°C]		20	22	24	26		20	22	24	26
Do [°C]	20	22	24	26		20	22	24	26	
Operatívna teplota	0	12,7	50,5	34,4	2,4	0	10,5	56,0	32,3	1,2
Teplota vzduchu	0	13,8	54,4	29,8	1,9	0	10,7	58,7	29,7	0,9
Stredná teplota stien	0	14,8	59,1	24,9	1,2	0	12,0	63,9	23,8	0,3
Teplota prívodnej vody	0	27,5	62,0	9,2	1,4	0	27,5	62,0	9,2	1,4
Teplota vratnej vody	0,1	4,3	51,9	41,6	2,2	0,1	4,3	51,9	41,6	2,2

### Vertikálne rozloženie teplôt vzduchu

Na obrázku 6 sú znázornené vertikálne teplotné profily v skúmaných miestnostiach s kapilárnym systémom. Vzhľadom k tomu, že obe miestnosti mali odlišnú výšku stropu  $H$  (2,7 m - miestnosť 2.01 a 2,4 m - miestnosť 2.05), je os  $y$  v grafoch na obrázku 6 nakreslená ako bezrozmerná súradnica výšky nad podlahou  $h$ . Teplotné profily reprezentujú priemerné hodnoty nameraných teplôt vzduchu uprostred miestnosti v rovnovážnom stave. Spoločne s teplotnými profilmi sú na obr. 6 znázornené namerané teploty guľového teplomera.

V tabuľke 4 sú uvedené podmienky merania pre vybrané vertikálne teplotné profily. Priemerná denná teplota reprezentuje priemernú teplotu vonkajšieho vzduchu v čase od 7.00 do 19.00 hod. Priemerná povrchová teplota stien zahŕňa teploty všetkých aktívnych stien s kapilárnym systémom v danej miestnosti počas ustáleného stavu (nezahŕňa povrchovú teplotu okien). Priemerná teplota vody je hodnota vyhodnotená za 24 hodín.

Tab. 4 Podmienky merania pre vybrané dni

	Dátum	Priemerná denná teplota vzduchu	Priemerná teplota prívodnej vody	Priemerná teplota vratnej vody	Priemerná povrchová teplota stien (2.01)	Priemerná povrchová teplota stien (2.05)
		$t_a$ [°C]	$t_{w1}$ [°C]	$t_{w2}$ [°C]	$t_{p1}$ [°C]	$t_{p2}$ [°C]
Zimný deň	21/2	0,8	23,8	21,5	20,2	21,3
Jarný deň	18/5	16,4	21,2	21,3	20,9	20,9
Letný deň	3/7	22,0	21,7	22,7	23,4	22,7

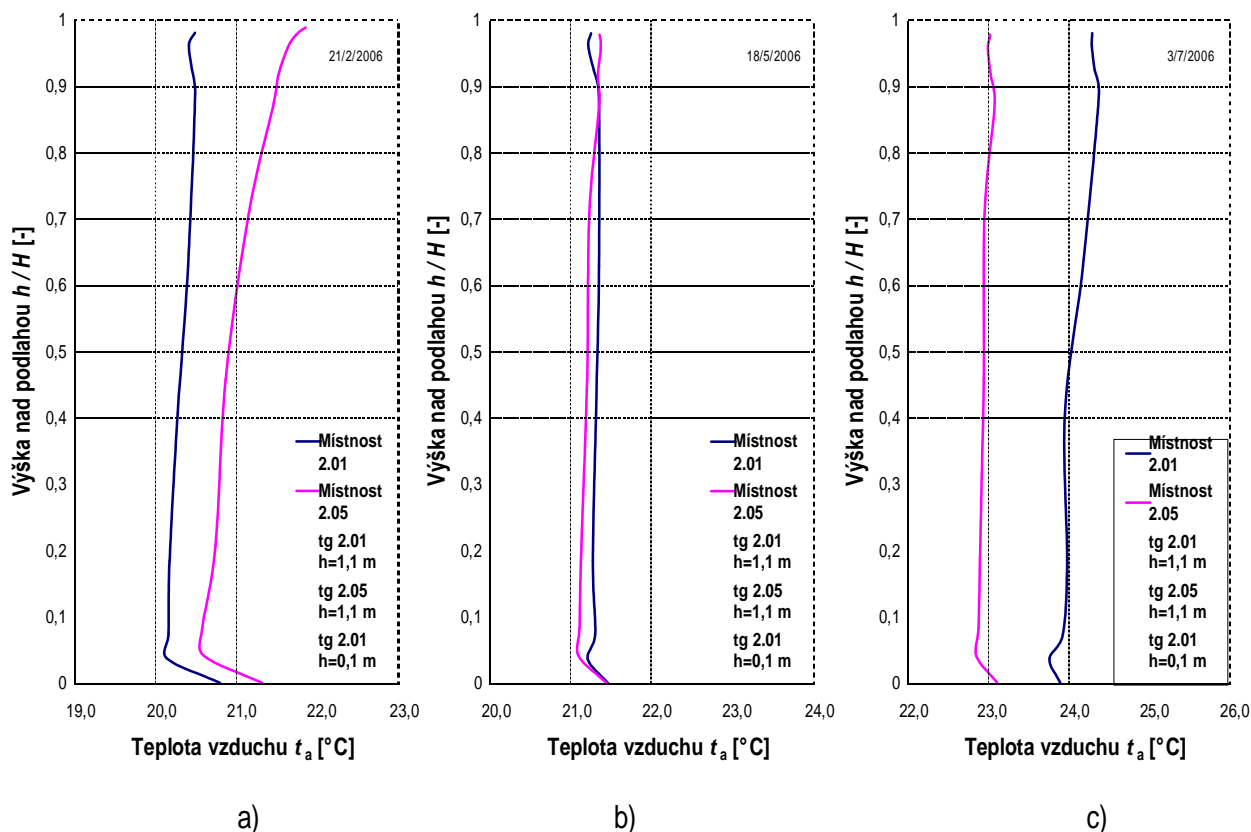
Teplotné profily ukazujú takmer vyrovnané vertikálne rozloženie teplôt vzduchu pre všetky skúmané ročné obdobia. Ako už bolo uvedené, miestnosť 2.05 je vykurovaná na vyššiu teplotu, než miestnosť 2.01 čo je zjavné aj z obrázku 6a. Tento fakt je zrejmy i z tabuľky 4, kde je vidieť, že priemerná teplota stien s kapilárnymi rohožami v miestnosti 2.01 je cca o 1 K nižšia ako v miestnosti 2.05. V zimnom období je možné sledovať mierny sklon teplotných profilov, čo je zapríčinené rozvodom vykurovacej vody v obvodových stenách, ktorý je realizovaný zhora nadol. Na obrázku 6 sú tiež znázornené výsledné teploty merané guľovým teplomerom  $t_g$  vo výške 0,1 m (miestnosť 2.01) a 1,1 m (miestnosť 2.01 a 2.05) nad podlahou. Je vidieť, že výsledná teplota je vyššia, ako teplota vzduchu v priestore a zodpovedá strednej povrchovej teplote stien (tab. 4). Vplyv chladného povrchu okna sa v meranej polohe prakticky neprejavuje ani v jednej z oboch skúmaných miestností.

V jarnom období (obr. 6b) sú vertikálne teplotné profily v oboch miestnostiach vyrovnané a prakticky totožné. Priemerné teploty povrchových stien sú pre obe miestnosti zhodné a tiež teplota prívodnej a vratnej vody vykazujú veľmi malý rozdiel (tab. 4). V túto dobu už miestnosti nie sú vykurované, len príležitostne chladené. Výsledná teplota v miestnosti 2.01 je nepatrne vyššia ako teplota vzduchu v miestnosti, čo spôsobuje vyššia povrchová teplota okolitých stien.

Typický vertikálny teplotný profil pre letné obdobie je znázornený na obr. 6c. Opätovne sa tu prejavujú vyrovnané teplotné profily. Miestnosť 2.01 je viac postavená tepelnej záťaži z vonkajšieho prostredia (slnenej radiácie) než miestnosť 2.05, preto sa vyznačuje vyššou teplotou vzduchu (24 °C). Ako ukazuje tab. 4 aj povrchová teplota stien je trochu vyššia, než v miestnosti 2.05. To je dané účinkom slnečného žiarenia, čo má za následok aj zvýšenú výslednú teplotu.

V miestnosti so severnou orientáciou (2.05), ktorá nie je počas dňa ovplyvnená priamym slnečným žiarením je povrchová teplota stien takmer totožná (v rámci chyby merania) s teplotou vratnej vody

(tab. 4) a málo sa odlišujúce od teploty vzduchu (obr. 6c). Výsledná teplota v miestnosti 2.05 sa, v rámci chyby merania, veľmi málo líši od teploty vzduchu v miestnosti (+ 0,1 K).



Obr. 6 Vertikálne teplotný profil a výsledná teplota v miestnosti s kapilárnymi rohožami  
 a) zimný deň , b) jarný deň, c) letný deň

## ZÁVER

Namerané vertikálne rozloženie teplôt vzduchu v priestore s kapilárnymi rohožami vykazuje počas celého roka prakticky optimálny teplotný profil v miestnosti, čo spôsobuje veľká teplovýmenná plocha systému. V čase merania navyše nebol v priestoroch umiestnený žiadny nábytok, čo výsledky meraní trochu idealizuje. Rozľahlá teplovýmenná plocha systému s kapilárnymi rohožami spoločne s nízkou tepelnou stratou objektu umožňuje upravovať tepelný stav prostredia pri strednej teplote teplonosnej látky blízkej teplote vzduchu v priestore. V prípade obvyklého rozmiestnenia vnútorného zariadenia bytu (skrine) bude teplota teplonosnej látky na vykurovanie trochu vyššia, naopak pri režime chladenia nižšia.

Spomínaný fakt umožňuje využitie nízkopotenciálnych zdrojov tepla, či alternatívnych zdrojov energie, akými sú predovšetkým solárne sústavy a sústavy s tepelným čerpadlom vzduch - voda, voda - voda (vyžitie nízkopotenciálneho tepla z vodných tokov, podzemná voda) a zem - voda (vyžívanie tepla zo zemského polomasívu - zemné vrty, plošné zemné výmenníky) s vysokým vykurovacím faktorom pre vykurovanie a chladiacim faktorom pre chladenie. Vyžitie kapilárnych systémov v spojení s alternatívnymi, alebo nízkopotenciálnymi zdrojmi tepla vedie k udržaniu optimálneho tepelného stavu prostredia.

## LITERATÚRA

- [1] ASHRAE Handbook 1996 Systems and Equipment. 1996, Atlanta: ASHRAE. ISBN - 1-883413-35-4  
 [2] Instaplast Praha a.s., Domovská stránka Instaplast AISEO systém, aktualizováno 15.1.2006.  
 Dostupné z: <<http://www.aiseo.cz>>



[3] Instaplast Praha a.s., *Stránka firmy Instaplast - NERD*, aktualizováno 19.9.2006. Dostupné z: <<http://www.nedum.cz>>.

[4] ZMRHAL V. *Tepelný komfort a energetická bilance systému s chladicím stropem*. 2005, Doktorská disertační práce, ČVUT v Praze.

*Príspevok bol napísaný s podporou výskumného zámeru MSM 6840770011 Technika životného prostredia.*