

# Tepelná pohoda a inteligentní dům

Tepelná pohoda je podle současných znalostí aspekt, který ovlivňuje kvalitu užívání interiérů budov, a její zajištění má zásadní dopad na energetickou náročnost budovy. Problematika nabývá na významu zvláště v současné době, kdy je trendem budování energeticky úsporných budov nebo pasivních budov. Navíc budování tzv. inteligentních budov nabízí možnost včlenit úlohu zajištění tepelné pohody do jejích technologických zařízení a do jejího řídicího a informačního systému.

## Úvod

Tepelná pohoda je velmi významná kategorie pro pocit komfortu v podmínkách mimo požadovanou teplotu prostředí. Zajištění tepelné pohody silně ovlivňuje energetickou bilanci budovy.

Řídicí systémy pro tzv. inteligentní domy (nebo také *smart house*, *smart home*) přebírají úkol zajistit tepelnou pohodu na sebe [8], [5]. Shrňme, co řídicí systémy moderních budov zajišťují:

- v oblasti prostředí – tepelnou, světelnou a akustickou pohodu, kvalitu vzduchu, omezení elektrosmogu,
- v oblasti zabezpečení – protipožární opatření, opatření při úniku plynu a zaplavení, kontrolu pohybu osob kolem domu a uvnitř domu, detekci nedovoleného vniknutí do objektu,
- v oblasti úspor energie – ve vazbě na tepelnou a světelnou pohodu řízení využití obnovitelných zdrojů, kontrolu vypnutí světel, měření a analýzu spotřeby elektřiny, nabíjení elektromobilů (popř. začlenění do *smart grids*), zálohování napájení elektřinou, využití dešťové vody,
- v oblasti ochrany životního prostředí – snižování emisí CO<sub>2</sub>,
- v oblasti zábavy – zapínání spotřebičů, nahrávání pořadů, integrované multimediální centrum, dohled nad komunikační sítí v domě, popř. nad bezdrátovou sítí WiFi.

Schéma řídicího systému inteligentního domu je na obr. 1. Centrální jednotka (1) je připojena k internetu ethernetovým kabelem prostřednictvím směrovače (router) (3). S řídicími moduly jednotlivých okruhů: prostředí (4) se snímači (4) až (12), osvětlení (15) se snímači a ovládním (13) až (14), zabezpečení (16) se snímači (17) až (24), spotřeby (25) se snímači (26) až (28), komunikuje prostřednictvím bezdrátové sítě WLAN nebo vhodné sériové sběrnice, např. LonWorks.

## Systém tepelné pohody

### Popis systému tepelné pohody

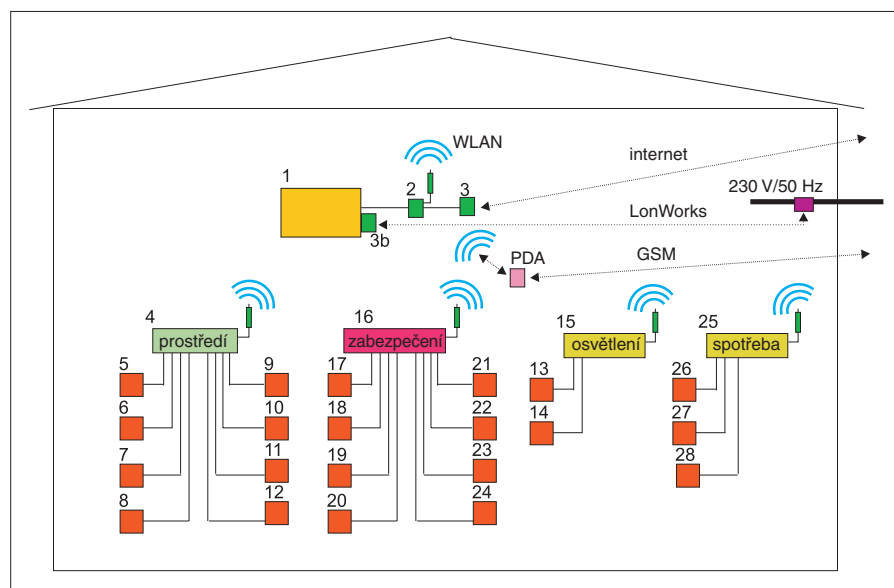
Zajištění tepelného komfortu patří mezi základní funkce řídicího systému inteligentního domu. Podle klimatu v oblasti, kde je dům vystavěn, je vybaven technikou pro tpe-

plnění a chlazení s potřebným výkonem. Významnou součástí systému pro dosažení tepelné pohody jsou dále prostředky řízení a informační sítě.

Na obr. 2 je znázorněno, co tvoří a ovlivňuje tepelnou pohodu člověka. Tepelná pohoda člověka je závislá na metabolickém výdeji tepla  $W_h$ , který závisí na druhu činnos-

Metabolický výdej tepla je dán fyzickou aktivitou člověka v daném prostředí. Je-li člověk zcela v klidu (např. leží na posteli), vydává tělo muže přibližně 48 W/m<sup>2</sup> a tělo ženy 40 W/m<sup>2</sup>. Těžce pracující člověk vydává více než 300 W/m<sup>2</sup>. Vedlejší jednotkou vyjadřující výdej tepla je metabolický ekvivalent – met, který odpovídá metabolickému výdeji tepla průměrného sedícího člověka. Platí, že 1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup>.

Oblečení představuje pro teplo z metabolické produkce organismu tepelný odpor  $I_h$ . Proto je důležité oblečení člověka v prostředí, je-li to možné, volit podle metabolické produkce organismu a parametrů prostředí (nebo



Obr. 1. Ukázkové schéma systému inteligentního domu

ti, již člověk vykonává, na tepelněizolačních vlastnostech oděvu ( $I_h$ ) a na podmínkách prostředí: teplotě vzduchu  $t_a$ , relativní vlhkosti vzduchu  $M_a$ , teplotě povrchu všech stěn v místnosti, tj. na tzv. střední radiační teplotě  $t_r$ , a na velikosti proudění vzduchu  $S_a$ . Podrobný popis měřených veličin uvádí tab. 1. Tepelnou pohodu vyhodnocuje elektronická řídicí jednotka, jejímž výstupem je regulovaná veličina  $u(\tau)$ , kde  $\tau$  je čas. Regulovaná veličina  $u(\tau)$  je jedním ze vstupů jednotky ekvitermní regulace.

naopak parametry prostředí přizpůsobit oblečení, je-li druh oblečení dán bezpečnostními či hygienickými předpisy nebo společenskou konvencí). Jednotkou  $I_h$  je buď tepelný odpor (m<sup>2</sup>·K/W) pro daný typ oblečení nebo vedlejší jednotka clo, přičemž 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>·K/W odpovídá tepelnému odporu běžného společenského obleku.

Při znalostech těchto veličin lze tepelnou pohodu vyhodnotit podle modelu předpovědi středního tepelného pocitu PMV (*Predicted Mean Vote*; [1], [3], [4]). Je-li hodnota koefi-

Tab. 1. Veličiny stavu vnitřního prostředí

Parametr	Značení	Jednotka	Poznámky
teplota vzduchu	$t_a$	°C	měření nejčastěji v rozsahu +5 až +35 °C
relativní vlhkost vzduchu	$M_a$	%	používají se různé typy vlhkoměrů
radiační (sálavá) teplota	$t_r$	°C	měření nejčastěji v rozsahu -25 až +75 °C
rychlost proudění vzduchu	$v_a, S_a$	m/s	rychlost vzduchu a průvan se měří anemometry

cientu  $PMV = 0$ , je tepelný pocit neutrální. Hodnota od nuly do  $-3$  znamená pocity chladu, naopak od nuly do  $+3$  jsou hodnoty vyjadřující teplo až horko.

Protože v současné době nejsou běžně vyráběny technické prostředky pro měření parametru střední radiační teploty  $t_r$ , potřebné pro výpočet PMV, stanoví se tepelná pohoda podle tzv. operativní teploty  $t_o$  [3]. Používá se měření kulovým teploměrem a zohledňuje se při tom vliv teploty vzduchu i sálání okolních povrchů. Toto měření je však zatíženo velkou nejistotou v měření a velkou dynamickou nesourodostí [7].

Ukazatel předpovídaného procenta nespokojených PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) se odvozuje z parametru PMV. Ukazatel PMV předpovídá střední hodnotu posuzování tepelného pocitu u velké skupiny lidí a dává kvantitativní předpověď poměrného počtu lidí, kteří budou nespokojeni s hodnotením mikroklimatu.

Norma [3] uvádí také stupeň obtěžování průvanem DR (*Draught Rating*). Hodnota je závislá na místní teplotě vzduchu, na průměrné rychlosti vzduchu v interiéru a na místní intenzitě turbulence.

### Řízení tepelné pohody

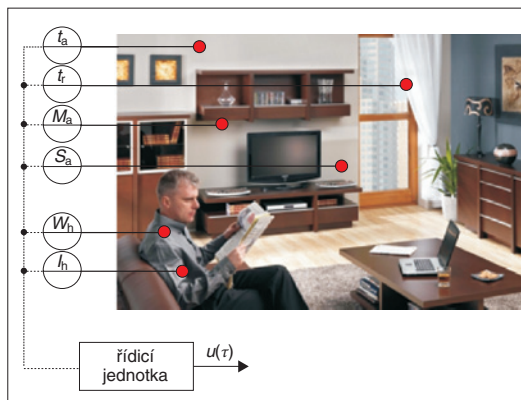
V moderních inteligentních domech se stanovuje předpověď středního tepelného pocitu PMV. Číselná hodnota parametru PMV může být využita dvěma způsoby:

- Pro stanovení žádané hodnoty teploty vzduchu  $t_a$  u systému řízení vytápění nebo chlazení podle ostatních hodnot tak, aby hodnota parametru PMV byla nulová. Schéma zapojení systému vyhodnocování tepelné pohody do okruhu vytápění je na obr. 3.
- Pro stanovení vhodného druhu oblečení pro danou fyzickou činnost v daném prostředí.

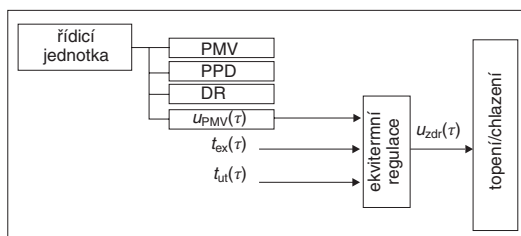
Řídicí jednotka na obr. 3 podle hodnot vstupních měřených a doplňkových veličin vyhodnotí indexy tepelné pohody (PMV, PPD, DR) a současně má na výstupu signál  $u_{PMV}(\tau)$  jako řídicí veličinu pro technické prostředky ekvitermní regulace, které podle tohoto signálu a údajů o venkovní teplotě  $t_{ex}(\tau)$  a teplotě v referenční místnosti interiéru  $t_{in}(\tau)$  řídí zdroj tepla nebo chladu tak, že udržují index PMV rovný nule.

Doposud je velkým technickým problémem to, že neexistuje jednoduchý sériově vyráběný snímač střední radiační teploty všech vnitřních ploch interiéru. Vyráběné teploměry pro měření operační teploty mají velké nejistoty v měření a výrazně rozdílné časové konstanty, negativně ovlivňující vyhodnocování tepelné pohody. Navíc jsou finančně nákladné.

Výsledky výzkumné práce zabývající se otázkami tepelné pohody umožňují použít řešení s nepřímým měřením a následným vyhodnocením referenční radiační teploty  $t_{rt}$  interiéru [4]. Princip stanovení hodnoty lze vysvětlit podle blokového schématu na obr. 4.



Obr. 2. Tepelná pohoda člověka v interiéru



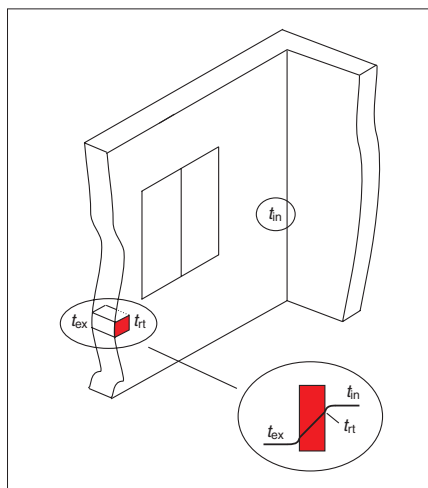
Obr. 3. Schéma okruhu řízení tepelné pohody

Podle fyzikálních zákonů pro prostup tepla stěnou lze za určitých předpokladů najít místo na vnější stěně místnosti, kde pro celkový měrný tepelný tok přes stěnu  $q_{st}$  platí:

$$q_{st} = U_{st}(t_{in} - t_{ex}) = U_{st}^*(t_{rt} - t_{ex}) \quad (1)$$

kde

$U_{st}$  je odpor proti prostupu tepla stěnou bez uvažování součinitele přestupu tepla na vnitřní straně,



Obr. 4. Schéma stanovení referenční radiační teploty v interiéru

# ŠETRNÉ BUDOVY 2013

MEZINÁRODNÍ KONFERENCE A EXPO  
ŠETRNÉHO STAVEBNICTVÍ,  
INVESTIC A MANAGEMENTU BUDOV  
CLARION CONGRESS HOTEL  
22. 5. 2013 | PRAHA

Největší akce šetrného  
stavebnictví  
v České republice

Panely a diskuze s tuzemskými  
a zahraničními odborníky

1.300 m<sup>2</sup> výstavní plochy

Vstup na Expo  
letos zdarma!

REGISTRACE 2013  
ZAHÁJENA!



generální partner

**SKANSKA**

hlavní partneři

**KNAUF INSULATION**

**len**

**SAINT-GOBAIN**

hlavní mediální partneři

organizátor

**ENERGETICKY  
SOBĚSTACNĚ  
BUDOVY**

**RESPEKT**



partneři

mediální partneři

**OTIS**

**FCC PUBLIC**

**ZUMTOBEL**

**PROJECT  
& INTERIERY**

**stavebnictví**

**WWW.SETRNEBUDOVY.CZ**

$U_{st}^*$  odpor proti prostupu tepla stěnou s uvažováním součinitele přestupu tepla na vnitřní straně,

$t_{in}$  vnitřní teplota,

$t_{ex}$  venkovní teplota,

$t_{rt}$  referenční radiační teplota.

Hodnotu referenční radiační teploty  $t_{rt}$  lze po odvození stanovit podle vztahu:

$$t_{rt} = \frac{U_{st}}{U_{st}^*} (t_{in} - t_{ex}) + t_{ex} = \frac{\left( \frac{1}{\alpha_{ex}} + \frac{d}{\lambda_{st}} \right)}{\left( \frac{1}{\alpha_{ex}} + \frac{d}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_{in}} \right)} (t_{in} - t_{ex}) + t_{ex} \quad (2)$$

kde

$\alpha_{ex}$  je součinitel přestupu tepla na vnější straně,

$\alpha_{in}$  součinitel přestupu tepla na vnitřní straně (součinitele přestupu tepla nejsou materiálové konstanty, ale závisí na mnoha dalších parametrech, zejména na rychlosti proudění vzduchu kolem stěny),

$d$  tloušťka stěny,

$\lambda_{st}$  součinitel tepelné vodivosti stěny.

Vypočtená hodnota referenční radiační teploty  $t_{rt}$  je hodnota pro zvolené místo.

Do vzorce pro výpočet PMV a dalších indexů se dosazuje vypočtená hodnota korigovaná součinitelem  $k_{rt}$ , který zohledňuje další prostorové vlivy interiéru. V jednotce ekvitermní regulace se počítá korigovaná radiační teplota  $\bar{t}_r$  podle vztahu:

$$\bar{t}_r = k_{rt} t_{rt} \quad (3)$$

### Závěr

Tepelná pohoda je významným faktorem kvality užívání každé budovy. Příspěvek přináší nové řešení vyhodnocování a řízení tepelné pohody člověka v interiéru. Toto nové řešení nepřímo vyhodnocuje referenční radiační teplotu ploch interiéru a umožňuje ji finančně nenáročným způsobem vyhodnocovat a následně řídit tepelnou pohodu v interiéru budovy.

### Literatura:

- [1] FANGER, P. O.: *Thermal Comfort*. New York, Mc-Graw-Hill Book Company, 1970, 224 s.
- [2] ČSN ISO 7726 *Tepelné prostředí. Přístroje a metody měření fyzikálních veličin*. Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1993.

- [3] ČSN EN ISO 7730 *Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody*. Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1993.
- [4] HRUŠKA, F.: *Automatizace techniky prostředí podle tepelné pohody*. Doktorská disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, FT, květen 2001.
- [5] HRUŠKA, F.: *Řízení parametrů prostředí podle tepelné pohody*. In: Konference Inteligentní budovy, Brno, 21. 4. 2004. GITY, a. s., 2004. CD-ROM.
- [6] HRUŠKA, F.: *Měření střední radiační teploty pro stanovení indexů tepelné pohody*. Teze habilitační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, FT, leden 2005.
- [7] HRUŠKA, F.: *Analysis of black spherical thermometer*. In: Proceedings of the 6th International Carpathian Control Conference, Miskolc, Hungary, 24.–27. 5. 2005, pp. 123–128, ISBN 963-661-645-0.
- [8] VALEŠ M.: *Inteligentní dům*. 2. vyd. Brno, ERA, 2008, 123 s., ISBN 978-80-7366-137-3.  
doc. Ing. František Hruška, Ph.D.,  
Fakulta aplikované informatiky,  
Univerzita Tomáše Bati Zlín  
(hruska@fai.utb.cz)

## Komunikace v chytrých domech

Inteligentní elektroinstalace spojená s domovní automatizací stále více nahrazuje tu klasickou, protože šetří kabeláž a poskytuje větší uživatelský komfort. Bezdrátové systémy se uplatňují při rekonstrukcích a ve variabilních prostorech. Zdá se tedy, že moderní řešení přináší jen klady, a proto nelze opomenout, že mají i své nevýhody jako zranitelnost, vyšší nákladnost nebo složitost instalace.

### Kritéria pro klasifikaci

Systémy a protokoly pro domovní automatizaci lze dělit podle různých pravidel, mezi kterými je možné nalézt několik základních, která hodnotí použitelnost platformy pro projekt.

### Otevřenost

Systémy a protokoly se dělí na dvě skupiny:

- otevřené protokoly (KNX, LON, OpenTherm, DALI),
- uzavřené, proprietární systémy (Ego-n, Nikobus, XComfort, Foxtrot CIB).

Otevřený protokol je standardizován (ISO, IEC atd.), takže zařízení s jeho implementací může nabízet kterýkoliv výrobce. Z toho vyplývá nejen široký výběr komponent, ale i velká variabilita při projektování (např. prvků připojitelných na KNX je

několik tisíc) a nezávislost na výrobcí. Typickou nevýhodou oproti proprietárním systémům je vyšší cena – především u projektů pro domácnosti a rodinné domy. Opakem otevřeného protokolu je *proprietární systém* (specifikace není běžně dostupná jiným firmám). Jeho nevýhodou je malý výběr prvků a závislost na jediném výrobcí nebo na jejich omezené skupině. Kladem bývá konfigurace základních funkcí bez PC a oproti řešením s otevřeným protokolem příznivější cena – především pro malé budovy a byty. Pro rozsáhlé projekty není většina proprietárních systémů vhodná.

### Centralizovanost

Podle centralizovanosti jsou rozlišovány tyto tři kategorie:

- *centralizovaný systém* (např. Ego-n) s jednou centrální jednotkou (nebo několika), která řídí veškeré chování systému; nevý-

hodou je velká citlivost na výpadek centrální jednotky, výhodou je, že není nutné používat inteligentní senzory a akční členy,

- *decentralizovaný systém* (např. KNX, LON, XComfort) nemá žádnou centrální jednotku; každý prvek systému ví, co má dělat a s kým komunikovat, a tím je systém robustní a odolnější proti výpadekům,
- *hybridní systém* (např. Nikobus, část systémů s PLC) je zčásti centralizovaný a zčásti distribuovaný.

### Komplexnost

O tom, zda je systém určen pro řízení více úloh, nebo je specializován jen na jednu oblast, rozhoduje jeho *komplexnost*.

- *Komplexní* jsou např. řídicí systémy (KNX, LON, XComfort, Ego-n, Foxtrot CIB).
- *Specializované* jsou např. protokoly (DALI, OpenTherm, DMX512, M-Bus, SMI).

### Přenosové médium

Dalším (a ne posledním) kritériem je *přenosové médium*. Nejčastěji jde o kroucenou dvoulinku (*twisted-pair*) nebo bezdrátový radiofrekvenční přenos. Z dalších médií je možné jmenovat Powerline 230 V (data