

# Energetické vlastnosti klimatizovaných interiérů

Michal Osladil

Katedra elektroenergetiky, FEI, VŠB – Technická univerzita Ostrava  
17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba  
michal.osladil@vsb.cz

**Abstrakt.** Příspěvek pojednává o problematice elektricky klimatizovaných a vytápěných interiérech. Rozebírá oblast tepelné pohody člověka, oblast fyzikálních zákonů šíření tepla a oblast vlivu klimatizačních a elektrotepelných zařízení na napájecí síť. Dále jsou popsány možnosti regulace odběru elektrické energie uvedených zařízení při současném zachování podmínek tepelné pohody člověka. Jedná se o popis odlehčovačů zátěže a složitějších regulačních systémů.

**Klíčová slova:** tepelná pohoda, přenos tepla vedením, přenos tepla zářením, přenos tepla prouděním, odlehčovač zátěže

## 1 Úvod

Jak napovídá název příspěvku, v rámci disertační práce bude řešena otázka vlivu klimatizace interiérů ve spojení s elektrickým vytápěním na elektrickou síť. Hlavním úkolem klimatizace a vytápění je zajistit v uzavřených místnostech příznivé teplotní poměry jak v chladném zimním období, kdy je venkovní teplota nižší než požadovaná teplota v místnostech a kdy také ostatní povětrnostní vlivy způsobují ochlazování místností, tak v letním období, kdy je naopak venkovní teplota vyšší než požadovaná teplota v místnostech. Jde především o zajištění tzv. “tepelné pohody”.

Z výše uvedeného plyne, že je nutno provést rozbor řady problémů souvisejících s daným tématem. Jedná se především o:

- rozbor problematiky tepelné pohody člověka
- rozbor fyzikálních zákonů šíření tepla
- rozbor vlivu klimatizačních a elektrotepelných zařízení na napájecí síť

Následující kapitoly pojednávají o uvedených bodech.

## 2 Problematika tepelné pohody člověka

Pojem tepelná pohoda lze definovat tak, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno ani příliš teplo. Tepelnou pohodou se označuje stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného pocení. Jedná se o stav mysli, který vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem, jež vychází ze subjektivního hodnocení.

Lidské tělo je nepřetržitým zdrojem tepla. Tato metabolická tepelná produkce může být rozdělena do dvou skupin [2]:

- bazální metabolismus, kdy je teplo produkováno na základě biologických procesů (spalování jídla).
- svalový metabolismus, jenž vzniká při činnosti člověka (při konání práce).

Teplo produkované organismem musí být odvedeno do okolí. V opačném případě může dojít ke změně tělesné teploty. Teplota uvnitř lidského těla je cca 36,5 °C, zatímco teplota kůže se pohybuje v rozmezí 31 – 34 °C.

Tepelnou bilanci lidského těla můžeme vyjádřit vztahem [2]:

$$M \pm R \pm C_v \pm C_d - E_{\text{diff}} - E_{\text{rsw}} - E_{\text{resp}} - L = \Delta S (W), \quad (1)$$

kde M je hodnota metabolismu, R je tepelná ztráta (zisk) sáláním,  $C_v$  je tepelná ztráta (zisk) prouděním,  $C_d$  je tepelná ztráta (zisk) vedením,  $E_{\text{diff}}$  je tepelná ztráta difúzí pokožky,  $E_{\text{rsw}}$  je tepelná ztráta běžným pocením,  $E_{\text{resp}}$  je tepelná ztráta dýcháním (v klidu), L je tepelná ztráta dýcháním (citelná při námaze) a  $\Delta S$  je změna tepelné kapacity

Faktory ovlivňující tepelnou bilanci organismu mohou být rozděleny do 3 skupin [2]:

- Vnitřní prostředí (teplota vzduchu, radiační teplota, vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu)
- Osobní faktory (hodnota metabolismu, oblečení)
- Doplňující faktory (jídlo a pití, aklimatizace (adaptace na venkovní klima), aklimace (adaptace na vnitřní prostředí), míra podkožní tuk, věk, pohlaví)

### 3 Fyzikální zákony šíření tepla [1], [4]

Teplo se přenáší z tělesa teplejšího na těleso studenější třemi způsoby:

- *Vedením (kondukcí)* – zpravidla v tělesech tuhých
- *Prouděním (konvekci)* – v prostředí kapalném nebo plynném
- *Sáláním, zářením (radiací)*

V praxi se uvedené přenosy tepla zřídka objevují odděleně.

#### 3.1 Šíření tepla vedením

Proces šíření tepla vedením je v obecném případě velmi složité popsat matematicky. Vyšetřují se proto jen některé jednodušší případy důležité při výpočtech elektrotepelných zařízení, a to za použití zjednodušujících předpokladů – šíření tepla probíhá ve *stejnorodém (izotropním) prostředí*. Tepelný stav takového prostředí je určen teplotním polem, tj. množinou okamžitých teplot všech bodů zkoumané části prostoru.

$$\vartheta = f(x; y; z; t) \quad (2)$$

Pro stacionární teplotní pole  $\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = 0\right)$  platí:

$$\vartheta = f(x; y; z) \quad (3)$$

Plochy zahrnující body stejné teploty nazýváme *isotermické plochy*. Při pohybu mezi isotermickými plochami bude teplotní spád  $\text{grad}\vartheta$  maximální tehdy, když pohyb ve směru  $\underline{s}$ , charakterizován poměrem  $\frac{\Delta \vartheta}{\Delta S}$ , bude totožný se směrem normály k isotermě  $\underline{n}$ .

$$\text{grad}\vartheta = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta n} \cdot \underline{n}_0 = \frac{\partial \vartheta}{\partial n} \cdot \underline{n}_0 \quad (\text{K} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (4)$$

Závislost mezi tepelným tokem a teplotním spádem je dána *Fourierovým zákonem*:

$$d\underline{Q} = -\lambda \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial n} \cdot d\underline{S} \cdot dt \quad (\text{J}; \text{K}; \text{m}^{-1}; \text{m}^2; \text{s}), \quad (5)$$

kde:  $d\underline{Q}$  – je *tepelný tok*, tj. množství tepla, které projde kolo elementární ploškou  $\underline{S}$  isotermické plochy za čas  $dt$ . Tento tok závisí na fyzikálních vlastnostech prostředí, což je vyjádřeno součinitelem  $\lambda$  a na teplotním spádu  $\text{grad}\vartheta$ .

$\lambda$  – je *součinitel tepelné vodivosti prostředí* (měrná tepelná vodivost). Znaménko minus v rovnici značí, že tepelný tok jde vždy od teploty vyšší k nižší, tj. obráceně než-li je směr  $\text{grad}\vartheta$ . Protože  $\text{grad}\vartheta$  je vektor, je i množství tepla  $d\underline{Q}$  vektor.

Pro stanovení tepelného toku v určitých speciálních případech, tj. při vedení tepla *rovnou stěnou* (jednoduchou či složenou), *stěnou dutého válce* nekonečné délky či *kulovou stěnou* je stanovena diferenciální rovnice vedení tepla *Fourier – Kirchhoffova*:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2} \right) = a \cdot \Delta \vartheta \quad (6)$$

Výraz v závorce je Laplaceův diferenciální operátor teploty  $\Delta \vartheta$  a součinitel  $a$  je součinitel teplotní vodivosti daného materiálu, zahrnující měrnou vodivost, měrnou hmotnost a měrné teplo. Odvození Fourier – Kirchhoffovy rovnice je poměrně pracné a je uvedeno v literatuře [4] na str. 8 až 11.

### 3.2 Šíření tepla prouděním

Tento způsob šíření tepla se uplatňuje při tzv. vytápění konvekčním způsobem (příklad – topidlo umístěno pod oknem...) a především v *případě klimatizačních zařízení* kde je tento způsob dominantní. Jedná se tedy o přenos tepla formou proudění média nesoucího toto teplo v prostředí, kde je toto realizovatelné.

### 3.3 Šíření tepla zářením

Každé těleso, jehož teplota je větší než absolutní nula, vyzařuje svým povrchem tepelnou energii. Každé těleso, které se nachází v průzračném prostředí, vyzařuje svým povrchem do okolí, avšak současně přijímá energii vyzařovanou jinými tělesy. V konečné fázi je zářivá energie pohlcena neprůzračnými tělesy a přemění se v energii tepelnou. Při dopadu záření na jakékoliv těleso se rozdělí přicházející tok energie na tři části:

- první část je pohlcena a přemění se v teplo (je charakterizována poměrnou spektrální pohltivostí  $A_\lambda$ )
- druhá část se odrazí (je char. pom. spektr. odrazivostí  $B_\lambda$ )
- třetí část projde tělesem (je char. pom. spektr. propustností  $C_\lambda$ )

Platí vztah:

$$A_\lambda + B_\lambda + C_\lambda = 1 \quad (7)$$

Povrch, který odráží všechny dopadající paprsky, nazýváme *absolutně bílým povrchem*. Povrch, který pohltí všechny dopadající paprsky, nazýváme *absolutně černým povrchem*. Skutečné povrchy nazýváme *šedými povrchy*.

Úhrnná energie, kterou vyzáří zahřáté těleso jednotkou svého povrchu, se nazývá úhrnná zářivost (emise)  $E$ . Z této úhrnné zářivosti  $E$  připadá na obor vlnových délek od  $\lambda$  do  $(\lambda + d\lambda)$  část  $E_\lambda \cdot d\lambda$ .

Pro úhrnnou zářivost platí vztah:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} E_\lambda \cdot d\lambda \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (8)$$

Pro záření absolutně černého povrchu platí následující zákony:

*Zákon Kirchhoffův pro záření* – poměr úhrnné zářivosti  $E_\text{s}$  šedého povrchu a relativní pohltivosti  $A_\text{s}$  závisí pouze na absolutní teplotě tělesa, ne však na barvě jeho povrchu:

$$\frac{E_\text{s}}{A_\text{s}} = f(\Theta) = \frac{E_\text{c}}{A_\text{c}} = E_\text{c}, \quad (9)$$

kde  $E_\text{s}$  a  $A_\text{c}$  jsou úhrnná zářivost a pohltivost absolutně černého tělesa.

*Zákon Stefan-Boltzmanův* – úhrnná zářivost  $E_{\zeta}$  absolutně černého povrchu roste úměrně se čtvrtou mocninou absolutní teploty  $\Theta$ :

$$E_{\zeta} = \sigma_{\zeta} \cdot \Theta^4 \text{ (W; m}^{-2}\text{)}, \quad (10)$$

kde  $\sigma_{\zeta}$  je Stefan-Boltzmanova konstanta ( $\sigma_{\zeta} = 5,77 \cdot 10^{-8} \text{ (W; m}^{-2}; \text{K}^{-4}$ ).

*Zákon Wienův* – spektrální zářivost  $E_{\lambda}$  je za dané teploty  $\Theta$  největší pro vlnovou délku  $\lambda_{\max}$ , která je nepřímo úměrná této teplotě  $\Theta$ :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,892 \cdot 10^{-3} E_{\zeta}}{\Theta} \text{ (m; K)}, \quad (11)$$

*Zákon Planckův* – záření je tokem elementárních kvant  $\varepsilon$  energie (fotonů), které jsou úměrné kmitočtu  $f$  daného záření:

$$\varepsilon = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad (12)$$

kde  $h$  Planckova konstanta ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ ),  $c$  je rychlost světla ve vakuu,  $f$  je kmitočet daného záření a  $\lambda$  je vlnová délka.

#### **4 Vliv klimatizačních a elektrotepelných zařízení na napájecí síť**

Problematika vlivu elektrotepelných zařízení na napájecí síť je v našich zeměpisných podmínkách známá. Jelikož se jedná o jedny z nejnákladnějších odběrů elektrické energie, musí je rozvodné podniky určitým způsobem regulovat. Existuje celá řada regulačních opatření. Např. se jedná o stanovování speciálních sazeb pro použití elektrotepelných spotřebičů, které za výhodných finančních podmínek nutí odběratele odebírat elektrickou energii v příhodných okamžicích. Tento způsob je spojen s tzv. blokováním elektrotepelných zařízení, tj. s aplikací HDO či spínacích hodin, které blokování odběru elektrické energie zajišťují.

Poměrně novým způsobem regulace odběru elektrické energie ze sítě nn je aplikace odlehčovačů zátěže, jejichž rozbor a možnosti použití ve spojení s řešením problémů zadané disertační práce byl prezentován na konferenci Současnost elektroenergetiky 2003 [6].

Zcela novým fenoménem je mohutný rozmach aplikace klimatizačních zařízení, zejména v domácnostech, a s tím související energetické problémy. Ačkoli v našich zeměpisných podmínkách není vliv klimatizačních zařízení tolik patrný, je jisté, že trend připojování těchto zařízení je perspektivně rostoucí. To vše je způsobeno především finanční dostupností klimatizačních zařízení. Značné problémy jsou dnes zřejmé ve většině zemí jižní Evropy. Nepříznivé elektrizační soustavy tohoto druhu odběru může vést až k „blackoutu“. Tím se stává místní problém, z hlediska propojení elektrizačních soustav v rámci UCTE, problémem mnohem širším.

## 5 Závěr

Klimatizační zařízení mají relativně velký odběr elektrické energie, významný zvláště v případě současnosti činnosti mnoha takových zařízení v napájecím systému. Je tedy nutno řešit problém regulace odběru elektrické energie obdobně jako u elektrotepelných zařízení. V rámci disertační práce budou řešeny jak dopady aplikace klimatizačních zařízení na diagram denního zatížení, tak konkrétní způsoby eliminace těchto negativních dopadů pomocí odlehčovače zátěže či složitějšího regulačního systému. Dále bude prozkoumán vliv aplikace odlehčovače zátěže a zmíněného složitějšího regulačního systému na tepelnou pohodu člověka, přičemž výstupem by mělo být objektivní porovnání uvedených způsobů regulace.

V rámci disertační práce bude v oblasti měření přechodných jevů (např. při přepínání stupňů klimatizace či vytápění) navázáno na výsledky diplomové, která se tímto tématem zabývala a byla oceněna 3. místem v Ceně ČEZ (cena za nejlepší diplomové práce v oboru elektroenergetika v rámci ČR).

## Reference

1. A. C. Metaxas. *Foundations of Electroheat: A Unified Approach*. John Wiley & Sons. Cambridge 1996. ISBN 0471956449.
2. Feist, Klien. *Nízkoenergetický dům*. HEL, Ostrava 1994.
3. H. C. Hotel, A. F. Sarofim. *Přenos tepla zářením*. SNTL. Praha 1979. ISBN 80-04-217-79
4. Hradílek Z. *Elektrotepelná technika*. skriptum VŠB-TUO. Ostrava 1996. ISBN 80-7078-323-0
5. Hradílek Z. a kol. *Elektrotepelná zařízení*. IN-EL Praha. Praha 1997. ISBN 80-902333-2-5
6. Osladil M. Energetické problémy elektrotepelných zařízení a možnosti jejich omezení odlehčovači zátěže. sborník konference *Současnost elektroenergetiky 2003*. Brno 2003. ISBN 80-214-2417-6.

## Annotation:

### *Electric Power Characteristics of Air-Conditioned Interiors*

This paper describes the problems of electric-heated and air-conditioned interiors. It analyses the field of the human thermal comfort, the field of physical laws of heat transfer and finally the field of influence of the quoted equipments on the electric power net. There are also described the possibilities of P.T.O. (power take-off) control including the holdback of the human thermal comfort conditions. In the concrete it describes the load shedders and more complicated control systems.