

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKNOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh elektrického vytápění pomocí sálavých panelů

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Téma této bakalářské práce je shrnutí poznatků o sálavém elektrickém vytápění. Teoretická část práce pojednává převážně o přenosu tepla sáláním, dále se v práci věnuji využití sálavých panelů jako zdroj tepla. V praktické části jsem se zaměřil na určení účinnosti sálavého panelu ECOSUN 300C určeného pro montáž do kazetových stropů.

Klíčová slova

Sálavé panely, sálavé vytápění, účinnost sálavého panelu, šíření tepla sáláním

Abstract

The theme of this thesis is a summary of knowledge about electric radiant heating. The theoretical part focuses mainly on the transfer of radiant heat at my work I use as a source of radiant heat panels. In the practical part is focused on determining the effectiveness of the radiant panel ECOSUN 300C for mounting to ceiling cassette.

Key words

Radiant panels, radiant heating, radiant panel efficiency, heat transfer by radiation

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/ diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 15.6.2012

Jan Jakeš

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce. Ing. Josefu Vaňkovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Vobořil elektromontáže s.r.o. za poskytnutí zázemí při měření sálavého panelu.

Obsah

Obsah	7
Úvod.....	8
Seznam symbolů a zkratk.....	9
1 Přenos tepla sáláním.....	10
1.1 Zákony záření.....	10
1.1.1 Snellův zákon.....	10
1.1.2 Lambertův zákon.....	11
1.1.3 Stefan-Boltzmannův zákon	12
1.1.4 Planckův zákon	12
1.1.5 Wienův zákon.....	14
1.1.6 Kirchhoffův zákon	14
2 Elektrické sálavé panely jako zdroj tepla.....	16
2.1 Tepelná pohoda.....	16
2.2 Vytápění elektrickými sálavými panely.....	19
2.2.1 Nízkoteplotní sálavé panely	19
2.2.2 Vysokoteplotní sálavé panely.....	20
2.2.3 Kombinované sálavé panely	20
3 Přednosti sálavého vytápění.....	20
4 Účinnost elektrických sálavých panelů.....	21
4.1 Výpočet účinnosti jednotlivého sálavého panelu	21
4.2 Postup měření.....	24
4.2.1 Postup měření.....	24
4.2.2 Použitý sálavý panel.....	25
4.2.3 Použité přístroje	26
4.3 Naměřené hodnoty	27
5 Závěry pro praxi.....	32

Úvod

Elektrické vytápění patří mezi jedno z nejekologičtějších a nejkomfortnějších způsobů vytápění avšak v dnešní době poměrně finančně náročné. Vytápění pomocí sálavých panelů tak skýtá možnost velice efektivního, moderního a energeticky méně náročné způsobu vytápění, nežli standardně používané prvky vytápění (přímotopné konvertory, akumulární kamna). Tento způsob vytápění začíná být v dnešní době velice oblíbený, jelikož skýtá množství výhod, mezi které patří např.: vysoký tepelný komfort, tichý a bezúdržbový provoz, možnost využití panelu jako designový prvek atd.

Tato práce shrnuje teoretické poznatky o šíření tepla sáláním. Dále se zabývám využitím elektrických sálavých panelu jako zdrojem vytápění. Určením tepelné pohody a faktory které ji ovlivňují. Přednostmi sálavého vytápění. A určením sálavé účinnosti nízkoteplotního sálavého panelu určeného pro montáž do kazetového stropu.

Seznam symbolů a zkratk

α, β, φúhly [$^{\circ}$]

v, v'rychlost šíření [m/s]

nindex lomu [-]

$P, P_{\varphi}, P_{\check{c}}, P_{\check{s}}$...tepelný výkon [W]

Mhustota intenzity vyzařování [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$]

λvlnová délka [m]

$\sigma_{\check{c}}$Stefan-Boltzmanova konstanta

$A_{\check{s}}, \epsilon$stupeň černosti, emisivita [-]

t_v, t_u, ϑ teplota [$^{\circ}\text{C}$]

φrelativní vlhkost [%]

wrychlost proudění vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

P_{el}elektrický výkon [W]

$P_{\text{sál}}, P_{\text{zk}}$tepelné složky výkonu [W]

T, θtermodynamická teplota [K]

α_ksoučinitel přestupu tepla konvekcí [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Sobsah [m^2]

$\Delta\vartheta$rozdíl teplot [$^{\circ}\text{C}$]

ηúčinnost [%]

1 Přenos tepla sáláním

Přenos tepla sáláním je přenos tepla pomocí elektromagnetického vlnění. Elektromagnetické záření vyzařuje každé neprůzračné těleso o teplotě větší, než 0 K. Dopadne-li toto záření na jiné těleso a dojde-li i k jeho pohlcení, zvýší se energie tohoto tělesa. Pokud je dopadlá energie větší než energie vyzářená, těleso se zahřívá. Kolik vyzářené energie těleso vydá je úměrné ploše jeho aktivního povrchu a čtvrté mocnině jeho termodynamické teploty. Dále je množství vyzářené energie závislé na charakteru povrchu tělesa. Tok energie dopadající na těleso lze rozdělit na tři části:

- 1) A – pohlcený tok (poměrná pohltivost)
- 2) B – odražený tok (poměrná odrazivost)
- 3) C – prostupující tok (poměrná prostupnost)

$$A + B + C = 1$$

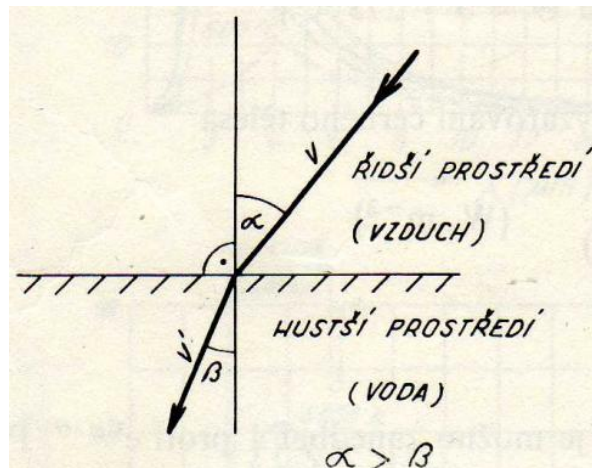
(1)

Těleso, které odráží veškeré elektromagnetické záření, se nazývá „absolutně bílé“. Těleso má tedy dokonalou odrazivost $B = 1$ a nepohlcuje žádné záření $A = 0$. Těleso, které pohltí veškeré elektromagnetické záření, se nazývá „absolutně černé“. Absolutně černé těleso má dokonalou pohltivost $A = 1$ a odrazivost $B = 0$. U neprůzračných těles je $C = 0$ a $A + B = 1$. Ve skutečnosti není žádný povrch tělesa „absolutně bílý“ ani „absolutně černý“ a mluvíme tedy o takzvaném šedém povrchu.

1.1 Zákony záření

1.1.1 Snellův zákon

Prochází-li elektromagnetické vlnění z jednoho průzračného prostředí do druhého, šíří se podlé zákonů optiky.



Obr. 1.1 Snellův zákon

Z obr. 1.1 je patrné, že:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v}{v'} = n \quad (2)$$

n – index lomu

v, v' – rychlost šíření v daném prostředí

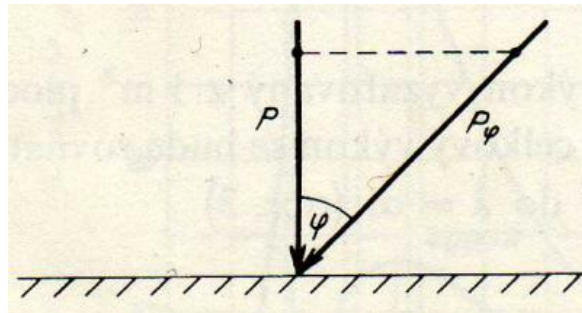
Při přechodu z jednoho prostředí do druhého se paprsek láme podle indexu lomu

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \quad (3)$$

1.1.2 Lambertův zákon

Z Lambertova zákona plyne, že výkonově se uplatňuje jen kolmá složka záření (obr. 1.2).

$$P = P_{\varphi} \cdot \cos \varphi \quad (4)$$



Obr. 1.2 Lambertův zákon

1.1.3 Stefan-Boltzmannův zákon

Úhrnná zářivost absolutně černého tělesa je úměrná čtvrté mocnině jeho termodynamické teploty. Měřením pak bylo zjištěno:

$$P_{\text{c}} = \sigma'_{\text{c}} \cdot \theta^4 \quad (5)$$

σ'_{c} - Stefanova-Boltzmanova konstanta

θ - termodynamická teplota tělesa

1.1.4 Planckův zákon

Spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa

$$M_{\lambda\text{c}} = f(\theta; \lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot \theta}} - 1)} \quad [W \cdot m^{-3}] \quad (6)$$

$$C_1 = 3,73 \cdot 10^{-16} \quad [W/m^3]$$

$$C_2 = 1,438 \cdot 10^{-2} \quad [m \cdot K]$$

Tato rovnice udává výkon vyzařování z plochy 1 m^2 , ale pouze pro jednu vlnovou délku λ . Pokud budeme chtít celý vyzařovaný výkon, musíme posčítat výkony od všech vlnových délek.

$$P_{\zeta} = \int_0^{\infty} M_{\lambda\zeta} \cdot d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot \theta}} - 1} \cdot d\lambda \quad (7)$$

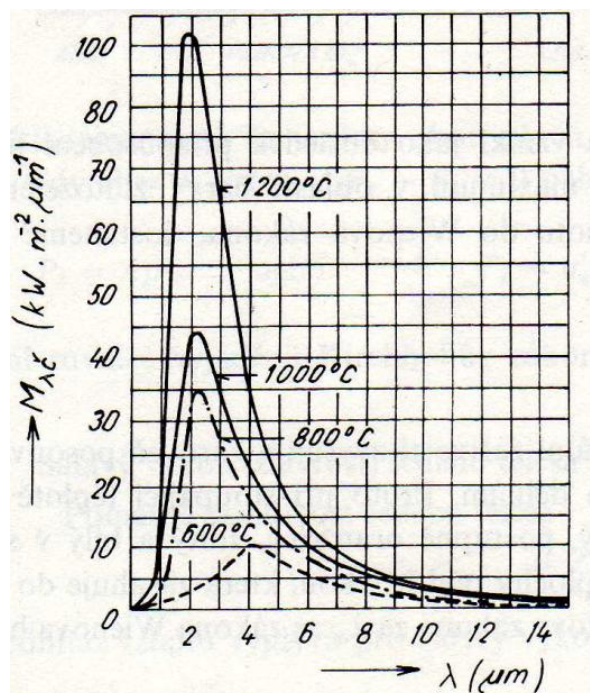
Integrací pak dostaneme:

$$P_{\zeta} = \sigma_{\zeta} \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^4 \quad (8)$$

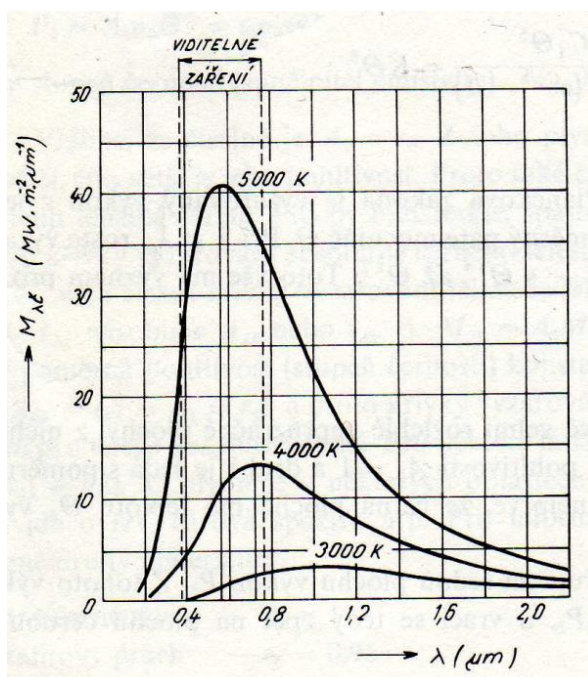
$\sigma_{\zeta} = 5,6697 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \left(\frac{\text{K}}{100}\right)^{-4}$ tj. Stefanova-Boltzmannova konstanta

To odpovídá Stefan-Boltzmannově zákonu.

Z průběhu spektrální zářivosti absolutně černého tělesa (Obr. 1.3) je patrné, že maximum vyzařovaného výkonu připadá na oblast infračerveného záření. V oblasti viditelného záře je již výkon poměrně malý. Na obr. 1.4 jsou průběhy spektrální zářivosti pro vyšší teploty. Z průběhů je patrné, že se vzrůstající teplotou se stále více vyzařovaného výkonu přesouvá do viditelného spektra.



Obr. 1.3 Planckův zákon



Obr. 1.4 Planckův zákon

1.1.5 Wienův zákon

Z průběhů spektrální zářivosti je patrné, že se při růstu teploty posouvá maximum spektrální zářivosti ke kratším vlnovým délkám (k vyšší frekvenci). Wien odvodil vztah pro vlnovou délku λ_m , při níž je spektrální zářivost největší:

$$\lambda_m = \frac{2892}{\theta} [\mu\text{m}; \text{K}] \quad (9)$$

1.1.6 Kirchhoffův zákon

Pokud P_s je výkon šedého tělesa, A_s poměrná pohltivost šedého tělesa a P_c je výkon absolutně černého tělesa, pak

$$P_s = A_s \cdot P_c \quad (10)$$

nebo

$$\frac{P_s}{A_s} = P_c = \sigma'_c \cdot \theta^4 \quad (11)$$

$$\frac{\text{sálavý výkon šedého tělesa}}{\text{poměrná pohltivost šedého tělesa}} = \text{zářivý výkon absolutně černého tělesa}$$

Z tohoto vztahu vyplívá, že zářivý výkon šedého tělesa se rovná:

$$P_{\xi} = A_{\xi} \cdot \sigma'_{\xi} \cdot \theta^4 = \varepsilon_{\xi} \cdot \sigma'_{\xi} \cdot \theta^4 \quad (12)$$

ε_{ξ} - stupeň černosti

Z tohoto vztahu je patrné že $A_{\xi} = \varepsilon_{\xi}$, dále pak vidíme, že sálavost tělesa je tím větší, čím větší je jeho pohltivost. Z toho plyne, že černá tělesa velmi dobře pohlcují tepelné záření, ale také silně sálají. Naopak bílá tělesa špatně pohlcují tepelné záření, ale i špatně sálají. Většina pevných těles má stupeň černosti konstantní ve všech vlnových délkách, proto jsou křivky zářivosti absolutně černého a šedého tělesa podobné. Chceme-li znát křivky zářivosti šedého tělesa, stačí nám znát křivku zářivosti absolutně černého tělesa pro dané teploty, kde jednotlivé $M_{\lambda\xi}$ é vynásobíme $\varepsilon_{\lambda\xi}(A_{\lambda\xi})$

$$M_{\lambda\xi} = \varepsilon_{\lambda\xi} \cdot M_{\lambda\xi} = A_{\lambda\xi} \cdot M_{\lambda\xi} \quad (13)$$

Stupně černosti některých materiálů:

Materiál	Stupeň černosti ε
Absolutně černé těleso	1
Saze, grafitový prach	0,95
Zoxidovaná ocel	0,8 – 0,9
Zoxidovaná měď	0,7
Pálená cihla	0,9
Šamotová cihla	0,8
Zoxidovaný hliník	0,3
Lesklí hliník	0,1

Tab. 1.1

2 Elektrické sálavé panely jako zdroj tepla

Co jsou vlastně elektrické sálavé panely? Elektrické sálavé panely jsou elektrická zařízení, využívající přeměnu elektrické energie na energii tepelnou. Tepelnou energii poté vyzařují do prostoru jako infračervené (tepelné) záření, které následně ohřívá předměty (osoby) které se nacházejí v ozařované oblasti. Vzduch se od tohoto záření neohřívá, ale ohřívá se až druhotně od ohřátých předmětů či osob. Infračervené záření je elektromagnetické vlnění o vlnové délce 760 nm až 1 mm (395 THz - 300 GHz), tj. leží v pásu mezi viditelným a mikrovlnným zářením. Infračervené záření lze rozdělit do pěti pásem a to:

- Blízké infračervené záření **NIR** (760 nm – 1,4 μm)
- IR krátké vlnové délky **SWIR** (1,4 μm – 3 μm)
- IR střední vlnové délky **MWIR** (3 μm – 8 μm)
- IR dlouhé vlnové délky **LWIR** (8 μm – 15 μm)
- Dlouhé infračervené záření **LIR** (15 μm – 1mm)

Největší výkon z infračerveného záření získáváme v rozsahu vlnových délek 1,3 μm až 4 μm tj. v celém rozsahu SWIR.

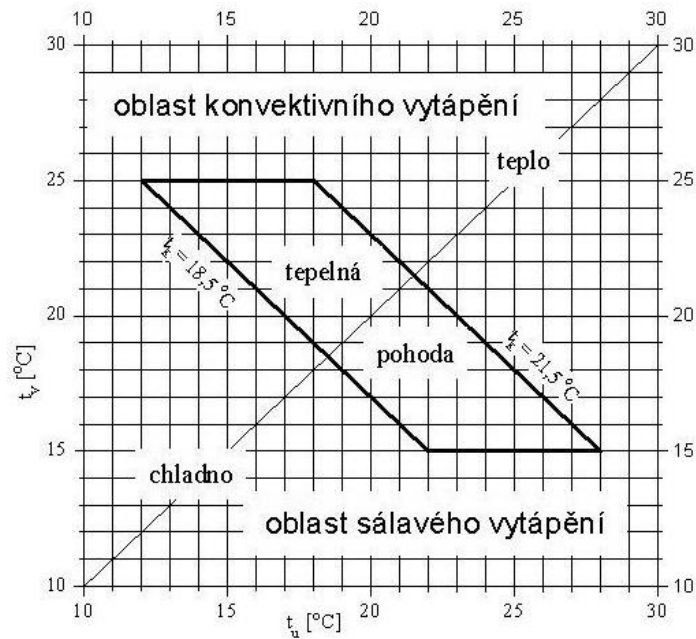
2.1 Tepelná pohoda

Jako tepelnou pohodu označuje pocit člověka, který se v daném prostředí při určité teplotě cítí příjemně, tj. není mu ani příliš zima ani příliš horko. Tepelná pohoda je závislá na několika faktorech, tyto faktory lze rozdělit na faktory prostředí a na faktory osobní nebo také na faktory objektivní a subjektivní. Mezi faktory prostředí patří:

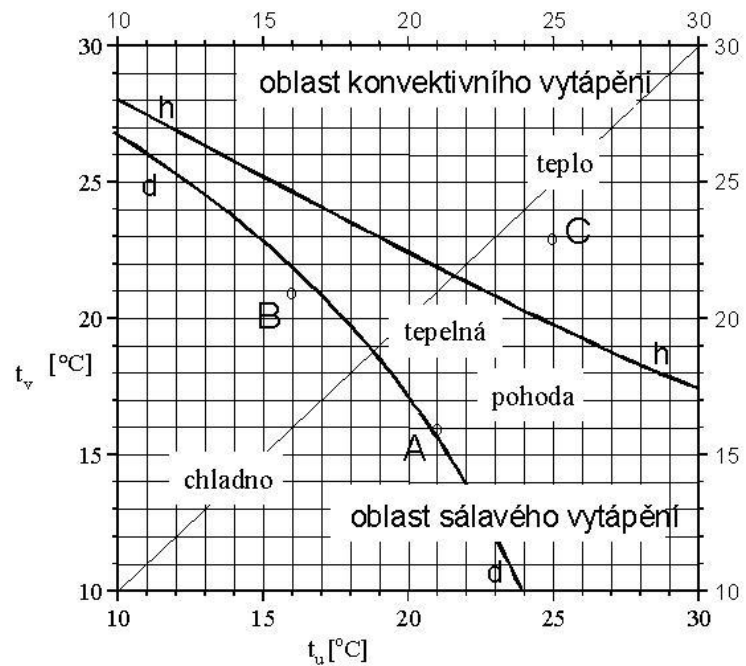
- Teplota vzduchu t_v [$^{\circ}\text{C}$]
- Relativní vlhkost φ [%]
- Rychlost proudění vzduchu w [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- Teplota okolních stěn nebo předmětů t_u [$^{\circ}\text{C}$]

Mezi osobní faktory řadíme:

- Tělesný a psychický stav člověka
- Věk
- Schopnost aklimatizace



Obr. 2.1. Diagram tepelné pohody podle Cihelky



Obr. 2.2 Diagram tepelné pohody podle Ralčuka

Tepelná pohoda byla již také několika způsoby definována. Definice tepelné pohody:

- Podle Cihelky: „*Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není chladno, ani příliš teplo – člověk se cítí příjemně.*“
- Podle Pulkrábka:“ *Tepelnou pohodou (někdy též tepelnou neutralitou) se označuje stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného (mokrého) pocení.*“

Pro přesnější určení tepelné pohody může vycházet i z grafu, který sestavil Ralčuk. Ten vychází experimentálně zjištěných statisticky zpracovaných poznatků a je obdobný jako Cihelkův diagram, s tím rozdílem že oblast tepelné pohody má jiný tvar. Oba dva diagramy jsou rozděleny na dvě části, u spodní části převládá přenos tepla sáláním a u horní části převládá přenos tepla konvekcí (prouděním).

Teplota vzduchu, stěn a předmětů

Je důležité, aby byla teplota vzduchu v místnosti rozložena pokud možno rovnoměrně. Protože se může stát, že vzduch u podlahy bude chladnější, než vzduch např. 1,5 m kde měříme teplotu, to má nepříznivý vliv na tepelnou pohodu. Také je důležité, aby rozdíl teploty vzduchu a teploty stěn (předmětů) byl co nejmenší, pak bude tepelná pohoda příjemnější. Naopak když bude rozdíl teplot příliš velký, bude-li teploty stěn příliš nízká, pak dochází k jevu, který můžeme nazvat jako sálání chladu ze stěn a také dochází k nerovnoměrnému rozdělení teploty vzduchu v místnosti.

Relativní vlhkost vzduchu

Dalším důležitým faktorem ovlivňující tepelnou pohodu je relativní vlhkost vzduchu. Bude-li relativní vlhkost příliš malá okolo 20 %, vzduch příliš suchý, budeme potřebovat k docílení tepelné pohody vyšší teplotu vzduchu. Toto se však špatně udržuje v bytech s ústředním topením, tam bývá relativní vlhkost okolo 20 %. Proto je dobré udržovat vzdušnou vlhkost mezi 40 % a 60 %. Není však dobré relativní vlhkost udržovat na příliš vysoko hodnotě, neboť dochází k vyšší spotřebě energie, protože se zvyšují tepelné ztráty zdí v důsledku jeho vlhkosti.

Rychlost proudění vzduchu

Rychlost proudění vzduchu úzce souvisí s teplotou vzduchu a okolních stěn (předmětů). Je-li rychlost proudění příliš vysoká, zvyšuje se rychlost odvodu tepla z lidského těla, zvyšuje se jeho ochlazování. Proto je-li rychlost proudění vysoká, musíme zvýšit teplotu, abychom docílili tepelné pohody, jelikož bychom mohli pociťovat „průvan“ nebo také např. že „táhne od oken“.

2.2 Vytápění elektrickými sálavými panely

Elektrické sálavé panely nachází v ohřevu či vytápění velice široké uplatnění od vytápění terárií, umělých líhní, přes vytápění obytných nebo průmyslových prostor až po využití v průmyslu k sušení látek či laků karoserií.

Při rozdělení sálavých panelů můžeme panely rozdělit do dvou základních kategorií a to nízkoteplotní a vysokoteplotní sálavé panely. U nízkoteplotních panelů dosahuje teplota jejich povrchu maximálně teploty 110 °C. Vysokoteplotní panely mají teplotu povrchu cca 350 °C.

2.2.1 Nízkoteplotní sálavé panely

Jako topný element se u těchto panelů využívá topná fólie nebo topný kabel. Panel je vyroben z pozinkovaného ocelového plechu. Sálavá strana panelu jak vnitřní, tak vnější, má speciální povrch který zvyšuje jeho emisivitu. Nebo se také panely vyrábí se skleněnou sálavou plochou, kde se jako topný element používá topná fólie. Nízkoteplotní sálavé panely nacházejí uplatnění všude tam, kde nemůžeme vzhledem k povaze okolí dosahovat příliš vysokých teplot povrchu nebo tam kde máme příliš malou instalační výšku. Tyto panely tedy nacházejí uplatnění především při vytápění rodinných domů nebo chat. Panely zde mohou sloužit i jako designový prvek interiéru, jelikož někteří výrobci nabízejí za mírný poplatek potisk sálavé plochy libovolným motivem. Sklenění panely jsou k tomu již předurčené. Speciálním druhem nízkoteplotních panelů jsou panely určené pro instalaci do kostelních lavic, tyto panely dosahují povrchové teploty cca 80 °C, a panely se zvýšeným krytím IP a možností instalace do výbušného prostředí.

2.2.2 Vysokoteplotní sálavé panely

Topným elementem u těchto panelů jsou hliníkové lamely se zalisovanými topnými tyčemi. Lamely jsou opatřeny speciálním povrchem, který zvyšuje vyzařování tepelné energie do vytápěného prostoru. Tyto panely jsou určeny k vytápění prostor s výškou přibližně od 3,5 m do 10 m. Nacházejí uplatnění především při vytápění skladovacích, průmyslových a sportovních hal nebo zemědělských objektů.

2.2.3 Kombinované sálavé panely

Kombinované sálavé panely spojují výhody standardního sálavého panelu a akumulace tepla. U těchto panelů je přední sálavá plocha vyrobena především z mramoru, což poskytuje možnost akumulace tepelné energie. Mramorová deska však skýtá jeden problém a to je doba náběhu na provozní teplotu, u panelu MR 1200 fy. Fenix, který má příkon 1200 W, je doba náběhu na provozní teplotu cca 1,5 h. Ale má taky své výhody a to je akumulace tepelné energie, kterou poté ještě po vypnutí panelu vyzařuje do okolí. Další výhodou je, že panely mohou sloužit jako designový prvek interiérů. Můžeme je tedy použít v reprezentativních prostorech či koupelnách.

3 Přednosti sálavého vytápění

Využívání sálavého elektrického vytápění nabízí spoustu výhod. Mezi velice zajímavé výhody patří velký designový rozptyl vyráběných sálavých panelů. Panely proto mohou sloužit jako dekorativní prvek interiérů nebo se také mohou zabudovat do stěn či kazetových stropů. To poskytuje výhodu ve volném rozmístění nábytku či strojů. Výhodou skýtá i to, že sálavé vytápění neohřívá primárně vzduch, ale okolní předměty, stěny a podlahy. Ohříváním stěn zamezuje vlhnutí zdiva a tím zmenšení tepelných ztrát vlhkým zdivem. Ohřívání stěn a předmětů zamezuje přílišnému proudění vzduchu v místnosti a tím i víření prachu. Také jsme schopni dosáhnout rovnoměrného rozložení teploty v horizontálním směru tj. mezi podlahou a stropem. Sálavý způsob vytápění rovněž nevysušuje vzduch na rozdíl od konvenčního způsobu vytápění, tím nedochází k vysušování sliznic a k omezení respiračních onemocnění. Z technického hlediska je sálavé vytápění méně energeticky náročné než běžně používané konvekční vytápění. Má také vysokou životnost, bezúdržbový a absolutně tichý provoz to velmi ovlivňuje komfort bydlení. Sálavým vytápěním jsme rovněž schopni dosáhnout vysokého tepelného komfortu.

4 Účinnost elektrických sálavých panelů

4.1 Výpočet účinnosti jednotlivého sálavého panelu

Při určování účinnosti sálavého panelu vycházíme z energetické bilance sálavého panelu:

$$P_{el} = P_{sál} + P_{zk} \quad (14)$$

P_{el} - elektrický příkon sálavého panelu

$P_{sál}$ - sálavá složka výkonu

P_{zk} - ztráty konvekcí (prouděním)

Z této rovnice poté snadno zjistíme sálavý výkon panelu a to jako rozdíl elektrického příkonu a ztrát konvekcí:

$$P_{sál} = P_{el} - P_{zk} \quad [W] \quad (15)$$

Pro určení sálavého výkonu však potřebuje znát ztráty způsobené konvekcí (prouděním). Ztráty počítáme pro jednotlivé stěny sálavého panelu takto:

$$P_{kn} = \alpha_{kn} \cdot \Delta\vartheta_n \cdot S_n \quad [W] \quad (16)$$

α_{kn} - součinitel přestupu tepla konvekcí jednotlivé stěny $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

$\Delta\vartheta$ - rozdíl střední teploty stěny a teploty okolí $[^{\circ}C]$

S_n - plocha dané stěny $[m^2]$

Střední teplotu povrchu jednotlivých stěn vypočteme jako aritmetický průměr jednotlivých teplot:

$$\vartheta_{stř} = \frac{\sum_{n=1}^a \vartheta_n}{a} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (17)$$

a - počet naměřených teplot na dané stěně

ϑ_n - teplota jednotlivých bodů dané stěny $[^{\circ}\text{C}]$

Důležitým parametrem při určování ztrát konvekcí je součinitele přestupu tepla konvekcí, který je závislý na orientaci stěny (vodorovně nebo svisle). Vypočteme ho následujícím způsobem:

Pro vodorovné stěny směrem nahoru:

$$\alpha_k = 2,0 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (18)$$

Pro vodorovné stěny směrem dolů:

$$\alpha_k = 0,87 \cdot \Delta\vartheta^{0,25} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (19)$$

Pro svislé stěny:

$$\alpha_k = 1,55 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (20)$$

$\Delta\vartheta$ - rozdíl střední teploty stěny a teploty okolí $[^{\circ}\text{C}]$

Celkové ztráty konvekcí poté určíme jako součet dílčích ztrát ze všech stěn sálavého panelu:

$$P_k = \sum_{n=1}^6 P_{kn} \quad [W] \quad (21)$$

P_{kn} - ztráty konvekcí jednotlivých stěn [W]

Účinnost sálavého panelu určíme jako podíl sálavé složky výkonu a celkového příkonu sálavého panelu:

$$\eta = \frac{P_{sál}}{P_{el}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (22)$$

$P_{sál}$ – sálavý výkon panelu [W]

P_{el} - příkon sálavého panelu [W]

Chceme-li určit účinnost přesněji, uvažujeme kromě ztrát prouděním ještě ztráty sáláním.

Při určení ztrát sáláním uvažujeme pouze ty plochy sálavého panelu, které nejsou primárně určené k sálání, tj. uvažuje horní plochu a všechny boční plochy sálavého panelu. Ztráty jednotlivých ploch určíme dle rovnice:

$$P_{zsáln} = \varepsilon \cdot \sigma_{\varepsilon} \cdot \left(\frac{T_n}{100}\right) \cdot S_n \quad [W] \quad (23)$$

ε - stupeň černosti dané stěny

σ_{ε} - Stefan-Boltzmanova konstanta $5,6697 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \left(\frac{\text{K}}{100}\right)^{-4}$

T_n - Termodynamická teplota dané stěny

S_n - Plocha dané stěny

Sálavý výkon panelu poté vypočteme:

$$P_{sál} = P_{el} - P_{zsál} - P_{zk} \quad [W]$$

(24)

P_{el} - příkon sálavého panelu

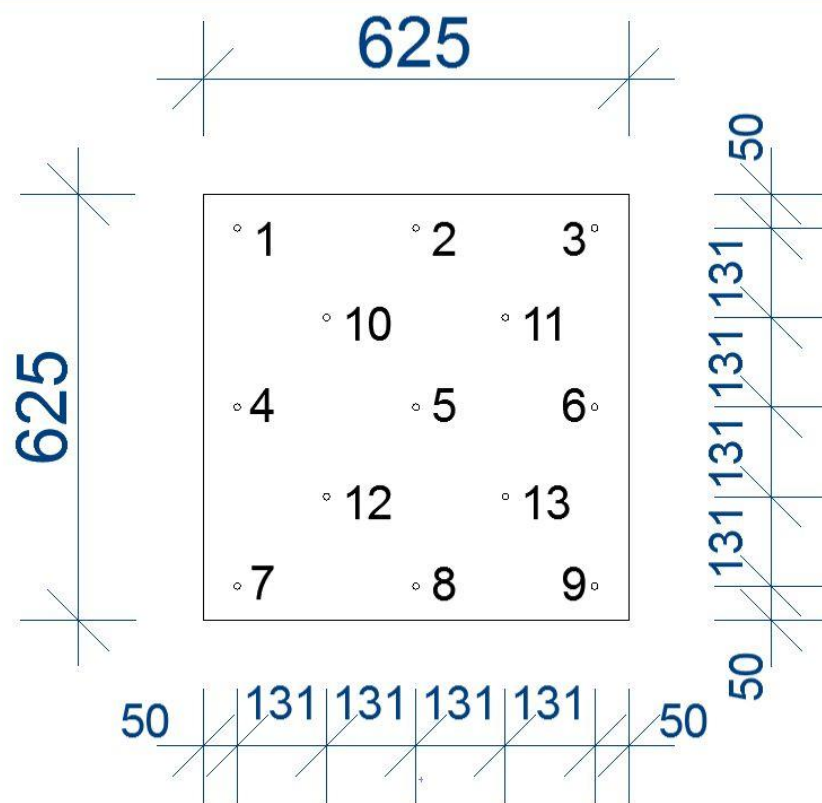
$P_{zsál}$ - celkové ztráty sáláním

P_{zk} – celkové ztráty prouděním

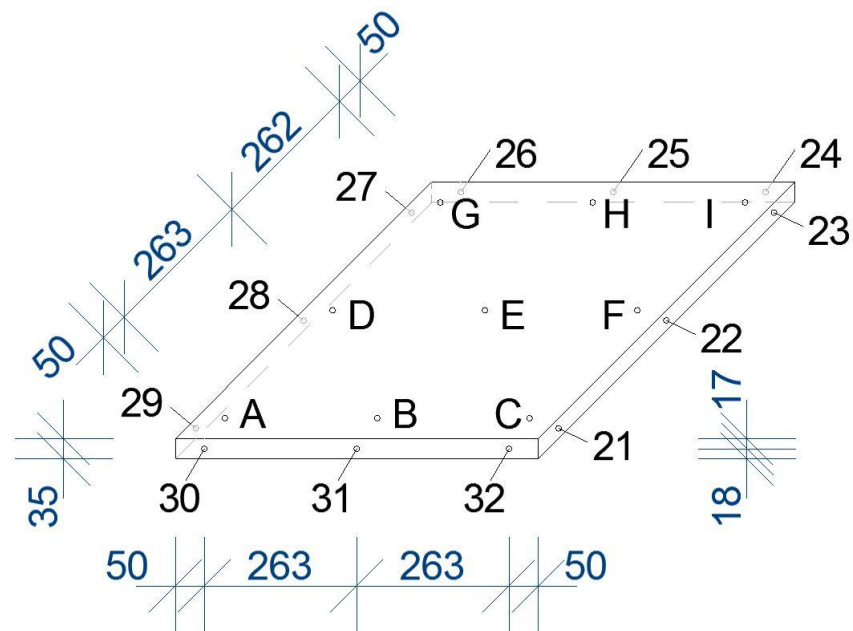
4.2 Měření

4.2.1 Postup měření

Před samotným započítáním měření jsem si na panel nakreslil body, ve kterých budu provádět měření. Sondu teploměru jsem poté umisťoval na dané body. Po zavěšení panelu do provizorního rastru ve výšce 1,5m a připojení panelu jsem započal měření. Nejprve byl měřen náběh sálavého panelu. Ještě před připojením panelu byla změřena jeho teplota a po připojení byla každou minutu odečítána teplota uprostřed panelu. Teplota byla odečítána až do jejího ustálení což trvalo cca 25 min. Po tomto měření bylo provedeno měření pro zjištění účinnosti panelu. To spočívalo ve změření teplot v bodech dle obr. 4.1 a 4.2. Teploty byly odečítány až po jejich ustálení.



Obr. 4.2 Rozmístění bodů na spodní straně panelu



Obr. 4.2 Rozmístění bodů na horní stěně a na bocích

4.2.2 Použitý sálavý panel

Měření bylo zrealizováno na nízkoteplotním panelu ECOSUN 300 C. Tento sálavý panel je určen pro montáž do kazetových stropů s rastrem o velikosti 626×625 mm. Jako topný element je v panelu použita topná fólie. Panel je zhotoven z pozinkovaného ocelového plechu, přičemž strana, kterou panel sálá je opatřena speciální povrchovou úpravou, vnitřní strana opatřena povrchem Thermoquartz a vnější strana je opatřena povrchem Thermocrystal. Tyto povrchy zajistí maximální přestup tepla na sálavou plochu a maximální účinnost při emisi záření tepelné energie.

Technické parametry panelu

Typ: 300 C

Rozměry: 625 × 625 mm

Příkon: 300 W

Napětí: 230 V

Krytí: IP 20

4.2.3 Použité přístroje

Digitální multimetr – Bell DM6065C

Teplotní sonda multimetru

Rozsah multimetru - -40 - +750 °C ± (1%+5)

4.3 Naměřené hodnoty

Bod	Teplota [°C]
1	78
2	86
3	76
4	88
5	102
6	90
7	70
8	81
9	71
10	108
11	106
12	106
13	105

Tab. 4.1 Spodní (sálavá) strana sálavého panelu

Bod	Teplota [°C]
A	40
B	38
C	36
D	37
E	37
F	37
G	37
H	37
I	35

Tab. 4.2 Teplota horní strany sálavého panelu

Bod	Teplota [°C]
21	50
22	57
23	46
24	43
25	46
26	43
27	43
28	54
29	46
30	45
31	53
32	48

Tab. 4.3 Teplota bočních stran sálavého panelu

4.4 Vypočítané hodnoty

Výpočet střední teploty jednotlivých stěn

Spodní stěna (body 1-13) :

$$\begin{aligned}\vartheta_{stř} &= \frac{\sum_{n=1}^{13} \vartheta_n}{13} \\ &= \frac{78 + 86 + 76 + 88 + 102 + 90 + 70 + 81 + 71 + 108 + 105 + 106 + 105}{13} = \frac{1166}{13} \\ &= 89,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 362,8 \text{ K}\end{aligned}$$

Horní stěna (body A-I):

$$\begin{aligned}\vartheta_{stř} &= \frac{\sum_{n=1}^9 \vartheta_n}{9} = \frac{40 + 38 + 36 + 38 + 37 + 37 + 37 + 37 + 35}{9} = \frac{335}{9} = 37,2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 310,4 \text{ K}\end{aligned}$$

Bok 1 (body 21-23):

$$\vartheta_{stř} = \frac{\sum_{n=1}^3 \vartheta_n}{3} = \frac{50 + 57 + 46}{3} = \frac{153}{3} = 51 \text{ } ^\circ\text{C} = 324,2 \text{ K}$$

Bok 2 (body 24-26):

$$\vartheta_{stř} = \frac{\sum_{n=1}^3 \vartheta_n}{3} = \frac{43 + 46 + 43}{3} = \frac{132}{3} = 44 \text{ } ^\circ\text{C} = 317,2 \text{ K}$$

Bok 3 (body 27-29):

$$\vartheta_{stř} = \frac{\sum_{n=1}^3 \vartheta_n}{3} = \frac{43 + 54 + 46}{3} = \frac{143}{3} = 47,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 320,8 \text{ K}$$

Bok 4 (body 30-32):

$$\vartheta_{stř} = \frac{\sum_{n=1}^3 \vartheta_n}{3} = \frac{45 + 53 + 48}{3} = \frac{146}{3} = 48,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 321,8 \text{ K}$$

Výpočet součinitele přestupu tepla konvekcí

Spodní stěna:

$$\alpha_{kSS} = 0,87 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} = 0,87 \cdot (89,7 - 15)^{0,33} = 2,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Horní stěna:

$$\alpha_{kHS} = 2,0 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} = 2,0 \cdot (37,2 - 15)^{0,33} = 5,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Bok 1:

$$\alpha_{kB1} = 1,55 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} = 1,55 \cdot (51 - 15)^{0,33} = 5,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Bok 2:

$$\alpha_{kB2} = 1,55 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} = 1,55 \cdot (44 - 15)^{0,33} = 4,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Bok 3:

$$\alpha_{kB3} = 1,55 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} = 1,55 \cdot (47,7 - 15)^{0,33} = 4,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Bok 4:

$$\alpha_{kB4} = 1,55 \cdot \Delta\vartheta^{0,33} = 1,55 \cdot (48,7 - 15)^{0,33} = 4,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Výpočet ztrát konvekcí:

Spodní stěna:

$$P_{zkSS} = \alpha_{kSS} \cdot \Delta\vartheta_{SS} \cdot S_{SS} = 2,6 \cdot (89,7 - 15) \cdot 0,390625 = 75,867 \text{ W}$$

Horní stěna:

$$P_{zkHS} = \alpha_{kHS} \cdot \Delta\vartheta_{HS} \cdot S_{HS} = 5,6 \cdot (37,2 - 15) \cdot 0,390625 = 48,563 \text{ W}$$

Bok 1:

$$P_{zkB1} = \alpha_{kB1} \cdot \Delta\vartheta_{B1} \cdot S_{B1} = 5,1 \cdot (51 - 15) \cdot 0,021875 = 4,016 \text{ W}$$

Bok 2:

$$P_{zkB2} = \alpha_{kB2} \cdot \Delta\vartheta_{B2} \cdot S_{B2} = 4,7 \cdot (44 - 15) \cdot 0,021875 = 2,982 \text{ W}$$

Bok 3:

$$P_{zkB3} = \alpha_{kB3} \cdot \Delta\vartheta_{B3} \cdot S_{B3} = 4,9 \cdot (47,7 - 15) \cdot 0,021875 = 3,505 \text{ W}$$

Bok 4:

$$P_{zkB4} = \alpha_{kB4} \cdot \Delta\vartheta_{B4} \cdot S_{B4} = 4,9 \cdot (48,7 - 15) \cdot 0,021875 = 3,612 \text{ W}$$

Celkové přenesené teplo konvekcí

$$P_k = \sum P_{zkn} = 75,867 + 48,563 + 4,015 + 2,982 + 3,505 + 3,612 = 138,545 \text{ W}$$

Výpočet ztrát sáláním

Horní stěna:

$$P_{zsálHs} = \varepsilon \cdot \sigma_{\check{c}} \cdot \left(\frac{T_{Hs}}{100}\right)^4 \cdot S_{Hs} = 0,28 \cdot 5,6697 \cdot \left(\frac{310,4}{100}\right)^4 \cdot 0,390625 = 57,566 \text{ W}$$

Bok 1:

$$P_{zsálB1} = \varepsilon \cdot \sigma_{\check{c}} \cdot \left(\frac{T_{B1}}{100}\right)^4 \cdot S_{B1} = 0,28 \cdot 5,6697 \cdot \left(\frac{324,2}{100}\right)^4 \cdot 0,021875 = 3,224 \text{ W}$$

Bok 2:

$$P_{zsálB2} = \varepsilon \cdot \sigma_{\check{c}} \cdot \left(\frac{T_{B2}}{100}\right)^4 \cdot S_{B2} = 0,28 \cdot 5,6697 \cdot \left(\frac{317,2}{100}\right)^4 \cdot 0,021875 = 3,224 \text{ W}$$

Bok 3:

$$P_{zsálB3} = \varepsilon \cdot \sigma_{\check{c}} \cdot \left(\frac{T_{B3}}{100}\right)^4 \cdot S_{B3} = 0,28 \cdot 5,6697 \cdot \left(\frac{320,8}{100}\right)^4 \cdot 0,021875 = 3,224 \text{ W}$$

Bok 4:

$$P_{zsálB4} = \varepsilon \cdot \sigma_{\check{c}} \cdot \left(\frac{T_{B4}}{100}\right)^4 \cdot S_{B4} = 0,28 \cdot 5,6697 \cdot \left(\frac{321,8}{100}\right)^4 \cdot 0,021875 = 3,224 \text{ W}$$

Celkové ztráty sáláním

$$P_{zsál} = \sum P_{zsáln} = 57,566 + 3,224 + 3,224 + 3,224 + 3,224 = 70,461 \text{ W}$$

Sálavý výkon

Uvažujeme pouze ztráty konvekcí

$$P_{sál} = P_{el} - P_k = 300 - 138,545 = 161,455 \text{ W}$$

S uvažováním ztrát sáláním i ztrát konvekcí

$$P_{sál} = P_{el} - P_{zsál} - P_{zk} = 300 - 70,461 - 138,545 = 90,994 \text{ W}$$

Účinnost sálavého panelu

Účinnost s uvažováním ztrát konvekcí:

$$\eta = \frac{P_{sál}}{P_{el}} \cdot 100 = \frac{161,455}{300} \cdot 100 = 53,818 \%$$

Účinnost s uvažováním ztrát konvekcí a sáláním:

$$\eta = \frac{P_{sál}}{P_{el}} \cdot 100 = \frac{90,994}{300} \cdot 100 = 30,331 \%$$

5 Závěry pro praxi

Při psaní této bakalářské práce jsem zjistil, že vytápění pomocí elektrických sálavých panelů je moderní a progresivní způsob vytápění jak obytných tak průmyslových nebo kulturních objektů. Vytápění pomocí sálavých panelů nemusí sloužit pouze jako zdroj tepla určený k vytápění určitých nebo jen k temperování, ale může být použit i jako hlavní zdroj tepla. Sálavý způsob přenosu tepla má příznivé účinky na člověka a i na jeho prostředí, ve kterém tráví většinu svého života. Sálavý způsob vytápění má spoustu výhod oproti běžně používanému konvekčnímu způsobu vytápění, kde primárně ohříváme vzduch a ne stěny a předměty. Mezi velkou výhodou sálavých panelů řadím to, že mohou sloužit i jako designové prvky interiérů a tím nijak nehyzdí okolí.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Rada, Josef a kolektiv *Elektrotepelná technika* Vyd. Praha: SNTL, 1985. 344 s.
- [2] Langer, Emil *Elektrotepelná technika část I.+II.* Vyd. Plzeň: VŠSE, 1974. 140 s.
- [3] Sazina, Miroslav *Sdílení tepla* Vyd. Praha: ČVUT Praha, 1980. 214 s.
- [4] Brož, Karel *Zásobování teplem 2.* Vyd. Praha: ČVUT Praha, 2002. 217 s.
- [5] Teorie vytápění elektrickými sálavými panely [online] Poslední změna 30.5.2012
Dostupné z: <http://fenixgroup.cz/pages/cs/podpora/pro-projektanty/teorie-vytapeni-elektrickymi-salavymi-panely>
- [6] Projektování vytápění pomocí infrapanelů, návrh infratopení [online] Poslední změna 20.9.2011 Dostupné na: <http://www.tepelnezarice.cz/projektovani-infravytapani/t-354/>
- [7] Elektrické vytápění domů a bytů, sálavé topení, sálavé vytápění [online] Poslední změna 9.2.2012 Dostupné z: <http://www.tepelnezarice.cz/elektricke-topeni-domu-a-bytu/t-332/>
- [8] Infraenergie a její vliv na tepelnou pohodu [online] Dostupné z: http://infratopeni.edot.cz/odborna_literatura.php
- [9] Tepelná pohoda [online] Poslední změna 4.10.2011 Dostupné z: http://infratopeni.edot.cz/odborna_literatura.php
- [10] Teplotní pole elektrických sálavých panelů [online] Dostupné z: http://www.fenixgroup.cz/pages/files/pdf/381_dipl.pdf
- [11] Infračervené záření [online] Poslední změna 11.5.2012 Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD