

Západočeská univerzita  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

## **Disertační práce**

### **Stanovení hygienických podmínek pro efektivní užití sálavého vytápění**

K získání akademického titulu doktor  
v oboru  
Elektroenergetika

Autor: Ing. Josef Vaněk

Školitel: Prof. Ing. Jiří Kožený, Csc.

Datum státní doktorské zkoušky: 31. 5. 2012

Datum odevzdání práce: 18.12. 2015

# Determine the hygienic conditions for the effective use of radiant heating

Report on doctoral thesis for achieving  
academic title 'Doctor' (Ph.D.)

## **Poděkování**

Děkuji panu prof. Ing. Jiřímu Koženému, CSc. za odbornou pomoc při tvorbě této práce. Konkrétně za mnoho cenných rad a připomínek, za spoustu času, který mi v průběhu studia věnoval, především za motivaci a obrovskou podporu.

## **Prohlášení autora**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě disertační práci zpracovanou na závěr doktorského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni 17.12. 2015

---

Ing. Josef Vaněk

## **Anotace**

V dnešní době pokračuje vývoj a zdokonalování různých technik pro vytápění rodinných domů a bytů. Vytápění elektřinou se jeví jako nejpohodlnější, má také řadu nesporných výhod. Její hlavní výhodou je, že ji lze snadno rozvést do všech místností v domě a je možné snadno regulovat topný výkon a rychlost náběhu vytápěcího systému. Topení pomocí sálavých panelů má obrovskou výhodu v tom, že v místnosti jsou ohřívány osoby a předměty a ne vzduch jako při klasickém vytápění pomocí přímotopů a akumulčních kamen. V mé disertační práci se zabývám přesnějším určením dovolené intenzity měrného osálení v oblasti temene hlavy. Použitá výpočtová metoda vychází ze vztahu pro výpočet tepelného toku sáláním z plochy  $S_2$  na plochu  $S_1$ . Výhodou této metody je, že je možné spočítat intenzitu osálení v libovolném bodě v prostoru. V úvodu práce je předložena teoretická část, kde jsou uvedeny zákony pro šíření tepelné energie. V kapitole 7 jsou uvedeny aktuální možnosti výpočtu měrného sálavého výkonu. V další části práce se věnuji tepelnému výkonu člověka a tepelné pohodě. Dále následují měření k určení sálavé účinnosti a měrného sálavého výkonu pro různé výšky zavěšení sálavých panelů. Další kapitola je zaměřena na subjektivní vnímání intenzity osálení. Po této kapitole se věnuji popisu navržených programů v Excelu. Závěr práce je věnován shrnutí výsledků práce spolu s výhodami a nevýhodami použité metody.

## **Klíčová slova**

nízkoteplotní sálavé panely, tepelná pohoda, tepelná produkce člověka, subjektivní pocity při vytápění sálavými elektrickými panely, tepelné ztráty, celkové množství tepla

## **Annotation**

Nowadays, progress and improvement of various techniques in the field of heating of family houses and flats has been continued. Heating using the electricity seems to be the most comfortable. Moreover, it has also a number of indisputable advantages. Its main benefit is that the electricity can be distributed to all rooms in the house. Also, the heating power and the start-up speed of the heating system can be easily controlled. Heating by using of radiant panels has a great advantage of warming up solid objects and people in the room only. This is in contrast with the traditional heating by means of accumulation convector heaters. In my dissertation thesis, I am dealing with the more exact determination of the permitted intensity of the specific irradiation in the crown of the head area. Applied computational method is based on the formula for calculating the heat flow by irradiation from surface area  $S_2$  to surface area  $S_1$ . The advantage of this method is that it is possible to calculate the intensity of irradiation in any chosen point in the space. At the beginning of the thesis, the basic theory is presented containing the fundamental laws for spreading the heat energy. In chapter 7, the actual possibilities for the calculation of the specific radiant power are shown. In the following sections of the thesis, thermal power of the human body and the requirements for thermal contentment are discussed. Following chapters present the measurement for evaluation of the radiant efficiency and specific radiant power for different heights of suspended radiant panels. Next section is focused on subjective perception of radiant intensity followed by the description of designed programs in Excel program. In conclusion of this thesis, the summary of the results is presented along with advantages and disadvantages of the applied method.

## **Keywords**

low-temperature panels, kinds of radiant panels, thermal comfort, thermal produce of man, subjective feelings for radiant heating

## **Annotation**

Zurzeit sind Verschiedene technische Konzepte für die Heizung der Häusern und Wohnungen weiter entwickelt und verbessert. Elektrische Heizung ist die bequeme Variante, weil es viele undiskutable Vorteile hat. Sein größte Vorzug liegt in der einfache Distribution der elektrischen Energie zu jedem Zimmer im Haus. Auch die Heizleistung und Anlaufgeschwindigkeit des Heizungssystems kann man ganz leicht kontrollieren. Heizung mit den Glühendplatten hat eine große Vorteil, und zwar dass nur die feste Objekte und die Menschen in dem Zimmer erwärmt sind. Das ist im harten Kontrast mit dem traditionell Heizung mit elektrischen Heizkörper und Akkumulationsofen. Diese Dissertation beschäftigt sich mit der exakten Bestimmung der erlaubten Intensität für die spezifische Ausstrahlung in dem Gebiet des Kopfscheitel. Die applizierte Kalkulationsmethode ist auf der Formel für die Berechnung des ausströmenden thermischen Stromes von der Fläche  $S_1$  zu der Fläche  $S_2$  gegründet. Der Vorteil dieser Methode liegt in der Kalkulation der Ausstrahlungsintensität in dem beliebigen Position in dem Raum. Am Anfang dieser Dissertation ist die ganze Elementartheorie für die Distribution der thermalen Energie präsentiert. Im Kapitel 7 sind die aktuelle Möglichkeiten für die Kalkulation der spezifischen Ausstrahlungsleistung gezeigt. In folgenden Kapitel dieser Dissertation sind die Wärmeleistung des menschlichen Körpers und die Notwendigkeiten für die thermischen Gemütlichkeit diskutiert. Nächste Kapitel zeigen die Messungsergebnisse für die Auswertung der Ausstrahlungswirksamkeit und der spezifischen Ausstrahlungsleistung für verschiedene Höhen den aufgehängten Glühendplatten. Andere Teile dieser Dissertation sind auf die subjektive Perzeption der Ausstrahlungsintensität orientiert und sie beschreiben die vorgeschlagenen Programme im Excel. Am Ende dieser Dissertation ist die Übersicht von allen Resultaten präsentiert mit den Vorteilen und Nachteilen der applizierten Methode.

## **Schlüsselwörter**

Niedrig wärme mainframes panels, wärmeKomfort, wärmeProduktion des menschlichen, subjektiv gefühle wenn heizung grupsrechen elektrisch panels, wärmeverlust, gesamt wärmemenge

WBU, FEL,  
2015, PILSEN

## Obsah

<b>Současný stav problematiky .....</b>	<b>12</b>
<b>Cíle disertační práce .....</b>	<b>13</b>
<b>Seznam použitých veličin .....</b>	<b>14</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>23</b>
1 Co je tepelné záření.....	24
1.1 Přírodní zdroje infračerveného záření.....	24
1.2 Elektromagnetické vlnění .....	24
1.3 Zákony sálání .....	24
1.3.1 Planckův zákon .....	25
1.3.2 Wienův posunovací zákon .....	26
1.3.3 Lambertův směrový (kosinový) zákon .....	26
1.3.4 Stefan-Boltzmannův zákon.....	27
1.3.5 Kirchhoffův zákon .....	27
1.3.6 Zákon o ubývání intenzity záření s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje.....	28
1.3.7 Výměna tepla sáláním.....	28
<b>2 Aktuální možnosti výpočtu sálavého výkonu .....</b>	<b>29</b>
2.1 Stanovení intenzity osálení podle ČSN 06 215 .....	29
2.2 Stanovení intenzity osálení z integrálního toku $I_t$ .....	31
2.3 Tepelný tok sáláním z plochy $S_1$ na plochu $S_2$ .....	31
2.4 Stanovení intenzity osálení pomocí nomogramu.....	31
<b>3 Tepelný výkon člověka .....</b>	<b>32</b>
3.1 Tepelná produkce člověka .....	33
3.2 Metabolismus člověka .....	34
3.3 Sdílení tepla mezi lidským tělem a prostředím.....	35
3.4 Sdílení tepla konvencí.....	36
3.5 Vliv oděvu.....	36
3.6 Teplo sdílené radiací .....	37
3.7 Účinná teplota okolních ploch .....	37
3.8 Teplo sdílené dýcháním .....	37
3.9 Fyziologické kritéria pro horké provozy .....	38
<b>4 Tepelná pohoda .....</b>	<b>39</b>
4.1 Určení hranic tepelné pohody .....	40



<b>5 Určení sálavé účinnosti panelu 300W .....</b>	<b>43</b>
<b>6 Měření pro určení sálavé účinnosti panelu 300W.....</b>	<b>45</b>
<b>7 Stanovení měrného sálavého výkonu pro 300W panel.....</b>	<b>50</b>
7.1 Výpočet celkového sálavého výkonu .....	54
7.2 Výpočet měrného sálavého výkonu .....	54
<b>8 Určení sálavé účinnosti u panelu 700W .....</b>	<b>55</b>
8.1 Měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 700W .....	55
<b>9 Výpočet součinitele přestupu tepla <math>\alpha</math> pomocí Grashofova čísla .....</b>	<b>58</b>
<b>10 Stanovení měrného sálavého výkonu u panelu 700W .....</b>	<b>61</b>
<b>11 Subjektivní pocity .....</b>	<b>63</b>
<b>12 Metoda PMV a PPD .....</b>	<b>67</b>
<b>13 Měření v reálném domě, který je vytápěn sálavými panely .....</b>	<b>76</b>
13.1 Měření sálavého měrného výkonu v reálném domě .....	77
<b>14 Nejistoty a chyby metod bezdotykového měření.....</b>	<b>81</b>
<b>15 Využití sálavého panelu při obsluze varhan.....</b>	<b>83</b>
<b>16 Program pro výpočet tepelných ztrát jednopodlažních domů .....</b>	<b>87</b>
16.1 Výpočet součinitele tepla $U_{ven}$ pro obvodové zdi .....	87
16.2 Výpočet součinitele prostupu tepla $U_{okna}$ průsvitné části podle ČSN EN ISO 10 077-1 a 2 .....	88
16.3 Výpočet součinitele prost. tepla $U_{dv}$ neprůsvitné části ČSN EN ISO 10 077-1 .....	90
16.4 Výpočet součinitele prost. tepla $U_{pod}$ pro přilehlou zeminu podle ČSN EN ISO 13 370 . .....	91
16.5 Výpočet součinitele prost. tepla $U_{pod1}$ pro podlahu, kde není vytápěn suterén .....	92
16.6 Výpočet součinitele prost. tepla $U$ pro neprůsvitné části podle ČSN EN ISO 6946 pro jednoplášťovou konstrukci .....	92
<b>17. Výpočet tepelných ztrát ČSN EN 12 381 prostupem tepla <math>\theta_{T,i}</math> .....</b>	<b>93</b>
17.1 Tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí $H_{Ta,ie}$ .....	95
17.2 Tepelná ztráta do přilehlé zeminy $H_{Ta,ig}$ .....	96
17.3 Tepelná ztráta nevytápěným prostorem $H_{Ta,iue}$ .....	99
17.4 Tepelná ztráta postupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu $H_{Ta,ij}$ .....	100
17.5 Tepelná ztráta větráním – přirozené větrání $\Phi_{v,i}$ .....	101
<b>18 Výpočet tepelného zisku dle normy ČSN 730542.....</b>	<b>103</b>

<b>19 Výpočet potřeby tepla denostupňová metoda .....</b>	<b>106</b>
19.1 Stanovení počtu sálavých panelů .....	108
19.2 Program na výpočet sálavé účinnosti panelu .....	109
19.3 Program pro výpočet měrného sálavého výkonu mezi dvěma plochami .....	111
<b>20 Závěr .....</b>	<b>113</b>
<b>21 Reference .....</b>	<b>115</b>
<b>22 Publikace.....</b>	<b>118</b>
<b>23 Přílohy.....</b>	<b>120</b>
Příloha č.1 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 300 W pro výšku 1,6 m.....	120
Příloha č.2 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 300 W pro výšku 0,65 m.....	123
Příloha č.3 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 300 W pro výšku 1,6 m .....	126
Příloha č.4 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 300 W pro výšku 0,65 m ...	128
Příloha č.5 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 700 W pro výšku 1,6 m.....	130
Příloha č.6 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 700 W pro výšku 0,65 m.....	133
Příloha č.7 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 700 W pro výšku 1,6 m .....	136
Příloha č.8 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 700 W pro výšku 0,65 m ...	138
Příloha č.9 Výsledky subjektivních pocitů pro panel 700 W a výšku 1,6 m .....	140
Příloha č.10 Výsledky subjektivních pocitů pro panel 300 W a výšku 0,65 m .....	144
Příloha č.11 Výsledky subjektivních pocitů pro panel 300 W a výšku 1,6 m .....	148
Příloha č.12 Formulář .....	152

## Současný stav problematiky

V současné době se při určení měrného sálavého výkonu vychází z normy podle ČSN 06 0215. Výpočet vytápění infračervenými zářiči. V ČSN 06 0215 je uveden vztah pro výpočet intenzity osálení půdorysné plochy. Tato norma byla ke dni 1. 11. 2000 bez náhrady zrušena, přesto však lze z pravidel stanovených touto normou vycházet.

Druhou možností je stanovení intenzity sálání z integrálního zářivého toku  $Q$ . Intenzita sálání se uvádí, že musí být menší než  $150 \text{ Wm}^{-2}$  nebo než  $200 \text{ Wm}^{-2}$ . Tyto hodnoty nejsou nikde zapsány. Byly stanoveny empiricky.

Třetí možností je určení tepelného toku sáláním z plochy  $S_2$  na plochu  $S_1$ . Pro tento případ je možné určit intenzitu sálání v různých místech.

Poslední možností je určit tuto hodnotu z grafu sálavého panelu, osálení pomocí nomogramu. Tento graf dodává výrobce k sálavému panelu. Empiricky byly zjištěny křivky měrného sálavého výkonu pro různé výšky zavěšení panelu. Dále jsou v grafu vyznačeny oblasti, kde se rozlišuje, o jaký provoz sálavých panelů se jedná. Jedná-li se o přerušovaný režim vytápění nebo soustavné vytápění. Výsledky jednotlivých metod se zcela neshodují.

## **Cíle disertační práce**

Prvním cílem disertační práce bylo stanovit hodnotu měrného sálavého výkonu  $Q_{sm}$  ve  $Wm^{-2}$  pomocí metody měření tepelného toku sáláním z plochy  $S_2$  na plochu  $S_1$ , při které by byla dodržena tepelná pohoda. Vytvořit program podle, kterého by bylo možné spočítat sálavou účinnost sálavého panelu a tepelné ztráty objektu.

## Seznam použitých veličin

$A_D$ .....	povrch lidského těla	(m <sup>2</sup> )
$A_r$ .....	povrch těla účastníků se výměny tepla sáláním	(m <sup>2</sup> )
$b_{ua}$ .....	teplotní redukční činitel	(-)
$c$ .....	rychlost světla ve vakuu	(ms <sup>-1</sup> )
$c_{\check{c}}$ .....	součinitel sálání dokonale černého tělesa	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> )
$c_p$ .....	měrná tepelná kapacita vzduchu při $t_{iv}$	(kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
$c_{mpzisk}$ .....	činitel využití slunečního záření	(-)
$c_{nzisk}$ .....	činitel korigující skutečnost	(-)
$C$ .....	tepelný tok prouděním	(Wm <sup>-2</sup> )
$C_{2emis}$ .....	druhá vyřazovací konstanta	(mK)
$d$ .....	počet dnů otopného období	(dny)
$d_b$ .....	odvėsna pravoúhelného trojúhelníku	(m)
$d_{char}$ .....	charakteristický rozměr	(m)
$d_{dv}$ .....	délka dveří s rámem	(m)
$d_i$ .....	délka místnosti	(m)
$d_{ok}$ .....	délka okna	(m)
$d_{poda}$ .....	délka podlahové konstrukce	(m)
$e$ .....	Eulerovo číslo	(-)
$e_d$ .....	opravný součinitel na zkrácení doby provozu	(-)
$e_i$ .....	stínící činitel	(-)
$e_t$ .....	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění	(-)
$e_{\lambda,\check{s}}$ .....	spektrální hustota vyzářeného toku	(W)
$E$ .....	integrální zářivý tok	(W)
$E_d$ .....	tepelná ztráta difúzí pokožky	(Wm <sup>-2</sup> )
$E_{gvo}$ .....	globální sluneční záření	(kWhm <sup>-2</sup> rok <sup>-1</sup> )
$e_k$ .....	korekční činitel vystavení povětrnostních vlivům	(-)
$E_k$ .....	korekční činitel vystavení klim. podm.	(-)
$E_{sw}$ .....	tepelná ztráta běžným pocením	(Wm <sup>-2</sup> )
$F_{12}$ .....	úhlový poměr osálení	(-)

$F_{p-N}$ .....	úhlový poměr osálení mezi osobou a plochou N	(-)
$f_{cl}$ .....	poměr povrchu těla pokrytého oděvem a povrchu neoblečeného těla	(-)
$f_{ga1}$ .....	součinitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty	(-)
$f_{ga2}$ .....	teplotní redukční součinitel	(-)
$f_{iaj}$ .....	teplotní redukční činitel	(-)
$f_{pcl}$ .....	součinitel propustnosti vodní páry oděvem	(-)
$g_{char}$ .....	gravitační zrychlení	(ms <sup>-2</sup> )
$G_{wa}$ .....	korekční čin. vlivu spodní vody	(-)
$h_1$ .....	Plankova konstanta, $h_2 = 6,626 \cdot 10^{-34}$	(Js)
$h_2$ .....	výška člověka	(m)
$h$ .....	výška zavěšení panelu	(m)
$h_c$ .....	součinitel přestupu tepla prouděním	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$h_e$ .....	součinitel přestupu tepla při vypařování potu	(Wm <sup>-2</sup> Pa <sup>-1</sup> )
$h_r$ .....	součinitel přestupu tepla sáláním	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$H$ .....	výška zavěšení zářiče nad podlahou	(m)
$H_{T,ie}$ .....	součinitel tepelné ztráty prostupem z vy – tápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy	(WK <sup>-1</sup> )
$H_{T,ig}$ .....	součinitel tepelné ztráty prostupem z vy – tápěného prostoru do zeminy v ustáleném stavu	(WK <sup>-1</sup> )
$H_{T,ij}$ .....	součinitel tepelné ztráty prostupem z vy – tápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu	(WK <sup>-1</sup> )
$H_{T,iue}$ .....	součinitel tepelné ztráty prostupem z vy – tápěného prostoru do venkovního prostoru nevytápěným prostorem	(WK <sup>-1</sup> )
$H_{osoby}$ .....	výška osoby	(m)
$h_c$ .....	součinitel přestupu tepla prouděním	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$i_\lambda$ .....	intenzita sálání šedého tělesa	(Wm <sup>-2</sup> )

$i_{\lambda, \epsilon}$ .....	intenzita sálání černého tělesa	(Wm <sup>-2</sup> )
$I$ .....	intenzita osálání půdorysné plochy podlahy	(Wm <sup>-2</sup> )
$I_{cl}$ .....	tepelná izolace oděvu	(clo)
$k$ .....	Stefan-Boltzmannova konstanta	(JK <sup>-1</sup> )
$K$ .....	tepelný tok vedením	(Wm <sup>-2</sup> )
$K_i$ .....	empirický součinitel	(-)
$l$ .....	výparné teplo	(kJkg <sup>-1</sup> )
$l_{skla}$ .....	viditelný obvod zasklení	(m)
$L$ .....	tepelná bilance člověka s okolním prostředím	(W)
$LR$ .....	Lewisův poměr	(°CkPa <sup>-1</sup> )
$L_{res}$ .....	latentní tepelná ztráta dýcháním	(Wm <sup>-2</sup> )
$M$ .....	hodnota metabolismu	(Wm <sup>-2</sup> )
$M_a$ .....	průtok vzduchu vdechovaného do plic	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
$M_{osoby}$ .....	hmotnost osoby	(kg)
$M_{potu}$ .....	množství potu	(kgsměna <sup>-1</sup> )
$n_{min,i}$ .....	nejmenší hyg. intezita množství vzduchu	(lh <sup>-1</sup> )
$n_{50}$ .....	intenzity výměny vzduchu za hodinu	(Pa)
$p_D$ .....	tlaku par	(Pa)
$p_{wa}$ .....	parciální tlak vodní páry ve vzduchu	(Pa)
$p_{ws}$ .....	parciální tlak nasycené vodní páry při teplotě pokožky	(Pa)
$P$ .....	mechanický výkon	(W)
$P_{\check{r}c}$ .....	celkový tepelný příkon zářičů	(W)
$P_{cel}$ .....	celkové ztráty prouděním všech stran panelu	(W)
$P_i$ .....	ztrát prouděním jednotlivých stěn panelu	(W)
$P_{\check{R}}$ .....	příkon panelu	(W)
$P_{ilk}$ .....	ztráty prouděním celkové kladná tolerance podle I. Michejeva	(W)
$P_{ilz}$ .....	ztráty prouděním celkové záporná tolerance podle I. Michejeva	(W)
$P_{i2k}$ .....	ztráty prouděním celkové kladná tolerance podle J. Brože	(W)

$P_{iz}$	ztráty prouděním celkové záporná tolerance podle J. Brože	(W)
$q$	tepelná produkce člověka	(Wm <sup>-2</sup> )
$Q$	tepelná produkce	(W)
$Q_b$	sálavý výkon jednotlivých bodů na osálané ploše	(W)
$Q_d$	teplo získané z vdechovaného vzduchu	(J)
$Q_{dw}$	odparem vody v plicích, spojené s vlhčením vzduchu při dýchání	(J)
$Q_i$	celkový sálavý výkon jed. ploch	(W)
$Q_k$	teplo odváděné konvekcí	(J)
$O_{pod}$	obvod podlahy oddělující vytápění prostor od uvažované části	(m)
$O_{poda}$	obvod podlahové konstrukce	(m)
$Q_r$	teplo odváděné radiací	(J)
$Q_{sm}$	měrný sálavý výkon	(Wm <sup>2</sup> )
$Q_{tep}$	tepelná produkce	(J)
$Q_w$	teplo odváděné pocením	(J)
$r$	vzdálenost plochy $S_2$ od $S_1$	(m)
$r_b$	vzdálenost bodu v osálané rovině od zdroje	(m)
$R$	tepelný tok sáláním	(Wm <sup>-2</sup> )
$R_{oděvu}$	tepelný odpor oděvu	(clo)
$R_F$	tepelný odpor podlahy	(m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> )
$R_{se}$	odpor přestupu tepla na vnější straně konstrukce	(m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> )
$R_{si}$	odpor přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	(m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> )
$R_n$	odpor přestupu tepla jednotlivých vrstev konstrukce	(m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> )
$S$	plocha tělesa	(m <sup>2</sup> )
$S_b$	velikost jednotlivých bodů osálané plochy	(m <sup>2</sup> )
$S_{dv}$	plocha dveří	(m <sup>2</sup> )
$S_k$	velikost povrchu oděvu	(m <sup>2</sup> )



$S_{ka}$ .....	plochy stavebních částí	(m <sup>2</sup> )
$S_{ka1}$ .....	plochy stavebních částí	(m <sup>2</sup> )
$S_{ka2}$ .....	plochy stavebních částí	(m <sup>2</sup> )
$S_n$ .....	tloušťka jednotlivých vrstev	(m)
$S_{nzisk}$ .....	plocha neprůsvitné části okna	(m <sup>2</sup> )
$S_{ozisk}$ .....	plocha okna	(m <sup>2</sup> )
$S_{pod}$ .....	plocha podlahy	(m <sup>2</sup> )
$S_{poda}$ .....	plocha podlahové konstrukce	(m <sup>2</sup> )
$S_{rr}$ .....	povrch člověka	(m <sup>2</sup> )
$S_{rdv}$ .....	plocha rámu dveří	(m <sup>2</sup> )
$S_{res}$ .....	citelná tepelná ztráta dýcháním	(Wm <sup>-2</sup> )
$S_{rd}$ .....	plocha rámu dveří	(m <sup>2</sup> )
$S_{skla}$ .....	plocha zasklení	(m <sup>2</sup> )
$S_{rskla}$ .....	plocha rámu skla	(m <sup>2</sup> )
$S$ .....	plocha	(m <sup>2</sup> )
$S_1$ .....	velikost osálané plochy	(m <sup>2</sup> )
$S_2$ .....	velikost sálající plochy	(m <sup>2</sup> )
$\check{s}_i$ .....	šířka místnosti	(m)
$\check{s}_{pa}$ .....	šířka podlahové konstrukce	(m)
$t_a$ .....	teplota vzduchu	(K)
$t_A$ .....	teplota vydechaného vzduchu	(°C)
$t_{achar}$ .....	teplota okolí	(°C)
$t_{avdech}$ .....	teplota vdechovaného vzduchu	(°C)
$t_{cl}$ .....	teplota oděvu	(°C)
$t_{es}$ .....	průměrná venkovní teplota za otopné období	(°C)
$t_{ev}$ .....	vnější teplota	(°C)
$t_{iv}$ .....	výpočtová vnitřní teplota	(°C)
$t_{is}$ .....	průměrná vnitřní teplota domu	(°C)
$t_{schar}$ .....	teplota stěny	(°C)
$t_p$ .....	povrchová teplota oděvu	(K)
$t_k$ .....	teplota pokožky	(°C)
$t_p$ .....	povrchová teplota oděvu	(K)
$t_r$ .....	střední radiační teplota	(°C)

$t_u$ .....	účinná plocha okolních ploch	(K)
$t_{ua}$ .....	teplota nevytápěného prostoru	(°C)
$t_v$ .....	teplota vzduchu	(°C)
$t_{vyt. prostor}$ .....	teplota vytápěného sousedního prostoru	(°C)
$T$ .....	termodynamická teplota	(K)
$T_b$ .....	povrchová teplota jednotlivých osálaných, ploch $S_b$	(K)
$T_{ev}$ .....	výpočtová venkovní teplota	(°C)
$T_i$ .....	průměrná teplota příslušné stěny panelu	(K)
$T_m$ .....	roční průměrná teplota vzduchu	(°C)
$T_1$ .....	povrchová teplota osálané plochy $S_1$	(K)
$T_{1zisk}$ .....	propustnost slunečního záření zasklení	(-)
$T_2$ .....	povrchová teplota sálající plochy $S_2$	(K)
$T_{2zisk}$ .....	znečištění zasklení	(-)
$T_{3zisk}$ .....	činitel stínění okna	(-)
$U_{dv}$ .....	součinitel prostupu tepla dveří	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$\Delta U_{equiva,k}$ .....	ekvivalentní součinitel prostupu tepla	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$U_{ch1}$ .....	chyba určení teplotního součinitele $\alpha$	(%)
$U_{ch2}$ .....	chyba udaná výrobcem při určení teploty stěn sálavého panelu pomocí pyrometru	(%)
$U_{ch3}$ .....	chyba udaná výrobcem při určení teploty okolí pomocí pyrometru	(%)
$U_{ch4}$ .....	chyba udaná výrobcem při určení délky stěn panelu	(%)
$U_{ch5}$ .....	chyba udaná výrobcem při určení příkonu sálavého panelu	(%)
$U_{ka1}$ .....	korigovaný součinitel prostupu tepla Nevytápěným prostorem	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$U_{ka2}$ .....	korigovaný součinitel prostupu tepla pro $H_{Ta,ij}$	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$U_{ka}$ .....	korigovaný součinitel prostupu tepla do venkovního prostředí	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$U_{kca1}$ .....	celkový korigovaný součinitel prostupu tepla nevytápěným prostorem	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )

$U_{poda}$ .....	součinitel prostupu tepla podlahy	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$U_r$ .....	součinitel prostupu tepla rámu	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$U_{rdv}$ .....	součinitel prostupu tepla rámu	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$U_{skla}$ .....	součinitel prostupu tepla zasklením	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$\Delta U_{tba}$ .....	korekční činitel prostupu tepla do venkovního prostředí	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$\Delta U_{tba1}$ .....	korekční činitel prostupu tepla nevytápěným prostorem	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$\Delta U_{tba2}$ .....	korekční činitel prostupu pro $H_{Ta,ij}$	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$V_{CO2}$ .....	objem oxidu uhličitého	$(m^3)$
$V_i$ .....	hygienické množství vzduchu	$(m^3h^{-1})$
$V_{inf, i}$ .....	množství vzduchu	$(m^3h^{-1})$
$V_{ic}$ .....	objem jednotlivých místností	$(m^3)$
$V_{min, i}$ .....	požadovaná hodnota z hygienických důvodů	$(m^3h^{-1})$
$V_{O2}$ .....	objem kyslíku	$(m^3)$
$v$ .....	relativní rychlost vzduchu	$(ms^{-1})$
$v_{dv}$ .....	výška dveří s rámem	$(m)$
$v_i$ .....	výška místnosti	$(m)$
$v_{ok}$ .....	výška okna	$(m)$
$v_r$ .....	výška rámu	$(m)$
$v_{rdv}$ .....	výška rámu dveří	$(m)$
$W$ .....	mechanická práce	$(J)$
$w$ .....	šířka obvodových stěn	$(m)$
$x_a$ .....	relativní vlhkost vdechovaného vzduchu	$(\%)$
$x_b$ .....	$x$ souřadnice jednotlivého bodu osálené plochy	$(m)$
$x_z$ .....	$x$ souřadnice zdroje (panelu)	$(m)$
$y_b$ .....	$y$ souřadnice jednotlivého bodu osálené plochy	$(m)$
$y_z$ .....	$y$ souřadnice zdroje (panelu)	$(m)$
2898 .....	Wienova konstanta	$(-)$
$\alpha$ .....	teplotní součinitel přestupu tepla	$(WK^{-1}m^{-2})$
$\alpha_{char}$ .....	teplotní součinitel přestupu tepla Grashoffovo	$(Wm^{-2}K^{-1})$
$\alpha_k$ .....	součinitel přestupu tepla kůže	$(WK^{-1}m^{-2})$

$\alpha_{kn}$ .....	součinitel přestupu tepla pro nucenou konvekci	(WK <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
$\alpha_{kv}$ .....	součinitel přestupu tepla při volné konvekci	(WK <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
$\alpha_{i1k}$ .....	kladná tolerance naměřené teploty stěn panelu podle I. Michejeva	(°C)
$\alpha_{i1z}$ .....	záporná tolerance naměřené teploty stěn panelu podle I. Michejeva	(°C)
$\alpha_{i2k}$ .....	kladná tolerance naměřené teploty stěn panelu podle J. Brože	(°C)
$\alpha_{i2z}$ .....	záporná tolerance naměřené teploty stěn panelu podle J. Brože	(°C)
$a_{\lambda, \dot{s}}$ .....	pohlcený tok	(W)
$\beta_{char}$ .....	koeficient objemové zoztažnosti	(-)
$\Delta\varepsilon_{\lambda emis}$ .....	rozdíl emisivit	(-)
$\Delta S$ .....	změna tepelné kapacity	(Wm <sup>-2</sup> )
$\varepsilon$ .....	emisivita tělesa	(-)
$\varepsilon_i$ .....	výškový korekční činitel	(-)
$\varepsilon_{\lambda emis}$ .....	emisivita nastavená	(-)
$\varepsilon_{nesouč}$ .....	opravný součinitel vyjadřující vliv přírážek pro výpočet tepelných ztrát domu	(-)
$\varepsilon_1$ .....	emisivita osálané plochy $S_1$	(-)
$\varepsilon_2$ .....	emisivita sálající plochy $S_2$	(-)
$\lambda_{char}$ .....	součinitel tepelné vodivosti	(Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
$\lambda_{emis}$ .....	vlnová délka záření	(m)
$\lambda_{max}$ .....	vlnová délka maximum vyzařování	(μm)
$\lambda_n$ .....	součinitel tepelné vodivosti jednot. vrstev	(Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
$\lambda_{zeminy}$ .....	tepelná vodivost zeminy	(Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
$\eta$ .....	účinnost mechanická	(%)
$\eta_k$ .....	účinnost kotle	(%)
$\eta_o$ .....	účinnost regulace	(%)
$\eta_R$ .....	účinnost rozvodu tepelné energie	(%)

$\eta_s$ .....	sálavá účinnost zářičů	(%)
$\sigma$ .....	Stefan-Boltzmannova konstanta $5,67 \cdot 10^{-8}$	( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ )
$\rho$ .....	hustota vzduchu při $t_{iv}$	( $\text{kgm}^{-3}$ )
$\varphi_b$ .....	úhel mezi jednotlivým bodem osálené plochy $S_l$ a zdrojem (panelem)	( $^\circ$ )
$\varphi_c$ .....	poměr osálení půdorysné plochy $S$ zářiči ležícími ve vodorovné rovině nad podlahou	(-)
$\varphi_t$ .....	poměr osálení lidského těla zářiče	(-)
$\varphi_1$ .....	úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy $S_l$	( $^\circ$ )
$\varphi_2$ .....	úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy $S_2$	( $^\circ$ )
$\Phi$ .....	relativní vlhkost	(%)
$\Phi_{T, i}$ .....	celkové tepelné ztráty prostupem tepla	(-)
$\Phi_i$ .....	celkové tepelné ztráty domu	(W)
$\Phi_{ijed}$ .....	celkové ztráty u jednotlivých místností	(MW)
$\nu_{char}$ .....	kinematická viskozita	( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )
$\Psi_{skla}$ .....	lineární činitel prostupu tepla	( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

## Úvod

Teplo je nezbytnou složkou života lidstva. Proto se lidstvo snaží zvýšit účinnost, energetickou a ekonomickou efektivitu tepelných zdrojů. Sdílení tepla probíhá v přírodě třemi způsoby, vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací).

Sdílení tepla vedením spočívá v přenosu tepla ve směru klesající teploty v pevných látkách. Látky s vyšší teplotou předávají část své energie prostřednictvím vzájemných srážek částic s nižší teplotou. K přenosu tepla vedením dochází především u tuhých těles.

U kapalin a plynů dochází ke sdílení tepla prouděním. Při styku teplejšího tělesa s plynem klesá jeho hustota (stává se lehčím), proto jsou ohřáté částice plynu unášeny vzhůru. Na uvolněné místo ohřátých částic se dostávají chladné částice, které jsou opět ohřívány stejným způsobem a také stoupají vzhůru. Proudění tepla je vždy spojeno s vedením tepla.

Při sdílení tepla sáláním dochází k šíření tepla pomocí elektromagnetické energie ve formě tepelného záření s příčnou vibrací vzhledem ke směru jejich šíření. Vznik elektromagnetických vln je důsledek změn vnitřní energie těles. Elektromagnetické vlny vstupují do prostoru, které těleso obklopuje. Dopadem tohoto záření na okolní tělesa se tělesa začnou zahřívat. V přírodě se jednotlivé děje nevyskytují samostatně, ale probíhají ve vzájemné kombinaci. [1]

## **1 Co je tepelné záření**

Jeho existenci objevil v r. 1800 britský astronom Sir William Herschel (1738-1822). Pomocí optického hranolu rozložil sluneční světlo na jednotlivé barvy. Do barevného spektra vložil sadu rtuťových teploměrů a zjistil, že teplota na jednotlivých rtuťových teploměrech se liší. Teplota narůstala více směrem k červené straně spektra. Herschela napadlo posunout teploměr za červený okraj viditelného spektra. S překvapením zjistil, že zde teplota dosahuje nejvyšších hodnot. Z toho usoudil, že zde musí existovat jakési neviditelné záření, které přenáší teplo. A protože se toto záření nacházelo za viditelným červeným pásem, bylo později nazváno infračerveným. [2]

### **1.1. Přírodní zdroje infračerveného záření**

Základním a největším zdrojem sálavého tepla na Zemi je Slunce. Díky energii, kterou na Zemi dodává, zde může existovat vše živé. Člověk se však naučil využívat i dalších zdrojů infračerveného záření. Prvním a nejjednodušším zdrojem infračerveného záření, které člověk využil, bylo otevřené ohniště. A postupem času a vývojem přešel od otevřeného ohniště na krby a kachlová kamna. Dnes už využívá infračervené zářiče.

### **1.2 Elektromagnetické vlnění**

Infračervené záření je elektromagnetické vlnění. Elektromagnetická vlna sestává ze složky elektrické a magnetické, které jsou vzájemně kolmé i co do směru pohybu vlny. Základním charakteristickým parametrem elektromagnetického vlnění je jeho kmitočet. Na Zemi dopadají z vesmíru a ze Slunce různé druhy elektromagnetického záření. V cestě těmto elektromagnetickým vlněním stojí však zemská atmosféra. Atmosféra určité druhy záření propouští (například viditelné a část infračerveného). Jiná záření, například ultrafialové, propouští jen nepatrně. Záření, která jsou pro člověka škodlivá a ve velké intenzitě i smrtelná, například gama nebo kosmické záření, naštěstí pro nás na povrch Země přes atmosféru prakticky neprojdou.

### **1.3 Zákony sálání**

Teplo, které sálá každé těleso, jehož teplota je větší než 0 K popisuje několik zákonů. Jsou to zákony Planckův, Wienův zákon, směrový zákon Lambertův, Stefan-Boltzmannův zákon, Kirchhoffův zákon. Podrobný popis těchto zákonů je popsán níže.

### 1.3.1 Planckův zákon

Planckův vyzařovací zákon popisuje závislost spektrální intenzity sálání  $i_{\lambda,\varepsilon}$  na určité vlnové délce  $\lambda$  a teplotě  $T$ . Pro absolutně černé těleso, které jako zářič vyzařuje na všech vlnových délkách největší množství energie a platí:

$$i_{\lambda,\varepsilon} = \frac{2\pi h_1 c^2}{\lambda^5 \left( e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1 \right)} \quad (\text{Wm}^{-3}) \quad (1-1)$$

$T$  – Termodynamická teplota (K)

$h_1$  – Plankova konstanta,  $h_1 = 6,626 \cdot 10^{-34}$  (Js)

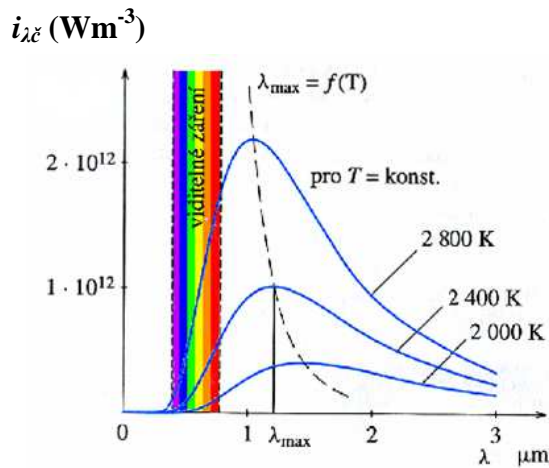
$c$  – rychlost světla ve vakuu,  $c = 2,998 \cdot 10^8$  (ms<sup>-1</sup>)

$k$  – Stefan-Boltzmannova konstanta,  $k = 1,3803 \cdot 10^{-23}$  (JK<sup>-1</sup>)

$\lambda$  – vlnová délka (m)

$e$  – Eulerovo číslo (-)

Závislost spektrální intenzity sálání  $i_{\lambda,\varepsilon}$  na vlnové délce  $\lambda$  a teplotě  $T$  je zobrazena na obr. 1-1.



Obr. 1-1. Průběhy Planckových křivek  $i_{\varepsilon} = f(\lambda)$  Z obr. 1-1 je vidět, že se stoupající teplotou se intenzita záření zvyšuje a vrchol křivky ( $\lambda_{\text{max}} \cdot T = \text{konst.}$ ) se posouvá ve směru kratších vlnových délek. Celková energie, která je za jednotku času vyzářena dokonale černým tělesem o dané teplotě je rovna ploše pod křivkou. Absolutně černé těleso vyřazuje nejvíce energie, proto musíme pro ostatní šedá tělesa zavést



tzv. emisivitu  $\varepsilon$  viz vzorec 1-2, která je dána poměrem intenzity sálání šedého tělesa  $i_\lambda$  a černého tělesa  $i_{\lambda,\varepsilon}$  při stejné povrchové teplotě těles. [2]

$$\varepsilon = \frac{i_\lambda}{i_{\lambda,\varepsilon}} \quad (-) \quad (1-2)$$

### 1.3.2 Wienův zákon

Wienův posunovací zákon je fyzikální zákon, který konstatuje, že v záření absolutně černého tělesa je maximální energie. Čím teplejší je těleso, tím vyzařuje na kratších vlnových délkách, tj. vyšších frekvencích:

$$\lambda_{\max} T = konst = 2898 \quad (\mu\text{m K}) \quad (1-3)$$

$\lambda_{\max}$  – vlnová délka maximum vyzařování ( $\mu\text{m}$ )

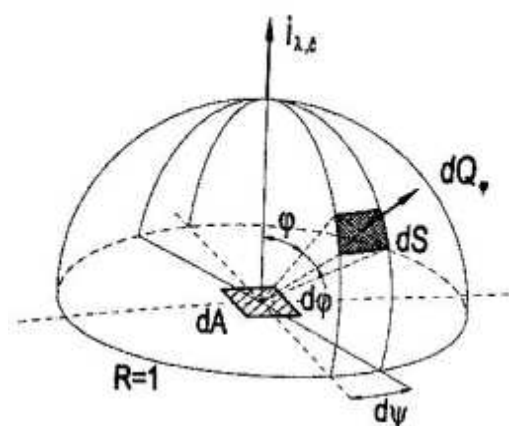
$T$  – je teplota tělesa (K)

2898 – tzv. Wienova konstanta (-) [3]

### 1.3.3 Lambertův směrový (kosinový) zákon

Lambertův směrový zákon určuje hustotu sálavého toku absolutně černého tělesa  $e_{\lambda,\varepsilon}$  ve směru určeném úhlem  $\varphi$  viz obr. 1-2.

$$e_{\lambda,\varepsilon}(\lambda, T, \varphi) = i_{\lambda,\varepsilon}(\lambda) \cos \varphi \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (1-4)$$



Obr. 1-2. Vyzařování plošného elementu do prostoru

Největší množství energie je vysíláno ve směru normál, kde  $\varphi = 0$ . S rostoucím úhlem hodnota energie klesá.

### 1.3.4 Stefan-Boltzmannův zákon

Stefan-Boltzmannův zákon vyjadřuje hustotu sálavého toku absolutně černého tělesa při určité teplotě  $T$ , která je vztažena na jednotku plochy. [3-6]

$$E_{\varepsilon} = \sigma T^4 \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (1-5)$$

$\sigma$  – Stefan-Boltzmannova konstanta  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

$T$  – termodynamická teplota povrchu tělesa (K)

Stefan-Boltzmannův zákon se používá ve tvaru

$$E_{\varepsilon} = \sigma \left( \frac{T}{100} \right)^4 = 5,67 \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (1-6)$$

Pro šedá tělesa s emisivitou  $\varepsilon$  platí Stefan-Boltzmannův zákon pro vyjádření hustoty sálavého toku ve tvaru:

$$E_{\varepsilon} = \varepsilon \sigma \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (1-7)$$

$\varepsilon$  – emisivita tělesa (pro černé těleso  $\varepsilon = 1$ , pro absolutně bílé  $\varepsilon = 0$ )

Celkový vyzářený výkon šedého tělesa o ploše  $S$  dostaneme integrací rovnice (1-7):

$$Q_{\varepsilon} = \int_S \varepsilon \sigma \left( \frac{T}{100} \right)^4 dS = \varepsilon \sigma \left( \frac{T}{100} \right)^4 S \quad (\text{W}) \quad (1-8)$$

$S$  – plocha tělesa ( $\text{m}^2$ )

### 1.3.5 Kirchhoffův zákon

Kirchhoffův zákon udává poměr hustoty vyzářeného toku  $e$  a pohlceného toku  $a$  tělesa. Tento poměr se rovná hustotě sálavého toku absolutně černého tělesa  $e_{\varepsilon}$  a závisí jen na povrchové teplotě  $T$ .

$$\frac{e_{\varepsilon}}{a_{\varepsilon}} = \frac{e_{\varepsilon}}{a_{\varepsilon}} = e_{\varepsilon} = f(T) \quad (-) \quad (1-9)$$

Pokud budeme uvažovat hustotu vyzářeného a pohlceného toku pro určitou vlnovou délku  $\lambda$ , pak získáme Kirchhoffův zákon ve tvaru rovnice 1-10, která říká, že poměr spektrální hustoty vyzářeného a pohlceného toku je pro všechna tělesa stejný a závisí jen na povrchové teplotě  $T$  a vlnové délce  $\lambda$ .

$$\frac{e_{\lambda,\xi}}{a_{\lambda,\xi}} = e_{\lambda,\varepsilon} = f(T, \lambda) \quad (-) \quad (1-10)$$

Emisivita  $\varepsilon$  je definovaná poměrem

$$\frac{e_{\lambda,\xi}}{a_{\lambda,\xi}} = konst = \varepsilon \quad (-) \quad (1-11)$$

### 1.3.6 Zákon o ubývání intenzity záření s druhou mocninou vzdáleností od zdroje

Tento zákon se používá pro výpočet množství tepla mezi dvěma plochami, kde ubývá intenzita záření  $e$  s druhou mocninou vzdálenosti  $r$ .

$$e' = \frac{e}{r^2} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (1-12)$$

Sálá-li plošný element  $dS_2$  ve směru plošného elementu  $dS_1$  intenzitou sálání  $e$ , je plošný element  $dS_1$  ve vzdálenosti  $r$  od  $dS_2$  osálán intenzitou  $e'$ .

### 1.3.7 Výměna tepla sáláním

Pomocí Lambertova zákona (rovnice 1-4), Stefan-Boltzmannova zákona (rovnice 1-5) a zákona o ubývání intenzity záření s druhou mocninou vzdálenosti viz výše uvedená (rovnice 1-12), můžeme odvodit následující rovnici pro sdílené teplo sáláním mezi plochami  $S_2$  a  $S_1$ .

$$Q = \varepsilon_1 \varepsilon_2 c \varepsilon \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dS_1 dS_2 \quad (\text{W}) \quad (1-13)$$

$S_1$  - velikost osálané plochy ( $\text{m}^2$ )

$S_2$  - velikost sálající plochy ( $\text{m}^2$ )

$\varepsilon_1$  - emisivita osálané plochy  $S_1$  (-)

$\varepsilon_2$  - emisivita sálající plochy  $S_2$  (-)

$c_\varepsilon$  – součinitel sálání dokonale černého tělesa ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ),  $c_\varepsilon = \sigma \cdot 10^8 = 5,67 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

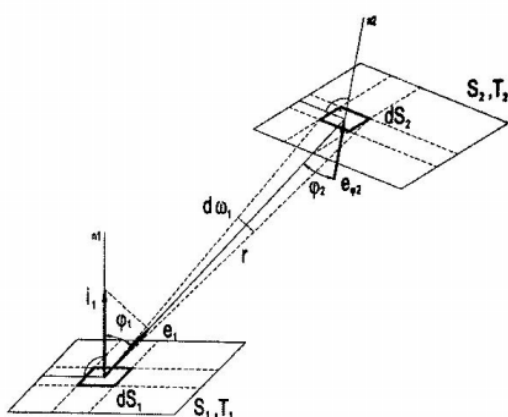
$T_1$  – povrchová teplota osálané plochy  $S_1$  (K)

$T_2$  – povrchová teplota sálající plochy  $S_2$  (K)

$\varphi_1$  – úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy  $S_1$  ( $^\circ$ )

$\varphi_2$  – úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy  $S_2$  ( $^\circ$ )

Předpoklad platnosti této rovnice je, že pro povrchové teploty platí, že  $T_2 > T_1$  a jedná se o rovinné plochy s emisivitou  $\varepsilon_2$  plochy  $S_2$  a emisivitou  $\varepsilon_1$  u plochy  $S_1$ . Pomocí této rovnice, lze vypočítat množství tepla sdíleného mezi plochami  $S_2$  a  $S_1$  viz obr. 1-3.



Obr. 1-3. Sdílení tepla mezi dvěma obecně položenými rovinnými plochami  $S_1$  a  $S_2$  [7-9]

## 2 Aktuální možnosti výpočtu sálavého výkonu

Pro stanovení sálavého výkonu se používají tyto 4 možnosti. První možnost výpočtu je pomocí normy podle ČSN 06 0215. Druhá možnost je použít stanovení intenzity osálení z integrálního zářivého toku  $I_t$  a třetí možností je využít nomogram dodávaný výrobcem sálavých panelů a poslední možností je využít tepelného toku sálání z plochy  $S_2$  na plochu  $S_1$ .

### 2.1 Stanovení intezity osálení podle ČSN 06 0215

V ČSN 06 0215 je uveden vztah pro výpočet intenzity osálení půdorysné plochy. Tato norma byla ke dni 1. 11. 2000 bez náhrady zrušena, přesto však lze z pravidel stanovených touto normou vycházet.

$$I = (1 - \varepsilon_{pohl}) \varphi_c \eta_s \frac{P_{\check{R}c}}{S_1} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (2-1)$$

$\varepsilon_{pohl}$  – pohltivost vzduchové vrstvy od 0,12 až 0,15 v závislosti na výšce  $H_{sál2}$  (-)

$\varphi_c$  – poměr osálení půdorysné plochy  $S$  zářiči ležícími ve vodorovné rovině

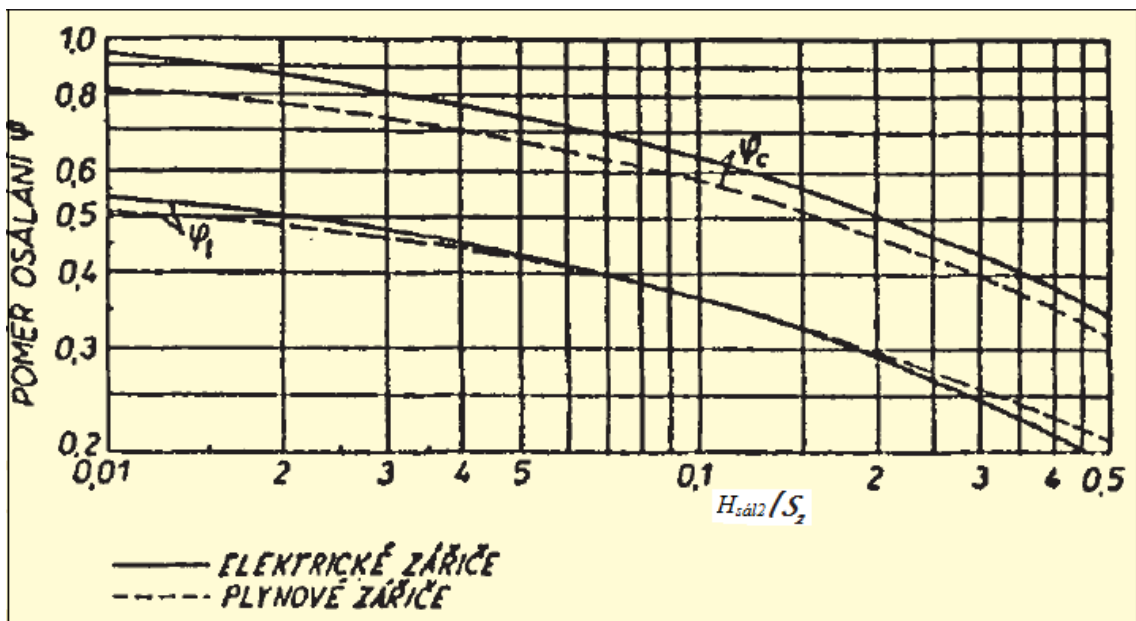
ve výšce  $H_{sál}$  (m) nad podlahou (viz graf na obr. 2-1) (-)

$\eta_s$  – sálavá účinnost zářičů (-)

$P_{\check{r}c}$  – celkový tepelný příkon zářičů (W)

$S_l$  – osálaná půdorysná plocha ( $m^2$ )

$H_{sál}$  – výška zavěšení zářiče nad podlahou (m)



Obr. 2-1 Závislost poměru osálení  $\varphi_c$  na poměru  $H_{sál2}/S_2^{-1}$

Norma též uvádí vztah pro výpočet intenzity osálení lidského těla viz rovnice 2-2.

$$I_t = \frac{\varphi_t}{\varphi_c} I \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (2-2)$$

$\varphi_t$  – poměr osálení lidského těla zářiči (viz graf na obr. 2-1)

$\varphi_c$  – poměr osálení půdorysné plochy  $S_l$  zářiči ležícími ve vodorovné rovině ve výšce

$H_{sál2}$  (m) podlahou (viz graf na obr. 2-1)

$I$  – intenzita osálení půdorysné plochy podlahy ( $\text{Wm}^{-2}$ )

## 2.2 Stanovení intezity osálení z integrálního zářivého toku

Další vztah, který lze užít k výpočtu intezity osálení plochy vychází ze vztahu pro výpočet hustoty integrálního zářivého toku.

$$I_t = \frac{E}{S} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (2-3)$$

$E$  – integrální zářivý tok (W)

$S$  – plocha, na kterou tok dopadá ( $\text{m}^2$ )

## 2.3 Tepelný tok sáláním z plochy $S_2$ na plochu $S_1$

Pro tento případ určení se používá rovnice 2-4. Pro tento případ je možné určit intenzitu sálání v různých místech.

$$Q = \varepsilon_1 \varepsilon_2 F_{12} S_2 c_\varepsilon \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad (\text{W}) \quad (2-4)$$

$\varepsilon_1$  – emisivita osálané plochy  $S_1$  (-)

$\varepsilon_2$  – emisivita sálající plochy  $S_2$  (-)

$c_\varepsilon$  – součinitel sálání dokonale černého tělesa ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ),  $c_\varepsilon = \sigma \cdot 10^8 = 5,67 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

$T_1$  – povrchová teplota osálané plochy  $S_1$  (K)

$F_{12}$  – úhlový poměr osálení (-)

Úhlový poměr osálení se vypočte pomocí rovnice 2-5.

$$F_{12} = \frac{\cos \omega_1 \cos \omega_2 S_1}{\pi r^2} \quad (-) \quad (2-5)$$

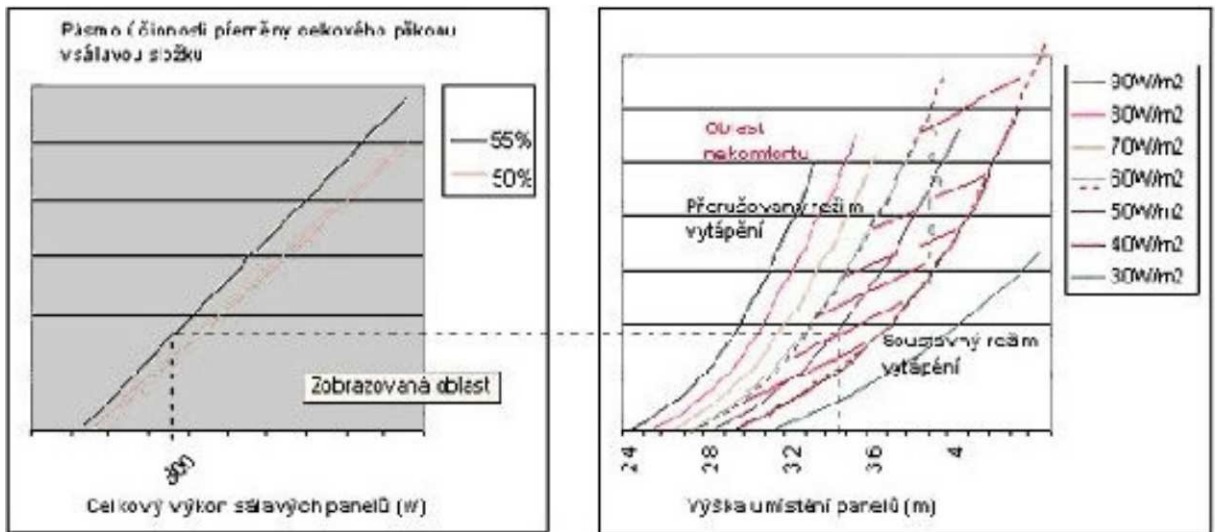
Hustota intezity osálení, se pak vypočte ze vztahu 2-6. [10]

$$Q = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 S_2 c_\varepsilon \cos \omega_1 \cos \omega_2}{\pi r^2} \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (2-6)$$

## 2.4 Stanovení intezity osálení pomocí nomogramu

Třetím způsobem, jak určit intenzitu osálení je pomocí grafu zvaného nomogram. Na grafu je na vodorovné ose uvedena výška zavěšení panelu. Empiricky byly zjištěny křivky měrného sálavého výkonu pro různé výšky zavěšení panelu. Dále jsou v grafu vyznačeny oblasti, kde se rozlišuje o jaký provoz sálavých panelů se jedná. Jedná-li se

o přerušovaný režim vytápění nebo soustavné vytápění. Podle tohoto nomogramu navrhují výrobci výšku zavěšení panelu a výkony potřebných sálavých panelů. [11]



Obr. 2-2 Nomogram sálavého panelu o výkonu 300 W

### 3. Tepelný výkon člověka

Celkový výkon (výdej energie za jednotku času) člověka - metabolické teplo  $Q_m$  - je dán součtem tepelné produkce  $Q$  a mechanického výkonu  $P$  (zvedání břemen, chůze do kopce). Podíl mechanické energie a celkového výdeje energie je mechanická účinnost. Nekoná-li člověk mechanickou práci, je jeho účinnost nulová. Při namáhavé práci tepelná produkce i účinnost rostou s intenzitou práce. Při jízdě na kole dosahuje mechanická účinnost člověka až 23 %.

### 3.1 Tepelná produkce člověka

Intenzita vývinu tepla v lidském těle závisí na činnosti člověka. Aby se vyloučil vliv hmotnosti těla, vztahují se údaje o produkci tepla na normálního člověka tab. 3-1.

Tab. 3-1 Biofyzikální definice pojmu „normální člověk“

hmotnost	75 kg
Výška	1,75
povrch těla	1,9 m <sup>2</sup>
objem těla	75 l
Puls	75min <sup>-1</sup>
frekvence dýchání	16min <sup>-1</sup>
průtok vzduchu plicemi	0,5 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
průtok vzduchu plicemi (při tělesné činnosti)	9 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
střední teplota kůže	32 °C
produkce CO <sub>2</sub> (v klidu)	(10 - 20) lh <sup>-1</sup>

Často se počítá s hustotou tepelného toku ve Wm<sup>-2</sup>, vypočtenou z tepelné produkce a povrchu těla. V mezinárodních normách je používána jednotka 1 met, jejíž hodnota je 1 met = 58 Wm<sup>-2</sup>. Povrch lidského těla závisí na jeho výšce  $H_{osoby}$  a hmotnosti  $M_{osoby}$  podle rovnice

$$S_D = 0,204 M_{osoby}^{0,425} H_{osoby}^{0,725} \quad (\text{W}) \quad (3-1)$$

$H_{osoby}$  – výška osoby (m)

$M_{osoby}$  – hmotnost osoby (kg)

Hodnota bazálního metabolismu (výdej energie v tomto stavu je dán pouze prací životně důležitých orgánů, jako srdce, plíce, mozek a zbytek nervového systému, jater, ledvin, pohlavních orgánů, svalů a kůže) se snižuje s věkem a je u žen poněkud menší než u mužů.



### 3.2 Metabolismus člověka

Je dán časovým součtem produkcí energie ( $Q_{mi}$  stejné v časových úsecích od 0 do 24 hodin). Výpočet spotřeby energie podle metabolické rovnice 3-2.

$$\text{Spotřeba energie} = \int_0^{24} Q_m d\tau = \sum_{i=1}^n (Q_m \Delta\tau)_i \quad (\text{J}) \quad (3-2)$$

Spotřeba energie člověka za 24 hodin:

klid	(10 – 11) MJ
lehká práce	(11 – 14) MJ
těžká práce	(14 – 18) MJ

Tato spotřeba je kryta spalováním (oxidací) potravy nebo zásob zdrojů energie (tuků) v těle.

Složky potravy mají následující energetickou hodnotu:

uhlovodany (sacharidy)	17,6 kJg <sup>-1</sup>
tuky (olej, máslo, ....)	39,4 kJg <sup>-1</sup>
bílkoviny (proteiny)	18,0 kJg <sup>-1</sup>

Dýcháním se do plic dostává vzduch s 21% kyslíku a s (0,03 - 0,05) % oxidu uhličitého. Ve vydechaném vzduchu je 16 % O<sub>2</sub>, 4 % CO<sub>2</sub> a 5 % H<sub>2</sub>O. Vzduch se ohřívá na 35 °C a zvlhčuje na 95 %. Plíce zdravého člověka, mají teplosměnou plochu cca 40 m<sup>2</sup> a jsou velmi dokonalým výměníkem tepla a hmoty. Oxid uhličitý ve vydechaném vzduchu je produktem oxidace potravy v těle. Poměr mezi objemovou produkcí CO<sub>2</sub> a spotřebou kyslíku O<sub>2</sub> se nazývá respirační kvocient  $RQ$ , který pro oxidaci základních složek potravy činí:

- uhlovodany (cukry) 1,0
- tuky 0,7
- bílkoviny (živočišné) 0,8

$$RQ = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}} \quad (-) \quad (3-3)$$

$V_{CO_2}$  - objem oxidu uhličitého (m<sup>3</sup>)

$V_{O_2}$  - objem kyslíku (m<sup>3</sup>)

Měření objemových průtoků  $V$  obou plynů  $O_2$  a  $CO_2$  ve vdechovaném a ve vydechovaném vzduchu slouží ke stanovení celkového výkonu člověka.

### 3.3 Sdílení tepla mezi lidským tělem a prostředím

Ochlazování lidského těla se děje následujícími základními způsoby sdílení tepla:

- prouděním - konvekcí  $Q_k$  z povrchu těla do okolního vzduchu,
- sáláním - radiací  $Q_r$  z povrchu těla na okolní předměty a stěny,
- vedením - kondukcí  $Q_v$  na dotykové plochy (podlaha, sedadlo, stůl).

Navíc tělo může sdílet teplo:

- odpařováním (evaporací) potu z povrchu kůže  $Q_w$  (pocením - odpařením jednoho litru vody ztrácí tělo 2,4 MJ),
- ohřevem vdechovaného vzduchu v plicích  $Q_d$ ,
- odparem vody v plicích, spojené s vlhčením vzduchu při dýchání  $Q_{dw}$ .

Intenzita vypařování potu může být velmi rozdílná a je řízena fyzikální termoregulací člověka. Při zvýšené námaze, kdy vzroste tepelná produkce člověka, se nejprve zvýší povrchová teplota těla větším prokrvením povrchových vrstev těla včetně pokožky. Tím stoupnou tepelné ztráty těla konvekcí a radiací. Za podmínek tzv. suchého pocení, kdy není vývin potu viditelný, odvádí se do okolí vypařováním potu a dýcháním přibližně (25 - 30 %) produkovaného tepla. Při středně těžké fyzické práci dosahuje tento podíl 40 %. Nestačí-li prokrvení pokožky k odvodu zvýšené tepelné produkce, dojde k intenzivnímu pocení, které je viditelné, člověk se začne mokře potit, což pocítujeme jako nepohodu.

Podmínku tepelné rovnováhy člověka s prostředím udává rovnice:

$$Q = \pm Q_k \pm Q_r \pm Q_v + Q_w + (Q_d + Q_{dw}) + Q_a \quad (J) \quad (3-4)$$

V této rovnici je  $Q_a$  tepelný tok akumulovaný v těle. Ve stavu tepelné pohody je  $Q_a = 0$ . Tepelný tok vedením  $Q_v$  je většinou zanedbatelný (u stojícího člověka je pouze 5 W). Záporná znaménka platí pro tepelné toky sdílené z prostředí tělu. Tato vnější tepelná zátěž se potom k tepelné produkci připočítává. [12-14]

### 3.4 Sdílení tepla konvencí

Tepelný tok *konvencí* (prouděním)  $Q_k$  závisí na rozdílu povrchové teploty oděvu  $t_p$  a teploty vzduchu  $t_a$ , na součiniteli přestupu tepla konvencí  $\alpha_k$ , na velikosti povrchu oděvu  $S_k$ .

$$Q_k = \alpha_k S_k (t_p - t_a) \quad (\text{W}) \quad (3-5)$$

$\alpha_k$  – součinitel přestupu tepla ( $\text{WK}^{-1}\text{m}^{-2}$ )

$S_k$  – velikost povrchu oděvu ( $\text{m}^2$ )

$t_p$  – povrchová teplota oděvu (K)

$t_a$  – teplota vzduchu (K)

K proudění vzduchu kolem těla dochází dvěma způsoby:

- **volnou konvencí** vyvolanou rozdílem teplot povrchu oděvu a vzduchu, kdy rychlosti nepřesahují  $0,15 \text{ ms}^{-1}$ , součinitel přestupu tepla při volné konvekci je  $\alpha_{kv} = 2,4 (t_p - t_a)^{0,25}$ , při  $\Delta t = 5 - 10 \text{ K}$ , je pro lidské tělo  $\alpha_{kv} = 3,6 - 4,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ .
- **nuceně** působením vnitřní cirkulace vzduchu v prostoru. Při rychlosti ( $v = 0,15 - 2,6 \text{ ms}^{-1}$ ) je součinitel přestupu tepla pro nucenou konvekci  $\alpha_{kn} = 11,4 v^{0,6}$ . Přinuceném proudění s menšími rychlostmi ( $0,2 \text{ ms}^{-1}$ ) bereme s respektováním volné konvence:  $\alpha_k = \alpha_v + \alpha_{kn}$  pro  $\alpha_{kv} \geq \alpha_{kn}$  a  $\alpha_k = \alpha_{kn}$  pro  $\alpha_{kv} < \alpha_{kn}$ . Uvedené vztahy platí pro neprovzdušněný oděv.

### 3.5 Vliv oděvu

Teplota povrchu oděvu závisí na tepelně izolačních vlastnostech oděvu a také na velikosti tepelného toku oděvem. Jednotkou tepelného odporu oděvu  $R_{oděvu}$  je 1 clo, což odpovídá odporu třívrstvého oděvu (zimní oblek) viz norma ČSN EN ISO9920.  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ . Teplota pokožky není na celém těle stejná, závisí na prokrvení příslušné části těla, na tloušťce podkožního tuku a do jisté míry se liší u jednotlivých osob:

35 - 36 °C ..... hlava, břicho, prsa, bedra,

30 - 32 °C ..... nohy, ruce

Stupeň prokrvení a tím vyvolaná změna teploty pokožky  $t_k$  je důležitým činitelem termoregulace člověka. Při tepelné pohodě je střední hodnota teploty pokožky podle Langerera.

$$t_k = 35,7 - 0,0275 q_{\text{produkce}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3-6)$$

$q_{\text{produkce}}$  – tepelná produkce člověka ( $\text{Wm}^{-2}$ ) [15]

### 3.6 Teplo sdílené radiací

Člověk je obklopen okolními plochami (stěnami) a tepelný tok sdílený radiací lze stanovit ze Stefan-Boltzmannova zákona:

$$Q_r = c_\varepsilon S_{rr} \left[ \left( \frac{T_p}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_u}{100} \right)^4 \right] = \alpha_{rr} S_{rr} (t_p - t_u) \quad (\text{W}) \quad (3-7)$$

$t_u$  – účinná plocha okolních ploch (K)

kde  $c_\varepsilon$  je součinitel vzájemného sálání (daný součinitelem sálání povrchu oděvu). Jeho velikost je pro dlouhovlnné tepelné záření bez ohledu na barvu a strukturu povrchu rovna  $5,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  a  $S_{rr}$  povrch člověka,  $\alpha_{rr}$  teplotní součinitel.

### 3.7 Účinná teplota okolních ploch

Účinná teplota okolních ploch  $T_u$  je myšlená společná teplota stěn a předmětů obklopujících člověka, při které se sáláním sdílí stejné teplo jako ve skutečnosti.

$$T_u = t_u + 273 = \sqrt[4]{(\varphi_{1p} T_1^4 + \varphi_{2p} T_2^4 + \dots + \varphi_{np} T_{n2}^4)} \quad (\text{K}) \quad (3-8)$$

Poměr sálání - udává jaká část tepelného toku vysálaného plochou  $S_i$  dopadne na povrch těla (index  $p$  - osálaná, index  $i$  - sálající) - závisí na vzdálenosti, vzájemné poloze, rozměrech těla i sálající plochy. Standardně pro oděv platí:  $\alpha_r = 4,6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , pro  $t_u = 10 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . [16-17]

### 3.8 Teplo sdílené dýcháním

Průtok vzduchu vdechovaného do plic  $M_a$  závisí na potřebě kyslíku a je tedy závislý na tepelné produkci  $Q_{\text{tep}}$ ,

$$M_a = \frac{1,43 \cdot 10^{-6} Q_{tep}}{1 - \eta} \quad (\text{kgs}^{-1}) \quad (3-9)$$

$Q_{tep}$  – tepelná produkce (J)

Teplota vydechaného vzduchu  $t_A$  závisí mírně na teplotě vdechovaného vzduchu  $t_a$  a vlhkosti  $x_a$ .

$$t_A = 32,6 + 0,006 t_a + 32 x_a \approx 34 \text{ °C} \quad (\text{°C}) \quad (3-10)$$

$t_a$  – teplota vdechovaného vzduchu (°C)

$x_a$  – relativní vlhkost vdechovaného vzduchu (%)

Vlhkost vydechaného vzduchu  $x_A$  závisí na tlaku par  $p_D$  ve vydechaném vzduchu

$$x_A = 0,622 p_D / (p - p_D) \approx 0,622 p_D / p \quad (\%) \quad (3-11)$$

$p_D$  – tlak par ve vydechaném vzduchu (Pa)

při dýchání se odvádí teplo ohříváním vzduchu v plicích:

$$Q_{Ad} = M_A c_A (t_A - t_a) \quad (\text{J}) \quad (3-12)$$

$$c_A = 1,01 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

a vypařováním vody v plicích:

$$Q_{Aw} = M_A l (x_A - x_a) \quad (\text{J}) \quad (3-13)$$

$l$  – výparné teplo ( $\text{kJkg}^{-1}$ ) při 34 °C je  $l = 2400 \text{ kJkg}^{-1}$

Celkové teplo sdílené dýcháním bude součtem  $Q_{Ad}$  a  $Q_{Aw}$ .

$$Q_d = Q_{Ad} + Q_{Aw} \quad (\text{J}) \quad (3-14)$$

### 3.9 Fyziologická kritéria pro horké provozy

Pro provozy, kde lidé pracují 7,5 až 8 hodin denně, jsou nejdůležitější tři kritéria:

- $M_{potu}$  ( $\text{kgsměna}^{-1}$ )
- Puls ( $\text{tepmin}^{-1}$ )
- Teplota pokožky  $t_k$  (°C)

Za směnu nemá být  $M_{potu}$  větší než 2,5 kg pro aklimatizovaného člověka a 2,0 kg pro neaklimatizovaného (aklimatizace je přivyknutí si změněným přírodním podmínkám). Z této podmínky se dá určit doba práce v horkém provozu.

Tlak par: v rozsahu  $27 < t_k < 37$  °C je

$$p_D = 256 t_k - 3373 \quad (\text{Pa}) \quad (3-15)$$

Při tepelné pohodě je

$$Q_w = (0,2 \text{ až } 0,3) Q \quad (\text{J}) \quad (3-16)$$

$$Q_k + Q_r = 0,75 Q \quad (\text{J}) \quad (3-17)$$

$Q_w$  – teplo odváděné pocením (J)

$Q_k$  – teplo odváděné konvekcí (J)

$Q_r$  – teplo odváděné radiací (J)

Při tepelné pohodě se člověku odvádí konvekcí a radiací 75 % jeho tepelné produkce.  
[18]

## 4 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda je subjektivní pocit, při němž je zachována tepelná rovnováha za optimálních hodnot fyziologických parametrů (teplota povrchu pokožky a množství tepla odvedené vypařováním).

Závisí na vnějších fyzikálních podmínkách v dané místnosti, teplotě a relativní vlhkosti i druhu činnosti člověka. Např. když člověk, sedí v místnosti, potřebuje mít vyšší teplotu než při fyzické činnosti.

Hranice tepelné pohody se liší u jednotlivých lidí podle jejich otužilosti či zvyku na určitou teplotu (což je dáno klimatickými poměry v oblasti života dané skupiny lidí a jejich způsobem života). Rozhodující vliv má také únava, zdravotní stav a psychický stav jedince i stáří a pohlaví. Čím více je organismus namáhaný, tím více produkuje tepla.

Tepelná rovnováha je dosažena, když okolí odebírá lidskému tělu právě tolik tepla, kolik člověk vyprodukuje. Člověk odevzdává teplo do okolního prostoru vedením,

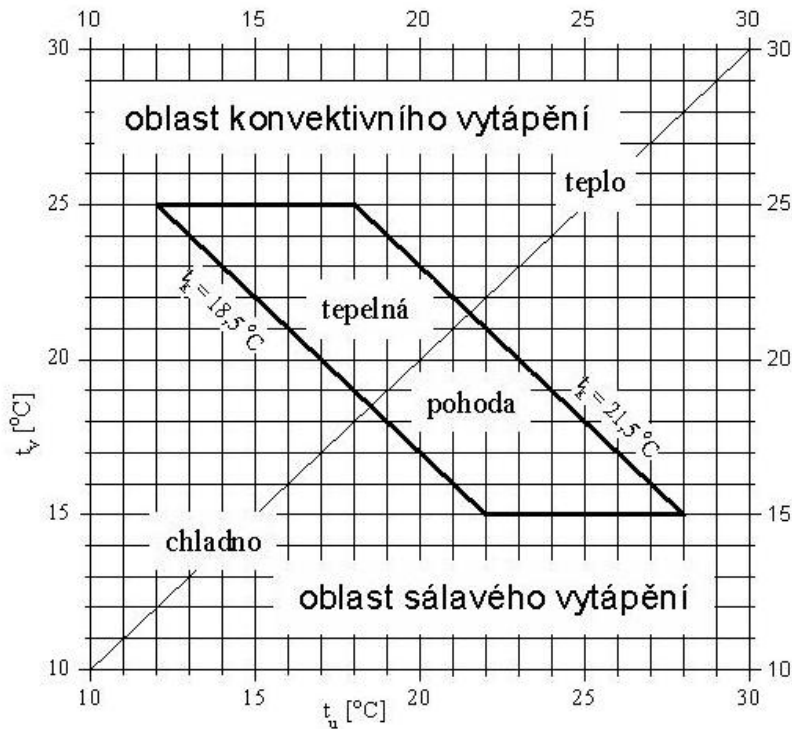
prouděním a sáláním. Kromě toho odevzdává teplo vypařováním potu a dýcháním, představující z velké části latentní teplo. Pro určení hranic tepelné pohody je podstatný stav, ve kterém je dosaženo rovnováhy a dochází v něm pouze k suchému ochlazování (pokožka zůstává suchá, bez kapiček potu). K mokrému ochlazování (tj. k odevzdání přebytečného tepla pocením) dochází při zvýšené teplotě a vlhkosti okolního vzduchu nebo ploch, které ohraničují daný prostor. Tento stav vyvolává pocit horka.

Pokud člověku není příliš velké teplo ani nepocituje chlad, lze říci, že se nachází ve stavu tepelné pohody. V jakémkoliv živém organismu dochází k přeměně chemicky vázané energie na ostatní druhy energie. Jedná se především o mechanickou práci a teplo. Protože účinnost přeměny energie na práci vykonanou lidským organismem je velmi malá, převážná část energie se mění na teplo, které se musí různými způsoby odvést, aby nedošlo k přehřátí organismu. Na intenzitě a způsobu odvodu tohoto tepla závisí, zda se daný jedinec nachází v tepelné pohodě nebo jestli vnímá více chlad nebo více teplo.

Bez ohledu na optimální hranice tepelné pohody je možné říci, že teploty  $t_v$  (teplota vzduchu) a  $t_u$  (teplota okolních ploch) ve vytápěných místnostech budou záviset na ceně tepla a způsobu jeho placení, závisející na cenové politice v dané oblasti. Například ve Švýcarsku a dalších zemích západní Evropy je tato požadovaná hranice tepelné pohody pro většinu lidí nižší než v České republice.

#### **4.1 Určení hranic tepelné pohody**

Určení tepelné pohody podle Cihelky je velmi jednoduché a dostačující pro řešení většiny technických problémů. Je možné použít následující diagram na obr. 4-1. Na vodorovné ose diagramu je nanášena účinná teplota okolních ploch  $t_u$  a na svislé ose teplota vzduchu  $t_v$ . Uprostřed diagramu je znázorněna oblast, ve které dochází k tepelné pohodě. Diagram je rozdělen úhlopříčkou na dvě zóny. U spodní zóny převládá při vytápění přenos tepla zářením. U horní zóny dochází během vytápění převážně k přenosu tepla konvekcí. Na uvedené úhlopříčce je možné vynášet střed teplotu kůže  $t_k$ .

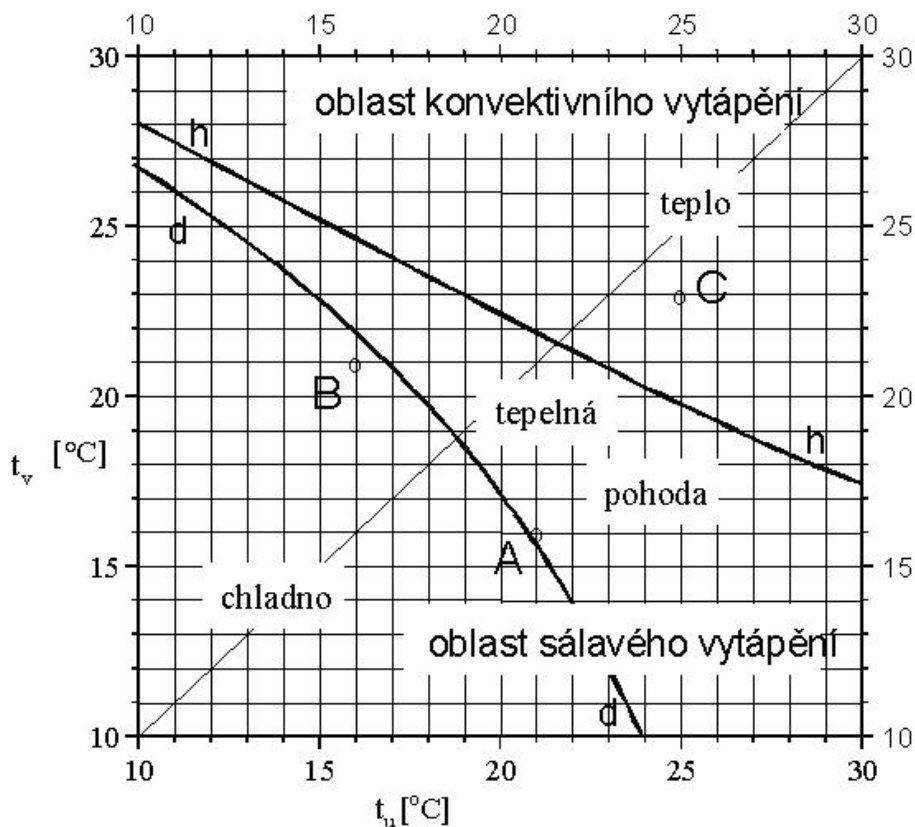


Obr. 4-1. Diagram určování tepelné pohody podle Cihelky

Pro detailnější rozbor a určení tepelné pohody je vhodnější diagram obr. 4-2 sestavený Ralčukem, který vychází z experimentálně zjištěných statisticky zpracovaných poznatků. Diagram je obdobný, jako diagram na obr. 4-1, ale oblast tepelné pohody má jiný tvar.

Je vidět, že v oblasti, kde převažuje sálavá složka přenosu tepla, se zóna tepelného komfortu velmi rozšiřuje. To ukazuje velké přednosti a perspektivu vytápění způsoby, při kterých je co nejvyšší sálavá složka přenosu tepla. Přenos tepla sáláním mezi povrchem lidského těla a okolními plochami místnosti má podstatný vliv na tepelnou pohodu.





Obr. 4-2. Diagram určování tepelné pohody podle Ralčuka

Při vyšším podílu přenosu tepla sáláním, tj. při vyšší účinné teplotě okolních ploch, leží hranice pro tepelný komfort na nižší výsledné teplotě  $t_k$ , než v případě, kdy se účinná teplota okolních ploch nachází v obvyklých hodnotách pro většinu místností ( $t_u = 16$  až  $20$  °C). Přenos tepla sáláním související s účinnou teplotou okolních ploch má podle uvedeného grafu na tepelnou pohodu větší vliv než přenos tepla konvekcí-plynců z teploty vzduchu  $t_v$  v místnosti. Tato skutečnost je ukázána na obr. 4-2 pomocí dvou zobrazených bodů:

- Bod A při účinné teplotě okolních ploch  $t_u = 21$  °C a teplotě vzduchu  $t_v = 16$  °C leží na spodní hranici tepelného komfortu.
- Teplota okolního vzduchu  $t_v = 21$  °C a účinná teplota okolních ploch  $t_u = 16$  °C přísluší bodu B, který leží pod spodní hranicí tepelné pohody. Při pobytu v oblasti, kterou charakterizuje bod B, bude pocíťován chlad.
- Bod C leží nad horní hranicí tepelného komfortu a to při účinné teplotě okolních ploch  $t_u = 25$  °C a teplotě vzduchu  $t_v = 22,5$  °C. Pokles výsledné teploty na hranici tepelného komfortu pro oblast, kde převládá sálavý způsob vytápění, lze usoudit podle sklonu křivky  $d$ , která ohraničuje dolní oblast pro tepelnou pohodu. Velká

plocha v dané oblasti umožňuje snadnější dosažení tepelné pohody, snižuje náročnost na regulaci topného zařízení a příznivě ovlivňuje energetickou náročnost vytápění. [19-30]

## 5 Určení sálavé účinnosti panelu 300W

Při měření jsem postupoval tak, že jsem zavěsil sálavý panel Fénix Ecosun 300 C v hnědé barvě o straně 0,58 x 0,58 x 0,06 m s celkovou aktivní plochou 0,34 m<sup>2</sup>. Příkon tohoto panelu je 300 W a maximální teplota aktivní strany panelu 100 °C. Jedná se o běžný typ panelu, který se používá v domácnostech a kancelářích.

K výpočtu sálavé účinnosti je potřeba nejdříve změřit teplotu jednotlivých stěn panelu, ze kterých je možné vypočítat teplotní součinitel  $\alpha$  ( $\alpha$  je závislé na poloze příslušné stěny) a pak je možné určit tepelné ztráty panelu. K výpočtu tepelných ztrát použiji Newtonův zákon, který staví vyzářenou energii do přímé úměrnosti s rozdílem teploty povrchu (stěny panelu) a teploty okolí, součinitel sdílení tepla prouděním  $\alpha$  a plochy panelu  $S$ .

$$P = \alpha(T - T_a)S \quad (\text{W}) \quad (5-1)$$

$\alpha$  – teplotní součinitel (WK<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>)

$T$  – průměrná teplota příslušné stěny panelu (K)

$T_a$  – teplota okolí (K)

$S$  – plocha příslušné stěny panelu (m<sup>2</sup>)

V této rovnici jsou dvě neznámé proměnné  $\alpha$  a  $T$ . Při ustáleném stavu (teplota panelu se již s časem nemění) jsem změřil na každé straně panelu teplotu. Jednotlivé stěny panelu (aktivní strana, neaktivní strana a 4 vertikální stěny) jsem změřil teplotu na několika místech každé stěny a naměřené hodnoty jsem zprůměroval. Jednotlivé stěny panelu jsem označil  $T_i$ , kde  $i$  je index od 1 do 6. Teplotní součinitel  $\alpha$  je empirická hodnota, která se určí např. podle následujícího vzorce 5-2.

$$\alpha_i = K_i \sqrt[n]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (5-2)$$

$K_i$  – empirický součinitel (-)

$T_i$  – průměrná teplota příslušné stěny panelu (K)

$T_a$  – teplota okolí (K)

Empirická konstanta  $K$  je velmi důležitý součinitel, který je přímo úměrný teplotnímu součiniteli  $\alpha$ . V literatuře se setkáváme s více těmito součiniteli. Tyto součinitele byly určeny empiricky nebo zkušenostmi z praxe.

Vypočtené hodnoty  $\alpha_i$  dosadím zpět do Newtonova zákona 5-1 a dostanu ztráty prouděním jednotlivých stěn panelu.

$$P_i = \alpha_i (T_i - T_a) S_i \quad (\text{W}) \quad (5-3)$$

$P_i$  – ztrát prouděním jednotlivých stěn panelu (W)

$T_i$  – průměrná teplota příslušné stěny panelu (K)

$T_a$  – teplota okolí (K)

$S_i$  – plocha jednotlivých stěn panelu ( $\text{m}^2$ )

Pak jsem tyto vypočtené hodnoty ztrát sečetl podle rovnice 5-4 a dostal jsem celkové ztráty prouděním sálavého panelu. Potom dosazením celkových ztrát prouděním do rovnice 5-5 dostanu celkovou účinnost sálavého panelu.

$$P_{cel} = \sum_i P_i \quad (\text{W}) \quad (5-4)$$

$P_{cel}$  – celkové ztráty prouděním všech stran panelu (W)

$P_i$  – ztrát prouděním jednotlivých stěn panelu (W)

### **Výpočet sálavé účinnosti panelu**

$$\eta_s = \frac{P_{\dot{R}} - \sum P_{cel}}{P_{\dot{R}}} 100 \quad (\%) \quad (5-5)$$

$P_{\dot{R}}$  – příkon panelu (W)

$P$  – součet celkových ztrát prouděním (W) [31-34]

## 6 Měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 300 W

K výpočtu sálavé účinnosti je potřeba nejdříve změřit teplotu jednotlivých stěn panelu bezdotykově pyrometrem a aktivní stěna byla měřena ještě dotykově termočlánkem. Pro snížení chyby odečtu teploty (různé rozmístění tepelného elementu) měřím na 4 stěnách panelu (tab. 6-3 až 6-6) na 3 bodech teplotu a z těchto hodnot vypočítám průměrnou teplotu, kterou zapíši do tab. 6-7. Na spodní (aktivní ploše) a horní ploše měřím na 9 bodech teplotu, protože tyto plochy mají větší povrch (tab. 6-1, 6-2). Také tyto naměřené teploty zprůměrnuji a zapíši je také do tab. 6-7.

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí  $T_a = 20\text{ °C}$

relativní vlhkost  $\Phi = 54\%$

Výška zavěšení panelu 2,40 m.

Tab. 6-1 Dolní (aktivní) strana panelu  $T_1$  naměřené teploty (°C)

98,1	96,4	85,5
96,7	99,5	94,2
91,1	95,9	85,8

Tab. 6-2 Horní strana panelu  $T_2$  naměřené teploty (°C)

40,5	38,5	38,6
37,2	36,5	38,2
39,2	41,4	37,5

Tab. 6-3 Levá strana panelu  $T_3$  naměřené teploty (°C)

43,1
49,9
44,5

Tab. 6-4 Pravá strana panelu  $T_4$  naměřené teploty (°C)

45,7
49,8
42,3

Tab. 6-5 Přední strana panelu  $T_5$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

45,2	50,2	43,2
------	------	------

Tab. 6-6 Zadní strana panelu  $T_6$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

45,3	50,1	47,2
------	------	------

Z naměřených hodnot jsem určil průměrné teploty na každé straně panelu, viz tab. 6-7.

Tab. 6-7 Průměrné teploty z jednotlivých stran panelu ( $^{\circ}\text{C}$ ) a (K)

Strana panelu	Naměřená teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )	Největší záporná tolerance ( $^{\circ}\text{C}$ )	Největší kladná tolerance ( $^{\circ}\text{C}$ )	Naměřená teplota (K)	Největší záporná tolerance (K)	Největší kladná tolerance (K)
$T_1$	94	90	98	367	363	371
$T_2$	39	37	41	312	311	314
$T_3$	46	44	48	319	317	321
$T_4$	46	44	48	319	317	321
$T_5$	46	44	48	319	317	321
$T_6$	48	46	50	321	319	323

Potom vypočítám teplotní součinitel  $\alpha$ .

$$\alpha_i = K_i \sqrt[n]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (6-1)$$

Součinitel  $K_i$  jsem pro výpočet ztrát prouděním zvolil následující:

1. Podle I. Michejeva

u svislých stěn  $\alpha_{i1} \quad 1,55 \cdot \sqrt[3]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (6-2)$

u vodorovné dolů  $\alpha_{i1} \quad 0,87 \cdot \sqrt[4]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (6-3)$

u vodorovné nahoru  $\alpha_{i1} \quad 2 \cdot \sqrt[3]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (6-4)$

[35]

2. Podle J. Brož

u svislých stěn  $\alpha_{i2} \quad 1,59 \cdot \sqrt[3]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (6-5)$

u vodorovné dolů  $\alpha_{i2} \quad 1,11 \cdot \sqrt[3]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (6-6)$

u vodorovné nahoru  $\alpha_{i2} \quad 2,07 \cdot \sqrt[3]{(T_i - T_a)} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (6-7)$

[36-44]

$T_i$  - zprůměrované teploty jednotlivých stran  $T_1$  až  $T_6$  (°C)

$T_a$ - teplota okolí viz počáteční podmínky měření, tj. 20 °C

Vypočtené teplotní součinitele podle jednotlivých stran panelu podle rovnice 6-1 jsem zapsal do tab. 6-8.

Tab. 6-8 Výpočet teplotního součinitele  $\alpha$  podle strany panelu

Strana panelu	Naměřená hodnota $\alpha_{i1}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Záporná tolerance $\alpha_{i1z}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Kladná tolerance $\alpha_{i1k}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Naměřená hodnota $\alpha_{i2}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Záporná Tolerance $\alpha_{i2z}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Kladná tolerance $\alpha_{i2k}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$T_1$	3	3	3	5	5	5
$T_2$	5	5	5	6	5	6
$T_3$	5	4	5	5	5	5
$T_4$	5	4	5	5	5	5
$T_5$	5	4	5	5	5	5
$T_6$	5	5	5	5	5	5

Určením teplotního součinitele  $\alpha$  mohu vypočítat tepelné ztráty prouděním jednotlivých stěn panelu  $P_1$  až  $P_6$  podle vzorce 6-2 až 6-7. Výsledky jsem zapsal do tab. 6-10 a 6-12. Protože se jedná o panel o stranách 0,58 x 0,58 x 0,06 m, má aktivní a horní stěna panelu  $S = 0,34$  m<sup>2</sup> a ostatní stěny panelu  $S = 0,03$  m<sup>2</sup>.

$$P_i = \alpha_i(T_i - T_a)S_i \quad (\text{W}) \quad (6-8)$$

Tab. 6-9 Výpočet ztrát prouděním  $P_i$  podle strany panelu

Strana panelu	Naměřená hodnota $P_{i1}$ (W)	Záporná tolerance $P_{i1z}$ (W)	Kladná tolerance $P_{i1k}$ (W)	Naměřená hodnota $P_{i2}$ (W)	Záporná tolerance $P_{i2z}$ (W)	Kladná tolerance $P_{i2k}$ (W)
$T_1$	64	59	69	117	108	127
$T_2$	34	29	40	36	30	42
$T_3$	4	3	4	4	3	4
$T_4$	4	3	4	4	3	4
$T_5$	4	3	4	4	3	4
$T_6$	4	3	4	4	4	5

Celkové tepelné ztráty prouděním sálavého panelu vypočítám podle rovnice 6-9.

$$P_{cel} = \sum_i P_i \quad (\text{W}) \quad (6-9)$$

Celkové ztráty prouděním vyšly 113 W, které jsem určil pomocí rovnice 6-9. Teď mohu vypočítat sálavou účinnost panelu podle vzorce 6-10.

$$\eta_s = \frac{P_{\dot{R}} - \sum P_{cel}}{P_{\dot{R}}} 100 \quad (\%) \quad (6-10)$$

Všechny dílčí výsledky jsou zaznamenány v tab. 6-10 a 6-12.

Tab. 6-10 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 2,40 m podle

I. Michejeva

	Stěny panelu	$K_{il}$ (-)	$S_{il}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{il}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	$P_{il}$ (m <sup>2</sup> )	$T_{il}$ (°C)	$T_{il}$ (K)
$T_1$	aktivní stěna	0,87	0,34	3	64	94	367
$T_2$	neaktivní stěna	2	0,34	5	34	39	312
$T_3$	levá stěna	1,55	0,03	5	4	46	319
$T_4$	pravá stěna	1,55	0,03	5	4	46	319
$T_5$	přední stěna	1,55	0,03	5	4	46	319
$T_6$	zadní stěna	1,55	0,03	5	4	48	321

Tab. 6-11 Celkové ztráty a sálavá účinnost podle I. Michejeva

	Naměřená hodnota	Záporná tolerance	Kladná tolerance
$P_{cel}$ (W)	113	102	126
Sálavá účinnost $\eta_s$ (%)	62	66	58

Tab. 6-12 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 2,40 m podle

J. Brože

	Stěny panelu	$K_{i2}$ (-)	$S_{i2}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{i2}$ (-)	$P_{i2}$ (m <sup>2</sup> )	$T_{i2}$ (°C)	$T_{i2}$ (K)
$T_1$	aktivní stěna	1,11	0,34	5	117	94	367
$T_2$	neaktivní stěna	2,07	0,34	6	36	39	312
$T_3$	levá stěna	1,59	0,03	5	4	46	319
$T_4$	pravá stěna	1,59	0,03	5	4	46	319
$T_5$	přední stěna	1,59	0,03	5	4	46	319
$T_6$	zadní stěna	1,59	0,03	5	4	48	321

Tab. 6-13 Celkové ztráty a sálavá účinnost podle J. Brože

	Naměřená hodnota	Záporná tolerance	Kladná tolerance
$P_{cel}$ (W)	168	151	186
Sálavá účinnost $\eta_s$ (%)	44	50	38

Stanovení celkové chyby sálavé účinnosti panelu

$$U_{ch} = \sqrt{U_{ch1}^2 + U_{ch2}^2 + U_{ch3}^2 + U_{ch4}^2} \quad (\%) \quad (6-11)$$

$U_{ch1}$  – chyba  $\pm 10$  % určení teplotního součinitele  $\alpha$  viz kap. 9

$U_{ch2}$  – chyba  $\pm 4$  % určení teploty stěn sálavého panelu pomocí pyrometru

$U_{ch3}$  – chyba  $\pm 4$  % udaná výrobcem při určení teploty okolí pomocí pyrometru

$U_{ch4}$  – chyba  $\pm 1$  % udaná výrobcem určení délky stěn

$U_{ch5}$  – chyba  $\pm 2$  % udaná výrobcem určení příkonu sálavého panelem

Ve výpočtech jsem použil největší chybu, která může při měření nastat. Výrobce pyrometru udává chybu  $\pm 4$  %. Z měřených teplot stěn sálavého panelu jsem použil kladnou největší chybu  $+4$  % a pro určení teploty okolí jsem počítal s chybou  $-4$  % viz druhý sloupec v tab. 6-8 pro výpočet teplotního součinitele  $\alpha$  a v tab. 6-9 pro výpočet celkových ztrát. V tabulce 6.11 jsou vypočtené hodnoty podle teplotního součinitele  $\alpha$  podle I. Michejeva a v tab. 6-13 podle J. Brože. Z výsledků je vidět, že rozdíl sálavé účinnosti je 8 % podle I. Michejeva a podle J. Brože 12 %. Protože s výškou se sálavá účinnost podle níže uvedeného měření neliší výrazně, lze očekávat stejné hodnoty i pro ostatní měřené výšky zavěšení panelu. Celková sálavá účinnost je stanovena s chybou  $\pm 12$  %.

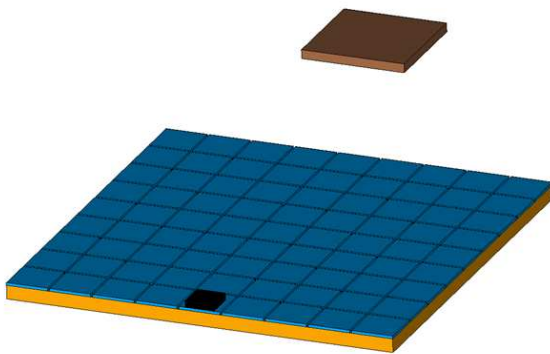
Výsledky měření sálavé účinnosti pro výšku zavěšení panelu 1,6 m a 0,65 m jsou uvedeny v příloze 1 a 2. Sálavá účinnost sálavého panelu o příkonu 300 W podle I. Michejeva pro výšku zavěšení 2,40 m vyšla 62 %, pro výšku zavěšení 1,60 m vyšla 61 % a pro výšku 0,65 m 62 %. Průměrná sálavá účinnost vyšla tedy 62 %. Ztráty pro výšku panelu 2,40 m byly 113 W, pro výšku 1,60 m 117 W a instalaci panelu ve výšce 0,65 m 115 W. Sálavá účinnost podle J. Brože pro výšku zavěšení panelu 2,4 m vyšla 44 %, pro výšku zavěšení 1,60 m vyšla 43 % a pro výšku 0,65 m 44 %. Průměrná sálavá účinnost vyšla tedy 44 %. Ztráty pro výšku panelu 2,40 m byly 168 W, pro výšku 1,60 m 170 W a ve výšce 0,65 m 168 W. Z vypočítané sálavé účinnosti panelu plyne, že



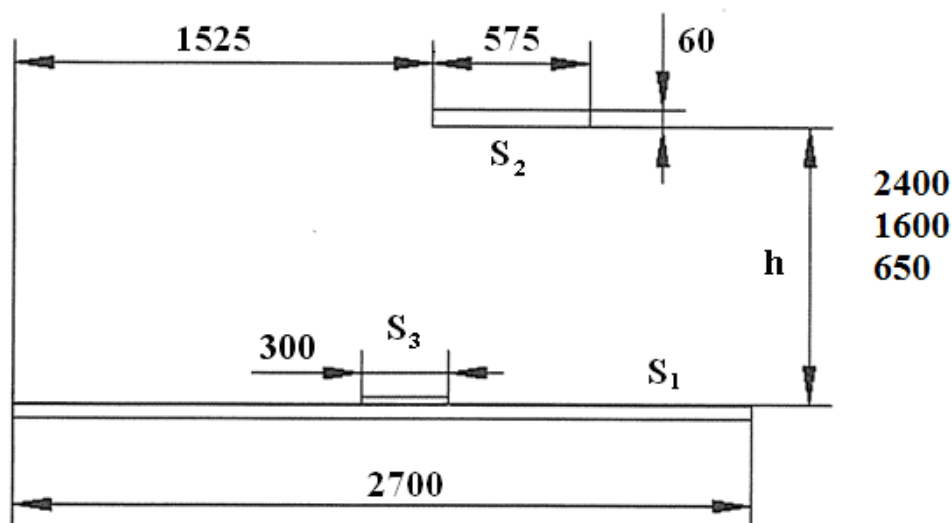
největší vliv na sálavou účinnost má teplotní součinitel  $\alpha$ . Výška zavěšení panelu má malý vliv na sálavou účinnost. Zvýšit sálavou účinnost je možné zlepšením izolace horní stěny a postraních stěn panelu. Ztráty prouděním lze zmenšit hrubším povrchem horní stěny a bočních stěn.

## 7 Stanovení měrného sálavého výkonu pro 300 W panel

V předchozí kapitole jsem si určil sálavou účinnost elektrického sálavého panelu a celkové ztráty prouděním. Teď mohu pokračovat v určení měrného sálavého výkonu. Měření jsem provedl pro tři výšky zavěšení sálavého panelu pro 2,40 m, 1,60 m a 0,65 m. Celková osálaná plocha pod panelem  $S_1 = 7,30 \text{ m}^2$ , velikost aktivní plochy panelu  $S_2 = 0,33 \text{ m}^2$  a zkušební vzorek má plochu  $S_3 = 0,09 \text{ m}^2$ . Vzájemnou pozici těchto povrchů ukazuje obr. 7-1 a obr. 7-2. Zadní strana panelu je posunuta 0,3 m od zadní strany osálané plochy směrem k jejímu středu.



Obr. 7-1 Zobrazení měření ve 3D



Obr. 7-2 Popis a rozměry měřeného panelu pro 300 W

Pro zjištění měrného sálavého výkonu budu vycházet ze vztahu 7-1. Dále jsem vzal v úvahu, že sálavý panel není možné umístit doprostřed měřené plochy s ohledem na prostorové uspořádání laboratoře a měřená plocha několikrát převyšuje rozměry sálavého panelu. Proto jsem použil následující vzorec.

$$Q = \varepsilon_1 \varepsilon_2 c_\varepsilon \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dS_1 dS_2 \quad (\text{W}) \quad (7-1)$$

$\varepsilon_1$  – emisivita osálané plochy  $S_1$  (-)

$\varepsilon_2$  – emisivita sálající plochy  $S_2$  (-)

$c_\varepsilon$  – součinitel sálání dokonale černého tělesa ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ),  $c_\varepsilon = \sigma \cdot 10^8 = 5,67 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

$T_1$  – povrchová teplota osálané plochy  $S_1$  (K)

$T_2$  – povrchová teplota sálající plochy  $S_2$  (K)

$T_b$  – povrchová teplota jednotlivých osálaných ploch  $S_b$  (K)

$S_b$  – velikost jednotlivých bodů ( $b$  je index od 1 do 81) osálané plochy ( $\text{m}^2$ )

$S_2$  – velikost sálající plochy ( $\text{m}^2$ )

$\varphi_1$  – úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy  $S_1$  ( $^\circ$ )

$\varphi_2$  – úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy  $S_2$  ( $^\circ$ )

$r$  – vzdálenost bodu v osálané rovině od panelu (m)

kde  $T_2$  je teplota sálavého panelu a  $T_1$  je teplota měřeného povrchu. Úhly  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$  jsou úhly mezi plochou měřeného povrchu  $dS_1$  a plochou sálavého panelu  $dS_2$ . Vzdálenost těchto dvou ploch určuje  $r$ . Emisivitu  $\varepsilon_1$  a  $\varepsilon_2$  volím rovnu 1, protože jde o povrchy tmavé a drsné. Nyní potřebuji upravit tento vzorec na diskrétní podobu a případ, kdy jsou sálavý panel a měřená plocha rovnoběžné viz níže.

$$Q_b = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} c_\varepsilon \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 \right] \frac{\cos^2 \varphi_b}{r_b^2} S_2 S_b \quad (\text{W}) \quad (7-2)$$

$\varepsilon_1$  – emisivita osálané plochy  $\varepsilon_1 = 1$  (-)

$\varepsilon_2$  – emisivita sálající plochy  $\varepsilon_2 = 1$  (-)

$T_b$  – povrchová teplota jednotlivých osálaných ploch  $S_b$  (K)

$\varphi_b$  – úhel mezi jednotlivým bodem osálané plochy  $S_1$  a zdrojem (panelem) ( $^\circ$ )

$r_b$  – vzdálenost bodu v osálané rovině od zdroje (panelu) (m)

Připomínám, že v tomto případě uvažuji vzdálenost  $r$  od středu sálavého panelu ke středu měřeného povrchu (jednotlivých částí měřeného povrchu  $S_b = 0,09 \text{ m}^2$ ). Pro určení vzdálenosti jednotlivých bodů měřené plochy od zdroje sálání (panelu) je potřeba pro můj případ dosadit do rovnice 7-2 vzorec 7-3.

$$\cos \varphi_b = \frac{h}{r_b} = \frac{h}{\left( (x_z - x_b)^2 + (y_z - y_b)^2 + h^2 \right)^{1/2}} \quad (-) \quad (7-3)$$

Určím  $d_b$  z obr. 7-3, abych určil polohu jednotlivých bodů osálané plochy od sálavého panelu.

$$d_b = \left( (x_z - x_b)^2 + (y_z - y_b)^2 \right)^{1/2} \quad (m) \quad (7-4)$$

$h$  – výška zavěšení panelu (m)

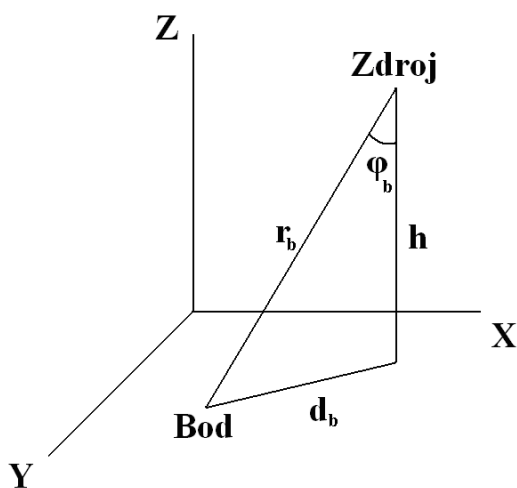
$x_z - x$  souřadnice zdroje (panelu) (m) tj.  $x_z = 1,81 \text{ m}$

$x_b - x$  souřadnice jednotlivého bodu osálané plochy (m)

$y_z - y$  souřadnice zdroje (panelu) (m) tj.  $y_z = 0,59 \text{ m}$

$y_b - y$  souřadnice jednotlivého bodu osálané plochy (m)

$d_b$  – odvěsna pravoúhlého trojúhelníku (m)



Obr. 7-3 Grafické znázornění výpočtu jednotlivých bodů osálané plochy

Pak dosazení vzorce 7-3 do rovnice 7-2 dostanu rovnicí 7-5.

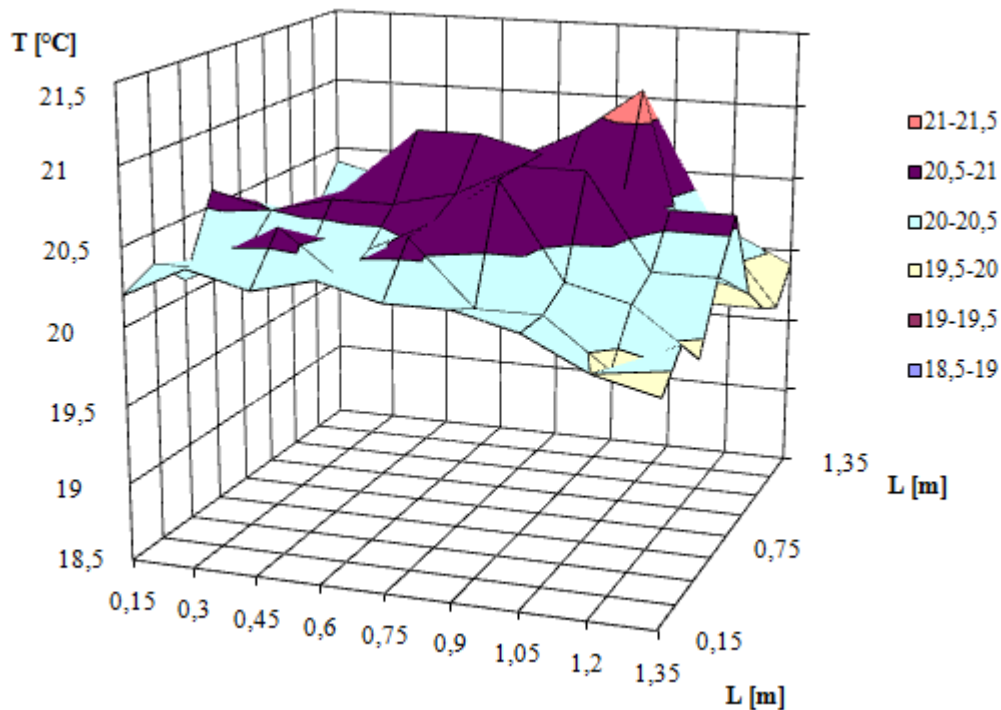
$$Q_b = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} c \varepsilon \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 \right] \frac{h^2}{\left( (x_z - x_b)^2 + (y_z - y_b)^2 + h^2 \right)^2} S_2 S_b \quad (W) \quad (7-5)$$

Naměřené teploty v jednotlivých bodech osálané plochy jsou uvedeny v tab. 7-1, kde jsou uvedeny i souřadnice jednotlivých bodů. Na obr. 7-4 je grafické vyjádření teplot jednotlivých bodů pod panelem. Střed panelu je dán souřadnicemi  $x_z = 1,81$  a  $y_z = 0,59$ . V tab. 7-1 jsou uvedeny naměřené teploty. Vypočtené hodnoty dopadajícího sálavého výkonu  $Q_b$  u jednotlivých bodů osálané plochy jsou zobrazeny v tab. 7-2.

Tab. 7-1 Naměřené teploty pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 2,4 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	20,4	20,3	20,5	20,5	20,6	20,7	20,2	20,1	19,9
0,3	20,1	20,2	20,3	20,3	20,3	20,5	20,6	20,2	19,7
0,45	20,2	20,3	20,5	20,6	20,7	20,9	21,2	19,8	19,8
0,6	20,2	20,3	20,6	20,7	20,6	20,6	20,6	20,2	20
0,75	20,2	20,4	20,6	21	21	20,9	20,6	20,6	20,6
0,9	20,6	20,5	20,6	20,6	20,7	20,9	20,9	20,3	20,3
1,05	20,1	20,3	20,3	20,4	20,6	20,9	20,3	20,2	19,9
1,2	20,3	20,3	20,6	20,3	20,6	20,2	20,2	19,9	20,1
1,35	20,2	20,4	20,3	20,4	20,3	20,3	20,2	20	19,9

Průměrná teplota pod panelem činí 20 °C.



Obr. 7-4 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 2,40 m od panelu

Tab. 7-2 Vypočtené sálavé výkony pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 2,40 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	0,40	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68	0,75	0,82	0,88
0,3	0,40	0,45	0,50	0,56	0,63	0,69	0,76	0,82	0,88
0,45	0,40	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68	0,75	0,82	0,88
0,6	0,39	0,44	0,49	0,55	0,61	0,67	0,74	0,80	0,86
0,75	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59	0,65	0,71	0,77	0,82
0,9	0,37	0,41	0,46	0,51	0,57	0,62	0,68	0,74	0,79
1,05	0,35	0,40	0,44	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69	0,74
1,2	0,34	0,38	0,42	0,46	0,51	0,56	0,60	0,65	0,69
1,35	0,32	0,35	0,39	0,43	0,47	0,52	0,56	0,60	0,64

## 7.1 Výpočet celkového sálavého výkonu

$$Q_c = \sum_{b=1}^{81} Q_{bi} \quad (\text{W}) \quad (7-6)$$

$Q_{bi}$  – sálavý výkon jednotlivých bodů na osálané ploše (W)

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 47 W.

## 7.2 Výpočet měrného sálavého výkonu

$$Q_{sm} = \frac{Q_c}{S_1} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (7-7)$$

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu  $S_1 = 7,3 \text{ m}^2$  je  $6 \text{ Wm}^{-2}$ .

Pro další dvě měření jsem postupoval obdobným způsobem viz příloha 3 a 4.

Tab. 7-3 Přehled vypočtených hodnot pro všechny výšky zavěšení panelu

Výška $h$ (m)	Průměrná teplota $T_p$ (°C)	Celkový sálavý výkon $Q_c$ (W)	Měrný sálavý výkon $Q_{sm}$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )
2,40	20	47	6
1,60	22	118	16
0,65	24	184	25

Pro jednotlivé výšky zavěšení panelů vyšel největší měrný sálavý výkon při výšce zavěšení panelu 0,65 m a to  $25 \text{ Wm}^{-2}$ . Sálavá účinnost pro výšku zavěšení 0,65 m vyšla pro panel 300 W 62 %.

## 8 Určení sálavé účinnosti u panelu 700 W

Při měření jsem postupoval tak, že jsem zavěsil sálavý panel Fénix Ecosun 700 C v hnědé barvě o straně 1,2 x 0,6 x 0,05 m s celkovou aktivní plochou 0,72 m<sup>2</sup>. Příkon tohoto panelu je 700 W a maximální teplota aktivní strany panelu okolo 100 °C. Jedná se o běžný typ panelu, který se používá v domácnostech. Výpočet je obdobný jako při výpočtu u panelu 300 W.

### 8.1 Měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 700 W

K výpočtu sálavé účinnosti jsem přistupoval stejně jako u 300 W sálavého panelu.

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí  $T_{07} = 20 \text{ °C}$

relativní vlhkost  $\Phi_7 = 75 \text{ %}$

Výška zavěšení panelu 2,40 m.

Tab.8-1 Dolní (aktivní) strana panelu  $T_{17}$  naměřené teploty (°C)

93,9	97,9	92,7
95,5	101,2	94,8
93,7	98,9	93,2

Tab. 8-2 Horní strana panelu  $T_{27}$  naměřené teploty (°C)

47,6	46,8	43,3
42,7	42,2	42,3
45,7	45,1	44,4

Tab. 8-3 Levá strana panelu  $T_{37}$  naměřené teploty (°C)

61,5
64,6
59,1

Tab. 8-4 Pravá strana panelu  $T_{47}$  naměřené teploty (°C)

61,5
64,6
59,1

Tab. 8-5 Přední strana panelu  $T_{57}$  naměřené teploty (°C)

71	70,3	67,2
----	------	------

Tab. 8-6 Zadní strana panelu  $T_{67}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

66,3	66,1	65,5
------	------	------

Z naměřených hodnot jsem určil průměrné teploty na každé straně panelu, viz tab. 8-7.

Tab. 8-7 Průměrné teploty z jednotlivých stran panelu ( $^{\circ}\text{C}$ ) a (K)

Strana panelu	( $^{\circ}\text{C}$ )	(K)
$T_{17}$	96	369
$T_{27}$	45	318
$T_{37}$	62	335
$T_{47}$	62	335
$T_{57}$	70	343
$T_{67}$	66	339

Tab. 8-8 Výpočet teplotního součinitele  $\alpha$  podle strany panelu

Strana panelu	$\alpha_{i17} (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$	$\alpha_{i27} (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$
$T_{17}$	3	5
$T_{27}$	6	6
$T_{37}$	5	5
$T_{47}$	5	5
$T_{57}$	6	6
$T_{67}$	5	6

Tab. 8-9 Výpočet ztrát prouděním  $P_i$  podle strany panelu

Strana panelu	$P_{i17} (\text{W})$	$P_{i27} (\text{W})$
$T_{17}$	140	253
$T_{27}$	101	105
$T_{37}$	7	7
$T_{47}$	7	7
$T_{57}$	17	17
$T_{67}$	15	16

Tab. 8-10 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m podle

I. Michejeva

	Stěny panelu	$K_{i17} (-)$	$S_{i17} (m^2)$	$\alpha_{i17} (Wm^{-2}K^{-1})$	$P_{i17} (m^2)$	$T_{i17} (°C)$	$T_{i17} (K)$
$T_{17}$	aktivní stěna	0,87	0,72	3	140	96	369
$T_{27}$	neaktivní stěna	2	0,72	6	101	44	318
$T_{37}$	levá stěna	1,55	0,03	5	7	62	335
$T_{47}$	pravá stěna	1,55	0,03	5	7	62	335
$T_{57}$	přední stěna	1,55	0,06	6	17	70	343
$T_{67}$	zadní stěna	1,55	0,06	5	15	66	339

Celkové ztráty prouděním 287 W

Sálavá účinnost panelu 59 %

Teplota naměřená termočlánkem 97 °C

Tab. 8-11 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m podle

J. Brože

	Stěny panelu	$K_{i27} (-)$	$S_{i27} (m^2)$	$\alpha_{i27} (Wm^{-2}K^{-1})$	$P_{i27} (m^2)$	$T_{i27} (°C)$	$T_{i27} (K)$
$T_{17}$	aktivní stěna	1,11	0,72	5	253	96	369
$T_{27}$	neaktivní stěna	2,07	0,72	6	105	44	318
$T_{37}$	levá stěna	1,59	0,03	5	7	62	335
$T_{47}$	pravá stěna	1,59	0,03	5	7	62	335
$T_{57}$	přední stěna	1,59	0,06	6	17	70	343
$T_{67}$	zadní stěna	1,59	0,06	6	16	66	339

Celkové ztráty prouděním 404 W

Sálavá účinnost panelu 42 %

Teplota naměřená termočlánkem 97 °C

Výsledky měření pro výšku 1,6 m jsou uvedeny v příloze 5 a pro výšku zavěšení 0,65 m v příloze 6. Sálavá účinnost sálavého panelu o příkonu 700 W podle I. Michejeva pro výšku zavěšení 2,40 m vyšla 59 %, pro výšku zavěšení 1,60 m vyšla 60 % a pro výšku 0,65 m 61 %. Průměrná sálavá účinnost vyšla tedy 60 %. Ztráty pro výšku panelu 2,40 m byly 287 W, pro výšku 1,60 m 283 W a instalaci panelu ve výšce 0,65 m 274 W. Sálavá účinnost podle J. Brože pro výšku zavěšení panelu 2,4 m vyšla 42 %, pro výšku zavěšení 1,60 m vyšla 43 % a pro výšku 0,65 m 44 %. Průměrná sálavá účinnost vyšla



tedy 43 %. Ztráty pro výšku panelu 2,40 m byly 404 W, pro výšku 1,60 m 401 W a ve výšce 0,65 m 395 W. Z vypočítané sálavé účinnosti panelu plyne, že největší vliv na sálavou účinnost má teplotní součinitel  $\alpha$ . Výška zavěšení panelu má malý vliv na sálavou účinnost. Zvýšit sálavou účinnost je možné zlepšením izolace horní stěny a postraních stěn panelu. Ztráty prouděním lze zmenšit hrubším povrchem horní stěny a bočních stěn.

## 9 Výpočet součinitele přestupu tepla $\alpha$ pomocí Grashofova čísla

Pomocí Grashofova čísla, Prantlova čísla a Nusultona čísla určím výpočtem součinitel přestupu tepla. Z rovnice 9-1 určím Grashofovo číslo, protože v mém případě se jedná o samovolnou (přirozenou) konvekci. Je třeba ještě zavést tzv. střední teplotu mezní vrstvy. Všechny látkové vlastnosti jsou uvažovány při této teplotě viz 9-2. Rovnice 9-3 je rozdíl teplot pro výpočet Grashofova čísla.

Ze vztahu 9-4 určíme pomocí Grashofova čísla a Prantlova čísla Nusultovo číslo. Ze vztahu 9-5 určíme teplotní součinitel  $\alpha_{char}$ .

$$G_{rchar} = \frac{g_{char} d_{char}^3 \Delta t_{char} \beta_{char}}{\nu_{char}^2} \quad (-) \quad (9-1)$$

$g_{char}$  – gravitační zrychlení,  $g = 9,81(\text{ms}^{-2})$

$d_{char}$  – charakteristický rozměr (m)

$t_{schar}$  – teplota stěny ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{achar}$  – teplota okolí ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\beta_{char}$  – koeficient objemové zoztažnosti (-)

$\nu_{char}$  – kinematická viskozita ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )

Je třeba ještě zavést tzv. střední teplotu mezní vrstvy. Všechny látkové vlastnosti jsou uvažovány při této teplotě viz 9-2.

$$T_{mez} = \frac{t_{schar} + t_{achar}}{2} \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (9-2)$$

$$\Delta t_{char} = (t_{schar} - t_{achar}) \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (9-3)$$

$$Nu_{char} = 0,135 (G_{rchar} P_{rchar})^{\frac{1}{3}} \quad (-) \quad (9-4)$$

$P_{rchar}$  – Prantlovo číslo, zde 0,73 (-)

$$\alpha_{char} = \frac{Nu_{char} \lambda_{char}}{d_{char}} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (9-5)$$

$\alpha_{char}$  – teplotní součinitel ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

$\lambda_{char}$  – součinitel tepelné vodivosti ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

V interaktivním rozhraní jsou implementovány následující kritériální vztahy:

$$Nu_{char} = 1,18 (G_{rchar} P_{rchar})^{\frac{1}{8}} \text{ pro } 10^{-3} \leq G_{rchar} P_{rchar} < 500 \quad (-) \quad (9-6)$$

$$Nu_{char} = 0,54 (G_{rchar} P_{rchar})^{\frac{1}{4}} \text{ pro } 500 \leq G_{rchar} P_{rchar} < 2 \cdot 10^7 \quad (-) \quad (9-7)$$

$$Nu_{char} = 0,135 (G_{rchar} P_{rchar})^{\frac{1}{3}} \text{ pro } 2 \cdot 10^7 \leq G_{rchar} P_{rchar} < 10^{13} \quad (-) \quad (9-8)$$

V oblasti kritériálních vztahů viz rovnice 9-8 je součinitel přestupu tepla nezávislý na charakteristickém rozměru tělesa, tím se zjednodušeje výpočet. [45-46]

Tab. 9-1 Výpočet Grashofova čísla pro panel 300 W a pro výšku 0,65 m

	Stěny panelu	$T_{schar}$ (°C)	$T_{achar}$ (°C)	$T_{mez}$ (°C)	$d_{char}$ (m)
$T_1$	aktivní stěna	98	20	59	0,56
$T_2$	neaktivní stěna	42	20	31	0,56
$T_3$	levá stěna	57	20	39	0,56
$T_4$	pravá stěna	59	20	40	0,56
$T_5$	přední stěna	64	20	42	0,56
$T_6$	zadní stěna	64	20	42	0,56

Tab. 9-2 Výpočet Grashofova čísla pro panel 300 W a pro výšku 0,65 m

	Stěny panelu	$v_{char}$ ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )	$\lambda_{char}$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	$G_{rchar}$ (-)	$Nu_{char}$ (-)	$\alpha_{char}$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
$T_1$	aktivní stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,028	$1 \times 10^9$	127	6
$T_2$	neaktivní stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,026	$4 \times 10^8$	93	4
$T_3$	levá stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,026	$6 \times 10^8$	106	5
$T_4$	pravá stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,027	$6 \times 10^8$	106	5
$T_5$	přední stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,027	$7 \times 10^8$	110	5
$T_6$	zadní stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,027	$7 \times 10^8$	110	5

Tab. 9-3 Výpočet Grashofova čísla pro panel 700 W a pro výšku 0,65 m

	Stěny panelu	$T_{schar}$ (°C)	$T_{achar}$ (°C)	$T_{mez}$ (°C)	$d_{char}$ (m)
$T_1$	aktivní stěna	98	20	59	1,2
$T_2$	neaktivní stěna	42	20	31	1,2
$T_3$	levá stěna	57	20	39	0,6
$T_4$	pravá stěna	59	20	40	0,6
$T_5$	přední stěna	63	20	42	1,2
$T_6$	zadní stěna	64	20	42	1,2

Tab. 9-4 Výpočet Grashofova čísla pro panel 700 W a pro výšku 0,65 m

	Stěny panelu	$v_{char}$ (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	$\lambda_{char}$ (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$G_{rchar}$ (-)	$N_{uchar}$ (-)	$\alpha_{char}$ (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
$T_1$	aktivní stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,028	$8 \times 10^9$	127	6
$T_2$	neaktivní stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,026	$2 \times 10^9$	93	4
$T_3$	levá stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,026	$5 \times 10^8$	106	5
$T_4$	pravá stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,027	$5 \times 10^8$	106	5
$T_5$	přední stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,027	$5 \times 10^9$	110	5
$T_6$	zadní stěna	$2 \times 10^{-5}$	0,026	$5 \times 10^9$	110	5

Vypočtený součinitel přestupu tepla  $\alpha_{char}$  pomocí Grashofova čísla pro neomezený prostor pro panely o výkonu 300 W a 700 W a výšku zavěšení sálavých panelů 0,65 m viz tab. 9-1 až 9-4, se shodují podle výpočtu I. Michejeva viz přílohy 2 a 6 pro levou, pravou, přední a zadní stěnu panelu. Liší se pouze  $\alpha_{char}$  pro aktivní stěnu o 50 % a neaktivní stěnu panelu o 33 %. Podle výpočtu J. Brože viz přílohy 2 a 6 se shoduje  $\alpha_{char}$  jen pro boční stěny panelu. O 17 % se liší přední, zadní a aktivní stěna. Pro neaktivní stěnu se liší  $\alpha_{char}$  o 33%. Vybral jsem pro výpočet jednu výšku, protože sálavá účinnost vyšla u měřených výšek téměř identická. Rozdílné  $\alpha_{char}$  u jednotlivých stěn jsou dány teplotou stěny panelu. Z výsledku je zřejmé, že výpočet  $\alpha_{char}$  pomocí kritériálních rovnic je odlišné podle použité literatury. Autoři používají rovnice, které vznikly empirickými zkušenostmi a odvozené rovnice počítají pro omezený prostor. Výpočet pomocí kritériálních rovnic zjednoduší daný problém, který je pak snadněji řešitelný. Při výpočtu pomocí kritériálních rovnic se chyba výsledku pohybuje okolo  $\pm 10$  %.

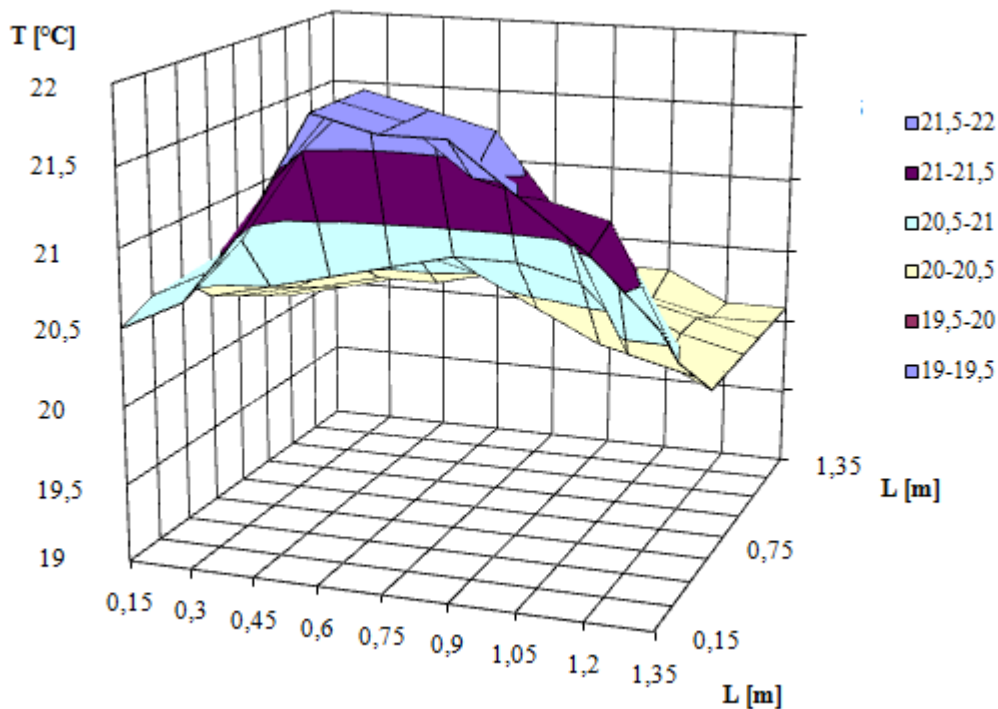
## 10 Stanovení měrného sálavého výkonu u panelu 700 W

V předchozí kapitole jsem si určit sálavou účinnost elektrického sálavého panelu a celkové ztráty prouděním. Postup je analogický jako při určení měrného sálavého panelu o příkonu 300 W.

Tab. 10-1 Naměřené teploty pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 2,40 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	20,1	20,1	20,1	20,2	20,3	20,4	20,6	20,6	20,5
0,3	20,2	20,2	20,2	20,3	20,4	20,5	20,9	20,8	20,7
0,45	20,3	20,3	20,3	20,4	20,6	20,6	21,5	21,4	21,2
0,6	20,4	20,4	20,4	20,4	20,7	20,7	21,9	21,9	21,9
0,75	20,4	20,4	20,5	20,5	20,6	20,8	21,8	21,8	21,8
0,9	20,3	20,3	20,4	20,5	20,4	20,8	21,7	21,5	21,8
1,05	20,3	20,2	20,3	20,4	20,2	20,7	21,2	21,4	21,5
1,2	20,1	20,1	20,2	20,2	20,1	20,3	20,4	21,3	21,2
1,35	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,3	20,5	20,8

Průměrná teplota pod panelem činí 21 °C.



Obr. 10-1 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 2,40 m od panelu

Tab. 10-2 Vypočtené sálavé výkony pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 2,40 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	2,60	2,65	2,70	2,76	2,82	2,89	2,95	3,01	3,07
0,3	2,60	2,65	2,70	2,76	2,83	2,89	2,95	3,02	3,08
0,45	2,60	2,65	2,70	2,76	2,82	2,89	2,94	3,01	3,07
0,6	2,59	2,64	2,69	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,04
0,75	2,58	2,63	2,68	2,73	2,79	2,85	2,90	2,96	3,01
0,9	2,57	2,61	2,66	2,71	2,77	2,82	2,87	2,93	2,98
1,05	2,55	2,60	2,64	2,69	2,74	2,79	2,84	2,89	2,93
1,2	2,54	2,58	2,62	2,66	2,71	2,76	2,80	2,84	2,88
1,35	2,52	2,55	2,59	2,63	2,67	2,72	2,76	2,80	2,83

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 225 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu  $S_l$  je  $31 \text{ Wm}^{-2}$ .

Tab. 10-3 Přehled vypočtených hodnot pro všechny výšky zavěšení panelu 300 W i 700 W

Výška $h$ (m)	Průměrná teplota $T_p$ (°C)	Celkový sálavý výkon $Q_c$ (W)	Měrný sálavý výkon $Q_{sm}$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )
2,40	20	47	6
1,60	22	118	16
0,65	24	184	25
700 W			
Výška $h$ (m)	Průměrná teplota $T_p$ (°C)	Celkový sálavý výkon $Q_c$ (W)	Měrný sálavý výkon $Q_{sm}$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )
2,40	21	225	31
1,60	25	322	44
0,65	29	412	56

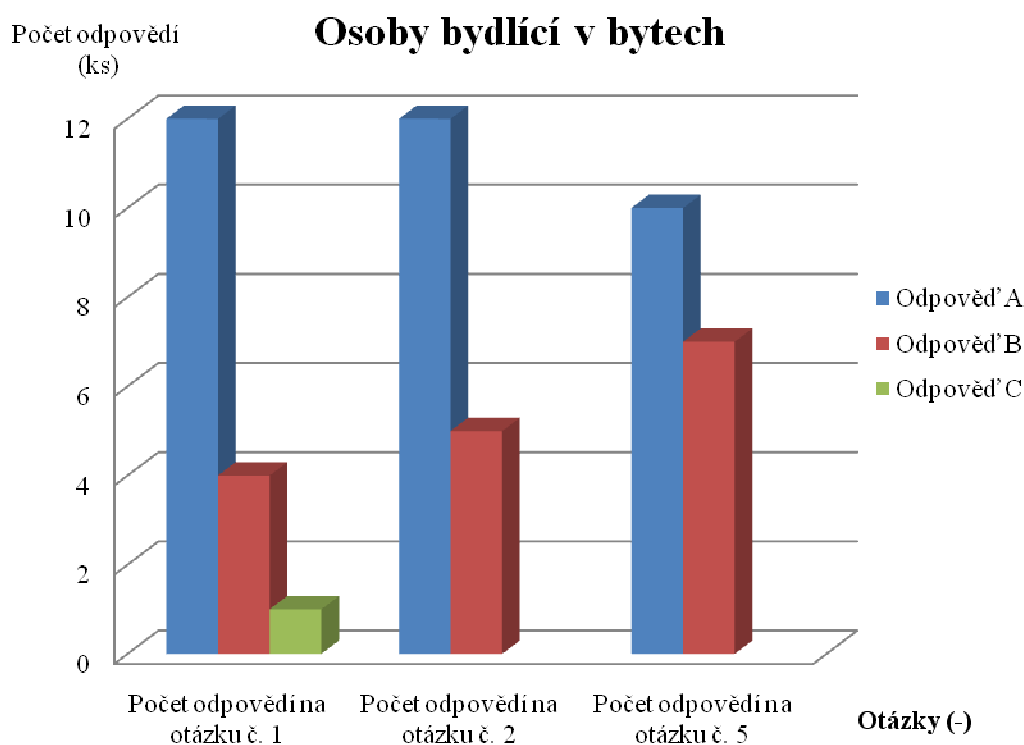
Z výsledku v tab. 10-7 je zřejmé, že se vzrůstající výškou se měrný sálavý výkon zmenšuje. Největší měrný sálavý výkon byl naměřen při výšce 0,65 m při 700 W sálavém panelu. Při výpočtu sálavé účinnosti u sálavého panelu 700 W vyšla sálavá účinnost okolo 60 % podle I. Michejeva. Z toho plyne, že by na osálanou plochu měl dopadnout sálavý výkon 420 W, ale naměřený zpočtený sálavý výkon je 412 W. Tento rozdíl mohl být způsoben použitím testovacím vzorkem o malé ploše a chyba měření. Dále doba ustálení teploty na měřeném vzorku mohla mít podstatný

vliv a v neposlední řadě izolace měřeného vzorku od okolí. Vliv na měrný sálavý výkon má výška zavěšení panelu, teplota osálané plochy.

## 11 Subjektivní pocity

Jsou dány subjektivním vnímáním tepla každé osoby. Pro zaručení subjektivní tepelné pohody jsem provedl měření. Omezil jsem to na lidi od 19 let do 24 let ženy a muži. Testoval jsem osoby pod zavěšením panelem o příkonu 300 W a 700 W. Formulář pro vyhodnocení subjektivních pocitů viz příloha 12 a přílohy 9, 10, 11.

Testu se zúčastnilo 53 lidí. Z toho 2 ženy a 51 mužů. Formulář vyplnilo dohromady 52 lidí. Jeden člověk vyplnil pouze ¼ testu. Počet lidí, kteří bydlí v bytech, byl 35 a zbytek 17 v rodinných domech. Sálavý panel byl umístěn 0,65 m a 1,6 m od hlavy testované osoby. Byty a rodinné domy mají výšku stropů od 2,4 m do 2,6 m a průměrná výška osob 1,75 m. V dnešní době se preferuje rodinný dům jednopodlažní dům tzv. Bungalov. V tomto domě se strop dělá ze sádkkartonu (není potřeba mít pevný strop, protože tento typ domu má obydlené pouze jedno podlaží), kde je možné umístit sálavý panel přímo do stropu. U nových bytů je možné s tloušťkou sálavého panelu počítat. Měrný sálavý výkon byl tedy v rozmezí od 6 do 56 Wm<sup>-2</sup>. Výsledky testu pro 700 W panel uvádí grafy níže. [16], [17], [18]



Obr. 11-1 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

Tab.11-1 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

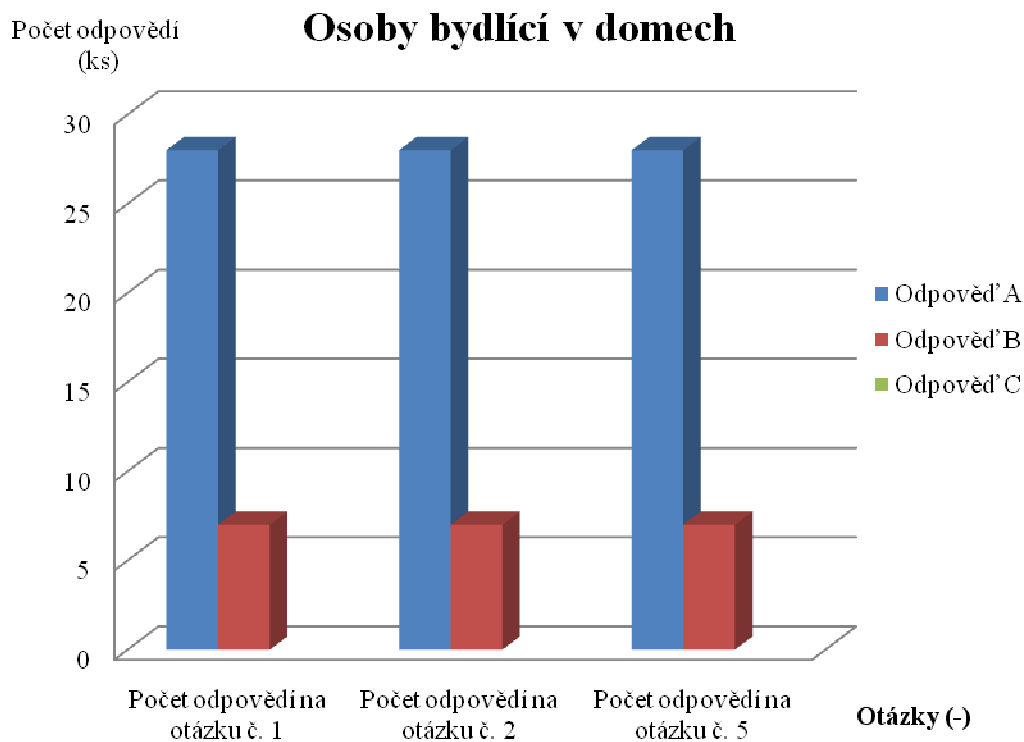
Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	12	12	10
Odpověď B	4	5	7
Odpověď C	1	0	0

Tab. 11-2 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	3
Dobré	7
Příjemné	1
Hřejivé	0
Teplé	1
Nepříjemné	3
Špatné	2

Tab. 11-3 Odpovědi na otázku 6 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	0
Nic	17
Jinou barvu panelu	0
Více panelů	0



Obr. 11-2 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domě pro výšku 0,65 m

Tab. 11-4 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domech pro výšku 0,65 m

Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	28	28	28
Odpověď B	7	7	7
Odpověď C	0	0	0

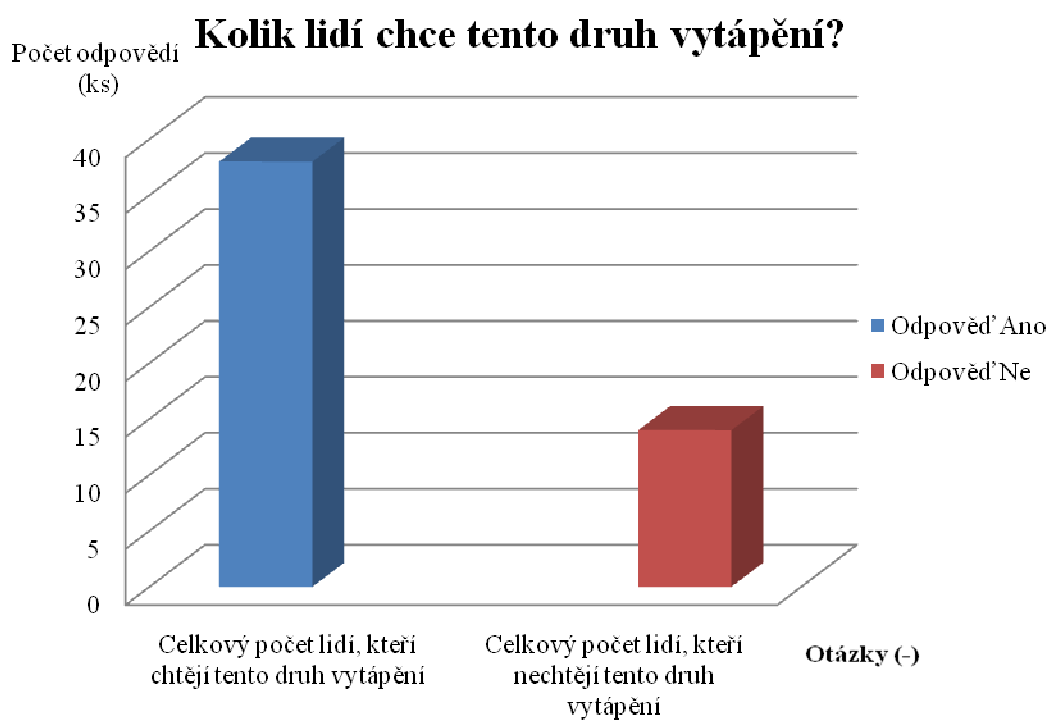
Tab. 11-5 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v domech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	8
Dobré	15
Příjemné	3
Hřejivé	1
Teplé	1
Nepříjemné	5
Špatné	2



Tab. 11-6 Odpovědi na otázku 6 pro osoby žijící v domech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	0
Nic	34
Jinou barvu panelu	1
Více panelů	0



Obr. 11-3 Odpověď na otázku kolik lidí preferuje sálavý typ vytápění pro výšku 0,65 m

Tab. 11-7 Počet odpovědí na otázku kolik lidí preferuje sálavé vytápění pro výšku 0,65 m

Odpověď	Celkový počet lidí, kteří chtějí tento druh vytápění	Celkový počet lidí, kteří nechtějí tento druh vytápění
Odpověď Ano	38	0
Odpověď Ne	0	14
Celkem procent (%)	73	27

Z grafů uvedených výše vyplývá, že 73 % lidí by chtěli tento druh vytápění a 27 % bylo nespokojených s tímto druhem vytápění. Formulář lidé vyplňovali při výšce zavěšení 0,65 m od hlavy. Tento druh vytápění by si pořídila většina dotázaných. Lidé, kteří nechtěli tento druh vytápění, mohlo být způsobeno tím, že preferují např. teplejší vzduch v místnosti a mají raději teplo od shora. Výsledky dalších měření jsou uvedeny viz přílohy č. 9, č.10 a č.11.

## 12. Metoda PMV a PPD

PMV je používané kritérium pro hodnocení tepelné pohody, tzv. PMV index. PMV (Predicted Mean Vote) – předpokládaná průměrná volba – znamená určení předpokládaného průměrného tepelného pocitu člověka podle ASHRAE sedmibodového měřítka tepelné pohody.

Index PMV (Fanger, 1970) je definován jako funkce rozdílu tepelného toku produkovaného organismem a aktuálního toku tepla, které tělu odnímá okolí při daných parametrech okolí viz rovnice 12-1.

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036M) + 0,028] L \quad (12-1) \quad (-)$$

$L$  – tepelná bilance člověka s okolním prostředím, tj. rozdíl tepelného toku produkovaného organismem a toku tepla, které tělu odebírá okolí

$$L = (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - p_{wa}] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} M (5867 - p_{wa}) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (12-2) \quad (W)$$

$M$  – hodnota metabolismu ( $Wm^{-2}$ )

$W$  – mechanická práce ( $Wm^{-2}$ )

$p_{wa}$  – parciální tlak vodní páry ve vzduchu (Pa)

$t_a$  – teplota okolí ( $^{\circ}C$ )

$f_{cl}$  – poměr povrchu těla pokrytého oděvem a povrchu neoblečeného těla (-)

$t_{cl}$  – teplota oděvu ( $^{\circ}C$ )

$t_r$  – střední radiační teplota ( $^{\circ}C$ )

$h_c$  – součinitel přestupu tepla prouděním ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )

$I_{cl}$  – tepelná izolace oděvu (clo)

Rovnic 12-1 vychází z rovnice tepelné pohody 12-3, která je zjednodušená do funkční závislosti na tři osobní faktory. Tyto faktory jsou  $M$ ,  $W$ ,  $I_{cl}$  a čtyři parametry okolí  $t_a$ ,  $t_r$ ,  $v$ ,  $p_{wa}$ .

$$M - W = \pm R \pm C \pm K \pm E_d \pm E_{sw} + L_{res} + S_{res} + \Delta S \quad (12-3) \quad (W)$$

$M$  – hodnota metabolismu ( $Wm^{-2}$ )

$W$  – mechanická práce ( $Wm^{-2}$ )

$R$  – tepelný tok sáláním ( $Wm^{-2}$ )

$C$  – tepelný tok prouděním ( $Wm^{-2}$ )

$K$  – tepelný tok vedením ( $Wm^{-2}$ )

$E_d$  – tepelná ztráta difúzí pokožky ( $Wm^{-2}$ )

$E_{sw}$  – tepelná ztráta běžným pocením ( $Wm^{-2}$ )

$L_{res}$  – latentní tepelná ztráta dýcháním ( $Wm^{-2}$ )

$S_{res}$  – citelná tepelná ztráta dýcháním ( $Wm^{-2}$ )

$\Delta S$  – změna tepelné kapacity ( $Wm^{-2}$ )

Když je  $\Delta S$  kladné, teplota lidského těla stoupá, je-li  $\Delta S$  záporné, teplota lidského těla klesá. Jeztliže je  $\Delta S$  rovné nule, znamená to, že člověk je v tepelné rovnováze s okolím.

Rovnice 12-4 je implicitní, tzn. že se v ní neznámá vyskytuje jako argument a proto je tuto rovnici možné řešit pouze iteracemi.

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 (M - W) - 0,155 I_{cl} \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left[ (t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \right] + f_{cl} h_c (t_{cl} - T_o) \right\} \quad (12-4) \quad (W)$$

### Tepelný tok sáláním $R$

Tepelný tok sáláním vzniká mezi povrchem lidského těla (oblečení a pokožka) a povrchy okolních ploch v interiéru včetně zdrojů tepla.

$$R = h_r f_{cl} (t_{cl} - t_r) \quad (12-5) \quad (Wm^{-2})$$

$$h_r = 4 \varepsilon \sigma \frac{A_r}{A_D} \left( 273,15 + \frac{t_{cl} - t_r}{2} \right)^3 \quad (12-6) \quad (Wm^{-2})$$

$$A_D = 0,202 M_{osoby}^{0,425} H_{osoby}^{0,725} \quad (12-7) \quad (Wm^{-2})$$

$$f_{cl} = 1 + 0,2I_{cl} \quad \text{pro } I_{cl} \leq 0,5 \text{ clo} \quad (12-8) \quad (\text{clo})$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1I_{cl} \quad \text{pro } I_{cl} \leq 0,5 \text{ clo} \quad (12-9) \quad (\text{clo})$$

$h_r$  – součinitel přestupu tepla sáláním ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ), pro typické vnitřní prostředí a běžné oděvy uvažovat  $h_r = 5,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

$f_{cl}$  – poměr povrchu těla pokrytého oděvem a povrchu neoblečeného těla (clo)

$t_{cl}$  – teplota oděvu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_r$  – střední radiační teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\varepsilon$  – emisivita oděvu (pro běžný oděv  $\varepsilon = 0,95$  (-))

$\sigma$  – Stefan-Boltzmanova konstanta ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ )

$A_r$  – povrch těla účastníci se výměny tepla sáláním ( $\text{m}^2$ ) pro sedící osoby  $A_r/A_D = 0,7 \text{ m}^2$

$A_D$  – povrch lidského těla ( $\text{m}^2$ )

$M_{osoby}$  – hmotnost člověka (kg)

$H_{osoby}$  – výška člověka (m)

$I_{cl}$  – tepelná izolace oděvu (clo)

### **Střední radiační teplota**

Střední radiační teplota  $t_r$  je myšlená rovnoměrná společná teplota všech ploch v prostoru, při nížby byl přenos tepla z těla sáláním stejný jako ve skutečnosti. Výpočet střední radiační teploty  $t_r$  viz rovnice

$$T_r^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_N^4 F_{p-N} \quad (12-10) \quad (\text{K})$$

$T_r$  – střední radiační teplota (K)

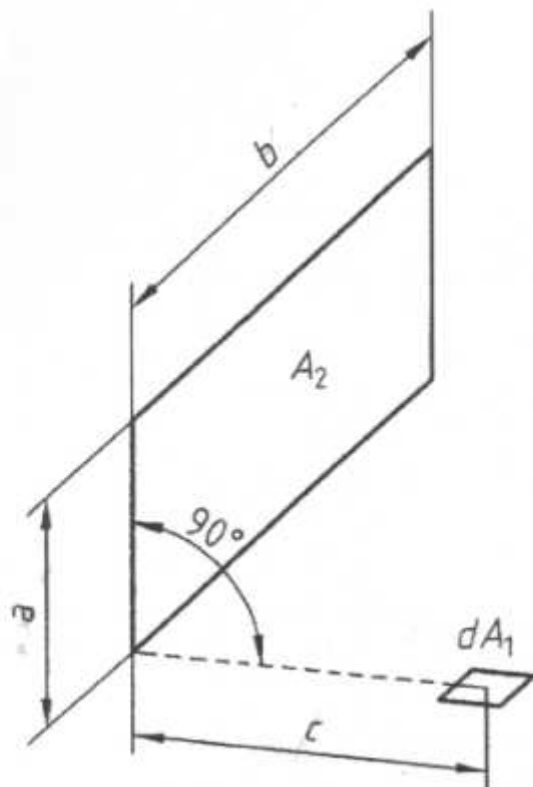
$T_1 \dots T_N$  – povrchová teplota ploch 1 až N (K)

$F_{p-N}$  – úhlový poměr osálení mezi osobou a plochou N (-)

Je-li mezi povrchovými teplotami ploch v prostoru jen relativně malý rozdíl, lze rovnici 12-10 převést na lineární rovnici viz 12-11.

$$T_r = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_N F_{p-N} \quad (12-11) \quad (\text{K})$$

Tímto způsobem je střední radiační teplota vypočítaná jako střední hodnota okolních teplot vážená velikostí odpovídajících úhlových poměrů. Úhlové poměry popisují obr. 12-1 a 12-2.



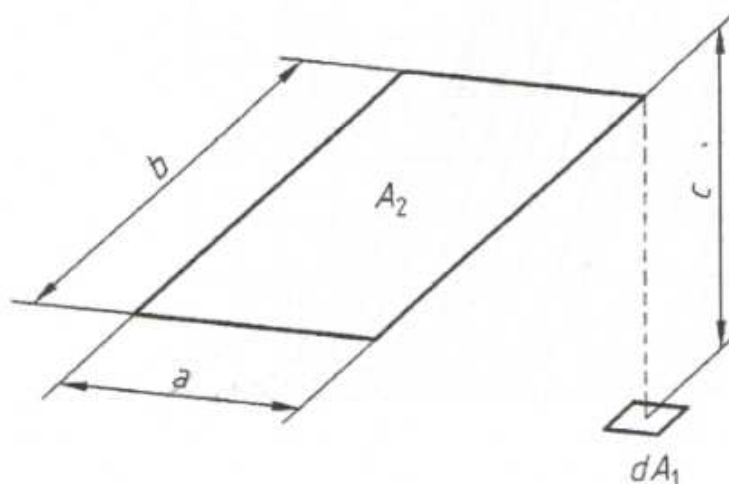
Obr. 12-1 Analytický vzorec pro výpočet součinitele tvaru v případě malého rovinného prvku v rovině kolmé k povrchu pravoúhlého čtyřúhelníku

Obr. 12-1 popisují rovnice uvedené níže.

$$F_{p1-2} = \frac{1}{2\pi} \left( \tan^{-1} \frac{1}{Y} - \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \quad (12-12) \quad (-)$$

$$X = \frac{a}{b} \quad (12-13) \quad (-)$$

$$Y = \frac{c}{b} \quad (12-14) \quad (-)$$



Obr. 12-2 Analytický vzorec pro výpočet součinitele tvaru v případě malého rovinného prvku v rovině rovnoběžné s povrchem pravoúhlého čtyřúhelníku

Obr. 12-2 popisují rovnice uvedené níže.

$$F_{p1-2} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad (12-15) \quad (-)$$

$$X = \frac{a}{c} \quad (12-16) \quad (-)$$

$$Y = \frac{b}{c} \quad (12-17) \quad (-)$$

## Tepelný tok prouděním C

Tepelný tok mezi tělem člověka a okolním vzduchem je způsobován prouděním vzduchu okolo lidského těla. Rozeznáváme dva druhy proudění vzduchu v místnosti.

Jsou to proudění přirozené a nucené.

$$C = h_c f_{cl} (t_{cl} - t_a) \quad (12-18) \quad (\text{Wm}^{-2})$$

$$h_c = 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \quad (12-19) \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$$

$$h_c = 12,1\sqrt{v} \quad (12-20) \quad (\text{ms}^{-1})$$

$h_c$  – součinitel přestupu tepla prouděním ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

pro přirozené větrání ( $v < 0,1 \text{ ms}^{-1}$ ) – viz rovnice 12-19

pro nucené větrání ( $v < 0,25 \text{ ms}^{-1}$ ) – viz rovnice 12-20

$t_a$  – teplota okolí ( $^{\circ}\text{C}$ )

$v$  – relativní rychlost vzduchu ( $\text{ms}^{-1}$ ) jedná se o výslednou rychlost vzduchu na povrchu člověka, která je ovlivněna jeho pohyby

### Tepelný tok vedením $K$

Tepelný tok tepla vedením z člověka do pevných těles (např. u sedícího člověka se jedná o tok vedením mezi člověkem a židlí) bývá v porovnání s ostatními toky tepla velmi malý a proto se většinou zanedbává.

### Tepelná ztráta vypařováním $E$

Tepelná ztráta vypařováním z lidského těla je složena z tepelné ztráty difúzí pokožky  $E_d$  a tepelné ztráty pocením  $E_{sw}$ .

Vypařování difúzí pokožky, neboli neviditelné vypařování potu je kontinuální proces, který probíhá stále, i když je člověk v chladném prostředí. Naopak k vypařování pocením tzv. viditelné vypařování potu dochází pouze když je člověk v teplém prostředí nebo při jeho vyšší aktivitě. K maximální tepelné ztrátě pocením  $E_{sw \max}$  dochází, když je pokožka kompletně vlhká. Pro mírně aktivní osoby je přijatelné ovlhčení okolo 25 % povrchu kůže.

$$E_d = 3,05 \cdot 10^{-3} (p_{ws} - p_{wa}) \quad (12-21) \quad (\text{Wm}^{-2})$$

$$p_{ws} = 256t_s - 3373 \quad (12-22) \quad (\text{Pa})$$

$$E_{sw \max} = f_{pcl} h_e (p_{ws} - p_{wa}) \quad (12-23) \quad (\text{Wm}^{-2})$$

$$f_{pcl} = \frac{1}{1 + 0,143 \frac{h_c}{h_{cl}}} \quad (12-24) \quad (-)$$

$$h_e = LRh_c \quad (12-25) \quad (\text{Wm}^{-2}\text{Pa}^{-1})$$

$$E_{sw} = 0,42(M - W - 58,15) \quad (12-26) \quad (\text{Wm}^{-2})$$

$p_{ws}$  – parciální tlak nasycené vodní páry při teplotě pokožky (Pa)

pro  $27^\circ\text{C} < t_s < 37^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ ms}^{-1}$ ) platí rovnice 12-22

$p_{wa}$  – parciální tlak vodní páry ve vzduchu (Pa)

$f_{pcl}$  – součinitel propustnosti vodní páry oděvem (-)

pro porézní oděvy platí rovnice 12-24

$h_e$  – součinitel přestupu tepla při vypařování potu ( $\text{Wm}^{-2}\text{Pa}^{-1}$ )

$LR$  – Lewisův poměr ( $^{\circ}\text{CkPa}^{-1}$ )

při běžných interiérových parametrech  $LR = 16,5 \text{ } ^{\circ}\text{CkPa}^{-1}$

Rovnice 12-26 platí pro  $1 \text{ met} < M < 3 \text{ met}$ . Pokud je pokožka kompletně vlhká, tepelná ztráta difúzí pokožky se neuvažuje a tepelná ztráta pocením se vypočítá podle rovnice 12-26.

### Tepelná ztráta dýcháním

Tepelná ztráta dýcháním vzniká tím, že vdechovaný vzduch se v dýchacím ústrojí ohřeje a zvlhčí. Rozeznáváme citelnou  $S_{res}$  a latentní  $L_{res}$  tepelnou ztrátu dýcháním.

$$S_{res} = 0,0014M(34 - t_a) \quad (12-27) \quad (\text{Wm}^{-2})$$

$$L_{res} = 1,72 \cdot 10^{-5} M(5867 - p_a) \quad (11-28) \quad (\text{Wm}^{-2})$$

Pro sestavení PMV indexu použil Fanger údaje z vlastních experimentů i publikované údaje jiných autorů. Rovnice 12-1 sestavená podle Fangera je použitelná jen pro osoby s mírně porušenou tepelnou rovnováhu s okolním prostředím. [23], [24], [25]

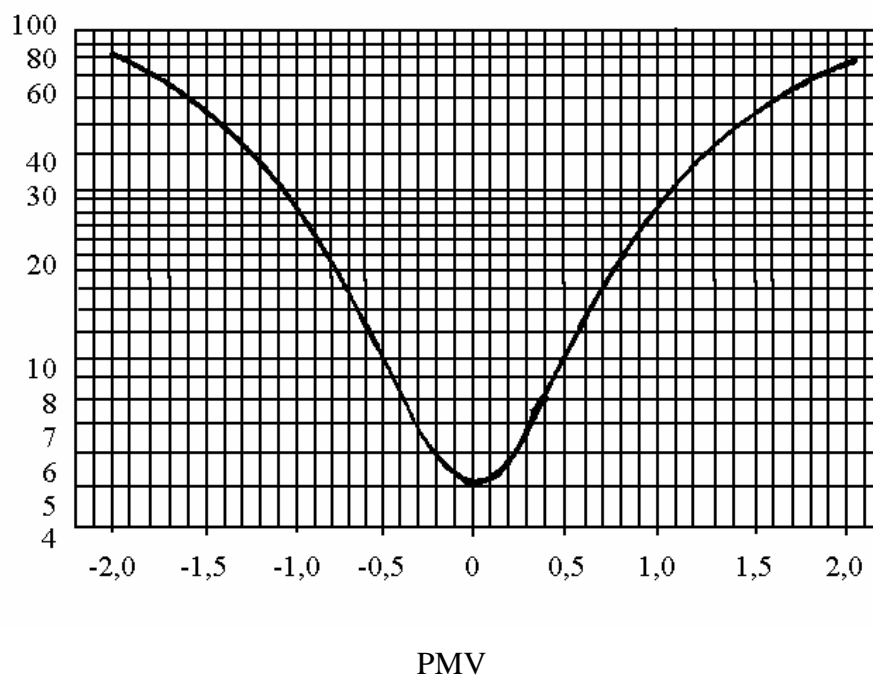
Tab. 12-1 Vyjádření tepelného pocitu člověka

PMV	Fanger	Bedford
3	Horko	Velmi teplo
2	Teplo	Teplo
1	Mírně teplo	Příjemně teplo
0	Neutrálně	Příjemně
-1	Mírně chladno	Příjemně chladno
-2	Chladno	Chladno
-3	Zima	Velmi chladno

Z údajů zjištěných v laboratořích Fanger sestavil procentuální poměr osob nespokojených s daným prostředím a indexu PMV, který nazval PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) – předpokládané procento nespokojených viz obr. 12-1



PPD (%)



Obr. 12-1 Hodnocení tepelné pohody – závislost PMV na PPD

Vypočtené hodnoty PMV a PPD jsou uvedeny v tabulkách 12-2 až 12-7 pro sálavý panel 300 W a 700 W. . [47-49,53,54]

Tab. 12-2 Výpočet z rovnice tepelné pohody (12-3) pro sálavý panel 700 W pro výšku zavěšení 0,65 m a 1,6 m

$h$ (m)	$I_{cl}$ (clo)	$h_r$ ( $Wm^{-2}$ )	$t_{cl}$ ( $^{\circ}C$ )	$t_r$ ( $^{\circ}C$ )	$f_{cl}$ (clo)	$h_c$ ( $Wm^{-2}$ )
0,65	0,6	4	28	23	1,11	4
1,6	0,6	4	28	19	1,11	4

Tab. 12-3 Výpočet z rovnice tepelné pohody (12-3) pro sálavý panel 700 W pro výšku zavěšení 0,65 m a 1,6 m

$h$ (m)	$S$ ( $Wm^{-2}$ )	$R$ ( $Wm^{-2}$ )	$C$ ( $Wm^{-2}$ )	$E_d$ ( $Wm^{-2}$ )	$L_{res}$ ( $Wm^{-2}$ )	$S_{res}$ ( $Wm^{-2}$ )
0,65	-19	18	36	16	5	1
1,6	-30	29	36	16	5	1

Tab. 12-4 Výpočet PMV a PPD pro sálavý panel 700 W výšku zavěšení 0,65 m a 1,6 m

$h$ (m)	PMV (-)	PPD (%)
0,65	-1	34
1,6	-2	76

Tab. 12-5 Výpočet z rovnice tepelné pohody (12-3) pro sálavý panel 300 W pro výšku zavěšení 0,65 m a 1,6 m

$h$ (m)	$I_{cl}$ (clo)	$h_r$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	$t_{cl}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$t_r$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$f_{cl}$ (clo)	$h_c$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )
0,65	0,6	4	28	20	1,11	4
1,6	0,6	4	28	20	1,11	4

Tab. 12-6 Výpočet z rovnice tepelné pohody (12-3) pro sálavý panel 300 W pro výšku zavěšení 0,65 m a 1,6 m

$h$ (m)	$S$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	$R$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	$C$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	$E_d$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	$L_{res}$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	$S_{res}$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )
0,65	-19	18	36	16	5	1
1,6	-32	30	36	16	5	1

Tab. 12-7 Výpočet PMV a PPD pro sálavý panel 300 W výšku zavěšení 0,65 m a 1,6 m

$h$ (m)	PMV (-)	PPD (%)
0,65	-2	84
1,6	-2	91

Z vypočtených hodnot plyne, že nejmenší procento nespokojených je při zavěšení sálavého panelu 700 W při výšce 0,65 m 34%. Při porovnání z formuláře subjektivních pocitů viz kap. 11, kde při této výšce vyšel počet nespokojených 27 %. Rozdíl je způsoben, že formuláře vyplňovali lidé určité věkové hranice a menší počet lidí oproti testu pana Fangerova.

### 13 Měření v reálném domě, který je vytápěn sálavými panely

Jedná se o rodinný dům. Zastavěná plocha 120,7 m<sup>2</sup>. Plocha přízemí 109,1 m<sup>2</sup>. Je zastřešen sedlovou střechou se sklonem 38°. Výška místností v přízemí 2,5 m. Vytápěné je pouze přízemí. Vytápění je provedeno 14 sálavými panely. Všechny panely jsou stejného provedení. Každý má výkon 500 W. Celkem je tedy v domě instalováno 7 KW.



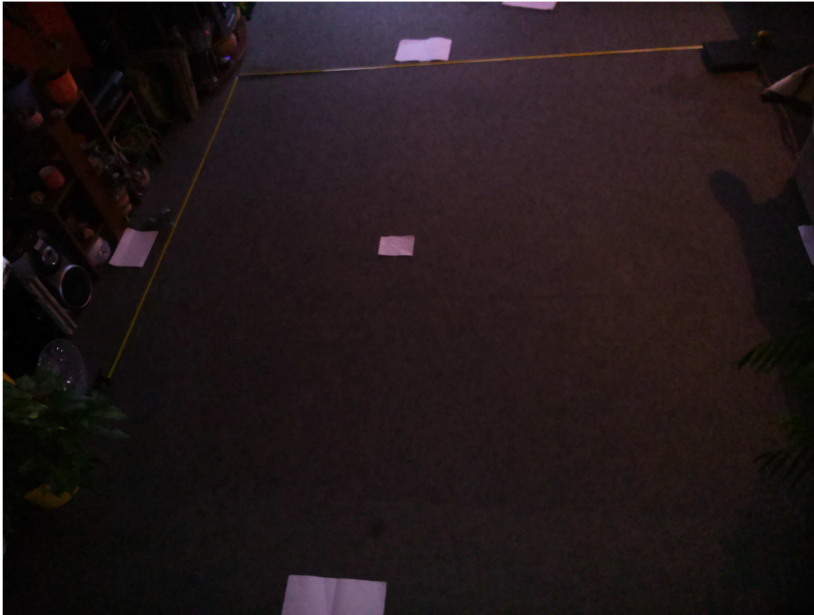
Obr. 13-1 Vstupní část domu



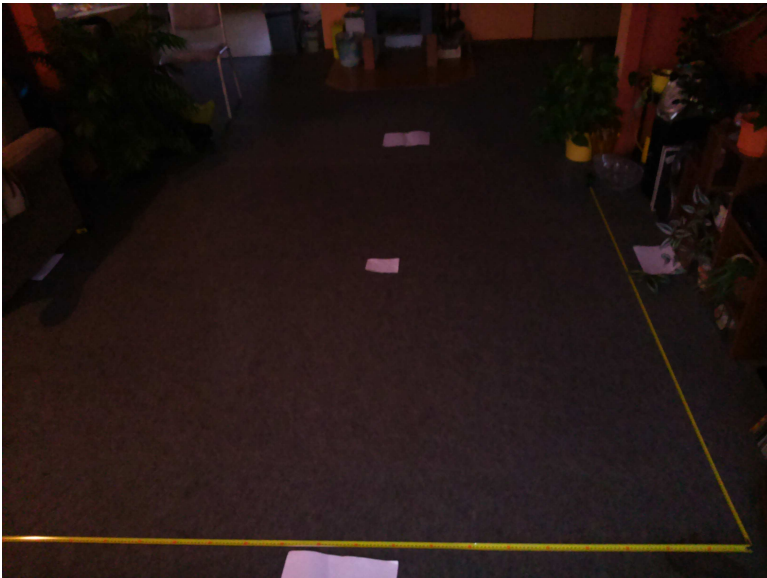
Obr. 13-2 Zadní část domu

### 13.1 Měření sálavého měrného výkonu v reálném domě

Pohled na osálanou plochu pod panelem, kde probíhalo měření se zkušební vzorkem, který je umístěn v pravém horním rohu. Tento vzorke byl posouván s krokem 0,3 m po ploše 7,3 m.



Obr. 13-3 Pohled na osálanou plochu obývacího pokoje od vstupu



Obr. 13-4 Pohled na osálanou plochu obývacího pokoje od okna



Obr. 13-5 Pohled na sálavé panely obývacího pokoje od dveří



Obr. 13-6 Pohled na sálavé panely dětského pokoje od dveří

Tab. 13-1 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 2,4 m podle

I. Michejeva

	Stěny panelu	$K_{i5}$ (-)	$S_{i15}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{i5}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	$P_{i15}$ (m <sup>2</sup> )	$T_{i15}$ (°C)	$T_{i15}$ (K)
$T_{15}$	aktivní stěna	0,87	0,6	3	71	64	337
$T_{25}$	neaktivní stěna	2	0,6	6	151	53	326
$T_{35}$	levá stěna	1,55	0,04	5	4	46	319
$T_{45}$	pravá stěna	1,55	0,04	5	4	47	320
$T_{55}$	přední stěna	1,55	0,06	5	6	43	316
$T_{65}$	zadní stěna	1,55	0,06	5	10	54	327

Celkové ztráty prouděním 246 W  
 Sálavá účinnost panelu 65 %

Tab. 13-2 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 2,4 m podle  
 J. Brože

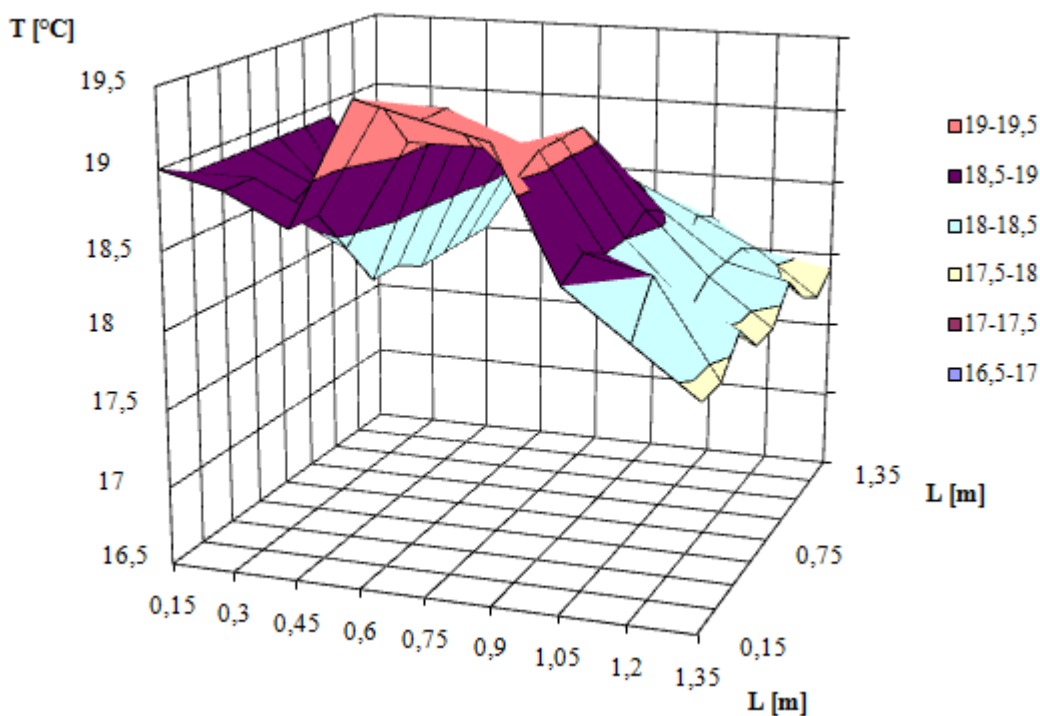
	Stěny panelu	$K_{i5} (-)$	$S_{i5} (m^2)$	$\alpha_{i5}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )	$P_{i5} (m^2)$	$T_{i5} (°C)$	$T_{i5} (K)$
$T_{15}$	aktivní stěna	1,11	0,6	4	123	64	337
$T_{25}$	neaktivní stěna	2,07	0,6	7	156	53	326
$T_{35}$	levá stěna	1,59	0,04	5	4	46	319
$T_{45}$	pravá stěna	1,59	0,04	5	4	47	320
$T_{55}$	přední stěna	1,59	0,06	4	6	43	316
$T_{65}$	zadní stěna	1,59	0,06	5	10	54	327

Celkové ztráty prouděním 303W  
 Sálavá účinnost panelu 57 %

Tab. 13-3 Naměřené teploty pod panelem

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	18	18,4	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	19
0,3	18,1	18,2	18,2	18,3	18,5	18,7	18,6	18,9	18,9
0,45	18	18	18	18	18,1	18,1	18,4	18,7	18,7
0,6	18,6	18,7	18,7	18,9	19	19,1	19,1	19,4	19,5
0,75	18,6	18,6	18,6	18,7	18,9	19	19,1	19,4	19,4
0,9	18,3	18,5	18,6	18,9	19,1	19,1	19,1	19	19,3
1,05	18,2	18,3	18,1	18,5	18,6	18,5	18,5	18,6	18,5
1,2	17,9	18,1	18,2	18,2	18,2	18,1	18,3	18,5	18,2
1,35	17,9	17,8	17,9	18,1	17,9	17,9	18,1	17,9	17,9

Průměrná teplota pod panelem činí 19 °C.



Obr. 13-7 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 2,40 m od panelu

Tab. 13-4 Vypočtené sálavé výkony pod panelem

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	0,30	0,35	0,41	0,47	0,53	0,60	0,66	0,72	0,78
0,3	0,31	0,36	0,41	0,47	0,54	0,60	0,67	0,73	0,79
0,45	0,30	0,36	0,41	0,47	0,53	0,60	0,66	0,73	0,78
0,6	0,30	0,35	0,40	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76
0,75	0,29	0,33	0,39	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68	0,73
0,9	0,28	0,32	0,37	0,42	0,48	0,53	0,59	0,64	0,69
1,05	0,26	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
1,2	0,24	0,28	0,32	0,37	0,42	0,47	0,51	0,56	0,60
1,35	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,43	0,47	0,51	0,55

Tab. 13-5 Vypočtené měrný sálavý výkon pod panelem

Výška $h$ (m)	Průměrná teplota $T_p$ (°C)	Celkový sálavý výkon $Q_i$ (W)	Měrný sálavý výkon $Q_{sm}$ (Wm <sup>-2</sup> )
2,4	19	41	5

Sálavá účinnost sálavého panelu o příkonu 500 W podle I. Michejeva pro výšku zavěšení 2,40 m vyšla 65 %. Ztráty pro výšku panelu 2,40 m byly 246 W. Podle J. Brože pro výšku zavěšení panelu 2,4 m vyšla 57 % a ztráty pro výšku panelu byly 303 W. Z vypočítané sálavé účinnosti panelu plyne, že největší vliv na sálavou účinnost

má teplotní součinitel  $\alpha$ . Výška zavěšení panelu má malý vliv na sálavou účinnost. Zvýšit sálavou účinnost je možné zlepšením izolace horní stěny a postraních stěn panelu. Ztráty prouděním lze zmenšit hrubším povrchem horní stěny a bočních stěn. Vypočtený sálavý výkon vyšel 41 W a měrný sálavý výkon  $5 \text{ Wm}^{-2}$ . Rozdíl v dopadlém sálavém výkonu na osálanou plochu oproti sálavému panelu o výkonu 700 W je, že sálavý panel měl maximální teplotu aktivní plochy  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tato teplota byla regulována na instalovaným termostem.

## 14 Nejistoty a chyby metod bezdotykového měření

Při bezkontaktního měření teploty pyrometrem mohou vzniknout tyto nejistoty

1. Nejistota měření způsobená neznalostí hodnoty emisivity povrchu tělesa
2. Nejistota měření způsobená neznalostí správné hodnoty propustnosti prostředí mezi čidlem a měřeným objektem
3. Nejistota měření způsobená nepřesnou korekcí odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt
4. Nejistota měření způsobená špatným zaměřením měřeného objektu

### Nejistoty měření teploty způsobené zdrojem nejistoty ve stanovení emisivity

Emisivita, je funkcí teploty, vlnové délky a vlastnostmi povrchu měřeného objektu. Pouze u tzv. šedého tělesa je emisivita rovna konstantě pro všechny vlnové délky. Kužel šedé těleso je pouze zidealizovaný a v technické praxi neexistující objekt. Pro monochromatický pyrometr pro malé odchylky platí rovnice 14-1.

$$\Delta T_{emis} \approx - \frac{\lambda_{emis} T_{emis}^2 \Delta \varepsilon_{emis}}{C_{2emis} \varepsilon_{\lambda_{emis}}} \quad (14-1) \quad (\text{Wm}^{-2})$$

$\lambda_{emis}$  – vlnová délka záření (m)

$T_{emis}$  – teplota plochy (K)

$C_{2emis}$  – druhá vyřazovací konstanta (mK)  $C_{2emis} = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ mK}$

$\varepsilon_{\lambda_{emis}}$  – emisivita nastavená (-)

$\Delta \varepsilon_{\lambda_{emis}}$  – rozdíl emisivit (-)

Při měření jsem nejistotu ve stanovení emisivity zanedbal, protože povrch byl drsný, a matný.



### Nejistota způsobená neznalostí správné hodnoty propustnosti prostředí mezi čidlem a měřeným objektem

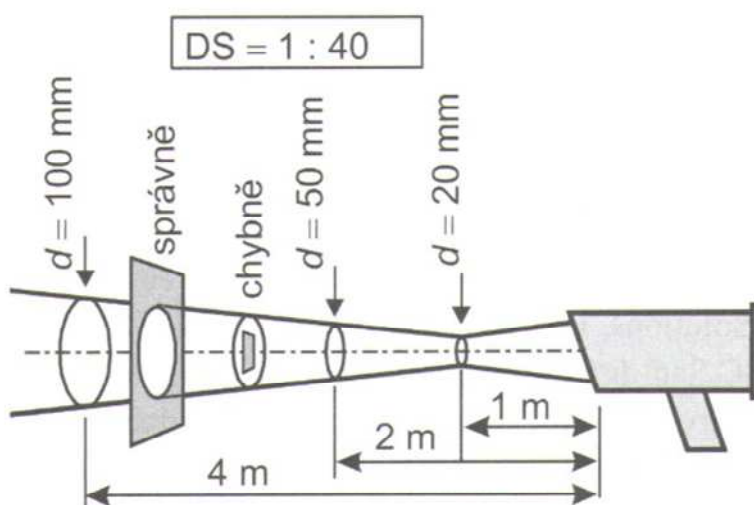
Transparence prostředí je významná při dálkovém snímání (např. snímání povrchové teploty fasád). Zeslabení zářivého toku při průchodu atmosférou může být způsobeno přímou absorpcí a jednak rozptylem infračerveného záření na molekulách plyn, aerosolech, kapkách vody, částicích kouře atd. Na snižování transparency atmosféry se podílejí zejména molekuly vody, oxidu uhličitého, ozón, methan, oxid uhelnatý, které vymezují ve spektrální závislosti součinitele propustnosti.

### Nejistota měření způsobená nepřesnou korekcí odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt

Teplota vnějšího prostředí ovlivňuje velikost detekovaného infra signálu. Vnější zdroje infračerveného záření ovlivňují na povrchových vlastnostech objektu (součinitel absorpce a reflexe) buď jeho skutečnou povrchovou teplotu (součinitel absorpce), nebo jeho zdánlivou povrchovou teplotu (součinitel reflexe).

### Nejistota měření způsobená špatným zaměřením měřeného objektu

Optický systém pyrometrů ve většině případů snímá energii vyzařovanou z povrchu tělesa z kruhové měřené plochy a soustřeďuje ji na detektor. Měřený objekt proto musí úplně vyplňovat tuto měřenou plochu, jinak je naměřená hodnota ovlivněna i zářením pozadí (okolních ploch) viz obr. 14-1.



Obr. 14-1 Znáornění zaměřené velikosti snímané plochy detekované bezdotykovým teploměrem

V měřeních, které jsem provedl, lze se výše uvedené nejistoty neprojeví. Nejistota propustnosti atmosféry byl jen vzduch, měření byla korigována na vliv drazů z jiných zdrojů. Měřená vzdálenost byla dodržena podle stanov výrobce, tím se nejistota špatným zaměřením neprojevila. [50]

## **15 Využití sálavého panelu při obsluze varhan**

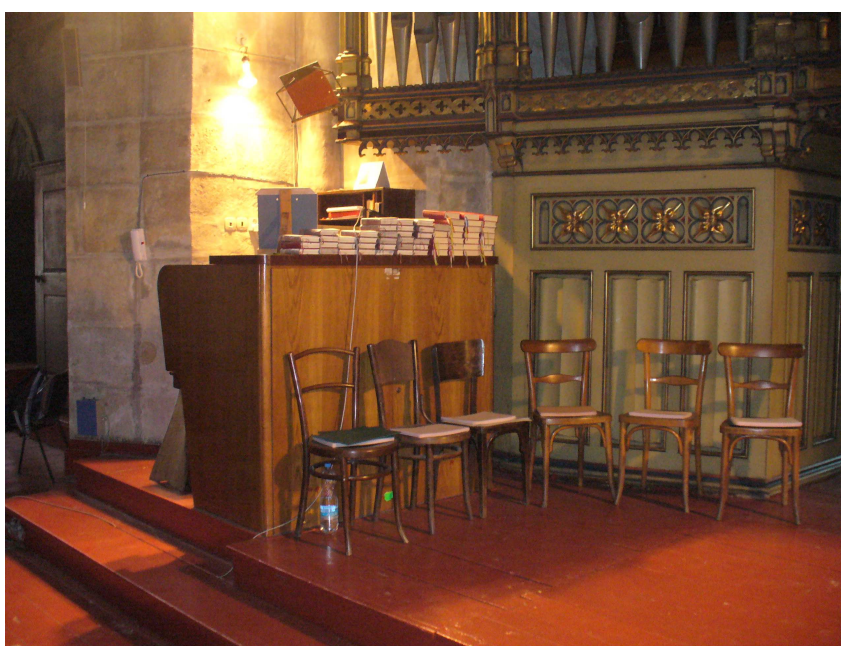
Při Dnech vědy a techniky byl náš stánek osloven panem Adamcem. Chtěl použít sálavé panely k ohřátí rukou obsluhy varhan v katedrále sv. Bartoloměje na náměstí Republiky v Plzni. Problém spočíval v tom, že pokud byla venku teplota nižší než 5 °C obsluze varhan mrzly prsty na rukou a v promrzlých rukou není dodržena tepelná pohoda. Což je při obřadech trvajících i 1,5 hodiny velice nepříjemné.

Při instalaci panelů byla potřeba zachovat výhled na pěvecký sbor a faráře, protože v kostele ještě není nainstalován monitor s kamerou. Dalším důležitým faktorem je ponechat výhled na noty. Posledním kritériem je teplota sálavého panelu. Teplota panelu musí být v rozumných mezích, aby nebyla příliš velká, protože by mohlo dojít k poškození kláves varhan. Posledním kritériem bylo zachování tepelné pohody obsluhy v oblasti hlavy. Zkoušel jsem nejdříve nainstalovat nízkoteplotní panel 300 W. Ten, ale svými rozměry nepokryl celé klávesy ani teplota kláves nebyla přijatelná pro obsluhu. Nainstaloval jsem tedy vysokoteplotní panel o příkonu 1200 W.

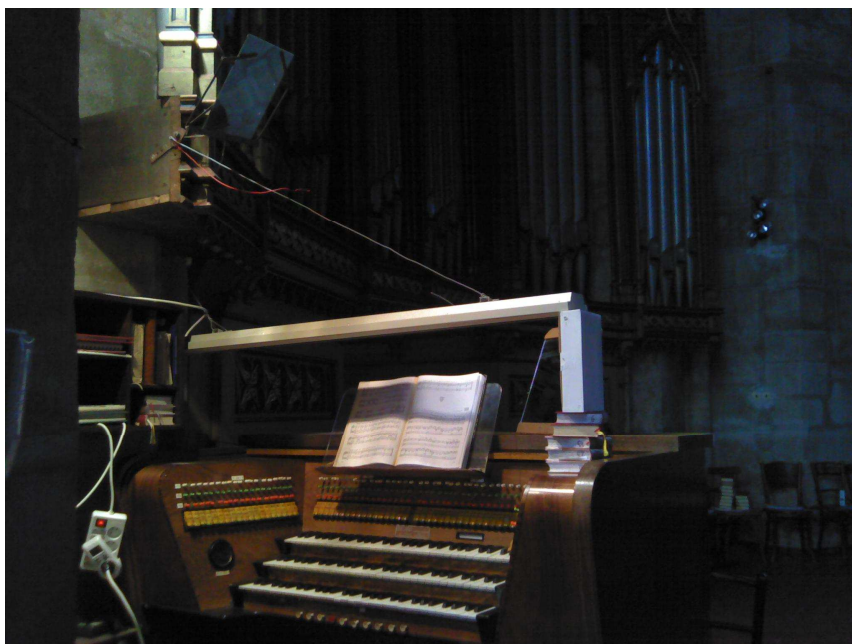
Tento panel svými rozměry a teplotou postačoval. Obsluze se jednalo o rychlý nárůst topného výkonu, protože obsluha bude u varhan maximálně 1,5 až 2 hodiny. Nainstalovaný panel nepřekáží ve výhledu na noty, sbor ani faráře. Jeho instalace bude lehká a vyhovuje i památkářům, protože lze využít k instalaci stávající montážní otvory, které drží píšťaly varhan, viz obr. 15-3. Sálavý panel postačoval na ohřátí kláves. Jelikož obsluha sedí u varhan, nastal problém, jak ohřát prostor pod klávesami, kde jsou umístěny pedály varhan. Toto místo je zcela zakryté. Pro tento prostor je lépe umístit přímotop s možností regulace topného výkonu.



Obr. 15-1 Pohled od varharníka před instalací panelu

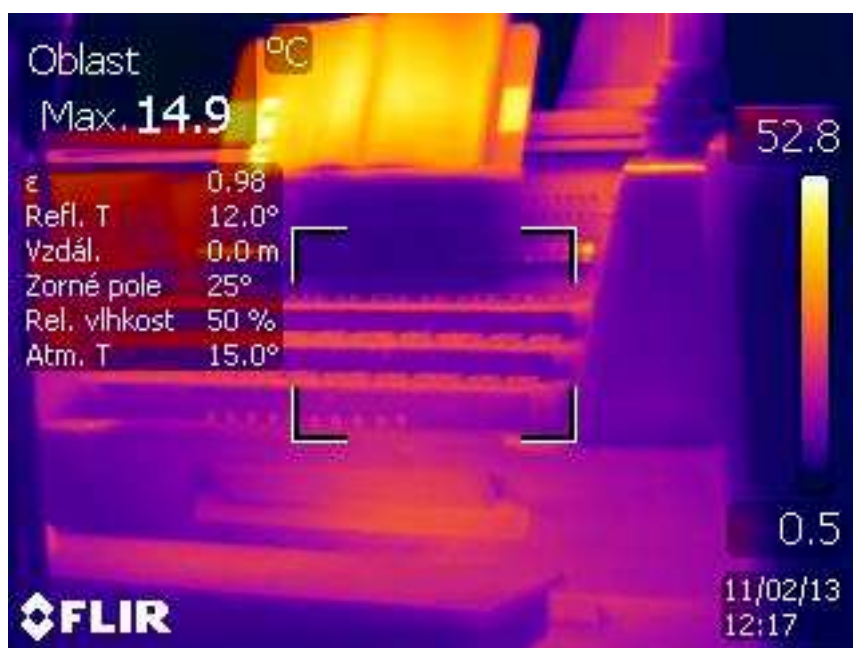


Obr. 15-2 Pohled od pěveckého sboru před instalací panelu

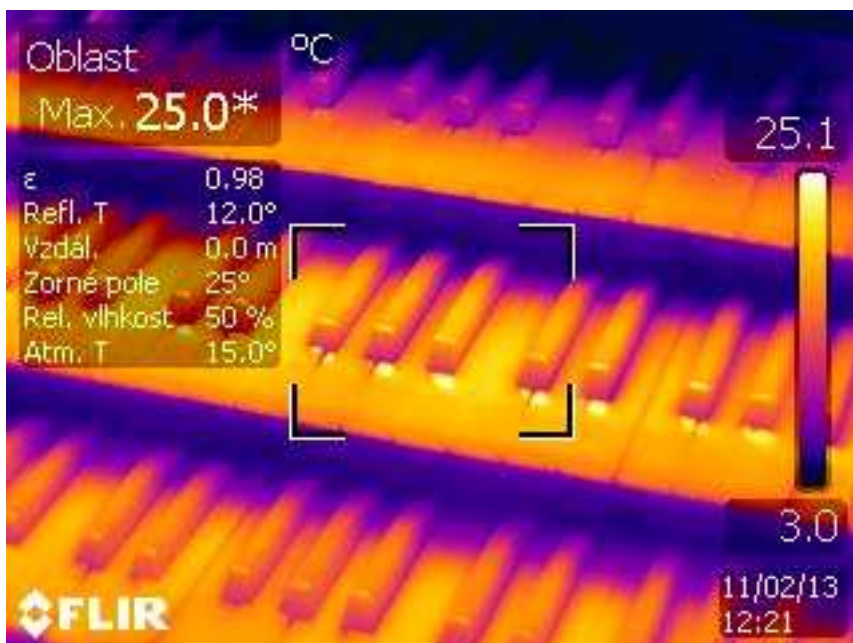


Obr. 15-3 Instalace vysokoteplotního sálavého panelu Ecosan s příkonem 1200 W

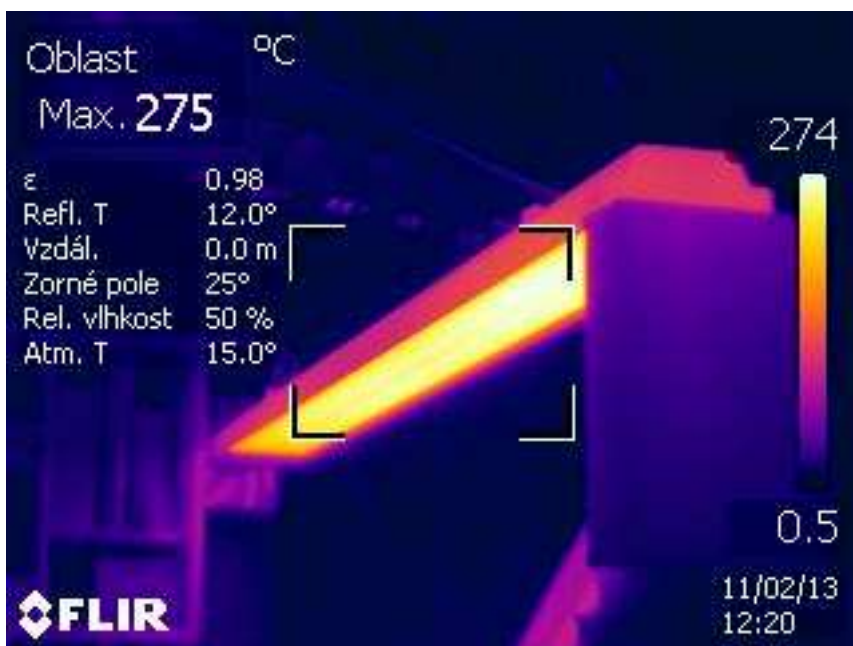
Pro měření teploty kláves bylo zde výhodnější použít infракameru, protože měření pomocí pyrometru by byla nepřesná s ohledem na velikost kláves.



Obr. 15-4 Pohled infракamerou Flir na teplotu kláves varhan



Obr. 15-5 Pohled infrakamerou Flir na teplotu kláves varhan po ustáleném stav



Obr. 15-6 Pohled infrakamerou Flir na sálavý panel po ustáleném stavu

Maximální teplota naměřená termokamerou u sálavého panelu byla 275 °C. Teplota kláves byla naměřena 25 °C. Další možností by bylo možné dát panel podobných rozměrů, ale s větším výkonem 1800 W nebo 2400 W. Doporučoval bych nainstalovat nejdříve panel 1200 W. Nainstalováním a používáním tohoto panelu si nejlépe obsluha varhan ověří, je-li nainstalovaný výkon postačující.

## 16 Program pro výpočet tepelných ztrát jednopodlažních domů

Tento program počítá ztráty podle ČSN EN 12831. Tato norma stanovuje postup výpočtu dodávky nutného tepla k bezpečnému dosažení výpočtové vnitřní teploty. V první části programu je výpočet součinitele prostupu podle normy podle ČSN EN ISO 6946. Vstupní hodnoty uživatel zadá do přehledné tabulky. Uživatel v celém programu vyplňuje jen bílé buňky v jednotlivých tabulkách. Na obrázcích jsou znázorněny tabulky s nevyplněnými údaji. Základní rovnicí pro výpočet součinitele tepelných ztrát prostupem tepla je rovnice 16-1. [51]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (16-1)$$

$S_n$  – tloušťka jednotlivých vrstev (m)

$\lambda_n$  – součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$R_{si}$  – odpor přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )

$R_{se}$  – odpor přestupu tepla na vnější straně konstrukce ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )

$R_n$  – odpor přestupu tepla jednotlivých vrstev konstrukce ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )

### 16.1 Výpočet součinitele přestupu tepla $U_{ven}$ pro obvodové zdi

První tabulka počítá součinitel prostupu tepla pro obvodové zdi. Při tomto výpočtu se jedná o přestup tepla vodorovně. Norma stanovuje tyto hodnoty  $R_{si}$  a  $R_{se}$ .

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

Materiál zdi	Tloušťka jed. vrstev zdi $S_{ven}$ (m)	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{ven}$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{ven}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{dopl}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )
				0,3
		Souč. tep. $\lambda_{venizolace}$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )		
Dop. izolace $S_{venizolace}$ (m)				

Obr. 16-1 Tabulka pro výpočet součinitele prostupu tepla u obvodových zdí  $U_{ven}$

Nejdříve se zadá název materiálu a pak všechny ostatní parametry. Poté se provede výpočet. Po výpočtu součinitele prostupu tepla  $U_{ven}$  je tato hodnota porovnána se součinitelem doporučeným  $U_{dopl}$  podle normy ČSN 73 0540-2:2011. Musí platit, že

$U_{ven} < U_{dop1}$ . V tom to případě je  $U_{dop1} = 0,3$ . Pokud je ta to podmínka splněna zobrazí v tabulce není potřeba izolace a pokračuje se na další výpočet. Není-li tato podmínka splněna  $U_{ven} < U_{dop1}$  zobrazí v tabulce *nevyhovuje*. Uživatel napíše do tabulky hodnotu součinitele prostupu  $\lambda_{venizolace}$ . Poté je vypočtena doporučená tloušťka izolace viz rovnice 16-2. Je třeba použít nejbližší vyšší tloušťku izolace. Po použití přídatné izalce bude podmínka  $U_{ven} < U_{dop1}$  splněna.

$$s_{venizolace} \geq \frac{\left(1 - U_{dop1} \left( \left( \frac{S_1}{\lambda_1} \right) + \left( \frac{S_2}{\lambda_2} \right) + \left( \frac{S_3}{\lambda_3} \right) + R_{si} + R_{se} \right) \right) \lambda_{venizolace}}{U_{dop1}} \quad (m) \quad (16-2)$$

Tento postup je stejný i pro výpočet součinitele vnitřních zdí  $U_{vn}$  vnitřních stěn je považován doporučený součinitel prostupu tepla  $U_{dopvn} = 1,8$ . Tento postup je aplikován i výpočtu součinitele prostupu tepla  $U_{str}$  u stropu. Jsou změněny hodnoty pro  $R_{si}$ ,  $R_{se}$ , protože se jedná o přestup tepla nahoru a  $U_{dop3} = 0,4$ . Pro tento případ je stanovena jiná hodnota  $R_{si}$ .

$$R_{si} = 0,1 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

## 16.2 Výpočet součinitele prostupu tepla $U_{okna}$ průsvitné části podle ČSN EN ISO 10 077-1 a 2

Dalším výpočtem je výpočet součinitele prostupu tepla  $U_{okna}$  u oken. Uživatel si vybere z tabulky na obr. 16-2 o jaký typ okna se jedná. Vybranou hodnotu zapíše do tabulky viz obr. 16-3 [52]

Dle ČSN ISO 10 077		
Typ rámu	Lin. činit. prost. tepla pro typy zasklení $\psi_{skla}$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	
	Dvojsklo nebo trojsklo nepokovené sklo plněné vzduchem nebo plynem	Dvojsklo nebo trojsklo nízkoemisní sklo plněné vzduchem nebo plynem
Dřevěný nebo plastový	0,06	0,08
Kovový s přerušením tepelného mostu	0,08	0,11
Kovový bez přerušení tepelného mostu	0,02	0,05

Obr. 16-2 Tabulka pro výběr lin. činitele zasklení  $\psi_{skla}$

Pak uživatel zadá potřebné parametry okna. Součinitel prostupu tepla  $U_{okna}$  se vypočte podle rovnice 16-3.

$$U_{okna} = \frac{\sum S_{skla} U_{skla} + \sum S_r U_r + \sum l_{skla} \psi_{skla}}{\sum S_{skla} + \sum S_r} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (16-3)$$

$v_{ok}$  – výška okna (m)

$d_{ok}$  – délka okna (m)

$v_r$  – výška rámu (m)

$U_{skla}$  – součinitel prostupu tepla zasklením ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

$S_{skla}$  – plocha zasklení ( $\text{m}^2$ )

$S_{rskla}$  – plocha rámu ( $\text{m}^2$ )

$U_r$  – součinitel prostupu tepla rámu ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

$L_{skla}$  – viditelný obvod zasklení (m)

$\psi_{skla}$  – lineární činitel prostupu tepla ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

Název okna	Délka okna $d_{ok}$ (m)	Výška okna $v_{ok}$ (m)	Výška rámu $v_r$ (m)	Souř. prost. tep. zaskl. $U_{skla}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	Plocha zasklení $S_{skla}$ ( $\text{m}^2$ )	Plocha rámu $S_{rskla}$ ( $\text{m}^2$ )	Součinitel prostupu tepla rámu $U_r$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	Vidit. obvod zasklení výplně $l_{skla}$ (m)	Lin. činitel přet. $\psi_{skla}$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{okna}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

Obr. 16-3 Tabulka pro výpočet součinitele prostupu tepla okna  $U_{okna}$

Viditelný obvod zasklení  $l_{nep}$

$$l_{skla} = 2(d_{ok} - 2v_r) + 2(v_{ok} - 2v_r) \quad (\text{m}) \quad (16-4)$$

Plocha zasklení  $S_{skla}$

$$S_{skla} = (d_{ok} - 2v_r)(v_{ok} - 2v_r) \quad (\text{m}^2) \quad (16-5)$$

Plocha rámu  $S_{rskla}$

$$S_{rskla} = 2v_{ok} v_r + [2(d_{ok} - 2v_r)v_r] \quad (\text{m}^2) \quad (16-6)$$

Program vypočte po zadání parametrů okna  $l_{skla}$  16-4,  $S_{skla}$  16-5,  $S_r$  16-6. Do tabulky se může zadat až 8 druhů oken. Pozadání všech parametrů vypočte program součinitel přestupu tepla u jednotlivých oken.



### 16.3 Výpočet součinitele prost. tepla $U_{dv}$ neprůsvitné části podle ČSN EN ISO 10 077-1 a 2

Dalším výpočtem je výpočet součinitele ztrát dveří  $U_{dv}$ . Uživatel zadá potřebné parametry dveří. Součinitel prostupu tepla dveří s rámem  $U_{dvr}$  se vypočte podle rovnice 16-7.

$$U_{dvr} = \frac{\sum S_{dv} U_{dv} + \sum S_{rdv} U_{rdv}}{\sum S_{dv} + \sum S_{rdv}} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (16-7)$$

$v_{dv}$  – výška dveří s rámem (m)

$d_{dv}$  – délka dveří s rámem (m)

$v_{rdv}$  – výška rámu dveří (m)

$U_{dv}$  – součinitel prostupu tepla dveří ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

$S_{dv}$  – plocha dveří ( $\text{m}^2$ )

$S_{rdv}$  – plocha rámu dveří ( $\text{m}^2$ )

$U_{rdv}$  – součinitel prostupu tepla rámu ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

Plocha dveří  $S_{dv}$

$$S_{dv} = (d_{dv} - 2v_{rdv})(v_{dv} - 2v_{rdv}) \quad (\text{m}^2) \quad 16-8$$

Plocha rámu dveří  $S_{rdv}$

$$S_{rdv} = 2v_{dv}v_{rdv} + [2(d_{dv} - 2v_{rdv})v_{rdv}] \quad (\text{m}^2) \quad (16-9)$$

Název dveří	Délka dveří s rámem $d_{dv}$ (m)	Výška dveří s rámem $v_{dv}$ (m)	Výška rámu dveří $v_{rdv}$ (m)	Souč. prost. tepla dv. $U_{dv}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	Plocha dveří $S_{dv}$ ( $\text{m}^2$ )	Plocha rámu dveří $S_{rdv}$ ( $\text{m}^2$ )	Souč. prostupu tepla rámu $U_{rdv}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{dvr}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

Obr. 16-4 Tabulka pro výpočet součinitele prostupu tepla dveří  $U_{dvr}$

Program vypočte po zadání parametrů okna  $S_{dv}$  16-8,  $S_{rdv}$  16-9. Do tabulky se může zadat až 8 druhů dveří. Pozadání všech parametrů se vypočte součinitel přestupu tepla u jednotlivých dveří.

## 16.4 Výpočet součinitele prost. tepla $U_{pod}$ pro přilehlou zeminu podle ČSN EN ISO 13 370

Dalším výpočtem je výpočet součinitele prostu tepla  $U_{pod}$  pro přilehlou zeminu. Uživatel nejprve vybere kategorii z tabulky viz obr. 16-4. Pak zadá potřebné parametry podlahy viz obr. 16-6. Nejdříve se vypočte charakteristické číslo podlahy  $B'$ . V tabulce na obr. 16-5 je nutné do kolonky izolace napsat parametry izoalce. Pak se vypočte  $U_{pod}$ . Pokud vyhovuje nebude program počítat doporučenou izolaci. Jinak je potřeba zadat  $\lambda_{podizolace}$ .

Dle ČSN ISO 13 370		
Kategorie	Popis	Tepelná vodivost $\lambda_{zeminy}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
1	Hliny a jíly	1,5
2	Pisky a štěrky	2
3	Stejnorodá skála	3,5

Obr. 16-5 Tabulka kategorie zemin podle tepelné vodivosti  $\lambda_{zeminy}$

Parametry podlahy		Charakteristické číslo pod. $B'$ (m)	Celk. ekviv.tl. $d_i$ (m)	
Šířka podlahy $s_{pod}$ (m)				
Délka podlahy $d_{pod}$ (m)				
Šířka obvodových zdí $w$ (m)				
Součinitel tepelné vodivosti zeminy vod. $\lambda_{zeminy}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )				
$R_f$ ( $m^2KW^{-1}$ )				
Materiál podlahy	Tloušťka jed. vrstev podlahy $s_{pod}$ (m)	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{pod}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{pod}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{dop4}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
				0,45
		Souč. tep. $\lambda_{podizolace}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )		
Dop. izolace $S_{podizolace}$ (m)				

Obr. 16-6 Tabulka pro výpočet součinitele prostupu tepla podlahy  $U_{pod}$

Výpočet charakteristického čísla podlahy  $B'$  rovnice 16-10.

$$B' = \frac{S_{pod}}{0,5 O_{pod}} \quad (m) \quad (16-10)$$

$O_{pod}$  – obvod podlahy odělující vytápění prostor uvažované části (m)

$S_{pod}$  – plocha podlahy (m<sup>2</sup>)

Pomocí rovnice 16-11 se spočte  $d_t$  ekvivalentní tloušťka podlahy.

$$d_t = w + \lambda_{ze \min y} (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (m) \quad (16-11)$$

$w$  – šířka obvodových stěn (m)

$R_f$  – tepelný odpor podlahy ( $m^2KW^{-1}$ )

$\lambda_{zeminy}$  – tepelná vodivost zeminy ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

$$R_{si} = 0,17 \text{ (m}^2KW^{-1}\text{)}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2KW^{-1}\text{)}$$

Porovnáním zda  $d_t < B'$  se použije pro výpočet  $U_{pod}$  rovnice 16-12 nebo 16-13.

$$d_t \geq B' \Rightarrow U_{pod} = \frac{\lambda_{ze \min y}}{0,457 B' + d_t} \quad (Wm^{-2}K^{-1}) \quad (16-12)$$

$$d_t < B' \Rightarrow U_{pod} = \frac{2 \lambda_{ze \min y}}{\pi B' + d_t} \left( \frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (Wm^{-2}K^{-1}) \quad (16-13)$$

Výsledné  $U_{pod}$  musí být menší než  $U_{dop4} = 0,45$  pak program napíše není potřeba izolace, jinak je potřeba zadat  $\lambda_{podizolace}$  k výpočtu tloušťky izolace. Výpočet je obdobný jako u kapitoly 16.1.

## 16.5 Výpočet součinitele prost. tepla $U_{pod1}$ pro podlahu

Postup výpočtu je obdobný jako v kapitole 16.1. Tuto tabulku viz obr. 16-7 vyplňuje uživatel.

Materiál podlahy	Tloušťka jed. vrstev podlahy $s_{pod1}$ (m)	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{pod1}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{pod1}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{dop5}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
				0,3
		Souč. tep. $\lambda_{podizol}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )		
Dop. izolace $S_{podizol}$ (m)				

Obr. 16-7 Tabulka pro výpočet součinitele prostupu tepla podlahy  $U_{pod5}$

## 16.6 Výpočet součinitele přestupu tepla $U_{stř}$ pro neprůsvitné části podle ČSN EN ISO 6946 pro jednovrstevnou konstrukci

Zde musí uživatel zadat číslo jedna ke střeše, o kterou se jedná viz obr. 16-8, protože je normou dán  $U_{dop6}$ ,  $U_{dop7}$  podle strmosti střechy.

Uživatel napíše do buňky číslo 1 ke střeše, kterou daný dům má.	$U_{dop6}, U_{dop7}$	$(Wm^{-2}K^{-1})$
Sřecha strmá se sklonem nad $45^\circ$ $U_{dop6}$	0,3	$(Wm^{-2}K^{-1})$
Sřecha plochá a šikmá se sklonem do $45^\circ$ včetně $U_{dop7}$	0,24	$(Wm^{-2}K^{-1})$

Obr. 16-8 Tabulka druhů střechn

Pak se opět postupuje jako v předzích kapitolách. Vyplní se potřebné parametry a vypočte se součinitel přestupu tepla střechny  $U_{stř}$  viz obr. 16-9.

Materiál střechny	Tloušťka jed. vrstev střechny $s_{stř}$ (m)	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{stř}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{stř}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )	Součinitel prostupu tepla $U_{dop8}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
				0,24
		Souč. tep. $\lambda_{střizolace}$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )		
Dop. izolace $S_{střizolace}$ (m)				

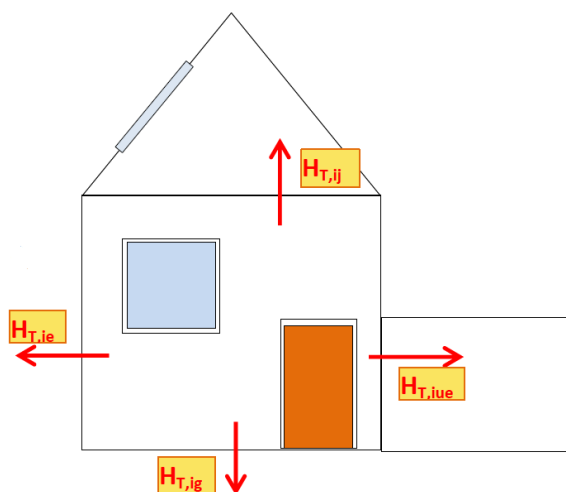
Obr. 16-9 Tabulka pro výpočet součinitele prostupu tepla střechny  $U_{stř}$

## 17 Výpočet tepelných ztrát ČSN EN 12 831 prostupem tepla $\theta_{T,i}$

Výpočet tepelných ztrát domu prostupem tepla nám ukazuje rovnice 17-1.

$$\theta_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) (t_{iv} - t_{ev}) \quad (W) \quad (17-1)$$

Pro názornost výpočtu jsou na obr. 17-1 vyobrazeny jednotlivé ztráty prostupem tepla graficky.



Obr. 17-1 Znárodnění jednotlivých tepelných ztrát domu

$H_{T,ie}$	– součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budova [W/K]
$H_{T,iue}$	– součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostoru nevytápěným prostorem [W/K]
$H_{T,ig}$	– součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do zeminy v ustáleném stavu [W/K]
$H_{T,ij}$	– součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu [W/K]
$t_{iv}$	– vnitřní výpočtová teplota [°C]
$t_{ev}$	– venkovní výpočtová teplota [°C]

Obr. 17-2 Legenda k obrázku 17-1

V této sekci programu se vypočítají jednotlivé ztráty prostupem tepla  $\theta_{T,i}$  v jednotlivých místnostech domu. Nejprve zadá uživatel hodnoty teplot potřebných pro výpočet do tabulky viz obr. 17-3.

Klimatické údaje		
Výpočtová venkovní teplota	$t_{ev}$ (°C)	
Roční průměrná teplota vzduchu	$t_m$ (°C)	
Korekční činitelé vystavení klim. podm.	$e_k$ (-)	

Obr. 17-3 Tabulka klimatických údajů oblasti pro výpočet tepelných ztrát domu

Obvodová zeď $U_{ven} (Wm^{-2}K^{-1})$	Vnitřní zeď $U_{vn} (Wm^{-2}K^{-1})$	Strop $U_{str} (Wm^{-2}K^{-1})$	Okna $U_{okna} (Wm^{-2}K^{-1})$	Dveře $U_{dvr} (Wm^{-2}K^{-1})$	Podlaha $U_{pod} (Wm^{-2}K^{-1})$	Podlaha pro nevyt. suterén $U_{podl} (Wm^{-2}K^{-1})$

Obr. 17-4 Tabulka součinitelů prostupu tepla u jednotlivých stavebních částí domu

Z tabulky na obr. 17-4 odečte uživatel potřebné součinitele prostupu tepla potřebných k výpočtu ztárt prostupem tepla. Součinitele prostupu tepla byly vypočteny v první části programu viz kapitola 16.1. Jako první se počítají tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí  $H_{Ta,ie}$ . Dolní index  $a$  označuje u všech veličin při výpočtu tepelných ztrát 1. místnost.

### 17.1 Tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí $H_{Ta,ie}$

Uživatel zapíše do tabulky na obr. 17-5 název jednotlivých stavebních částí domu, jejich plochu a příslušný vypočtený součinitel prostupu tepla z tabulky viz obr. 17-4. Z tab. na obr. 17-5 se vypočtou celkové ztráty do venkovního prostředí  $H_{Ta,ie}$ .

Stavební část domu	Plocha stav. částí $S_{ka} (m^2)$	Součinitel prostupu tepla $U_{ka} (Wm^{-2}K^{-1})$	Korekční součinitel $\Delta U_{tba} (Wm^{-2}K^{-1})$	Korigovaný souč.pr.tepla $U_{kca} (Wm^{-2}K^{-1})$	Korekční činitel $e_k (-)$	$S_{ka} U_{kca} e_k$
Celkový součinitel tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí $H_{Ta,ie} (WK^{-1})$						

Obr. 17-5 Tabulka pro výpočet tep. ztrát přímo do venkovního prostředí

$$H_{Ta,ie} = \sum_k S_{ka} U_{kca} e_k \quad (WK^{-1}) \quad (17-2)$$

$$U_{kca} = U_{ka} + \Delta U_{tba} \quad (Wm^{-2}K^{-1}) \quad (17-3)$$

$S_{ka}$  – plochy stavebních částí(m<sup>2</sup>)

$U_{ka}$  – korigovaný součinitel prostupu tepla do venkovní prostředí (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>)

$e_k$  – korekční činitel vystavení povětrnostních vlivům (-)

$\Delta U_{tba}$  – korekční činitel prostupu tepla do venkovního prostředí pro svislé stěny  
( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

Korekční činitel  $\Delta U_{tba}$  vybere uživatel z tabulek na obr. 17-6, 17-7, 17-8 podle druhu stavební části.

Počet průniků stropních konstrukcí	Počet průniků stěn	$\Delta U_{tba}$ pro svislé stavební části ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	
		Objem prostoru	Objem prostoru
		> 100 m <sup>3</sup>	> 100 m <sup>3</sup>
0	0	0	0,00
	1	0	0,00
	2	0,05	0,05
1	0	0,10	0,10
	1	0,15	0,15
	2	0,20	0,20
2	0	0,15	0,15
	1	0,20	0,20
	2	0,25	0,25

Obr. 17-6 Přehled hodnot korekčního činitele pro svislé stavební části

Stavební část			$\Delta U_{tba}$ pro vodorovné stavební části ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )
Lehká stropní/podlahová konst. (např. dřevěná, kovová)			0
Těžká str./podl. konst.	Počet stran v kontaktu s venkovním prostředím	1	0,05
		2	0,10
		3	0,15
		4	0,20

Obr. 17-7 Tabulka hodnot korekčního činitele pro vodorovné stavební části

Plocha otvorové výplně (okna, dveře) (m <sup>2</sup> )	$\Delta U_{tba}$ pro vodorovné stavební části ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )
0 až 2	0,5
>2 až 4	0,4
>4 až 9	0,3
>9 až 20	0,2
>20	0,1

Obr. 17-8 Tabulka korekčního činitele pro plochy otvorové výplně ve zdi

## 17.2 Tepelná ztráta do přilehlé zeminy $H_{Ta,ig}$

Zde se počítá tepelná ztráta do zeminy. Uživatel začne vyplněním tabulky na obr. 17-9, vyplní  $\check{s}_{pa}$ ,  $d_{poda}$  a program spočte charakteristický parametr  $B_a'$ .

$$B_a' = \frac{2S_{poda}}{O_{poda}} \quad (\text{m}) \quad (17-4)$$

$\check{s}_{pa}$  – šířka podlahové konstrukce (m)

$d_{poda}$  – délka podlahové konstrukce (m)

$O_{poda}$  – obvod podlahové konstrukce (m)

$S_{poda}$  – plocha podlahové konstrukce (m<sup>2</sup>)

Šířka podlahy $\check{s}_{poda}$ (m)	Délka podlahy $d_{poda}$ (m)	Plocha podlahy $S_{poda}$ (m <sup>2</sup> )	Obvod podlahy $O_{poda}$ (m)	Charakteristický parametr $B_{a'}$ (m)

Obr. 17-9 Tabulka pro dosazení parametrů podlahy

Stavební část	Součinitel prostupu tepla $U_{poda}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Korigovaný souč.pr.t. $U_{equiva,k}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Ekvív.souč.prostupu tepla $U_{kca}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Plocha stav.části (zemina) $S_{poda}$ (m <sup>2</sup> )	$S_{poda}U_{equiva,k}$
Celkem ekvivalentní stavební části $H_{ta,g}$ (WK <sup>-1</sup> )					

Obr. 17-10 Tabulka pro výpočet tepelných ztrát do přilehlé zeminy

$$H_{Ta,ig} = f_{ga1} f_{ga2} G_{wa} \sum_k S_{poda} U_{equiva,k} \quad (\text{WK}^{-1}) \quad (17-5)$$

$f_{ga1}$  – součinitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty (-)

$f_{ga2}$  – teplotní redukční součinitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou za otopné období a vypočtenou venkovní teplotou (-)

$S_{poda}$  – plocha podlahy (m<sup>2</sup>)

$U_{poda}$  – součinitel prostupu tepla podlahy (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>)

$G_{wa}$  – korekční čin. vlivu spodní vody (-)

$\Delta U_{equiva,k}$  – ekvivalentní součinitel prostupu tepla (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>)

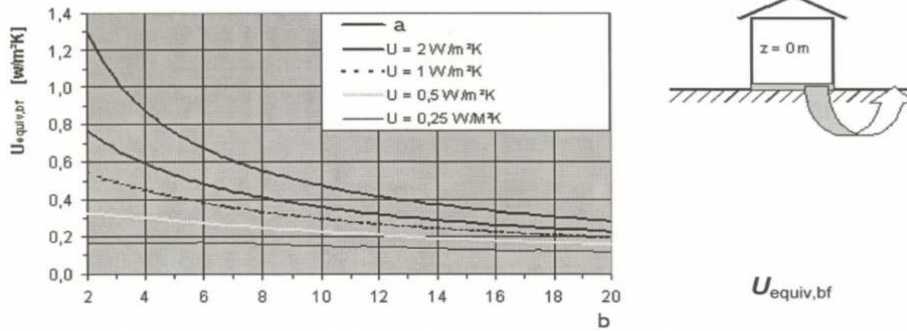
Z tabulky na obr. 17-11 zapíše hodnotu  $G_{wa}$  do tabulky na obr. 17-13.

Vyberte $G_{wa}$	1	pokud je hladina spodní vody větší než > 1 m pod podlahou
	1,15	pokud je hladina spodní vody méně než > 1 m pod podlahou

Obr. 17-11 Tabulka pro zvolení hodnoty  $G_{wa}$

Z obr. 17-12 odečte uživatel hodnotu ekvivalentního součinitele prostupu tepla  $\Delta U_{equiva,k}$  z hodnot  $B_{a'}$  na obr. 17-10  $B_{a'} = b$  a  $U_{poda}$ . Odečtenou hodnotu  $\Delta U_{equiva,k}$  uživatel zapíše do tab. na obr. 17-10.





Obr. 17-12 Graf ekvivalentního součinitele prostupu tepla  $\Delta U_{equiv,k}$

Korekční činitel	Korekční čin. vliv ročních změn teplot $f_{g1a}$ (-)	Vnitřní teplota $t_{iv}$ (°C)	Tepl.redukční činitel $f_{g2a}$ (-)	Korekční čin. vlivu spodní vody $G_{wa}$ (-)
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{Ta,ig}$ (WK <sup>-1</sup> )				

Obr. 17-13 Tabulka pro výpočet celk. součinitele tepelných ztrát zeminou  $H_{Ta,ig}$

Do tab. na obr. 17-13 doplní uživatel teplotu  $t_{iv}$ .

$$f_{ga2} = \frac{t_{iv} - t_m}{t_{iv} - t_{ev}} \quad (-) \quad (17-6)$$

$t_{iv}$  – výpočtová vnitřní teplota (°C)

$t_{ev}$  – vnější teplota (°C)

Hodnoty teplot  $t_m$ ,  $t_{ev}$  jsou uvedeny v tab. na obr. 17-3. Hodnotu teploty  $t_{iv}$ , si může uživatel vybrat z tabulky na obr. 17-14 nebo si může zadat vlastní teplotu.

Druh místnosti	Teplota vzduchu $t_{iv}$ (°C)
Obytná místnost	18 až 22
Kuchyně	15
Kuchyňský kout	15
Koupelna s vanou	24
Koupelna s WC	24
WC individuální	16
Umývárna individuální	18
Šatna	18
Spížirna	15
Chodby schodiště	10 až 15

Obr. 17-14 Doporučené vnitřní teploty  $t_{iv}$  pro jednotlivé místnosti

### 17.3 Tepelná ztráta nevytápěným prostorem $H_{Ta, iue}$

Tepelná ztráta nevytápěným prostorem je např. nevytápěný suterén, půda. Výpočet se provádí pomocí rovnice 17-7.

Stavební část	Plocha stav.části $S_{ka1}$ ( $m^2$ )	Souč.prostupu tepla $U_{kca1}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )	Korekční součinitel $\Delta U_{tba1}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )	Korigovaný souč.pr.t. $U_{kca1}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )	Tep. nevyt. prostoru $t_{ua}$ ( $^\circ C$ )	Výpočtová teplota $t_{iv}$ ( $^\circ C$ )	$S_k U_{kca1} b_{ua}$
Celkový součinitel tepelné ztráty přes nevytápěný prostor $H_{Ta,iue}$ ( $WK^{-1}$ )							

Obr. 17-15 Tabulka pro výpočet tepelných ztrát nevytápěným prostorem  $H_{Ta,iue}$

$$H_{Ta,iue} = \sum_k S_{ka1} U_{kca1} b_{ua} \quad (WK^{-1}) \quad (17-7)$$

$S_{ka1}$  – plochy stavebních částí ( $m^2$ )

$U_{kca1}$  – korigovaný součinitel prostupu tepla nevytápěným prostorem ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )

$b_{ua}$  – teplotní redukční činitel (-)

$$U_{kca1} = U_{ka1} + \Delta U_{tba1} \quad (Wm^{-2}K^{-1}) \quad (17-8)$$

$U_{ka1}$  – celkový korigovaný součinitel prostupu tepla nevytápěným prostorem ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )

$\Delta U_{tba1}$  – korekční činitel prostupu tepla nevytápěným prostorem ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )

Korekční činitel  $\Delta U_{tba1}$  vybere uživatel z tabulek na obr. 17-6, 17-7, 17-8 podle druhu stavební části.

$$b_{ua} = \frac{t_{iv} - t_{ua}}{t_{iv} - t_{ev}} \quad (-) \quad (17-9)$$

$t_{ua}$  – teplota nevytápěného prostoru ( $^\circ C$ )

$t_{iv}$  – výpočtová vnitřní teplota ( $^\circ C$ )

$t_{ev}$  – vnější teplota ( $^\circ C$ )

Hodnoty teplot  $t_{ev}$  je uvedena v tab. na obr. 17-3. Hodnotu teploty  $t_{iv}$ , si může uživatel vybrat z tabulky na obr. 17-14 nebo si může zadat vlastní teplotu.

### 17.4 Tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu $H_{Ta, ij}$

Tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu. Výpočet se provádí pomocí rovnice 17-10. Hodnoty se zapíší do tabulky na obr. 17-16.

Stavební část	Plocha stav.části $S_{ka2}$ (m <sup>2</sup> )	Souč.prostupu tepla $U_{ka2}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Výpočtová teplota $t_{iv}$ (°C)	Výpočtová teplota $t_{vyt.prostor}$ (°C)	Tepł.redukční činitel $f_{ija}$ (-)	$S_k U_k f_{ij}$
Celkový součinitel tepelné ztráty do sous.prost.vyt.na výrazně jinou teplotu $H_{Ta, ij}$ (Wk <sup>-1</sup> )						

Obr. 17-16 Tabulka pro výpočet ztrát prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru

$$H_{Ta, ij} = \sum_k f_{ija} S_{ka2} U_{ka2} \quad (\text{WK}^{-1}) \quad (17-10)$$

$f_{ija}$  – teplotní redukční činitel(-)

$S_{ka2}$  – plochy stavebních částí (m<sup>2</sup>)

$U_{ka2}$  – korigovaný součinitel prostupu tepla pro  $H_{Ta, ij}$  (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>)

$$U_{kca2} = U_{ka2} + \Delta U_{tba2} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (17-11)$$

$\Delta U_{tba2}$  – korekční činitel prostupu tepla pro  $H_{Ta, ij}$  (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>)

Korekční činitel  $\Delta U_{tba2}$  vybere uživatel z tabulek na obr. 17-6, 17-7, 17-8 podle druhu stavební části.

$$f_{ij} = \frac{t_{iv} - t_{vyt.prostor}}{t_{iv} - t_{ev}} \quad (-) \quad (17-12)$$

$t_{vyt.prostor}$  – teplota vytápěného sousedního prostoru (°C)

$t_{iv}$  – výpočtová vnitřní teplota (°C)

$t_{ev}$  – výpočtová vnější teplota (°C)

Hodnoty teplot  $t_{ev}$  je uvedena v tab. na obr. 17-3. Hodnotu teploty  $t_{iv}$ , si může uživatel vybrat z tabulky na obr. 17-14 nebo si může uživatel zadat vlastní teplotu. Tím je výpočet tepelných ztrát pro jednu místnost ukončen. Vypočetli jsme celkové ztráty pro jednu místnost  $\phi_{Ta,i}$ . Tento výpočet provede i pro ostatní místnosti domu.

### 17.5 Tepelná ztráta větráním –přirozené větrání $\phi_{v,i}$

Nyní se budeme věnovat tepelným ztrátám větráním, které vypočteme z rovnice 17-13. Potřebné hodnoty vyplníme do tabulky na obr. 17-17.

Druh místnosti	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Šířka místnosti $s_i$ (m)										
Délka místnosti $d_i$ (m)										
Výška místnosti $v_i$ (m)										
Objem místnosti $V_{ie}$ (m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Venkovní výpočtová teplota $t_{ev}$ (°C)	0									
Vnitřní výpočtová teplota $t_{iv}$ (°C)										
Nejmenší hyg. intenzita mn. vzd. $n_{min,i}$ (1h <sup>-1</sup> )										
Nejmenší hyg. mn. vzduchu $V_{min,i}$ (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Int. výměny vzduchu $n_{50}$ (1h <sup>-1</sup> )	4									
Čin. zaclonění $e_i$ (-)										
Výškový kor. činitel $\varepsilon_i$ (-)										
Množství vzduchu infiltrace $V_{inf,i}$ (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zvolená výpočtová hodnota $V_i$ (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Souč. návrhové tepel. větráním $H_{v,i}$ (WK <sup>-1</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Teplotní rozdíl $\Delta t_{roz}$ (°C)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráty větráním $\phi_{v,i}$ (W)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Celkové ztráty větráním $\phi_{v,i}$ (W)	0,0									

Obr. 17-17 Tabulka pro výpočet ztrát větráním

$$\phi_{v,i} = H_{v,i}(t_{iv} - t_{ev}) \quad (\text{W}) \quad (17-13)$$

$H_{v,i}$  – součinitel návrhové tepelné ztráty větráním(WK<sup>-1</sup>)

$t_{iv}$  – výpočtová vnitřní teplota (°C)

$t_{ev}$  – výpočtová vnější teplota (°C)

Výpočet objemu jednotlivých místností  $V_{ic}$ .

$$V_{ic} = \check{s}_i d_i v_i \quad (\text{m}^3) \quad (17-14)$$

$\check{s}_i$  – šířka místnosti (m)

$d_i$  – délka místnosti (m)

$v_i$  – výška místnosti (m)

Infiltrace obvodovým pláštěm budovy – množství vzduchu  $V_{inf, i}$

Množství vzduchu infiltrací  $V_{inf, i}$  vytápěného prostoru  $i$ , způsobené větrem a účinkem vztlaku na plášť budovy.

$$V_{inf, i} = 2n_{50} e_i \varepsilon_i \quad (\text{m}^3 \text{h}^{-1}) \quad (17-15)$$

$n_{50}$  – intenzita výměny vzduchu za hodinu při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a vnějškem budovy a zahrnující účinky přívodů vzduchu ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )

$e_i$  – stínící činitel (-)

$\varepsilon_i$  – výškový korekční činitel, který zohledňuje zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země (-)

Hygienické množství vzduchu  $V_i$

$$V_i = \max(V_{inf, i}; V_{min, i}) \quad (\text{m}^3 \text{h}^{-1}) \quad (17-16)$$

$V_{inf, i}$  – množství vzduchu ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )

$V_{min, i}$  – požadovaná hodnota z hygienických důvodů ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )

Nejmenší požadované množství vzduchu  $V_{min, i}$  z hygienických důvodů pro vytápěný prostor  $i$  se stanoví z rovnice 17-17.

$$V_{min, i} = n_{min} V_{ic} \quad (\text{m}^3 \text{h}^{-1}) \quad (17-17)$$

$n_{min, i}$  – nejmenší hyg. intezita množství vzduchu ( $\text{lh}^{-1}$ )

$V_{ic}$  – objem jednotlivých místnosti ( $\text{m}^3$ )

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním

$$H_{v,i} = V_i \rho c_p \quad (\text{WK}^{-1}) \quad (17-18)$$

$\rho$  – hustota vzduchu při  $t_{iv}$  ( $\text{kgm}^{-3}$ )

$c_p$  – měrná tepelná kapacita vzduchu při  $t_{iv}$  ( $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

Za předpokladu konst.  $\rho$  a  $c_p$  se rovnice zjednoduší na rovnici

$$H_{v,i} = 0,34 V_i \quad (\text{WK}^{-1}) \quad (17-19)$$

$V_i$  – hygienické množství vzduchu ( $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ )

## 18 Výpočet tepelného zisku dle normy ČSN 730542

Výpočet tepelných zisků ze zasklení pro jednotlivé měsíce lze stanovit dle normy ČSN 730542. Průměrný tepelný zisk za měsíc se stanoví ze vztahu 18-1.

$$E_{Zr} = E_{gvo} (S_{ozisk} - S_{nzisk}) T_{1zisk} T_{2zisk} T_{3zisk} c_{mpzisk} c_{nzisk} \quad (\text{kWhrok}^{-1}) \quad (18-1)$$

$E_{gvo}$  – globální sluneční záření ( $\text{kWhm}^{-2}\text{rok}^{-1}$ ) viz tab. 18-1

$S_{ozisk}$  – plocha okna ( $\text{m}^2$ )

$S_{nzisk}$  – plocha neprůsvitné části okna ( $\text{m}^2$ )

$T_{1zisk}$  – propustnost slunečního záření zasklení (-) viz tab. 18-2

$T_{2zisk}$  – znečištění zasklení uvažuje se  $T_2 = 0,9$ , není-li známa konkrétní hodnota (-)

$T_{3zisk}$  – činitel stínění okna (-) viz tab. 18-3

$c_{mpzisk}$  – činitel využití slunečního záření (-) viz tab 18-4

$c_{nzisk}$  – činitel korigující skutečnost (-), že dopad slunečních paprsků není kolmý,

$$c_n = 0,9$$

Tab. 18-1 Globální sluneční záření za měsíc  $E_{gm}$  ( $\text{kWh m}^{-2}\text{měs}^{-1}$ ) a za otopné období

$E_{gvo}$

Měsíc	S	SV, SZ	V, Z	JV, JZ	J
Říjen	10,36	14,06	32,23	57,61	71,57
Listopad	5,52	6,98	15,87	31,99	41,07
Prosinec	4,03	5,09	11,18	23,86	30,95
Leden	5,21	6,42	15,01	32,2	41,91
Únor	7,26	9,55	22,20	42,17	53,31
Březen	15,60	23,25	48,89	76,16	89,73
Duben	24,04	38,3	65,84	84,33	88,42
$E_{gvo}$	77,02	103,65	211,23	348,32	416,99

Tab. 18-2 Propustnost slunečního záření zasklení  $T_l$  z čirého skla dle ČSN 730542

Počet skel	1	2	3
Propustnost $T_l$	0,9	0,81	0,73

Tab. 18-3 Hodnoty stínících součinitelů  $T_3$  pro různá provedení oken a stínících prvků dle ČSN 730548

Druh zasklení	$T_3$	Stínící prvky	$T_3$
Jednoduché sklo	1,00	Vnitřní žaluzie lamely 45° světlé	0,56
Dvojité sklo	0,90	Vnitřní žaluzie lamely 45° střední barvy	0,65
Jednoduché determální sklo	0,70	Vnitřní žaluzie lamely 45° tmavé	0,75
Vnější determální, vnitřní obyčejné	0,60	Vnitřní žaluzie lamely 45° světlé	0,15
Reflexní sklo jednoduché prům. jakost	0,70	Vnitřní žaluzie lamely 45° světlé, ven jasné, dovnitř tmavé	0,13
Reflexní sklo dvojité, špičkové výrobky	0,24	Vnější markýzy, meziprostor větrán	0,30
Vnější reflexní sklo průměrnéjakosti, vnitřní obyčejné	0,60	Meziokenní žaluzie, prostor nevětrán	0,50
Zdvojené reflexní sklo dobré jakosti	0,30	Reflexní záclony světlé, vnější reflexní vrstva	0,60
Barevné vrstvy stříkané světlé	0,80	Závěsy: bavlna, umělá vlákna	0,80
Barevné vrstvy stříkané střední	0,70	Reflexní záclony tmavé, vnější reflexní vrstva	0,70
Reflexní folie tmavá	0,25		
Reflexní folie světlá	0,42		
Sklo s drátěnou vložkou	0,80		

Tab. 18-4 Činitel využití slunečního záření za měsíc  $c_m$  při různých orientacích zasklené plochy ( $c_{mp}$  je průměrná hodnota za celé vytápěcí období) dle ČSN 730542

Měsíc	S	SV, SZ	V, Z	JV, JZ	J
Říjen	1,00	0,95	0,85	0,73	0,67
Listopad	1,00	0,98	0,95	0,86	0,81
Prosinec	1,00	1	1,00	0,97	0,95
Leden	1,00	1	1,00	0,97	0,95
Únor	1,00	1	1,00	0,97	0,95
Březen	1,00	0,98	0,95	0,86	0,81
Duben	1,00	0,98	0,85	0,73	0,67
$E_{gvo}$	1,00	0,97	0,91	0,84	0,8

Tato norma nerespektuje užití externích stínících prvků (slunolamy), které mohou výrazně snižovat tepelné zisky.

Místnost M1	Okno 1	Okno 2	Okno 3	Okno 4	Okno 5	Okno 6
$E_{gvo}$ (kWhm <sup>-2</sup> rok <sup>-1</sup> )						
$S_{ozisk}$ (m <sup>2</sup> )						
$S_{nzisk}$ (m <sup>2</sup> )						
$T_{1zisk}$ (-)						
$T_{2zisk}$ (-)						
$T_{3zisk}$ (-)						
$c_{mpzisk}$ (-)						
$c_{nzisk}$ (-)						
$E_{zv}$ (kWhrok <sup>-1</sup> )						

Obr. 18-1 Tabulka pro zadání hodnot tepelného zisku  $E_{gvo}$

## 19 Výpočet potřeby tepla denostupňová metoda

Teoretickou potřebu tepla na vytápění  $Q_{VYT, teor}$  se vypočítá podle rovnice 19-1. Nejprve uživatel vyplní tabulku na obr. 19-1.

Délka otopného období	$d$		(dni)
Průměrná venkovní teplota v otopném období	$t_{ez}$		(°C)
Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty	$e_t$		(-)
Opravný součinitel na zkrácení doby provozu otep. soust.	$e_d$		(-)
Účinnost rozvodu tepelné energie	$\eta_R$		(%)
Účinnost obsluhy (resp. regulace)	$\eta_O$		(%)
Účinnost zdroje tepla (kotle)	$\eta_K$		(%)

Obr. 19-1 Tabulka pro hodnoty potřebných k výpočtu  $Q_{VYT, teor}$



$$Q_{vyt, teor} = 24 \cdot 3600 \cdot \phi_i \cdot \frac{d(t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_e)} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad (J) \quad (19-1)$$

$\phi_i$  – celkové tepelné ztráty domu (W)

$d$  – počet dnů otopného období (dny)

$t_{is}$  – průměrná vnitřní teplota domu (°C)

$t_{es}$  – průměrná venkovní teplota za otopné období (°C)

$t_e$  – výpočtová venkovní teplota (°C)

$\varepsilon$  – opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučastnosti přírážek  
pro výpočet tepelných ztrát domu (-)

$e_t$  – opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění (-)

$e_d$  – opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění (-)

Výpočet průměrné vnitřní teploty domu  $t_{is}$  podle rovnice 19-2.

$$t_{is} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic} t_{iv}}{\sum_{i=1}^n V_{ic}} \quad (J) \quad (19-2)$$

$V_{ic}$  – objemy jednotlivých místností (m<sup>3</sup>)

$t_{iv}$  – výpočtová vnitřní teplota (°C)

Vypočtená hodnota  $t_{is}$  se automaticky zapíše do tabulky na obr. 19-2.

Místnosti	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Objemy místnosti $V_{ic}$ (m <sup>3</sup> )										
Vnitřní výpočtová teplota $t_{iv}$ (°C)										
Venkovní návrhová tep. v zim. období $t_{ev}$ (°C)										
Převažující vnitř. teplota v otopném období $t_{is}$ (°C)										

Obr. 19-2 Výpočet průměrné vnitřní teploty domu  $t_{is}$

Průměrnou venkovní teplotu za otopné období  $t_{es}$  určíme podle normy ČSN EN 12831 ukazuje tab. na obr. 19-3. Označení  $t_{es}$  je v tabulce v normě ČSN EN 12831 pod značkou  $\theta_{m,e}$ ,  $t_e$  pod značkou  $\theta_e$  a  $t_{em}$  pod značkou  $\theta_{np,e}$ .

Místo (klimatická stanice)	výška nad mořem (m)	$\theta_e$ (°C)	Otopné období pro $\theta_{hp,e} = 12$ °C		Otopné období pro $\theta_{hp,e} = 15$ °C		Otopné období pro $\theta_{hp,e} = 13$ °C	
			$\theta_{m,e}$ (°C)	d (počet dnů)	$\theta_{m,e}$ (°C)	d (počet dnů)	$\theta_{m,e}$ (°C)	d (počet dnů)
Benešov	327	-15	3,5	234	5,2	280	3,9	245
Beroun (Králov Dvůr)	229	-12	3,7	225	5,3	268	4,1	236
Blansko (Dolní Lhota)	273	-15	3,3	229	5,1	275	3,7	241
Břeclav (Lednice)	159	-12	4,1	215	5,2	253	4,4	224
Brno	227	-12v	3,6	222	5,1	263	4,0	232
Bruntál	546	-18v	2,7	255	4,8	315	3,3	271
Česká Lípa	276	-15	3,3	232	5,1	282	3,8	245
České Budějovice	384	-15	3,4	232	5,1	279	3,8	244
Český Krumlov	489	-18v	3,1	243	4,6	288	3,5	254
Děčín (Březiny, Libverda)	141	-12	3,8	225	5,5	269	4,2	236
Domažlice	428	-15v	3,4	235	5,1	284	3,8	247
Frýdek-Místek	300	-15v	3,4	225	5,1	269	3,8	236

Obr. 19-3 Příklad průměrných venkovních teplot za otopné období v různých městech

Zvolenou hodnotu  $t_{es}$  podle lokality, kde se nachází dům, u kterého se výpočet provádí, zapíšeme do tabulky na obr. 19-1.

Výpočet opravného součinitele  $e$  pro přerušované vytápění uvádí rovnice 19-3.

$$e = e_t e_d \quad (-) \quad (19-3)$$

$e_t$  – opravný součinitel na snížení vnitřní teploty (-)

$e_d$  – opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy (-)

Obytné budovy s nepřerušovaným vytápěním  $e_t = 0,95$

Obytné budovy s nočním přerušovaným vytápěním  $e_t = 0,90$

Výpočet opravného součinitele  $\varepsilon$  vyjadřující nesoučasnosti přírážek uvádí rovnice 19-4.

$$\varepsilon = \frac{\Phi_{T,i}}{\Phi_i} \quad (-) \quad (19-4)$$

$\Phi_{T,i}$  – celkové tepelné ztráty prostupem tepl (-)

$\Phi_i$  – celkové tepelné ztráty domu (-)

Velikost součinitele nesoučasnosti přírážek  $\varepsilon$  se pohybuje od 0,6 pro rodinné domy.

Výpočet skutečné potřeby tepla  $Q_{vyt}$  uvádí rovnice 19-5.

$$Q_{vyt} = \frac{Q_{vyt, teor}}{\eta_R \eta_o \eta_k} \cdot 100 \quad (J) \quad (19-5)$$

$\eta_R$  – účinnost rozvodu tepelné energie zahrnuje účinnost (%)

$\eta_o$  – účinnost regulace (%)

$\eta_k$  – účinnost kotleb (%)

### 19. 1 Stanovení počtu sálavých panelů

Tabulka na obr. 19-4 ukazuje celkový přehled parametrů domu v jednotlivých místnostech.. Jsou to objemy, plochy, počet panelů, tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty způsobené větráním.

Druh místnosti	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Šířka místnosti $s_i$ (m)										
Délka místnosti $d_i$ (m)										
Výška místnosti $v_i$ (m)										
Plocha podlahy $S_{pod}$ (m)										
Objem místnosti $V_{ic}$ (m <sup>3</sup> )										
Ztráty prostupem tepla $\Phi_{ijed}$ (W)										
Ztráty větráním $\Phi_{ijed}$ (W)										
Tepelný zisk $E_{gvo}$ (kWhrok <sup>-1</sup> )										
Ztráty v jednot. pros i větr. $\Phi_{ijed}$ (W)										
Intenzita sálání $I_S$ (Wm <sup>-2</sup> )										
Počet panelů $P_{sal2}$ podle ztrát $\Phi_{ijed}$ (ks)										

Obr. 19-4 Tabulka pro výpočet počtu sálavých panelů podle tepelných ztrát

Uživatel zapíše parametry sálavého panelu do tab. na obr. 19-5.

Příkon panelu		$P_f$		(W)
Rozměry panelu		Délka	$a$	(m)
		Šířka	$b$	(m)
		Výška	$c$	(m)
Sálavá účinnost panelu		$\eta_s$		(%)

Obr. 19-5 Parametry sálavého panelu

Výpočet intenzity osálání  $I_{sijed}$  viz rovnice 19-6.

$$I_{Sijed} = \frac{\phi_{ijed} \eta_s}{S_{pod}} \quad (Wm^{-2}) \quad (19-6)$$

$\phi_{ijedi}$  – celkové ztráty u jednotlivých místností (W)

$\eta_s$  – sálavá účinnost panelu (-)

$S_{pod}$  – plocha podlahy v místnosti (m<sup>2</sup>)

Počet sálavých panelů

$$P_{sal2} = \frac{\phi_{ijed}}{P_{\bar{r}}} \quad (\text{ks}) \quad (19-7)$$

$P_{\bar{r}}$  – příkon sálavého panelu (W)

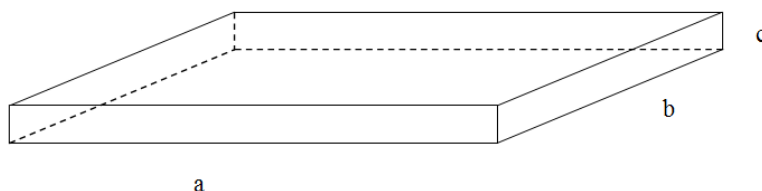
Na obr.19-6 jsou shrnuty všechny vypočtené důležité údaje o počítaném domu.

Celkový objem domu	$V_{domu}$	(m <sup>3</sup> )
Celková plocha podlahy domu	$S_{domu}$	(m <sup>2</sup> )
Celkové ztráty prostupem a větráním domu	$\Phi_i$	(MW)
Potředné teplo na vytápění domu	$Q_{vyt}$	(MJ)
Počtu panelů podle ztrát $\Phi_{ijed}$	$P_{sal2}$	(ks)

Obr. 19-6 Tabulka celkových vypočtených hodnot domu

## 19.2 Program pro výpočet sálavé účinnosti panelu

Tento program slouží k určení sálavé účinnosti pomocí teplot z měřených na jednotlivých stranách sálavého panelu v ustáleném stavu. Na menších plochách panelu byly měřeny 3 teploty. Na větších plochách panelu se měří 9 hodnot teplot. Na obr. 19-7 je znázorněna poloha měřeného panelu. Naměřené hodnoty uživatel zapíše do příslušných tabulek na obrázcích 19-8 až 19-13.



Obr. 19-7 Popis stran sálavého panelu

Zadní strana panelu		

Obr. 19-8 Tabulka pro teploty zadní strany panelu

Horní strana panelu		

Obr. 19-9 Tabulka pro teploty horní strany panelu

Aktivní strana panelu		

Obr. 19-10 Tabulka pro teploty aktivní (dolní) strany panelu

Levá strana panelu

Obr. 19-11 Tabulka pro teploty levé strany panelu

Pravá strana panelu

Obr. 19-12 Tabulka pro teploty pravé strany panelu

Přední strana panelu		

Obr. 19-13 Tabulka pro teploty na přední straně panelu

Do tabulky na obr. 19-14 uživatel zapíše parametry sálavého panelu.

Výkon panelu		$P_f$		[W]
Teplota okolí		$T_o$		[°C]
Rozměry panelu	Délka	$a$		[m]
	Šířka	$b$		[m]
	Výška	$c$		[m]

Obr. 19-14 Tabulka parametrů sálavého panelu a teplota okolí

Do tab. na obr. 19-15 napíše uživatel součinitel ztrát prouděním podle polohy jednotlivé strany panelu. Výpočet sálavé účinnosti je popsán v kapitole 5.

Strana panelu	Součinitel ztrát prouděním $K_i$ [-]	Plocha stěn panelu $S_i$ [m <sup>2</sup> ]	Teplotní součinitel $a_i$ [K]	Ztráty prouděním stěn panelu $P_i$ [W]	Prům. teplota stěn panelu $T_i$ [°C]
Aktivní strana					
Horní strana					
Levá strana					
Pravá strana					
Přední strana					
Zadní strana					
Sálavá účinnost $\eta_s$		[%]			
Cel. ztrt. proud. $P_i$					W

Obr. 19-15 Tabulka pro výpočet sálavé účinnosti panelu a ztrát prouděním u sálavého panelu

### 19.3 Program pro výpočet měrného sálavého výkonu mezi dvěma plochami

Tento program spočítá podle rovnice 19-8 sálavý výkon v jednotlivých místech osálané plochy pod panelem. Do tab. na obr. 19-16 uživateli vyplní potřebné parametry pro výpočet.

$$Q_b = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} c_c \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 \right] \frac{h^2}{\left( (x_z - x_b)^2 + (y_z - y_b)^2 + h^2 \right)^2} S_2 S_b \quad (\text{W}) \quad (19-8)$$

X souřadnice středu panelu	$x_z$		(m)
Y souřadnice středu panelu	$y_z$		(m)
Aktivní plocha panelu	$S_2$		(m <sup>2</sup> )
Teplota panelu	$T_2$		(°C)
Plocha měřeného vzorku	$S_b$		(m <sup>2</sup> )
Výška zavěšení panelu	$h$		(m)
Emisivita měřené plochy	$\varepsilon_1$		(-)
Emisivita panelu	$\varepsilon_2$		(-)
Stefan Boltzmanova konst.	$C_\varepsilon$	5,67	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> )
Prům. teplota pod panelem	$T_p$		(°C)
Velikost osálané plochy	$S_1$	7,3	(m <sup>2</sup> )

Obr. 19-16 Tabulka parametrů panelu a jeho souřadnic umístění

Na obr. 19-17 je znázorněna osálaná plocha pod panel. Nulový bod je vlevo nahoře. Od tohoto bodu se počítají jednotlivé souřadnice měřeného vzorku po 0,03 m i středové souřadnice panelu.

	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15									
0,3									
0,45									
0,6									
0,75									
0,9									
1,05									
1,2									
1,35									

Obr. 19-17 Tabulka teplot na měřených pod panelem

Celkový sálavý výkon $Q_c$		(W)
Měrný sálavý výkon $Q_{sm}$		(Wm <sup>-2</sup> )

Obr. 19-18 Tabulka měrné sálavého výkonu dopadlého na osálanou plochu

Na obr. 19-18 je znázorněna tabulka výsledných hodnot. Celkový sálavý výkon a měrný sálavý výkon.

## 20 Závěr

V disertační práci jsem řešil způsob určení hodnoty intenzity osálení při využití tepelného toku sáláním z plochy  $S_2$  na plochu  $S_1$ . Nejprve jsem naprogramoval aplikace pro výpočet teplotního součinitele prostupu tepla, tepelných ztrát prostupem a tepelných ztrát větráním objektu podle normy ČSN EN 12831. Dále jsem naprogramoval aplikaci pro výpočet sálavé účinnosti u sálavých panelů. Poslední naprogramovanou aplikací je výpočet měrného sálavého výkonu panelu při různých výškách při konstantní osálané ploše. Spojením subjektivního měření, které vyplnili lidé podle formuláře přiloženého v příloze a objektivního měření normovaným pyrometrem Optris zapůjčeného katedrou KEE, kde výrobce uvádí přesnost  $\pm 4$  %. Měření probíhalo při okolních teplotách od  $19$  °C do  $20$  °C a vlhkosti od  $50$  % do  $75$  %. Pro subjektivní testy na zvoleném vzorku osob byly panely o výkonu  $300$  W a  $700$  W zavěšovány postupně v těchto výškách:  $1,6$  m;  $0,65$  m. Pocitově nejlepší pro danou skupinu byl sálavý panel  $700$  W ve výšce  $0,65$  m nad subjektem a aplikací vypočtený měrný sálavý výkon  $56$  Wm<sup>-2</sup>. Z výsledku v tab. 10-3 je zřejmé, že se vzrůstající výškou se měrný sálavý výkon zmenšuje. Při výpočtu sálavé účinnosti u sálavého panelu  $700$  W vyšla průměrná sálavá účinnost  $60$  %  $\pm 12$  % z toho plyne, že by na osálanou plochu měl dopadnout teoreticky sálavý výkon  $420$  W, ale naměřený sálavý výkon je  $412$  W. Při určování sálavé účinnosti byly použity kritériální rovnice, které značně zjednoduší určení teplotní součinitele  $\alpha$ . Přesnost u těchto výpočtů se pohybuje okolo  $\pm 10$  %. Tento veliký rozdíl hodnot sálavého panelu mohl být způsoben použitím testovacího vzorku o malé ploše. Dále doba ustálení teploty na měřeném vzorku mohla mít vliv a v neposlední řadě izolace měřeného vzorku od okolí (např. od podlahy). Dále při zavěšení sálavých panelů v různých výškách byla zachována stále stejně velká osálaná plocha. Při zavěšení panelů výše, lze pokrýt větší část osálané plochy. Při subjektivním testu byla při výšce  $0,65$  m se  $700$  W sálavým panel vypočtena hodnota PMV  $-1$  a PPD  $34$  % dle normy ČSN EN ISO 7730. Podle výsledku z formuláře subjektivních pocitů pro  $700$  W panel, který byl zavěšen ve výšce  $0,65$  m, by tento druh vytápění pořídilo  $73$  % a  $27$  % by tento druh vytápění nechtělo, protože se necítili dobře nebo jim tento druh vytápění nevyhovuje. Další měření sálavého panelu o výkonu  $500$  W proběhlo v reálném prostředí při teplotě okolí  $19$  °C a při výšce zavěšení panelu  $2,4$  m a výkonu sálavého panelu  $500$  W byl aplikací spočten měrný sálavý výkon  $5$  Wm<sup>-2</sup>. Rozdíl v měřeních byl v maximální povrchové teplotě panelu, kdy  $300$  W a  $700$  W panel dosahoval teploty  $100$  °C oproti tomu  $500$  W panel



dosahoval teploty 65 °C. Dalším velice důležitým faktorem umístění sálavých panelů v místnosti. Umístit je v místnosti tam, kde nejvíce pobývají lidé.

Aplikaci spolu s vyplněným dotazníkem s vybraným vzorkem lidí, lze využít jako rámcovou metodiku pro návrh vytápění sálavými panely.

Cílem disertační práce bylo určit hodnou měrného sálavého výkonu při zachování tepelné pohody. Na základě všech mých provedených testů a výpočtů vychází měrný sálavý výkon v rozmezí  $56 \text{ Wm}^{-2} \pm 12 \%$  vhodný pro většinu osob z hlediska jejich subjektivní tepelné pohody. Dále byl vytvořen program pro výpočet sálavé účinnosti nízkoteplotních sálavých panelů a program pro výpočet tepelných ztrát podle nomy ČSN EN 12831.

Do budoucna by bylo vhodné provést další sérii testů pro větší skupiny lidí, více panelů, větší výšky zavěšení a delší pobyt ve vytápěném prostoru, aby byla potvrzena moje hypotéza.

## 21 Reference

- [1] [techmania.cz/wp-content/.../techmania\\_metodika\\_TERMIKA\\_cz.pdf](http://techmania.cz/wp-content/.../techmania_metodika_TERMIKA_cz.pdf)
- [2] <http://www.infratopeni-infrapanely.cz>
- [3] Bašta J. & Vavříčka R., 2005. *Otopné plochy*, Praha
- [4] Bašta J., 2001. *Otopné plochy*, ČVUT, Praha,
- [5] Louis C. Burmeister, 1983. *Convective Heat*, Mechanical Engineering Department University of Kansas, USA
- [6] J.P. Holman, 1986. *Heat Transfer*, Mechanical Engineering Southern Methodist University, USA
- [7] Brož J., 1998. *Vytápění*, ČVUT
- [8] Conroy L.Ch., Mumma S.A., 2001. *Ceiling radiant cooling panels as a viable distributed parallel sensible cooling technology integrated with dedicated outdoor air systems*. In Ashrae Transactions
- [9] Bašta J. P., 2000. *Intenzifikace konvekční složky tepelného výkonu deskových otopných těles*, Disertační práce. Praha
- [10] Příhoda Miroslav, Rédr Miroslav, 1998. *Sdílení tepla a proudění*, 1. vydání. Ediční středisko VŠB Ostrava
- [11] [www.fenixgroup.cz/sites/default/.../07\\_cz\\_teorie\\_salaveho\\_vytapeni.pdf](http://www.fenixgroup.cz/sites/default/.../07_cz_teorie_salaveho_vytapeni.pdf)
- [12] Drkal F., Barták M., Lain M., 1999. *Analýza tepelného stavu prostředí v budově IPBPojíšťovna Pardubice*, Studie, ČVUT
- [13] Matsuki N., Nakanao Y., Miyanaga T., Yokoo N., Oka T., 1999. *Performance of radiant cooling system integrated with ice storage*, Energy and Buildings
- [14] Kays W.M., Crawford M.E., 1993. *Convective heat and mass transfer*, 3 vydání, McGraw – Hill, New York
- [15] [aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/zivotni.../ZP\\_prednaska\\_13\\_v6.doc](http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/zivotni.../ZP_prednaska_13_v6.doc)
- [16] Imanari T., Omori T., Bogaki K., 1990. *Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system*, Energy and Buildings
- [17] Veverková Z., Kabele K., 2005. *Jak stanovit maximální hodnotu osálení hlavy 200 Wm<sup>-2</sup>*, Topenářství instalace
- [18] L. Centnerová, 2001. *Tradiční & Adaptivní model tepelné pohody*, ČVUT Praha
- [19] Cihelka, 1961. *Sálavé vytápění SNTL*
- [20] Brož J., 2006. *Vytápění*, ČVUT

- [21] GLÜCK, B., 1985. *Heizwasser Netze*, VEB Verlag für Bauwesen Berlin, Berlin
- [22] Khalifa A.J.N., Marshall R.H., 1990. *Validation of heat transfer coefficients on interior building surfaces using a real –sized indoor test cell*, Int. Journal of heat and mass transfer
- [23] Matsuki N., Nakanao Y., Miyanaga T., Yokoo N., Oka T., 1999. *Performance of radiant cooling system integrated with ice storage*, Energy and Buildings
- [24] Kays W.M., Crawford M.E., 1993. *Convective heat and mass transfer*, 3 vydání, McGraw – Hill, New York
- [25] Miriel J., Serres L., Trombe A., 2002. *Radiant ceiling panel heating-cooling systems, experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumption*, Applied thermal energy
- [26] Heis W., Stringer P., 1988. *Research on residential thermal comfort: Some contributions from environmental psychology*, Journal of environmental psychology
- [27] Mc Intyre D.A., 1981. *Design requirements for a comfortable environment*, Bioengineering, Thermal physiology and comfort, Elsevier Scientific publishing company
- [28] Petráš D., Kalús D., 2000. *Effect of thermal comfort/ Discomfort due to infrared heaters installed at workplaces in industrial buildings*, Indoor built environment
- [29] Mc Intyre D.A., 1981. *Design requirements for a comfortable environment*, Bioengineering, Thermal physiology and comfort, Elsevier Scientific publishing company
- [30] Petráš D., Kalús D., 2000. *Effect of thermal comfort/ Discomfort due to infrared heaters installed at workplaces in industrial buildings*, Indoor built environment
- [31] Kulhánek F., Tywoniak J., 1993. *Stavební tepelná technika: Pomůcka pro cvičení*, ČVUT, Praha
- [32] Chyský J., Hemzal K. kol., 1993 *Větrání a klimatizace*, Brno
- [33] Sala A.: *Radiant Properties of Materials*, PWN – Warszawa 1986
- [34] <https://www.powerwiki.cz/attach/ET1/konvekce2.doc>
- [35] Cihelka J., 1979. *Větrání I.*, 2. přepracované vydání. CVUT Praha

- [36] Fanger P.O., 2000. *Indoor Air Quality in the 21st Century: Search for Excellence*. Indoor Air 10
- [37] Macháčová A., Kocich R., 2012. *Sdílení tepla a proudění*, 1. vydání. VŠB Technická univerzita Ostrava
- [38] Hatton A., AWBI H.B., 1996. *Convective heat transfer in rooms*, Yokohama, Japan
- [39] Hodder S.G. Loveday, D.L. Parsons, K.C. Taki A.H., 1998. *Thermal comfort in chilled ceiling and displacement ventilation environments: vertical radiant temperature asymmetry effects*, Energy and Buildings
- [40] Oseland N.A., 1998. *Acceptable temperature ranges in naturally ventilated and air-conditioned offices*. ASHRAE transactions: Symposium
- [41] Brož, K.: Vytápění. Vydavatelství ČVUT, Praha 1998
- [42] Sazima a kol., 1993. *Sdílení tepla*, Praha
- [43] Šesták J., Rieger F., 1996. *Přenos hybnosti tepla a hmoty*. Praha
- [44] Příhoda Miroslav, Rédr Miroslav, 1998. *Sdílení tepla a proudění*, 1. vydání. Ediční středisko VŠB Ostrava
- [45] <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/38-fyzikalni-hodnoty-pro-suchy-vzduch-pri-tlaku-100-kpa>
- [46] ČSN EN ISO 7730, 1997. *Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD popis podmínek tepelné pohody*, Český normalizační institut
- [47] Fanger P.O., 1972. *Thermal comfort – Analysis and applications in environmental engineering*
- [48] Zmrhal V., 2009. *Sálavé chladicí systémy*, 1. vydání. ČVUT Praha
- [49] <http://physics.fme.vutbr.cz/~mcerney/vyuka/chyby.pdf>
- [50] <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-12831-2005-03>
- [51] <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-iso-10077-1-2007-05>
- [52] ČSN EN ISO 7726, 1993. *Tepelné prostředí. Přístroje a metody měření fyzikálních veličin*, Federální úřad pro normalizaci a měření
- [53] ČSN EN ISO 7730, 1997. *Mírné tepelné prostředí- Stanovení ukazatelů PMV a PPD popis podmínek tepelné pohody*, Český normalizační institut

## 21 Publikace

- (1) VANĚK, J. *The Electrical Radiant Panels and Radiant Floor Heating*. In electric Power Engineering and Ecology - Selected Parts III.. Praha : BEN - technická literatura, 2012, s. 32-36. ISBN: 978-80-7300-460-6
- (2) VANĚK, J. *The Thermal Radiation as an Effective Source of Heat to Achieve Thermal Comfort*. In Electric Power Engineering and Ecology - Selected Parts IV.. Praha : BEN - technická literatura, 2012, s. 8-13. ISBN: 978-80-7300-461-3
- (3) VANĚK, J. *Vytápění průmyslových hal pomocí sálavých panelů*. In Elektrotechnika a informatika 2012. Část 3., Elektroenergetika. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. s. 53-54. ISBN: 978-80-261-0121-5
- (4) VANĚK, J. *Měřicí metoda k určení hygienické normy pro sálavé vytápění*. In Elektrotechnika a informatika 2011. Část 3., Elektroenergetika. Plzeň: Západočeská univerzita, 2011. s. 75-78. ISBN: 978-80-261-0017-1
- (5) VANĚK, J. *The electrical radiant Panels and radiant Floor Heating*. Plzeň, 2010., ISBN: 978-80-7043-893-0
- (6) VANĚK, J., ČERNÝ, J. *Určení sálavé účinnosti u elektrického nízkoteplotního sálavého panelu EP 1100*. In Elektrotechnika a informatika 2009. Část 3., Elektroenergetika. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009. s. 79-82. ISBN: 978-80-7043-811-4
- (7) VANĚK, J. *Sálavé vytápění a tepelná pohoda*. In Elektrotechnika a informatika 2008. Část 3., Elektroenergetika. V Plzni: Západočeská univerzita, 2008. s. 87-90. ISBN: 978-80-7043-703-2
- (8) VANĚK, J., NESTOROVICĚ, T. *Thermal Comfort Determination Approach*. In Recent Researches in Environmental and Geological Sciences. Athény: WSEAS Press, 2012. s. 48-51. ISBN: 978-1-61804-110-4

- (9) VANĚK, J., NESTOROVIC, T. *Measurement to determine a radiation standard of thermal comfort*. In ANNALS OF DAAAM FOR 2011 PROCEEDINGS. Vídeň: DAAAM INTERNATIONAL VIENNA, 2011. s. 1375-1376. ISBN: 978-3-901509-83-4 , ISSN: 1726-9679

## 23 Přílohy

Příloha č. 1 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 300 W pro výšku 1,6 m

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí  $T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

relativní vlhkost  $\Phi = 50 \text{ } \%$

Tab. 6-14 Dolní (aktivní) strana panelu  $T_1$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

94,2	93,2	87,9
97,3	99,0	96,7
92,5	94,8	92,8

Tab. 6-15 Horní strana panelu  $T_2$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

41,3	39,5	38,2
41,2	38,1	38,9
38,5	43,6	38,9

Tab. 6-16 Levá strana panelu  $T_3$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

40,7
49,7
44,0

Tab. 6-17 Pravá strana panelu  $T_4$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

46,9
51,1
45,4

Tab. 6-18 Přední strana panelu  $T_5$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

45,3	49,0	44,5
------	------	------

Tab. 6-19 Zadní strana panelu  $T_6$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

46,5	49,1	46,6
------	------	------

Tab. 6-20 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu (°C) a (K)

Strana panelu	(°C)	(K)
$T_1$	94	367
$T_2$	40	313
$T_3$	45	318
$T_4$	48	321
$T_5$	46	319
$T_6$	47	321

Tab. 6-21 Výpočet teplotního součinitele  $\alpha$  podle strany panelu

Strana panelu	$\alpha_{i1}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$\alpha_{i2}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )
$T_1$	3	5
$T_2$	5	6
$T_3$	4	5
$T_4$	5	5
$T_5$	5	5
$T_6$	5	5

Tab. 6-22 Výpočet ztrát prouděním  $P_i$  podle strany panelu

Strana panelu	$P_{i1}$ (W)	$P_{i2}$ (W)
$T_1$	64	115
$T_2$	36	37
$T_3$	4	4
$T_4$	4	5
$T_5$	4	4
$T_6$	4	5

Tab. 6-23 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m podle

I. Michejeva

	Stěny panelu	$K_{il}$ (-)	$S_{il}$ ( $\text{m}^2$ )	$\alpha_{i1}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$P_{il}$ ( $\text{m}^2$ )	$T_{il}$ (°C)	$T_{il}$ (K)
$T_1$	aktivní stěna	0,87	0,34	3	64	94	367
$T_2$	neaktivní stěna	2	0,34	5	36	40	313
$T_3$	levá stěna	1,55	0,03	4	4	45	318
$T_4$	pravá stěna	1,55	0,03	5	4	48	321
$T_5$	přední stěna	1,55	0,03	5	4	46	319
$T_6$	zadní stěna	1,55	0,03	5	4	47	321



Celkové ztráty prouděním	117 W
Sálavá účinnost panelu	61 %
Teplota naměřená termočlánkem	97 °C

Tab. 6-24 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m podle

J. Brože

	Stěny panelu	$K_{i2}$ (-)	$S_{i2}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{i2}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	$P_{i2}$ (m <sup>2</sup> )	$T_{i2}$ (°C)	$T_{i2}$ (K)
$T_1$	aktivní stěna	1,11	0,34	5	115	94	367
$T_2$	neaktivní stěna	2,07	0,34	6	37	40	313
$T_3$	levá stěna	1,59	0,03	5	4	45	318
$T_4$	pravá stěna	1,59	0,03	5	5	48	321
$T_5$	přední stěna	1,59	0,03	5	4	46	319
$T_6$	zadní stěna	1,59	0,03	5	5	47	321

Celkové ztráty prouděním	170 W
Sálavá účinnost panelu	43 %
Teplota naměřená termočlánkem	97 °C

Příloha č. 2 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 300 W pro výšku 0,65 m

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí  $T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

relativní vlhkost  $\Phi = 49 \text{ } \%$

Tab. 6-25 Dolní (aktivní) strana panelu  $T_1$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

89,7	95,4	93,7
96,3	98,6	95,3
93,7	98,7	93,0

Tab. 6-26 Horní strana panelu  $T_2$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

40,6	36,9	36,5
38,5	35,9	38,2
39,8	42,5	38,2

Tab. 6-27 Levá strana panelu  $T_3$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

44,6
48,7
43,7

Tab. 6-28 Pravá strana panelu  $T_4$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

47,3
50,4
44,8

Tab. 6-29 Přední strana panelu  $T_5$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

44,8	48,7	45,5
------	------	------

Tab. 6-30 Zadní strana panelu  $T_6$  naměřené teploty ( $^\circ\text{C}$ )

46,6	50,3	48,3
------	------	------

Tab. 6-31 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu (°C) a (K)

Strana panelu	(°C)	(K)
$T_1$	95	368
$T_2$	39	312
$T_3$	46	319
$T_4$	48	321
$T_5$	46	319
$T_6$	48	322

Tab. 6-32 Výpočet teplotního součinitele  $\alpha$  podle strany panelu

Strana panelu	$\alpha_{i1}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$\alpha_{i2}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )
$T_1$	3	5
$T_2$	5	5
$T_3$	5	5
$T_4$	5	5
$T_5$	5	5
$T_6$	5	5

Tab. 6-33 Výpočet ztrát prouděním  $P_i$  podle strany panelu

Strana panelu	$P_{i1}$ (W)	$P_{i2}$ (W)
$T_1$	65	116
$T_2$	33	34
$T_3$	4	4
$T_4$	4	5
$T_5$	4	4
$T_6$	5	5

Tab. 6-34 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 0,65 m podle

I. Michejeva

	Stěny panelu	$K_{il}$ (-)	$S_{il}$ ( $\text{m}^2$ )	$\alpha_{il}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$P_{il}$ ( $\text{m}^2$ )	$T_{il}$ (°C)	$T_{il}$ (K)
$T_1$	aktivní stěna	0,87	0,34	3	65	95	368
$T_2$	neaktivní stěna	2	0,34	5	33	39	312
$T_3$	levá stěna	1,55	0,03	5	4	46	319
$T_4$	pravá stěna	1,55	0,03	5	4	48	321
$T_5$	přední stěna	1,55	0,03	5	4	46	319
$T_6$	zadní stěna	1,55	0,03	5	5	48	322

Celkové ztráty prouděním	115 W
Sálavá účinnost panelu	62 %
Teplota naměřená termočlánkem	97 °C

Tab. 6-35 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 0,65 m podle  
J. Brože

	Stěny panelu	$K_{i2}$ (-)	$S_{i2}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{i2}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	$P_{i2}$ (m <sup>2</sup> )	$T_{i2}$ (°C)	$T_{i2}$ (K)
$T_1$	aktivní stěna	1,11	0,34	5	116	95	368
$T_2$	neaktivní stěna	2,07	0,34	5	34	39	312
$T_3$	levá stěna	1,59	0,03	5	4	46	319
$T_4$	pravá stěna	1,59	0,03	5	5	48	321
$T_5$	přední stěna	1,59	0,03	5	4	46	319
$T_6$	zadní stěna	1,59	0,03	5	5	48	322

Celkové ztráty prouděním	168 W
Sálavá účinnost panelu	44 %
Teplota naměřená termočlánkem	97 °C

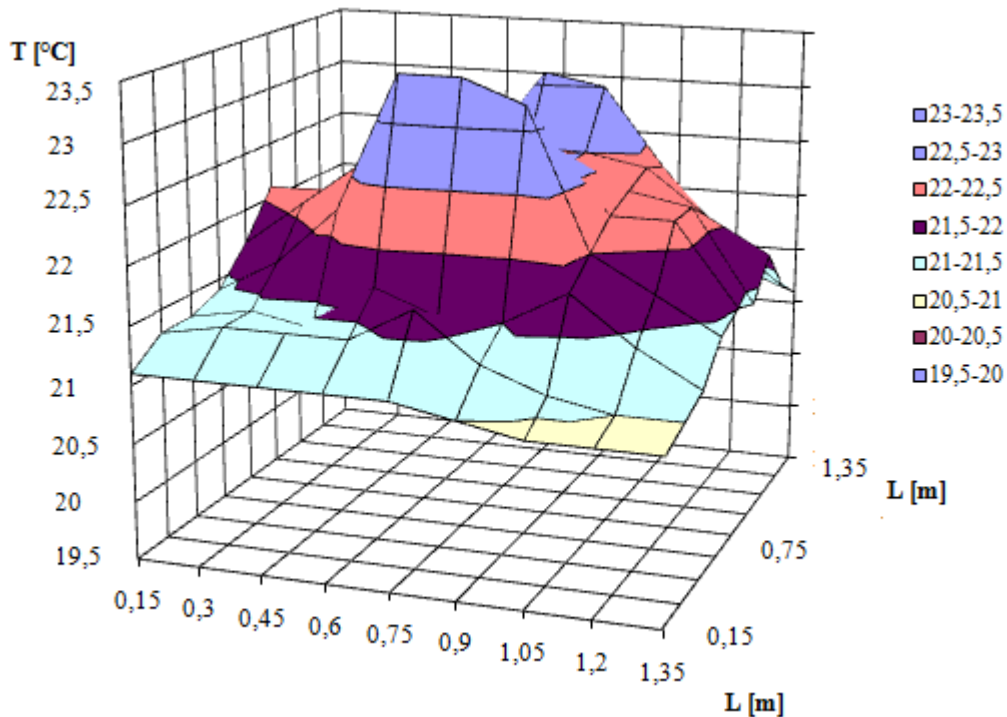
Příloha č. 3 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 300 W pro výšku 1,6 m

Panel byl nainstalován ve výšce 1,60 m nad měřenou plochou obr. 7-4. V tab. 7-4 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osálané plochy. Vypočtené hodnoty sálavého výkonu jsou uvedeny v tab. 7-5.

Tab. 7-4 Naměřené teploty pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 1,60 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	21,1	21,4	21,4	21,5	22	22	21,5	21,3	21,1
0,3	21,5	22	22,1	22,4	23,1	23	22,3	21,7	21,3
0,45	21,7	22	22,1	22,3	22,4	22,5	22,4	22	21,7
0,6	22,1	22,1	22,4	22,5	22,5	22,5	22,3	22,2	21,4
0,75	21,7	22,1	22,5	22,8	22,6	22,8	22,2	22,2	21,5
0,9	21,4	21,7	22,2	23,4	23,4	23,2	22	21,7	21,4
1,05	21,3	21,4	21,3	21,7	21,5	21,5	21,8	21,4	21,1
1,2	21,3	21,4	21,4	21,4	21,7	21,3	21,1	21	21
1,35	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21	20,9	20,9	20,9

Průměrná teplota pod panelem činí 22 °C.



Obr. 7-5 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 1,60 m od panelu

Tab. 7-5 Vypočtené sálavé výkony pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 1,60 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	1,06	1,14	1,25	1,37	1,51	1,67	1,87	2,08	2,29
0,3	1,06	1,15	1,25	1,37	1,51	1,68	1,87	2,09	2,31
0,45	1,06	1,14	1,24	1,36	1,50	1,67	1,86	2,07	2,28
0,6	1,05	1,13	1,22	1,34	1,48	1,63	1,81	2,01	2,22
0,75	1,04	1,11	1,20	1,31	1,43	1,58	1,74	1,92	2,11
0,9	1,02	1,09	1,17	1,26	1,37	1,50	1,66	1,81	1,97
1,05	1,00	1,06	1,14	1,22	1,32	1,44	1,56	1,70	1,83
1,2	0,97	1,03	1,09	1,17	1,26	1,36	1,46	1,57	1,68
1,35	0,95	1,00	1,05	1,12	1,19	1,28	1,36	1,45	1,54

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 118 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu  $S_l$  je  $16 \text{ Wm}^{-2}$ .

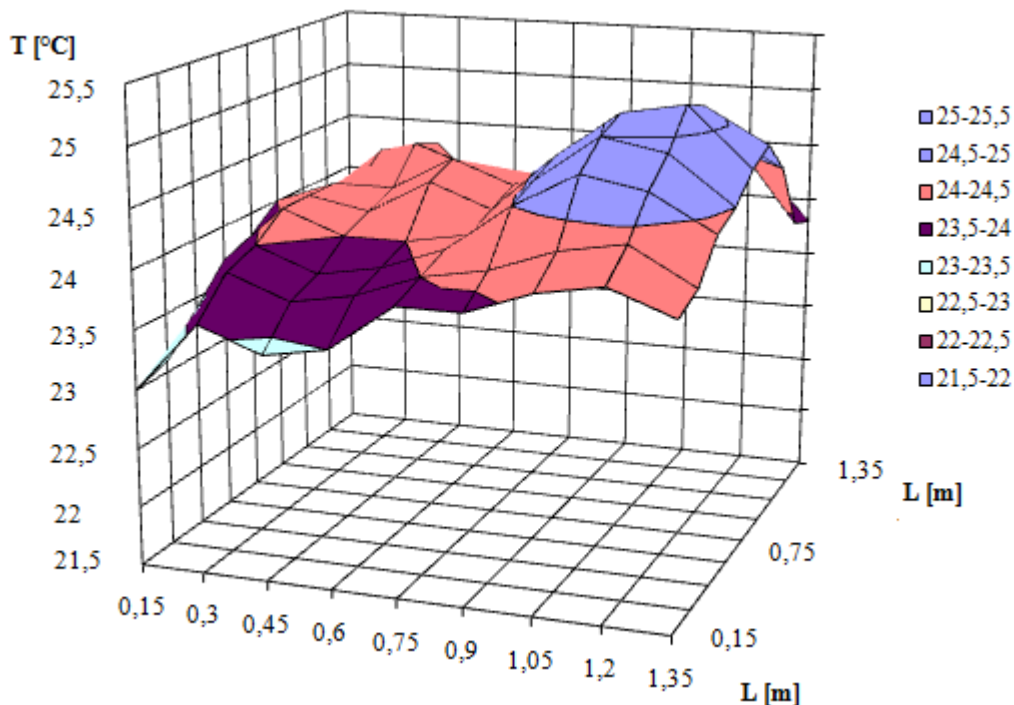
Příloha č. 4 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 300 W pro výšku 0,65 m

Panel byl zavěšen ve výšce 0,65 m nad měřenou plochou obr. 7-5. V tab. 7-6 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osálané plochy. Vypočtené hodnoty sálavého výkonu jsou v tab. 7-7.

Tab. 7-6 Naměřené teploty pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 0,65 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	23,1	23,1	23,3	23,4	24,1	24,3	24,4	24,4	23,8
0,3	23,8	24,3	24,4	23,9	24,2	24,3	24,5	24,6	23,9
0,45	23,8	24,1	24,5	24,1	24,3	24,3	24,9	24,8	24,5
0,6	24	24,2	24,2	24,5	24,3	24,6	25	25,1	24,8
0,75	23,8	24,2	24,1	24,4	24,2	24,7	25,1	25,2	24,7
0,9	23,7	24,2	24	24	24,1	24,6	25	24,9	24,5
1,05	23,4	24	23,8	23,9	24,1	24,5	24,8	24,7	24,4
1,2	23,1	23,9	23,7	23,8	24	24,1	24,3	24,4	24,1
1,35	23	23,6	23,4	23,5	23,9	23,9	24,1	24,2	24

Průměrná teplota pod panelem činí 24 °C.



Obr. 7-6 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 0,65 m od panelu

Tab. 7-7 Vypočtené sálavé výkony pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 0,65 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	1,69	1,77	1,88	2,04	2,24	2,53	2,92	3,44	4,11
0,3	1,69	1,77	1,89	2,05	2,26	2,55	2,95	3,49	4,19
0,45	1,69	1,77	1,88	2,03	2,24	2,53	2,91	3,43	4,09
0,6	1,68	1,76	1,86	2,00	2,20	2,46	2,81	3,27	3,85
0,75	1,66	1,74	1,83	1,96	2,14	2,36	2,66	3,05	3,53
0,9	1,65	1,71	1,80	1,91	2,06	2,25	2,49	2,80	3,17
1,05	1,63	1,68	1,76	1,86	1,98	2,13	2,32	2,56	2,83
1,2	1,61	1,66	1,72	1,80	1,90	2,02	2,17	2,34	2,53
1,35	1,59	1,63	1,68	1,74	1,82	1,92	2,02	2,15	2,29

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 184 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu  $S_l$  je  $25 \text{ Wm}^{-2}$ .



Příloha č. 5 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 700 W pro výšku 1,6 m

V druhém měření a třetím měření postupuju stejně jako v prvním měření.

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí  $T_{o7} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

relativní vlhkost  $\Phi_7 = 74 \text{ } \%$

Tab. 8-12 Dolní (aktivní) strana panelu  $T_{17}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

93,9	96,5	96,6
94,7	101,3	98,1
89,5	98,8	95,8

Tab. 8-13 Horní strana panelu  $T_{27}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

45,9	45,8	43,4
41,9	41,9	42,4
45,3	44,7	43,2

Tab. 8-14 Levá strana panelu  $T_{37}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

60,6
66,4
62,8

Tab. 8-15 Pravá strana panelu  $T_{47}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

57,5
64,1
61,1

Tab. 8-16 Přední strana panelu  $T_{57}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

70,0	69,3	65,9
------	------	------

Tab. 8-17 Zadní strana panelu  $T_{67}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

65,1	66,0	63,2
------	------	------

Tab. 8-18 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu (°C) a (K)

Strana panelu	(°C)	(K)
$T_{17}$	96	369
$T_{27}$	44	317
$T_{37}$	63	336
$T_{47}$	61	334
$T_{57}$	68	342
$T_{67}$	65	338

Tab. 8-19 Výpočet teplotního součinitele  $\alpha$  podle strany panelu

Strana panelu	$\alpha_{i17}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$\alpha_{i27}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )
$T_{17}$	3	5
$T_{27}$	6	6
$T_{37}$	5	6
$T_{47}$	5	5
$T_{57}$	6	6
$T_{67}$	5	6

Tab. 8-20 Výpočet ztrát prouděním  $P_i$  podle strany panelu

Strana panelu	$P_{i17}$ (W)	$P_{i27}$ (W)
$T_{17}$	141	254
$T_{27}$	98	101
$T_{37}$	7	7
$T_{47}$	6	7
$T_{57}$	16	17
$T_{67}$	15	15

Tab. 8-21 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m podle

I. Michejeva

	Stěny panelu	$K_{i17}$ (-)	$S_{i17}$ ( $\text{m}^2$ )	$\alpha_{i17}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$P_{i17}$ ( $\text{m}^2$ )	$T_{i17}$ (°C)	$T_{i17}$ (K)
$T_{17}$	aktivní stěna	0,87	0,72	3	141	96	369
$T_{27}$	neaktivní stěna	2	0,72	6	98	44	317
$T_{37}$	levá stěna	1,55	0,03	5	7	63	336
$T_{47}$	pravá stěna	1,55	0,03	5	6	61	334
$T_{57}$	přední stěna	1,55	0,06	6	16	68	342
$T_{67}$	zadní stěna	1,55	0,06	5	15	65	338

Celkové ztráty prouděním	283 W
Sálavá účinnost panelu	60 %
Teplota naměřená termočlánkem	98 °C

Tab. 8-22 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m podle  
J. Brože

	Stěny panelu	$K_{i27}$ (-)	$S_{i27}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{i27}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	$P_{i27}$ (m <sup>2</sup> )	$T_{i27}$ (°C)	$T_{i27}$ (K)
$T_{17}$	aktivní stěna	1,11	0,72	5	254	96	369
$T_{27}$	neaktivní stěna	2,07	0,72	6	101	44	317
$T_{37}$	levá stěna	1,59	0,03	6	7	63	336
$T_{47}$	pravá stěna	1,59	0,03	5	7	61	334
$T_{57}$	přední stěna	1,59	0,06	6	17	68	342
$T_{67}$	zadní stěna	1,59	0,06	6	15	65	338

Celkové ztráty prouděním	401 W
Sálavá účinnost panelu	43 %
Teplota naměřená termočlánkem	98 °C

Příloha č. 6 Výsledky měření sálavé účinnosti u panelu 700 W pro výšku 0,65 m

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí  $T_{o7} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

relativní vlhkost  $\Phi_7 = 54 \text{ } \%$

Tab. 8-23 Dolní (aktivní) strana panelu  $T_{17}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

97,5	98,7	96,8
99,7	100	99,4
97,3	96	97,8

Tab. 8-24 Horní strana panelu  $T_{27}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

44	44,1	42,4
39,6	40,1	40,2
42,8	43,6	41,5

Tab. 8-25 Levá strana panelu  $T_{37}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

55
60,7
54,5

Tab.8-26 Pravá strana panelu  $T_{47}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

60,7
58,7
56,2

Tab. 8-27 Přední strana panelu  $T_{57}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

61,5	64,8	63,5
------	------	------

Tab. 8-28 Zadní strana panelu  $T_{67}$  naměřené teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )

62	66,3	63,5
----	------	------

Tab. 8-29 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu (°C) a (K)

Strana panelu	(°C)	(K)
$T_{17}$	98	371
$T_{27}$	42	315
$T_{37}$	57	330
$T_{47}$	59	332
$T_{57}$	63	336
$T_{67}$	64	337

Tab. 8-30 Výpočet teplotního součinitele  $\alpha$  podle strany panelu

Strana panelu	$\alpha_{i17}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$\alpha_{i27}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )
$T_{17}$	3	5
$T_{27}$	6	6
$T_{37}$	5	5
$T_{47}$	5	5
$T_{57}$	5	6
$T_{67}$	5	6

Tab. 8-31 Výpočet ztrát prouděním  $P_i$  podle strany panelu

Strana panelu	$P_{i17}$ (W)	$P_{i27}$ (W)
$T_{17}$	146	263
$T_{27}$	88	91
$T_{37}$	6	6
$T_{47}$	6	6
$T_{57}$	14	14
$T_{67}$	14	15

Tab. 8-32 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 0,65 m podle

I. Michejeva

	Stěny panelu	$K_{i17}$ (-)	$S_{i17}$ ( $\text{m}^2$ )	$\alpha_{i17}$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	$P_{i17}$ ( $\text{m}^2$ )	$T_{i17}$ (°C)	$T_{i17}$ (K)
$T_{17}$	aktivní stěna	0,87	0,72	3	146	98	371
$T_{27}$	neaktivní stěna	2	0,72	6	88	42	315
$T_{37}$	levá stěna	1,55	0,03	5	6	57	330
$T_{47}$	pravá stěna	1,55	0,03	5	6	59	332
$T_{57}$	přední stěna	1,55	0,06	5	14	63	336
$T_{67}$	zadní stěna	1,55	0,06	5	14	64	337

Celkové ztráty prouděním	274 W
Sálavá účinnost panelu	61 %
Teplota naměřená termočlánkem	98 °C

Tab. 8-33 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 0,65 m podle  
J. Brože

	Stěny panelu	$K_{i27}$ (-)	$S_{i27}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{i27}$ (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	$P_{i27}$ (m <sup>2</sup> )	$T_{i27}$ (°C)	$T_{i27}$ (K)
$T_{17}$	aktivní stěna	1,11	0,72	5	263	98	371
$T_{27}$	neaktivní stěna	2,07	0,72	6	91	42	315
$T_{37}$	levá stěna	1,59	0,03	5	6	57	330
$T_{47}$	pravá stěna	1,59	0,03	5	6	59	332
$T_{57}$	přední stěna	1,59	0,06	6	14	63	336
$T_{67}$	zadní stěna	1,59	0,06	6	15	64	337

Celkové ztráty prouděním	395 W
Sálavá účinnost panelu	44 %
Teplota naměřená termočlánkem	98 °C

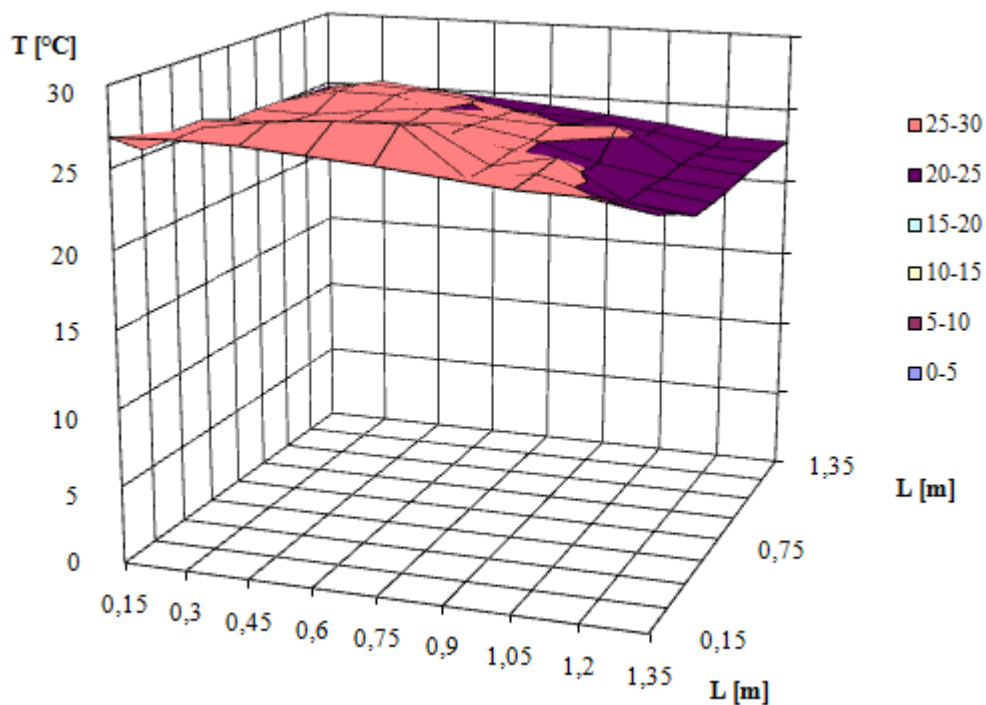
Příloha č. 7 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 700 W pro výšku 1,6 m

Panel byl nainstalován ve výšce 1,60 m nad měřenou plochou. V tab. 10-3 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osávané plochy. Vypočtené hodnoty sálavého výkonu jsou uvedeny v tab. 10-4.

Tab. 10-3 Naměřené teploty pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 1,60 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	24,7	24,8	25	25,1	25,1	25,8	25,8	25,4	26,9
0,3	25,3	25,8	25,9	25	25,2	25,8	25,4	27	27
0,45	24,9	25,6	25,9	25,5	25,5	25,3	27	27,6	26,9
0,6	24,6	25,1	24,5	25,9	25,7	25,7	27,1	27,9	26,6
0,75	24,3	24,5	25,3	25,5	25,8	25,9	27,2	28,0	26,3
0,9	23,9	24,3	24,7	25,3	25,1	25,2	25	25	25,9
1,05	23,5	23,7	23,5	25,5	23,9	23,8	25,8	25,6	25,5
1,2	22,9	22,9	23,2	23,3	23,2	23,4	23,4	24,5	25,4
1,35	22,8	22,9	22,9	22,9	22,8	22,8	22,9	23,9	24,7

Průměrná teplota pod panelem činí 25 °C.



Obr. 10-2 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 1,60 m od panelu

Tab. 10-4 Vypočtené sálavé výkony pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku  
1,60 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	3,60	3,68	3,78	3,89	4,03	4,19	4,37	4,57	4,76
0,3	3,60	3,68	3,78	3,90	4,04	4,20	4,39	4,57	4,78
0,45	3,60	3,68	3,77	3,89	4,03	4,19	4,36	4,55	4,76
0,6	3,59	3,67	3,76	3,87	4,00	4,16	4,31	4,49	4,70
0,75	3,58	3,65	3,74	3,84	3,96	4,10	4,24	4,40	4,60
0,9	3,56	3,63	3,71	3,80	3,91	4,04	4,18	4,33	4,47
1,05	3,54	3,60	3,68	3,75	3,86	3,97	4,08	4,21	4,33
1,2	3,52	3,57	3,64	3,71	3,80	3,89	4,00	4,10	4,19
1,35	3,49	3,54	3,60	3,66	3,74	3,82	3,90	3,98	4,06

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 322 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu  $S_l$  je  $44 \text{ Wm}^{-2}$ .



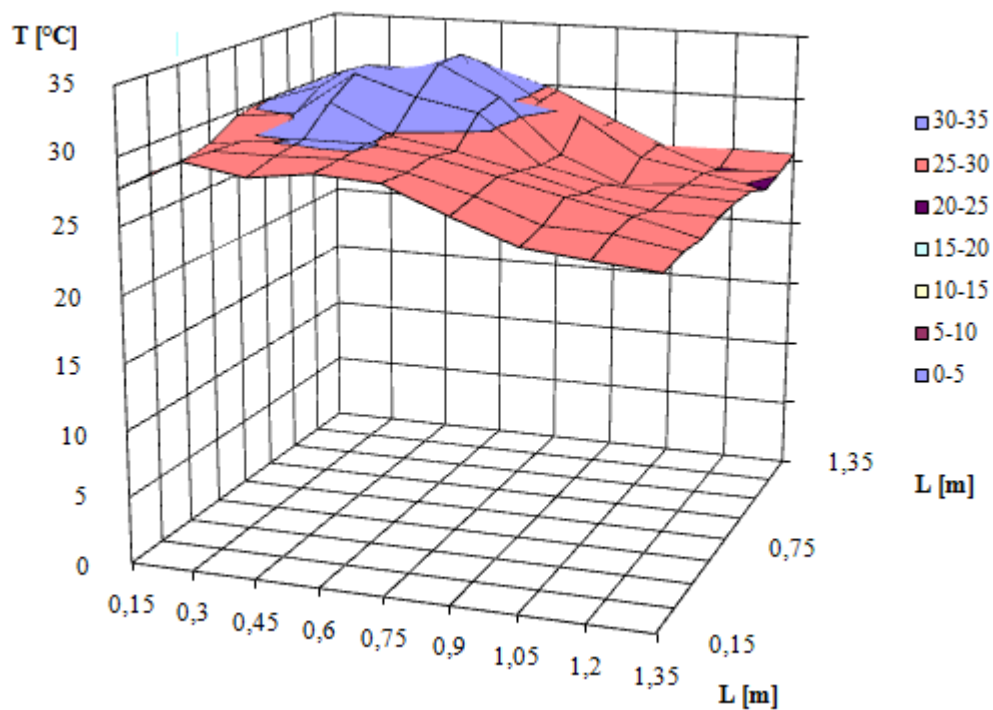
Příloha č.8 Výsledky měření měrného sálavého výkonu panelu 700 W pro výšku 0,65 m

Panel byl zavěšen ve výšce 0,65 m nad měřenou plochou obr. 10-3. V tab. 10-5 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osálané plochy. Vypočtené hodnoty sálavého výkonu v tab. 10-6.

Tab. 10-5 Naměřené teploty pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 0,65 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	28,3	28,8	29,6	29,9	29,6	28,3	27,8	27,9	27,7
0,3	30,8	31,6	31,9	31,4	30,1	28,8	29,6	29,8	30
0,45	30,4	31,1	30,2	32,3	33,4	32	30,1	29,8	29,2
0,6	31	32,4	33,7	33,7	31,9	29,8	30,1	29,9	29,8
0,75	29,6	29,5	28,3	31,4	31	29	29,5	29,3	29,5
0,9	27,4	27,6	29,4	27,3	27,4	27,9	28,4	28	27,6
1,05	25,3	26,6	26,5	25,3	26,3	26,6	27,3	26,3	25,9
1,2	25,7	24,9	25,6	25,7	25,9	25,7	26,3	26,1	25,4
1,35	25,6	25,1	24,7	25,5	25,7	25,6	25,1	25,3	25

Průměrná teplota pod panelem činí 29 °C.



Obr. 10-3 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 0,65 m od panelu

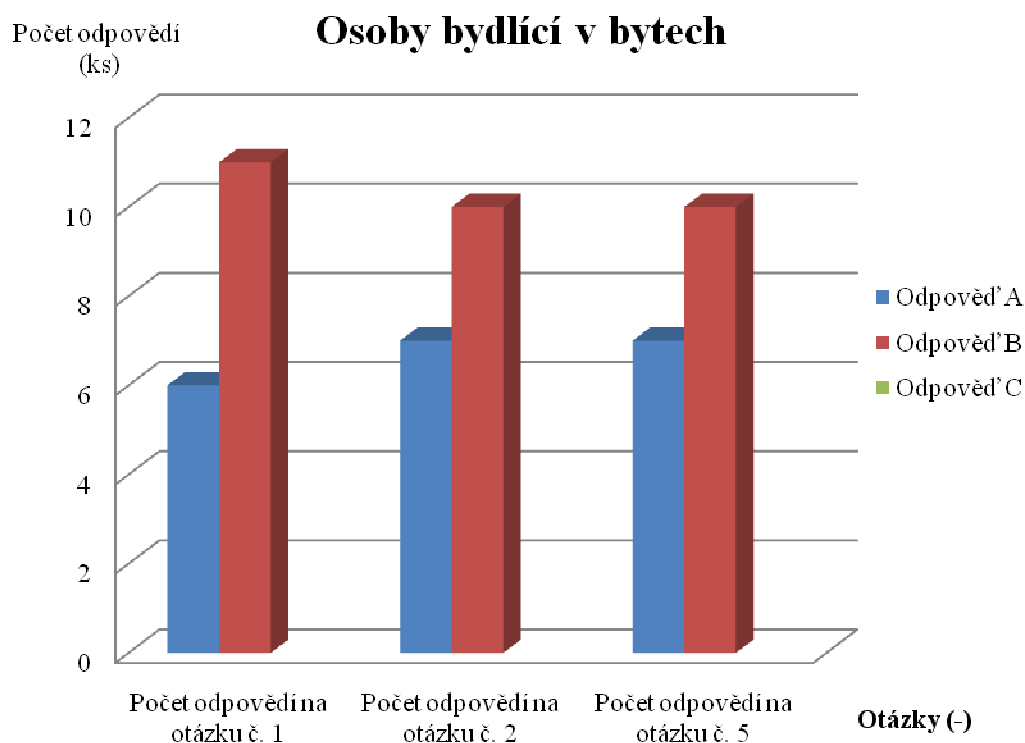
Tab. 10-6 Vypočtené sálavé výkony pod panelem v jednotlivých bodech pro výšku 0,65 m

$X_b/Y_b$	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	4,52	4,60	4,71	4,85	5,05	5,34	5,72	6,22	6,86
0,3	4,52	4,60	4,70	4,85	5,06	5,36	5,73	6,24	6,89
0,45	4,52	4,59	4,70	4,84	5,02	5,30	5,69	6,18	6,82
0,6	4,51	4,58	4,67	4,80	4,99	5,26	5,59	6,03	6,59
0,75	4,50	4,57	4,67	4,78	4,94	5,18	5,46	5,83	6,28
0,9	4,49	4,55	4,63	4,75	4,89	5,07	5,31	5,61	5,97
1,05	4,47	4,53	4,60	4,70	4,82	4,97	5,15	5,39	5,66
1,2	4,45	4,50	4,56	4,64	4,74	4,86	5,00	5,17	5,37
1,35	4,43	4,47	4,53	4,59	4,66	4,76	4,87	4,99	5,13

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 412 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu  $S_l$  je  $56 \text{ Wm}^{-2}$ .

Příloha č.9 Výsledky subjektivních pocitů pro panel 700 W a výšku 1,6 m



Obr. 11-4 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

Tab. 11-8 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

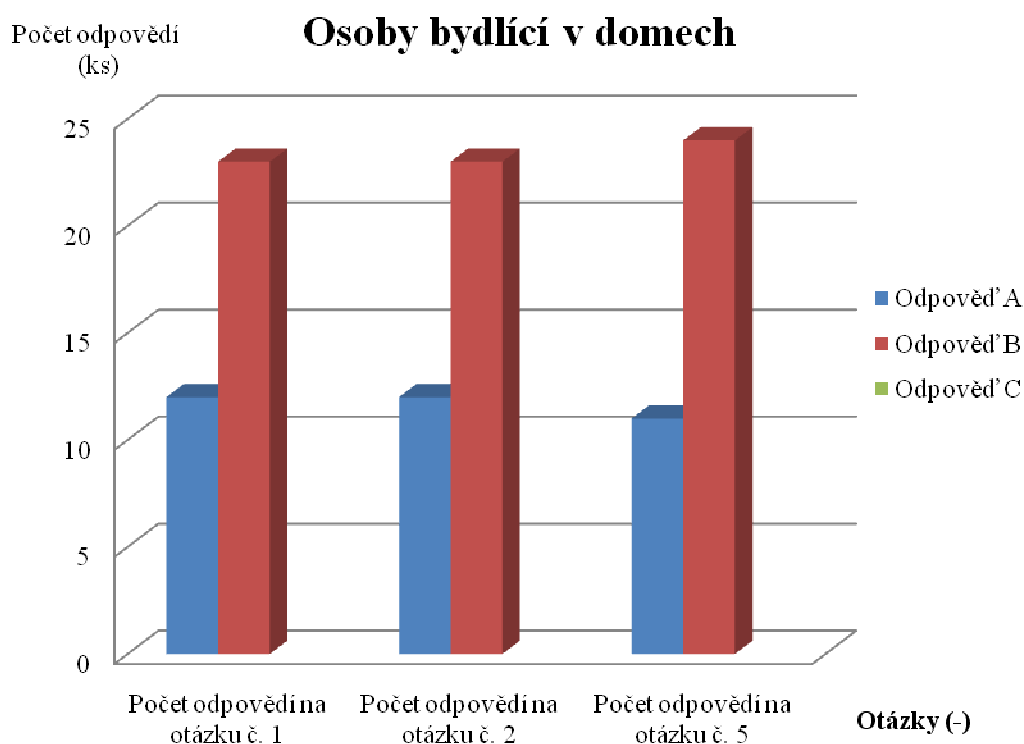
Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	10	7	7
Odpověď B	7	10	10
Odpověď C	0	0	0

Tab. 11-9 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	2
Dobré	8
Příjemné	0
Hřejivé	0
Teplé	0
Nepříjemné	5
Špatné	2

Tab. 11-10 Odpovědi na otázku 6 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	0
Nic	17
Jinou barvu panelu	0
Více panelů	0



Obr. 11-5 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

Tab. 11-11 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

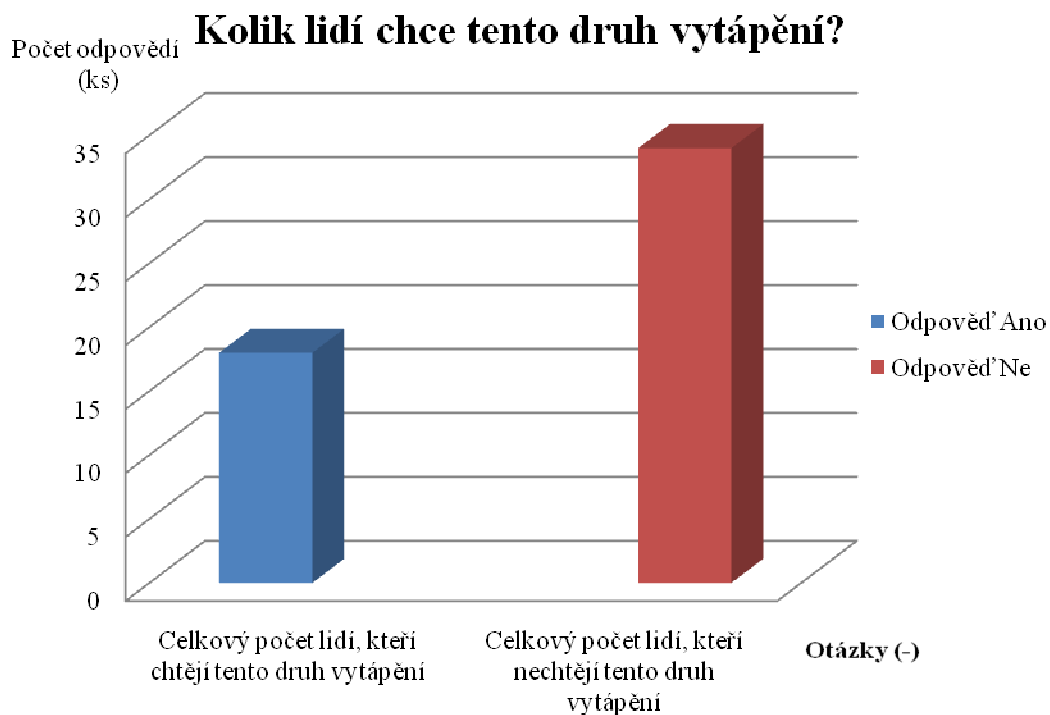
Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	12	12	11
Odpověď B	23	23	24
Odpověď C	0	0	0

Tab. 11-12 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	2
Dobré	8
Příjemné	0
Hřejivé	0
Teplé	1
Nepříjemné	22
Špatné	2

Tab. 11-13 Odpovědi na otázku 6 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	0
Nic	30
Jinou barvu panelu	5
Více panelů	0

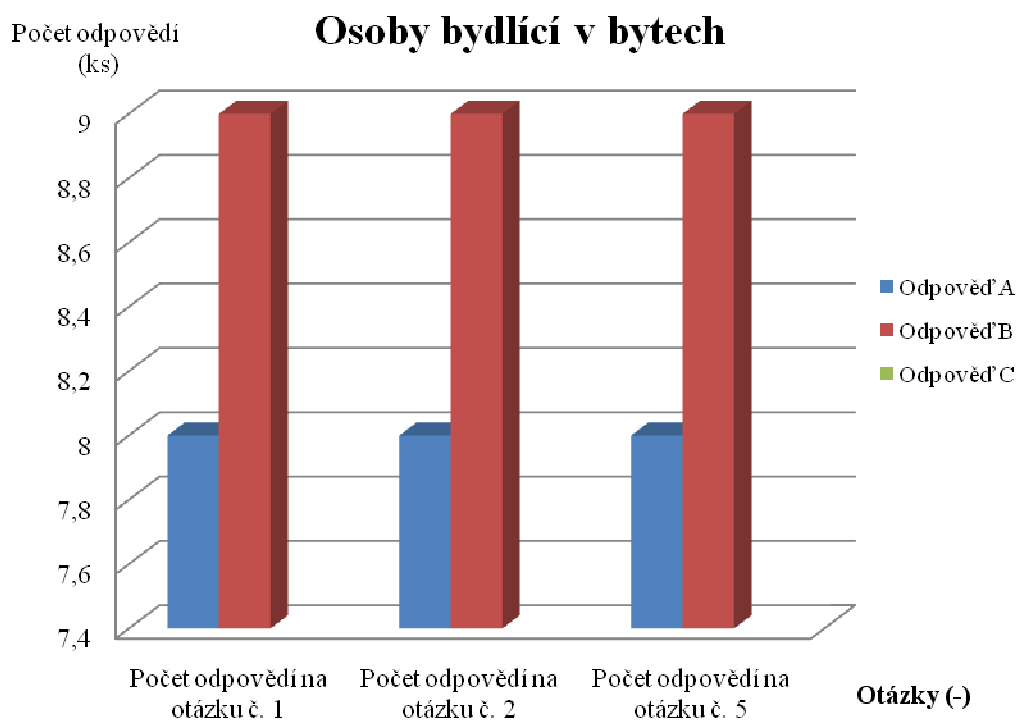


Obr. 11-6 Odpověď na otázku kolik lidí preferuje sálavý typ vytápění pro výšku 1,6 m

Tab. 11-14 Počet odpovědí na otázku kolik lidí preferuje sálavé vytápění pro výšku 1,6 m

Odpověď	Celkový počet lidí, kteří chtějí tento druh vytápění	Celkový počet lidí, kteří nechtějí tento druh vytápění
Odpověď Ano	18	0
Odpověď Ne	0	34
Celkem procent (%)	35	65

Příloha č.10 Výsledky subjektivních pocitů pro panel 300 W a výšku 0,65 m



Obr. 11-7 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

Tab. 11-15 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

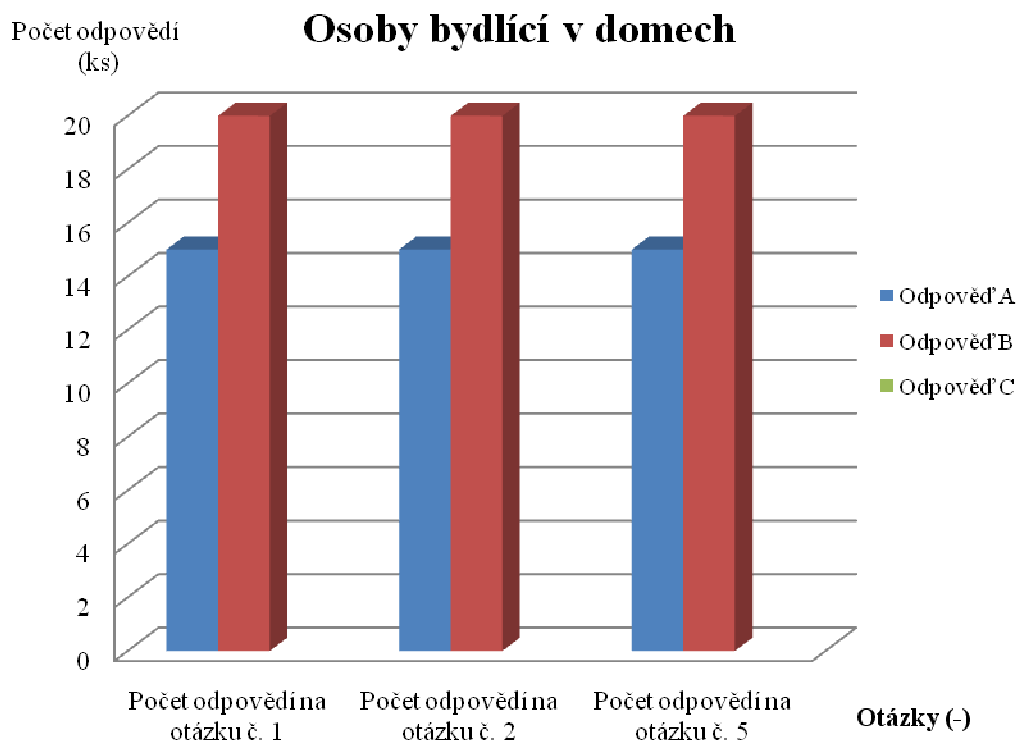
Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	8	8	8
Odpověď B	9	9	9
Odpověď C	0	0	0

Tab. 11-16 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	0
Dobré	12
Příjemné	0
Hřejivé	0
Teplé	0
Nepříjemné	5
Špatné	2

Tab. 11-17 Odpovědi na otázku 7 pro osoby žijící v bytech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	1
Nic	14
Jinou barvu panelu	0
Více panelů	2



Obr. 11-8 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domech pro výšku 0,65 m

Tab. 11-18 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domech pro výšku 0,65 m

Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	15	15	15
Odpověď B	20	20	20
Odpověď C	0	0	0

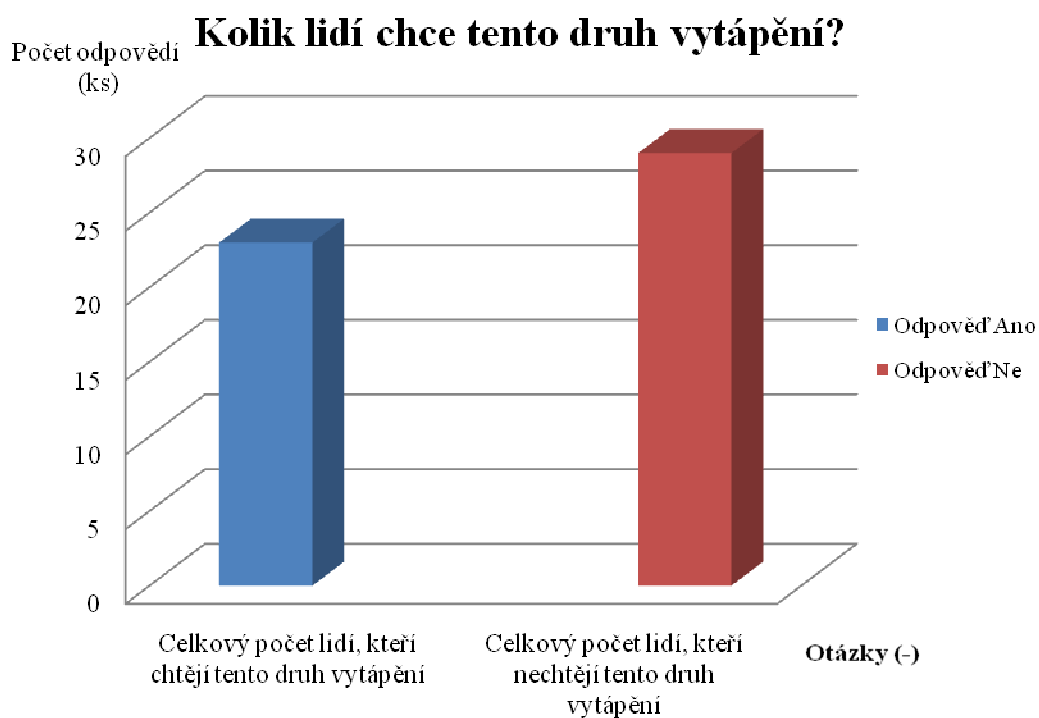


Tab. 11-19 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v domech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	0
Dobré	10
Příjemné	0
Hřejivé	0
Teplé	1
Nepříjemné	18
Špatné	6

Tab. 11-20 Odpovědi na otázku 7 pro osoby žijící v domech pro výšku 0,65 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	20
Nic	10
Jinou barvu panelu	0
Více panelů	5

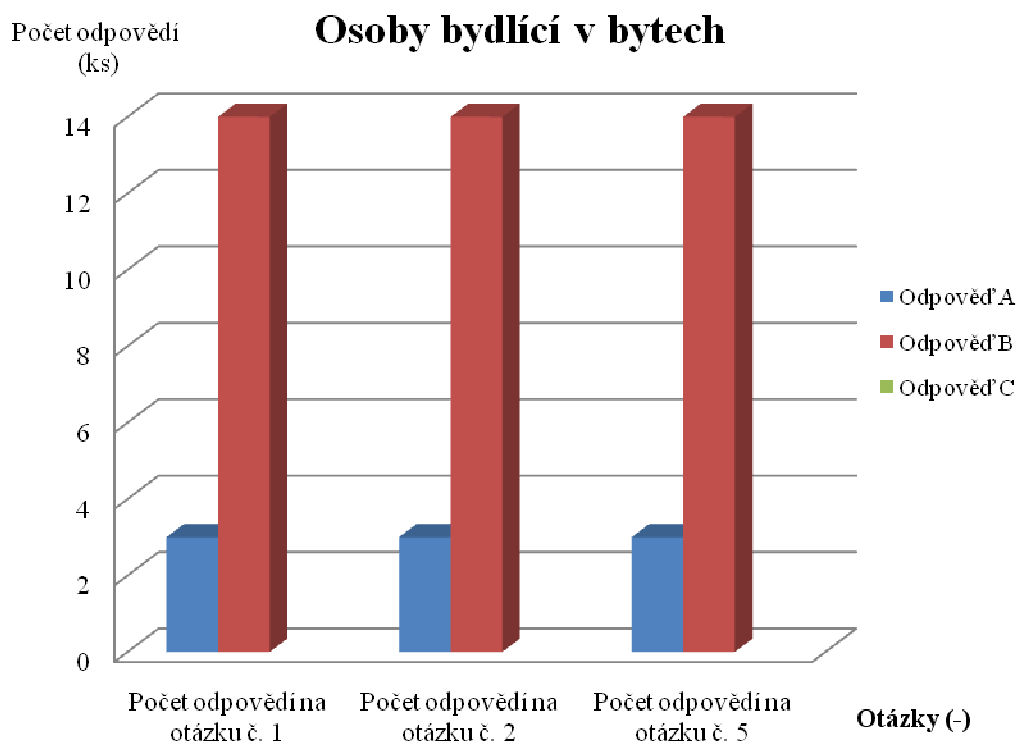


Obr. 11-9 Odpověď na otázku kolik lidí preferuje sálavý typ vytápění pro výšku 0,65 m

Tab. 11-21 Počet odpovědí na otázku kolik lidí preferuje sálavé vytápění pro výšku  
0,65 m

Odpověď	Celkový počet lidí, kteří chtějí tento druh vytápění	Celkový počet lidí, kteří nechtějí tento druh vytápění
Odpověď Ano	23	0
Odpověď Ne	0	29
Celkem procent (%)	44	56

Příloha č.11 Výsledky subjektivních pocitů pro panel 300 W a výšku 1,6 m



Obr. 11-10 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

Tab. 11-22 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

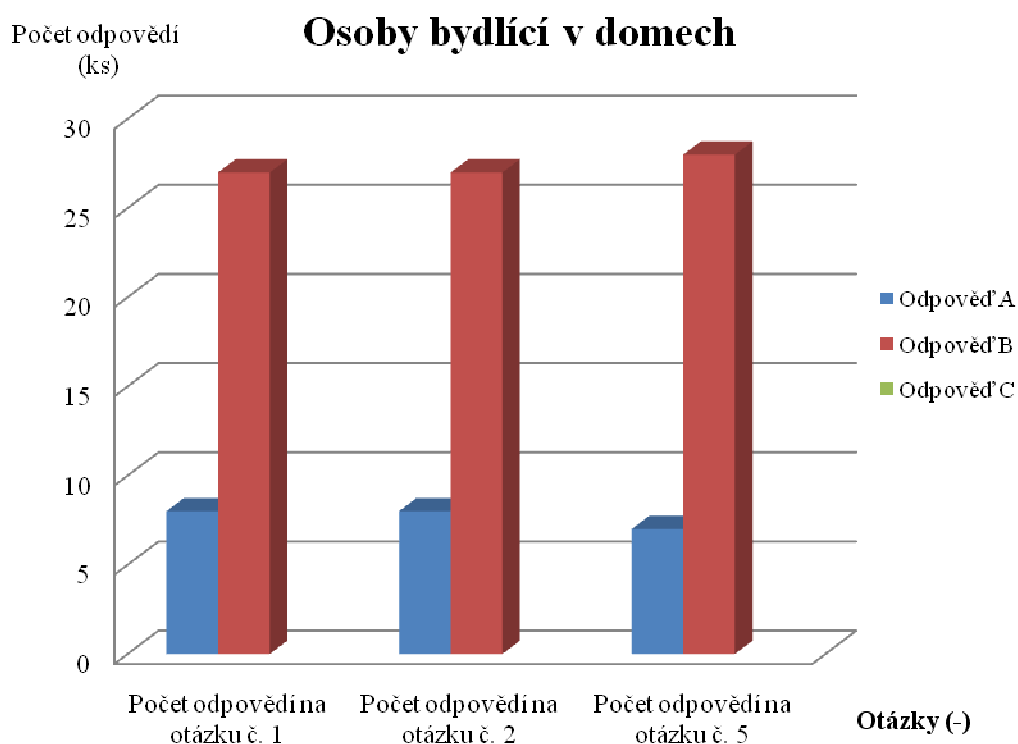
Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	3	3	3
Odpověď B	14	14	14
Odpověď C	0	0	0

Tab. 11-23 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	0
Dobré	1
Příjemné	0
Hřejivé	0
Teplé	0
Nepříjemné	13
Špatné	3

Tab. 11-24 Odpovědi na otázku 7 pro osoby žijící v bytech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	11
Nic	1
Jinou barvu panelu	0
Více panelů	5



Obr. 11-11 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

Tab. 11-25 Počet odpovědí na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

Odpověď	Počet odpovědí na otázku č. 1	Počet odpovědí na otázku č. 2	Počet odpovědí na otázku č. 5
Odpověď A	8	8	7
Odpověď B	27	27	28
Odpověď C	0	0	0

Tab. 11-26 Odpovědi na otázku 4 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 4
Hezké	1
Dobré	1
Příjemné	2
Hřejivé	0
Teplé	1
Nepříjemné	25
Špatné	5

Tab. 11-27 Odpovědi na otázku 7 pro osoby žijící v domech pro výšku 1,6 m

Odpovědi	Počet odpovědí na otázku č. 7
Větší panel	30
Nic	2
Jinou barvu panelu	1
Více panelů	2



Obr. 11-12 Odpověď na otázku kolik lidí preferuje sálavý typ vytápění pro výšku  
1,65 m

Tab. 11-28 Počet odpovědí na otázku kolik lidí preferuje sálavé vytápění pro výšku  
1,6 m

Odpověď	Celkový počet lidí, kteří chtějí tento druh vytápění	Celkový počet lidí, kteří nechtějí tento druh vytápění
Odpověď Ano	10	0
Odpověď Ne	0	42
Celkem procent (%)	19	81

Příloha č.12 Formulář

1. Jak se cítíte v této místnosti?

A) Cítím se dobře

B) Necítím se dobře

C) Jiné

Uved'te, jak se cítíte.....

2. Vyhovuje Vám teplota v této místnosti?

A) Ano

B) Ne

3. Bydlíte v rodinném domě?

A) Ano

B) Ne

C) Jiné

Kde bydlíte.....

4. Jaké máte pocity pod panelem?

Napiště.....

5. Vyhovoval by Vám tento druh vytápění?

A) Ano

B) Ne

6. Jaké změny byste v tomto měření uvítal?