

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:	30. 6. 2014

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 25. 5. 2014

Ing. Josef Vaněk

Anotace

V dnešní době pokračuje vývoj a zdokonalování různých technik pro vytápění rodinných domů a bytů. Vytápění elektrinou 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 s 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 5 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

ZČU, FEL,
2014, PLZEŇ

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 5, 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 environment. 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, kind of radiant panels, thermal comfort, thermal produce of man, subjective feelings for radiant heating

WBU, FEL,
2014, PILSEN

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 5 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,
2014, PILSEN

Obsah

Současný stav problematiky	13
Cíle disertační práce.....	14
Úvod.....	15
4 Co tepelné záření	16
4.1 Přírodní zdroje infračerveného záření	16
4.2 Elektromagnetické vlnění.....	16
4.3 Zákony sálání	17
4.3.1 Planckův zákon	17
4.3.2 Wienův posunovací zákon	18
4.3.3 Lambertův směrový (kosinový) zákon	18
4.3.4 Stefan-Boltzmannův zákon	19
4.3.5 Kirchhoffův zákon	20
4.3.6 Zákon o ubývání intenzity záření s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje...	20
4.3.7 Výměna tepla sáláním.....	21
5 Aktuální možnosti výpočtu sálavého výkonu.....	22
5.1 Stanovení intenzity osálání dle ČSN 06 215.....	22
5.2 Stanovení intenzity osálání z integrálního toku q	23
5.3 Tepelný tok sáláním z plochy S_1 na plochu S_2	24
5.4 Stanovení intenzity osálání pomocí monogramu	25
6 Tepelný výkon člověka.....	25

6.1 Tepelná produkce člověka.....	25
6.2 Metabolismus člověka.....	26
6.3 Sdílení tepla mezi lidským tělem a prostředím	27
6.4 Sdílení tepla konvencí	28
6.5 Vliv oděvu.....	28
6.6 Teplo sdílené radiací	29
6.7 Účinná teplota okolních ploch	29
6.8 Teplo sdílené dýcháním	29
6.9 Fyziologické kritéria pro horké provozy.....	30
7 Tepelná pohoda	31
7.1 Určení hranic tepelné pohody	32
8 Určení sálavé účinnosti panelu 300W	34
9 Měření pro určení sálavé účinnosti panelu 300W	36
9.1 Druhé měření pro určení sálavé účinnosti panelu 300W	39
9.2 Třetí měření pro určení sálavé účinnosti panelu 300W	41
10 Stanovení měrného sálavého výkonu pro 300W panel	44
10.0.1 Výpočet celkového sálavého výkonu.....	49
10.0.2 Výpočet měrného sálavého výkonu	49
10.1 Druhé měření pro určení měrného sálavého výkonu panelu 300W	50
10.2 Třetí měření pro určení měrného sálavého výkonu panelu.....	51
11 Určení sálavé účinnosti u panelu 700W.....	53
12 Měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 700W	53

13 Druhé měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 700W	55
14 Třetí měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 700W.....	58
15 Stanovení měrného sálavého výkonu u panelu 700W	60
16 Druhé měření pro určení měrného sálavého výkonu u panelu 700W	62
17 Třetí měření pro určení měrného sálavého výkonu u panelu 700W	64
18 Subjektivní pocity.....	66
19 Výsledky testu subjektivních pocitů	66
20 Měření v reálném domě, který je vytápěn sálavými panely	68
20.1 Měření měrného sálavého výkonu	69
21 Stanovení tepelných ztrát pro jednopodlažní rodinný dům.....	72
22 Využití sálavého panelu při obsluze varhan	72
23 Program pro výpočet tepelných ztrát jednopodlažních domů.....	77
23.1 Výpočet součinitele tepla U_{ven} pro obvodové zdi	77
23.2 Výpočet součinitele prostupu tepla U_{okna} průsvitné části dle ČSN EN ISO 10 077-1 a 2.....	78
23.3 Výpočet součinitele prost. tepla U_{dv} neprůsvitné části ČSN EN ISO 10 077-1 a 2	80
23.4 Výpočet součinitele prost. tepla U_{pod} pro přilehlou zeminu dle ČSN EN ISO 13 370	81
23.5 Výpočet součinitele prost. tepla U_{pod1} pro podlahu, kde není vytápěn suterén	83
23.6 Výpočet součinitele prost. tepla U pro neprůsvitné části dle ČSN EN ISO 6946 pro jednoplášťovou konstrukci.....	83

24. Výpočet tepelných ztrát ČSN EN 12 381 prostupem tepla $\theta_{T,ie}$	84
24.1 Tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$	86
24.2 Tepelná ztráta do přilehlé zeminy $H_{Ta,ig}$	87
24.3 Tepelná ztráta nevytápěným prostorem $H_{Ta,iue}$	90
24.4 Tepelná ztráta postupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu $H_{Ta,ij}$	91
24.5 Tepelná ztráta větráním – přirozené větrání $\Phi_{v,i}$	93
25 Výpočet potřeby tepla denostupňová metoda	95
25.1 Stanovení počtu sálavých panelů	98
25.2 Program na výpočet sálavé účinnosti panelu	99
25.3 Program pro výpočet měrného sálavého výkonu mezi dvěma plochami.....	101
26 Závěr	103
27 Reference	104
28 Publikace	105
29 Přílohy	107

Současný stav problematiky

V současné době se při určení měrného sálavého výkonu vychází z normy dle 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 Wm^{-2} nebo než 200 Wm^{-2} . Tyto hodnoty nejsou nikde zapsány. Byly stanoveny empiricky.

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

Poslední možností je určit tuto hodnotu z grafu sálavého panelu, osálení pomocí monogramu. 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 přesnější hodnotu sálavé intenzity I_s ve Wm^{-2} pomocí metody, měření tepelného toku sáláním z plochy S_1 na plochu S_2 , při které by byla dodržena tepelná pohoda. Vytvořit program podle, kterého by bylo možné spočítat sálavou účinnost sálavého panelu a tepelné ztráty objektu.

Úvod

Teplo je nezbytnou složkou života lidstva. Proto se lidstvo snaží zvýšit účinnost, energetikou a ekonomickou efektivitu tepelných zdrojů. Sdílení tepla probíhá v přírodě třemi způsoby, vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). [1]

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.

4 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.

4.1. 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.

4.2 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.

4.3 Zákony sálání

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

4.3.1 Planckův zákon

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

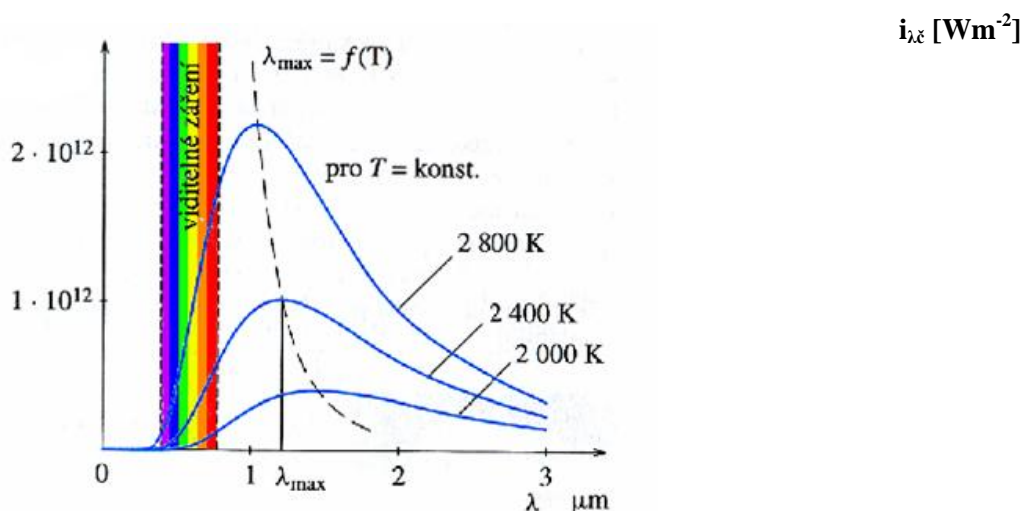
$$i_{\lambda, \epsilon} = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (4-1)$$

h - Plankova konstanta, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js

c - rychlost světla ve vakuu, $c = 2,998 \cdot 10^8$

k - Stefan-Boltzmannova konstanta, $k = 1,3803 \cdot 10^{-23}$ JK⁻¹

Závislost spektrální intenzity sálání $i_{\lambda, \epsilon}$ na vlnové délce λ a teplotě T je zobrazena na obr. 4-1.



Obr. 4-1. Průběhy Planckových křivek $i_{\lambda, \epsilon} = f(\lambda)$

Z obr. 4-1 je vidět, že se stoupající teplotou se intenzita záření zvyšuje a vrchol křivky ($\lambda_{max} \cdot T = konst.$) se posouvá ve směru kratších vlnových délek. Celková energie, která je za jednotku času vyžárena 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 ε viz vzorec 4-2, která je dána poměrem intenzity sálání šedého tělesa i_λ a černého tělesa $i_{\lambda,\varepsilon}$ při stejné povrchové teplotě těles.[2]

$$\varepsilon = \frac{i_\lambda}{i_{\lambda,\varepsilon}} \quad [-] \quad (4-2)$$

4.3.2 Wienův posunovací 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:

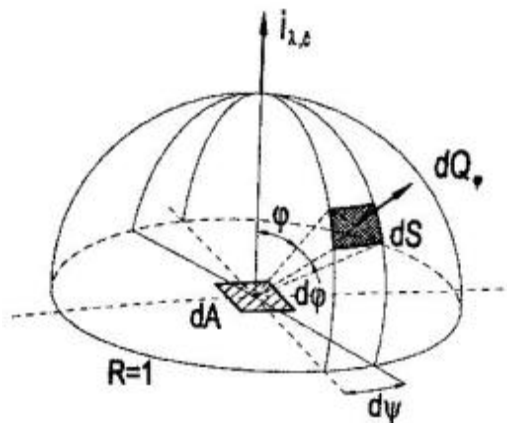
$$\lambda_{max} \cdot T = konst \ 2898 \quad [\mu m \ K] \quad (4-3)$$

λ_{max} je vlnová délka [μm] maximum vyzařování, T [K] je teplota tělesa a 2898 je tzv. Wienova konstanta.[3]

4.3.3 Lambertův směrový (kosinový) zákon

Lambertův směrový zákon určuje hustotu sálavého toku absolutně černého tělesa $e_{\lambda,\varepsilon}$ ve směru určeném úhlem φ viz obr. 4-2.

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



Obr. 4-2. Vyzařování plošného elementu do prostoru

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

4.3.4 Stefan-Boltzmannův zákon

Stefan-Boltzmannův zákon vyjadřuje hustotu sálavého toku absolutně černého tělesa při určité teplotě T , která je vztažena na jednotku plochy. [4]

$$E_c = \sigma \cdot T^4 \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (4-5)$$

σ – Stefan-Boltzmannova konstanta $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T - termodynamická teplota povrchu tělesa [K]

Stefan-Boltzmannův zákon se používá ve tvaru

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

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

$$E_s = \epsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (4-7)$$

ϵ - emisivita tělesa (pro černé těleso $\epsilon=1$, pro absolutně bílé $\epsilon=0$)

Celkový vyzářený výkon šedého tělesa o ploše S dostaneme integrací rovnice 4-7:

$$Q_{\dot{s}} = \int_A \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \cdot dA = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \cdot A \quad [\text{W}] \quad (4-8)$$

4.3.5 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_{ε} a závisí jen na povrchové teplotě T .

$$\frac{e_{\dot{s}}}{a_{\dot{s}}} = \frac{e_{\varepsilon}}{a_{\varepsilon}} = e_{\varepsilon} = f(T) \quad [-] \quad (4-9)$$

Pokud budeme uvažovat hustotu vyzářeného a pohlceného toku pro určitou vlnovou délku λ , pak získáme Kirchhoffův zákon ve tvaru rovnice 4-10, 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 λ .

$$\frac{e_{\lambda, \dot{s}}}{a_{\lambda, \dot{s}}} = e_{\lambda, \varepsilon} = f(T, \lambda) \quad [-] \quad (4-10)$$

Emisivita ε je definovaná poměrem

$$\frac{e_{\lambda, \dot{s}}}{a_{\lambda, \dot{s}}} = \text{konst} = \varepsilon \quad [-] \quad (4-11)$$

4.3.6 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 .

$$e' = \frac{e}{r^2} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (4-12)$$

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

4.3.7 Výměna tepla sáláním

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

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

S_1 - velikost osálané plochy [m^2]

S_2 - velikost sálající plochy [m^2]

ε_1 - emisivita sálající plochy S_1 [-]

ε_2 - emisivita osálané plochy S_2 [-]

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

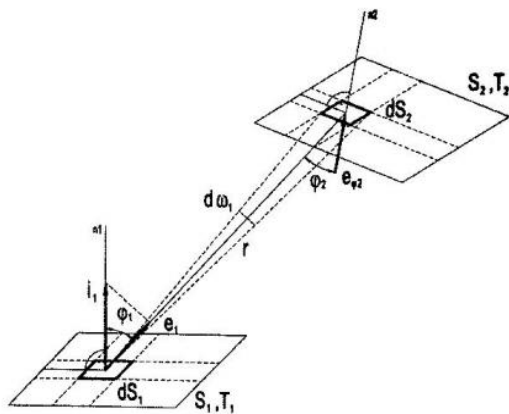
T_1 - povrchová teplota osálané sálající plochy S_1 [K]

T_2 - povrchová teplota sálající plochy S_2 [K]

φ_1 - úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy S_1 [°]

φ_2 - úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy S_2 [°]

Předpoklad platnosti této rovnice je, že pro povrchové teploty platí, že $T_2 > T_1$ a jedná se o rovinné plochy s emisivitou ε_2 plochy S_2 a emisivitou ε_1 u plochy S_1 . Pomocí této rovnice, lze vypočítat množství tepla sdíleného mezi plochami S_2 a S_1 viz obr. 4-3.



Obr. 4-3. Sdílení tepla mezi dvěma obecně položenými rovinnými plochami S_1 a S_2

Rovnice (4-13) se častěji uvádí ve tvaru:

$$Q = \varepsilon_1 \varepsilon_2 c_\varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \cdot F_{12} \quad [\text{W}] \quad (4-14)$$

kde $F_{1,2}$ je součinitel osálení.

$F_{1,2}$ je definován poměrem tepelného toku dopadajícího na plochu S_2 a tepelného toku vysílaného plochou S_2 . [3].

$$F_{12} = \frac{1}{\pi S_1} \int \int_{S_1, S_2} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dS_1 dS_2 \quad [-] \quad (4-15)$$

5 Aktuální možnosti výpočtu sálavého výkonu

Pro stanovení sálavého výkonu se používají tyto 4 možnosti. První možnost výpočtu je pomocí normy dle ČSN 06 0215. Jakou druhou možnost lze použít stanovení intenzity osálení z integrálního zářivého toku q a třetí možností je využít monogram dodávaný výrobcem sálavých panelů a poslední možností je využít tepelného toku sálení z plochy S_2 na plochu S_1 .

5.1 Stanovení intezity osálení dle 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.

$$q = (1 - \varepsilon) \cdot \varphi_c \cdot \eta_s \cdot \frac{Q}{F_c} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (5-1)$$

ε – pohltivost vzduchové vrstvy od 0,12 až 0,15 v závislosti na výšce H [-]

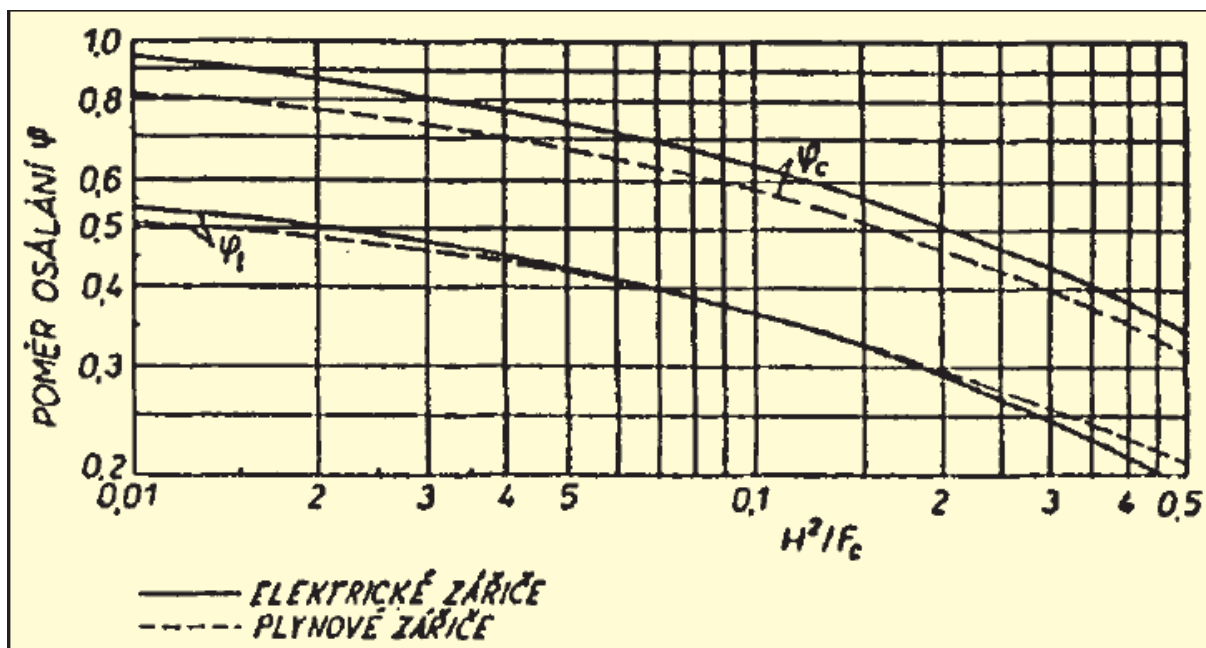
φ_c – poměr osálení půdorysné plochy F_c zářiči ležícími ve vodorovné rovině ve výšce H [m] nad podlahou (viz graf na obr. 5-1) [-]

η_s – sálavá účinnost zářičů [-]

Q – celkový tepelný příkon zářičů [$\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$]

F_c – osálaná půdorysná plocha [m^2]

H – výška zavěšení zářiče nad podlahou [m]



Obr. 5-1 Závislost poměru osálení φ_c na poměru H^2/F_c

Norma též uvádí vztah pro výpočet intenzity osálení lidského těla viz rovnice 5-2.

$$q_t = \frac{\varphi_t}{\varphi_c} \cdot q \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (5-2)$$

φ_t – poměr osálení lidského těla zářiči (viz graf na obr. 5-1)

φ_c – poměr osálení půdorysné plochy F_c zářiči ležícími ve vodorovné rovině ve výšce H [m] podlahou (viz graf na obr. 5-1)

q – poměr osálení půdorysné plochy podlahy [Wm^{-2}] [5]

5.2 Stanovení intezity osálení z integrálního zářivého toku q

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

$$q = \frac{E}{S} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (5-3)$$

E – integrální zářivý tok [W]

S – plocha, na kterou tok dopadá [m^2]

$$I_s = \frac{P_{is} \cdot \eta}{S_{pod}} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (5-4)$$

P_{is} – skutečně instalovaný výkon zářiče [W]

S_I – podlahová osálaná plocha [m²]

η – sálavá účinnost [-]

Hodnota I_s musí být menší než 200W/m². Hodnota 200 Wm⁻² byla stanovena empiricky. [6]

5.3 Tepelný tok sáláním z plochy S_1 na plochu S_2

Pro tento případ určení se používá rovnice 5-5. Pro tento případ je možné určit intenzitu sálání v různých místech.

$$Q = \varepsilon_1 \varepsilon_2 F_{12} S_2 c_\varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad [\text{W}] \quad (5-5)$$

S_2 - velikost sálající plochy [m²]

ε_1 - emisivita sálající plochy S_I [-]

ε_2 - emisivita osálané plochy S_2 [-]

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

T_I – povrchová teplota osálané sálající plochy S_I [K]

$F_{1,2}$ – úhlový poměr osálení [-]

Úhlový poměr osálení se vypočet pomocí rovnice 5-6. [5]

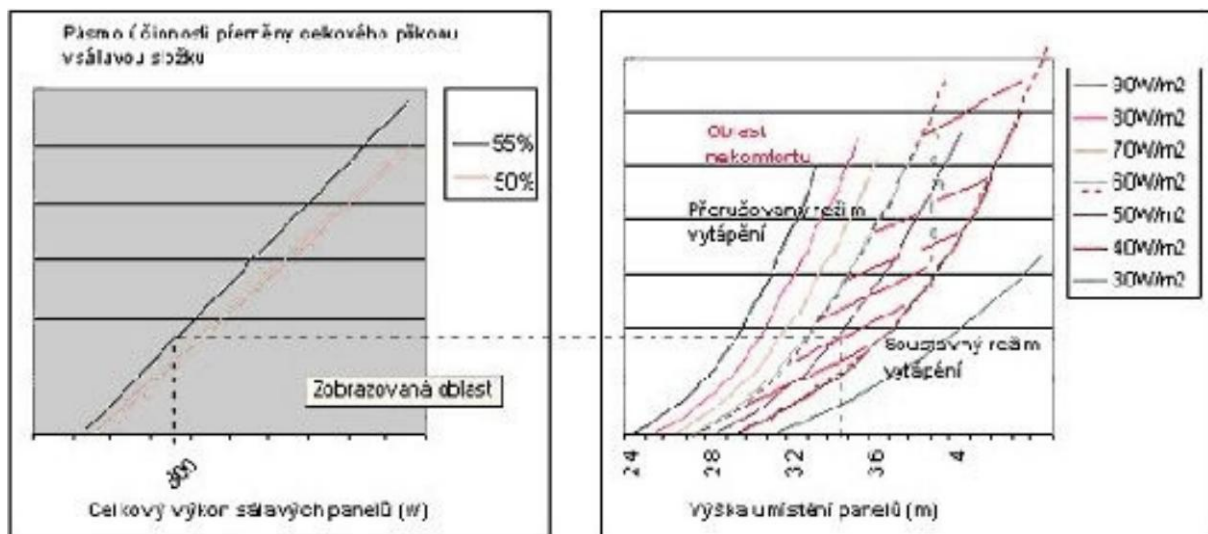
$$F_{1,2} = \frac{\cos \omega_1 \cos \omega_2 S_2}{\pi \cdot r^2} \quad [-] \quad (5-6)$$

Hustota intenzity osálení, se pak vypočte ze vztahu 5-7.

$$q = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 S_2 c_\varepsilon \cos \omega_1 \cos \omega_2}{\pi \cdot r^2} \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (5-7)$$

5.4 Stanovení intenzity osálení pomocí monogramu

Třetím způsobem, jak určit intenzitu osálení je pomocí grafu zvaného monogram. 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 monogramu navrhuji výrobci výšku zavěšení panelu a výkony potřebných sálavých panelů. [7]



Obr. 6-7 Monogram sálavého panelu o výkonu 300 W

6 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 %.

6.1 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. 6-1.

Tab. 6-1 Biofyzikální definice pojmu „normální člověk“

hmotnost	75 kg
výška	175
povrch těla	1,9 m ²
objem těla	75 l
puls	75 min ⁻¹
frekvence dýchání	16 min ⁻¹
průtok vzduchu plícemi	0,5 m ³ h ⁻¹
průtok vzduchu plícemi (při tělesné činnosti)	9 m ³ h ⁻¹
střední teplota kůže	32 °C
produkce CO ₂ (v klidu)	(10 - 20) l h ⁻¹

Často se počítá s hustotou tepelného toku ve Wm⁻², vypočtenou z tepelné produkce a povrchu těla. V mezinárodních normách je používána jednotka 1 met, jejíž hodnota je 1 met=58 Wm⁻².

Povrch lidského těla závisí na jeho výšce H [m] a hmotnosti M [kg] podle rovnice

$$S_D = 0,204 \cdot M^{0,425} \cdot H^{0,725} \quad [\text{W}] \quad (6-1)$$

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.

6.2 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 (6-2).

$$\text{Spotřeba energie} = \int_0^{24} Q_m d\tau = \sum_{i=1}^n (Q_m \Delta \tau)_i \quad [\text{J}] \quad (6-2)$$

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) $17,6 \text{ kJg}^{-1}$
- tuky (olej, máslo,) $39,4 \text{ kJg}^{-1}$
- bílkoviny (proteiny) $18,0 \text{ kJg}^{-1}$

Dýcháním se do plic dostává vzduch s 21% kyslíku a s (0,03 - 0,05) % oxidu uhličitého. Ve vydechaném vzduchu je 16 % O_2 , 4 % CO_2 a 5 % H_2O . Vzduch se ohřívá na 35 °C a zvlhčuje na 95 %. Plíce zdravého člověka, mají teplosměnou plochu cca 40 m² a jsou velmi dokonalým výměníkem tepla a hmoty. Oxid uhličitý ve vydechaném vzduchu je produktem oxidace potravy v těle. Poměr mezi objemovou produkcí CO_2 a spotřebou kyslíku O_2 se nazývá respirační kvocient (RQ), který pro oxidaci základních složek potravy činí:

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

$$RQ = V_{CO_2} / V_{O_2}$$

kde

V_{CO_2} - objem oxidu uhličitého

V_{O_2} - objem kyslíku

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

6.3 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:

$$Q = Q_k + Q_r + Q_v + Q_w + (Q_d + Q_{dw}) + Q_a \quad [J] \quad (6-3)$$

V této rovnici je Q_a tepelný tok akumulovaný v těle. 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.

6.4 Sdílení tepla konvencí

Tepelný tok *konvekcí* (prouděním) Q_k závisí na rozdílu povrchové teploty oděvu t_p a teploty vzduchu t_a , na součiniteli přestupu tepla konvencí α_k , na velikosti povrchu oděvu S_k . K proudění vzduchu kolem těla dochází dvěma způsoby:

- **volnou konvencí** vyvolanou rozdílem teplot povrchu oděvu a vzduchu, kdy rychlosti nepřesahují 0,15 m/s.

6.5 Vliv oděvu

Teplota povrchu oděvu závisí na tepelně izolačních vlastnostech oděvu a také na velikosti tepelného toku oděvem R . Jednotkou tepelného odporu oděvu je $1 \text{ clo} = R/0,155$, což odpovídá odporu třívrstvého oděvu (zimní oblek) viz norma ČSN EN ISO9920 [5].

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 Fangera

$$t_k = (35,7 - 0,0275) q, \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6-4)$$

kde q [W/m^2] je tepelná produkce člověka.

6.6 Teplo sdílené radiací

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

$$Q_r = c S_r [(T_p/100)^4 - (T_u/100)^4] = r S_r (t_p - t_u) \quad [\text{J}] \quad (6-5)$$

kde c 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_r povrch člověka.

6.7 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

$$T_u = t_u + 273 = \sqrt[4]{(\varphi_{1p} T_1^4 + \varphi_{2p} T_2^4 + \dots + \varphi_{np} T_{n2}^4)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6-6)$$

Poměr sálání i_p - 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: $r = 4,6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, pro $t_u = (10 - 50) ^{\circ}\text{C}$.

6.8 Teplo sdílené dýcháním

Průtok vzduchu vdechovaného do plic M_a závisí na potřebě kyslíku a je tedy závislý na tepelné produkci Q ,

$$M_a = 1,43 \cdot 10^{-6} Q \quad [\text{kgs}^{-1}] \quad (6-7)$$

Teplota vydechovaného vzduchu t_A závisí mírně na teplotě vdechovaného vzduchu t_a a vlhkosti x_a

$$t_A = 32,6 + 0,006 t_a + 32 x_a + 34 ^{\circ}\text{C} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6-7)$$

Vlhkost vydechovaného vzduchu x_A závisí na tlaku par p_D ve vydechovaném vzduchu

$$x_A - x_a = 0,0277 + 6,5 \cdot 10^{-5} t_a - 0,8 x_a$$

$$0,8 x_a = 4,9 \cdot 10^{-6} p_D$$

$$x_a = 0,622 p_D / (p - p_D) + 0,622 p_D / p.$$

pro atmosférický tlak $p = 101,32 \text{ kPa}$ je $x_a = 0,614 \cdot 10^{-5} p_D$

Pro $t_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$x_A - x_a = 0,277 + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 20 - 0,8 \cdot 0,614 \cdot 10^{-5} p_D = 2,9 \cdot 10^{-2} - 4,9 \cdot 10^{-6} p_D$$

při dýchání se odvádí teplo ohříváním vzduchu v plicích:

$$Q_{Ad} = M_A c_A (t_A - t_a), \text{ kde } c_a = 1,01 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

a vypařováním vody v plicích:

$$Q_{Aw} = M_A l (x_A - x_a), \text{ kde } l = 2400 \text{ kJkg}^{-1} \text{ je výparné teplo při } 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

Teplo sdílené dýcháním bude součtem Q_{Ad} a Q_{Aw} .

Pro stav pohody platí:

$$q_A = 0,55 q - 17 \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (6-8)$$

kde q je měrná tepelná produkce člověka.

6.9 Fyziologická kritéria pro horké provozy

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

- M_{potu} [kg/směna]
- Puls [tep/min]
- Teplota pokožky t_k [$^\circ\text{C}$]

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 $27 < t_k < 37 \text{ }^\circ\text{C}$ je

$$p_D = 256 t_k - 3373 \text{ [Pa]}.$$

Při tepelné pohodě je

$$Q_w = (0,2 \text{ až } 0,3) Q$$

$$Q_k + Q_r = 0,75 Q$$

Při tepelné pohodě se člověku odvádí konvekcí a radiací 75 % jeho tepelné produkce. [8]

7 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 vyvažováním). [8]

Závisí na vnějších fyzikálních podmínkách v dané místnosti, teplotě a relativní vlhkosti i na 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.

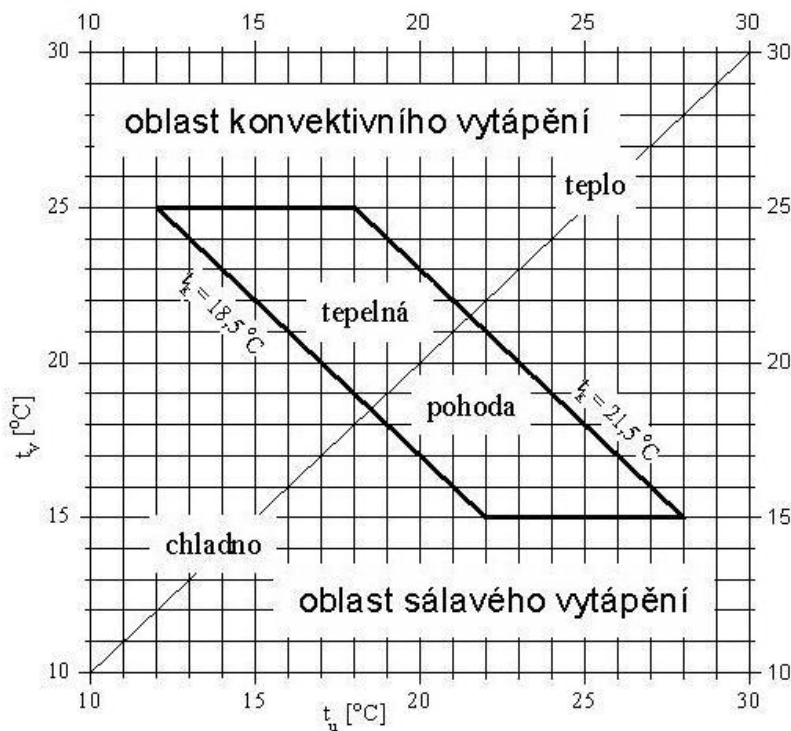
Tepelná rovnováha je dosažena, když okolí odebírá lidskému tělu právě tolik tepla, kolik člověk vyprodukuje. Člověk odevzdává teplo do okolního prostoru vedením, prouděním a sáláním. Kromě toho odevzdává teplo vypařováním potu a dýcháním, představující z velké části latentní teplo. Pro určení hranic 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.[7]

7.1 Určení hranic tepelné pohody

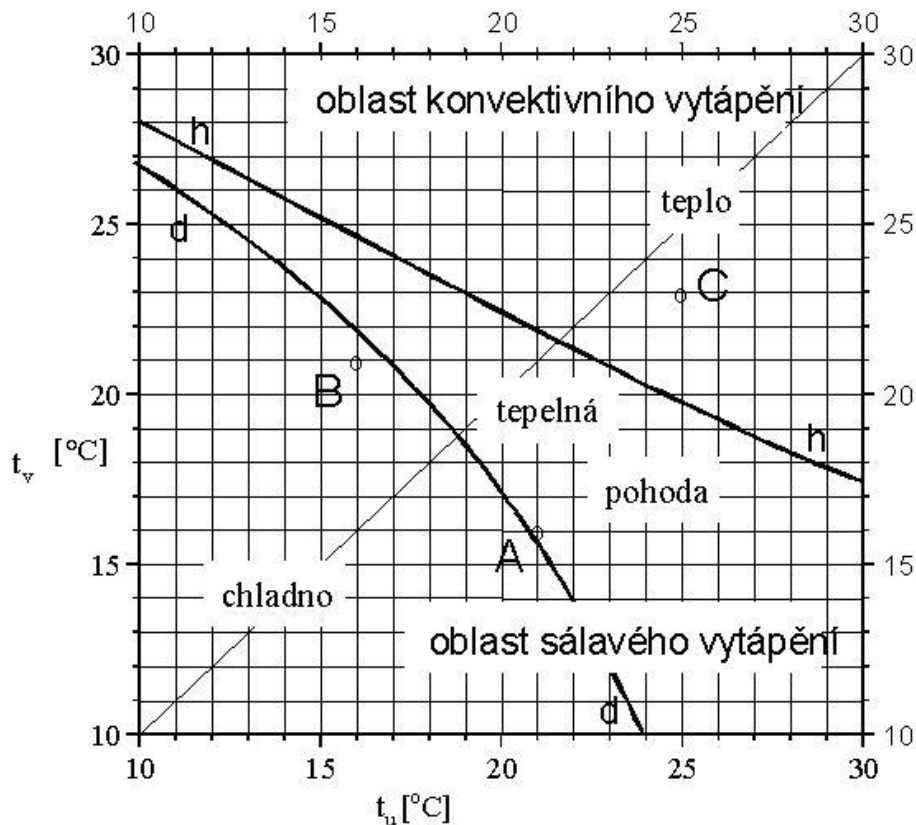
Určení tepelné pohody podle Cihelky [8] je velmi jednoduché a dostačující pro řešení většiny technických problémů. Je možné použít následující diagram na obr. 7-1. Na vodorovné ose diagramu je nanášena účinná teplota okolních ploch t_u a na svislé ose teplota vzduchu t_v . Uprostřed diagramu je znázorněna 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 celkovou teplotu t_k .



Obr. 7-1. Diagram určování tepelné pohody podle Cihelky

Pro detailnější rozbor a určení tepelné pohody je vhodnější diagram obr. 7-2 sestavený Ralčukem [9], který vychází z experimentálně zjištěných statisticky zpracovaných poznatků. Diagram je obdobný, jako diagram na obr. 7-1, 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. 7-2. 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-plynoucí z teploty vzduchu t_v v místnosti. Tato skutečnost je ukázána na obr. 7-2 pomocí dvou zobrazených bodů:

- Bod A při účinné teplotě okolních ploch $t_u = 21^\circ\text{C}$ a teplotě vzduchu $t_v = 16^\circ\text{C}$ leží na spodní hranici tepelného komfortu.
- Teplota okolního vzduchu $t_v = 21^\circ\text{C}$ a účinná teplota okolních ploch $t_u = 16^\circ\text{C}$ přísluší bodu B, který leží pod spodní hranicí tepelné pohody. Při pobytu v oblasti, kterou charakterizuje bod B, bude pociťován chlad.
- Bod C leží nad horní hranicí tepelného komfortu a to při účinné teplotě okolních ploch $t_u = 25^\circ\text{C}$ a teplotě vzduchu $t_v = 22,5^\circ\text{C}$.

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.

8 Určení sálavé účinnosti panelu 300W

Při měření jsem postupoval tak, že jsem zavěsil sálavý panel Fénix Ecosun 300 C v hnědé barvě o straně 0,575 x 0,575 x 0,06 m s celkovou aktivní plochou 0,33 m². 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 α (α 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 α a plochy panelu S .

$$P = \alpha(T - T_o)S \quad [\text{W}] \quad (8-1)$$

α – teplotní součinitel [W/Km²]

T – průměrná teplota příslušné stěny panelu [K]

T_o – teplota okolí [K]

S – plocha příslušné stěny panelu [m²]

V této rovnici jsou dvě neznámé proměnné α 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 α je empirická hodnota, která se určí např. podle následujícího vzorce (8-2).

$$\alpha_i = K_i \sqrt[4]{(T_i - T_o)} \quad [\text{K}] \quad (8-2)$$

K_i – empirický součinitel [-]

T_i – průměrná teplota příslušné stěny panelu [K]

T_o – teplota okolí [K] [5]

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

Vypočtené hodnoty α_i dosadím zpět do Newtonova zákona 8-1 a dostanu ztráty prouděním jednotlivých stěn panelu.

$$P_i = \alpha_i (T_i - T_o) S_i \quad [\text{W}] \quad (8-3)$$

P_i – ztrát prouděním jednotlivých stěn panelu [W]

T_i – průměrná teplota příslušné stěny panelu [K]

T_o – teplota okolí [K]

S_i – plocha jednotlivých stěn panelu [m²]

Pak jsem tyto vypočtené hodnoty ztrát sečetl podle rovnice 8-4 a dostal jsem celkové ztráty prouděním sálavého panelu. Potom dosazením celkových ztrát prouděním do rovnice 8-5 dostanu celkovou účinnost sálavého panelu.

$$P = \sum_i P_i \quad [\text{W}] \quad (8-4)$$

P – celkové ztráty prouděním všech stran panelu [W]

P_i – ztrát prouděním jednotlivých stěn panelu [W]

Výpočet sálavé účinnosti panelu

$$\eta = \frac{P_{\dot{R}} - \sum P}{P_{\dot{R}}} 100 \quad [\%] \quad (8-5)$$

$P_{\dot{R}}$ - příkon panelu [W]

P - součet celkových ztrát prouděním [W] [9]

9 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. 9-3 až 9-6) na 3 bodech teplotu a z těchto hodnot vypočítám průměrnou teplotu, kterou zapíši do tab. 8. Na spodní (aktivní ploše) a horní ploše měřím na 9 bodech teplotu, protože tyto plochy mají větší povrch (tab. 9-2, 9-3). Také tyto naměřené teploty zprůměrnuji a zapíši je také do tab. 10.

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí $T_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
vlhkost $\Phi = 54 \text{ } \%$

Výška zavěšení panelu 2,40 m.

Tab. 9-1 Dolní (aktivní) strana panelu T_1 naměřené teploty [$^\circ\text{C}$]

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

Tab. 9-2 Horní strana panelu T_2 naměřené teploty [$^\circ\text{C}$]

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

Tab. 9-3 Levá strana panelu T_3 naměřené teploty [$^\circ\text{C}$]

43,1
49,9
44,5

Tab. 9-4 Pravá strana panelu T_4 naměřené teploty [$^\circ\text{C}$]

45,7
49,8
42,3

Tab. 9-5 Přední strana panelu T_5 naměřené teploty [°C]

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

Tab. 9-6 Zadní strana panelu T_6 naměřené teploty [°C]

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

Z naměřených hodnot jsem určil průměrné teploty na každé straně panelu, viz tab. 9-7.

Tab. 9-7 Průměrné teploty z jednotlivých stran panelu [°C] a [K]

Strana panelu	[°C]	[K]
T_1	93,7	366,8
T_2	38,6	311,8
T_3	45,8	319,0
T_4	45,9	319,1
T_5	46,2	319,4
T_6	47,5	320,7

Potom vypočítám teplotní součinitel α .

$$\alpha_i = K_i \sqrt[4]{(T_i - T_o)} \quad [\text{K}] \quad (9-1)$$

Součinitel K_i jsem pro výpočet ztrát prouděním zvolil následující [13]:

$$\text{u svislých stěn} \quad \alpha_i \quad 2,56 \times 4 \sqrt{(T_i - T_o)} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}] \quad (9-2)$$

$$\text{u vodorovné dolů} \quad \alpha_i \quad 1,15 \times 4 \sqrt{(T_i - T_o)} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}] \quad (9-3)$$

$$\text{u vodorovné nahoru} \quad \alpha_i \quad 2,15 \times 4 \sqrt{(T_i - T_o)} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}] \quad (9-4)$$

T_i - zprůměrované teploty jednotlivých stran T_1 až T_6 [°C]

T_o - teplota okolí viz počáteční podmínky měření, tj. 18,5 °C

Vypočtené teplotní součinitele podle jednotlivých stran panelu podle rovnice 9-7 jsem zapsal do tab. 9-8.

Tab. 9-8 Výpočet teplotního součinitele α podle strany panelu

Strana panelu	α_i [Wm^{-2}K]
T_1	3,4
T_2	4,5
T_3	5,8
T_4	5,8
T_5	5,8
T_6	5,9

Určením teplotního součinitele α mohu vypočítat tepelné ztráty prouděním jednotlivých stěn panelu P_1 až P_6 podle vzorce 9-5. Výsledky jsem zapsal do tab. 8-10. Protože se jedná o panel o stranách $0,575 \times 0,575 \times 0,06$ m, má aktivní a horní stěna panelu $S = 0,33 \text{ m}^2$ a ostatní stěny panelu $S = 0,04 \text{ m}^2$.

$$P_i = \alpha_i(T_i - T_o)S_i \quad [\text{W}] \quad (9-5)$$

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

Strana panelu	P_i [W]
T_1	82,1
T_2	27,5
T_3	5,2
T_4	5,2
T_5	5,2
T_6	5,6

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

$$P = \sum_i P_i \quad [\text{W}] \quad (9-6)$$

Celkové ztráty prouděním vyšly z rovnice 9-6 199,5 W. Ted' mohu vypočítat sálavou účinnost panelu podle vzorce 9-7.

$$\eta = \frac{P_{\dot{R}} - \sum P}{P_{\dot{R}}} 100 \quad [\%] \quad (9-7)$$

Všechny dílčí výsledky jsou zaznamenány v tab. 9-10.

Tab. 9-10 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 2,40 m

	Stěny panelu	K_i [-]	S_i [m ²]	α_i [-]	P_i [m ²]	T_i [°C]	T_i [K]
T_1	aktivní stěna	1,15	0,33	3,4	82,1	93,7	366,8
T_2	neaktivní stěna	2,15	0,33	4,5	27,5	38,6	311,8
T_3	levá stěna	2,56	0,03	5,8	5,2	45,8	319,0
T_4	pravá stěna	2,56	0,03	5,8	5,2	45,9	319,1
T_5	přední stěna	2,56	0,03	5,8	5,2	46,2	319,4
T_6	zadní stěna	2,56	0,03	5,9	5,6	47,5	320,7

Celkové ztráty prouděním 130,8 W

Sálavá účinnost panelu 56,41 %

Teplota naměřená termočlánkem 98 °C

9.1 Druhé měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 300 W

V druhém měření a třetím měření postupuju stejně jako v prvním měření.

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí $T_o = 19$ °C

vlhkost $\Phi = 50$ %

Výška zavěšení panelu 1,60 m.

Tab. 9-11 Dolní (aktivní) strana panelu T_1 naměřené teploty [°C]

94,2	93,2	87,9
97,3	99,0	96,7
92,5	94,8	92,8

Tab. 9-12 Horní strana panelu T_2 naměřené teploty [°C]

41,3	39,5	38,2
41,2	38,1	38,9
38,5	43,6	38,9

Tab. 9-13 Levá strana panelu T_3 naměřené teploty [°C]

40,7
49,7
44,0

Tab. 9-14 Pravá strana panelu T_4 naměřené teploty [°C]

46,9
51,1
45,4

Tab. 9-15 Přední strana panelu T_5 naměřené teploty [°C]

45,3	49,0	44,5
------	------	------

Tab. 9-16 Zadní strana panelu T_6 naměřené teploty [°C]

46,5	49,1	46,6
------	------	------

Tab. 9-17 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu [°C] a [K]

Strana panelu	[°C]	[K]
T_1	94,3	367,4
T_2	39,8	313,0
T_3	44,8	318,0
T_4	47,8	321,0
T_5	46,3	319,4
T_6	47,4	320,6

Tab. 9-18 Výpočet teplotního součinitele α podle strany panelu

Strana panelu	α_i [Wm ⁻² K]
T_1	3,4
T_2	4,6
T_3	5,8
T_4	5,9
T_5	5,9
T_6	5,9

Tab. 9-19 Výpočet ztrát prouděním P_i podle strany panelu

Strana panelu	P_i [W]
T_1	84,4
T_2	31,6
T_3	5,1
T_4	5,9
T_5	5,5
T_6	5,8

Tab. 9-20 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m

	Stěny panelu	K_i [-]	S_i [m ²]	α_i [-]	P_i [m ²]	T_i [°C]	T_i [K]
T_1	aktivní stěna	1,15	0,33	3,4	84,4	94,3	367,4
T_2	neaktivní stěna	2,15	0,33	4,6	31,6	39,8	313,0
T_3	levá stěna	2,56	0,03	5,8	5,1	44,8	318,0
T_4	pravá stěna	2,56	0,03	5,9	5,9	47,8	321,0
T_5	přední stěna	2,56	0,03	5,9	5,5	46,3	319,4
T_6	zadní stěna	2,56	0,03	5,9	5,8	47,4	320,6

Celkové ztráty prouděním 138,3 W

Sálavá účinnost panelu 53,89 %

Teplota naměřená termočlánkem 97 °C

9.2 Třetí měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 300 W

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí $T_o = 19$ °C

vlhkost $\Phi = 49$ %

Výška zavěšení panelu 0,65 m.

Tab. 9-21 Dolní (aktivní) strana panelu T_l naměřené teploty [°C]

89,7	95,4	93,7
96,3	98,6	95,3
93,7	98,7	93,0

Tab. 9-22 Horní strana panelu T_2 naměřené teploty [°C]

40,6	36,9	36,5
38,5	35,9	38,2
39,8	42,5	38,2

Tab. 9-23 Levá strana panelu T_3 naměřené teploty [°C]

44,6
48,7
43,7

Tab. 9-24 Pravá strana panelu T_4 naměřené teploty [°C]

47,3
50,4
44,8

Tab. 9-25 Přední strana panelu T_5 naměřené teploty [°C]

44,8	48,7	45,5
------	------	------

Tab. 9-26 Zadní strana panelu T_6 naměřené teploty [°C]

46,6	50,3	48,3
------	------	------

Tab. 9-27 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu [°C] a [K]

Strana panelu	[°C]	[K]
T_1	94,9	368,1
T_2	38,6	311,7
T_3	45,7	318,8
T_4	47,5	320,7
T_5	46,3	319,5
T_6	48,4	321,6

Tab. 9-28 Výpočet teplotního součinitele α podle strany panelu

Strana panelu	α_i [Wm^{-2}K]
T_1	3,4
T_2	4,5
T_3	5,8
T_4	5,9
T_5	5,9
T_6	6

Tab. 9-29 Výpočet ztrát prouděním podle strany panelu

Strana panelu	P_i [W]
T_1	85,4
T_2	29,3
T_3	5,4
T_4	5,8
T_5	5,5
T_6	6,1

Tab. 9-30 Průměrné teploty jednotlivých stěn panelu v [$^{\circ}\text{C}$] a [K] pro výšku zavěšení 0,65 m

	Stěny panelu	K_i [-]	S_i [m^2]	α_i [-]	P_i [m^2]	T_i [$^{\circ}\text{C}$]	T_i [K]
T_1	aktivní stěna	1,15	0,33	3,4	85,4	94,9	368,1
T_2	neaktivní stěna	2,15	0,33	4,5	29,3	38,6	311,7
T_3	levá stěna	2,56	0,03	5,8	5,4	45,7	318,8
T_4	pravá stěna	2,56	0,03	5,9	5,8	47,5	320,7
T_5	přední stěna	2,56	0,03	5,9	5,5	46,3	319,5
T_6	zadní stěna	2,56	0,03	6	6,1	48,4	321,6

Celkové ztráty prouděním 137,4 W

Sálavá účinnost panelu 54,19 %

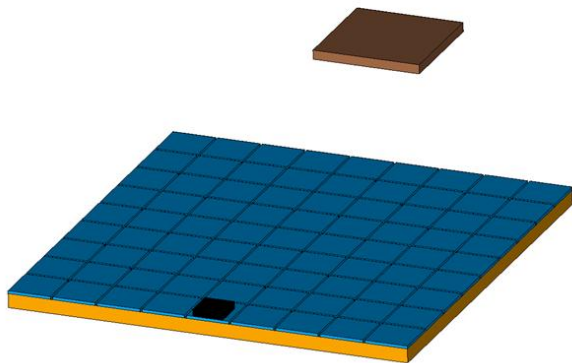
Teplota naměřená termočlánkem 97 $^{\circ}\text{C}$

Sálavá účinnost sálavého panelu o příkonu 300 W pro výšku zavěšení 2,40 m vyšla 56,41 %, pro výšku zavěšení 1,60 m vyšla 53,89 % a pro výšku 0,65 m 54,19%. Průměrná sálavá účinnost vyšla tedy 54,3 %. Z vypočítané sálavé účinnosti panelu plyne, že výška zavěšení panelu má malý vliv na sálavou účinnost. Zvýšit sálavou účinnost je možné zlepšením izolace

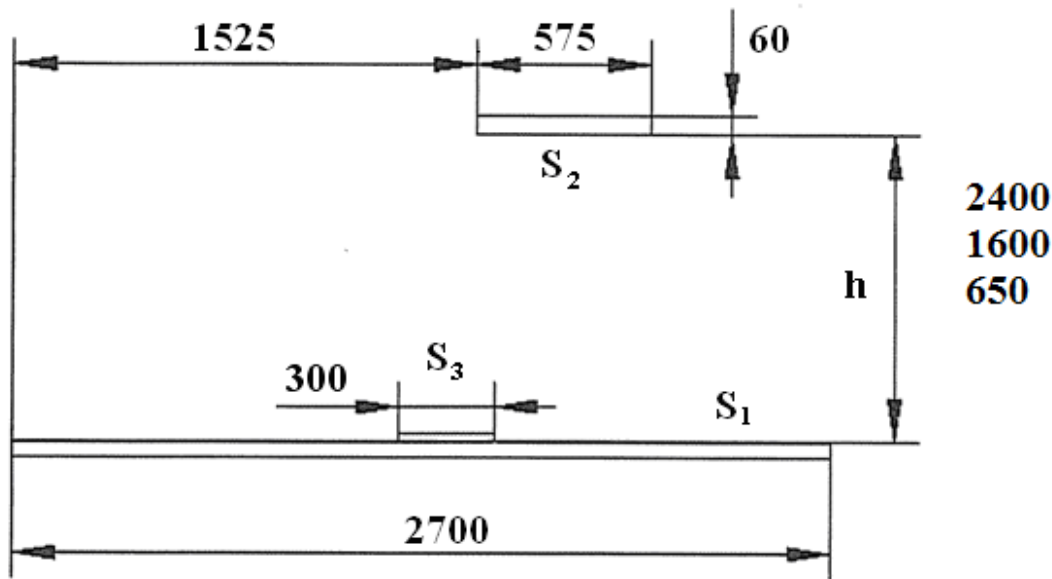
horní stěny a postraních stěn panelu, aby celkové ztráty prouděním, které činily pro výšku 2,40 m 130,8 W, pro výšku 1,60 m 138,3 W a instalaci panelu ve výšce 0,65 m 137,4 W. Také by bylo možné ztráty prouděním zmenšit hrubším povrchem horní stěny a bočních stěn.

10 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. 10-1 a obr. 10-2. Zadní strana panelu je posunuta 0,3 m od zadní strany osálané plochy směrem k jejímu středu.



Obr. 10-1 Zobrazení měření ve 3D



Obr. 10-2 Popis a rozměry měřeného panelu pro 300 W

Pro zjištění měrného sálavého výkonu budu vycházet ze vztahu 10-1. Tento vztah obsahuje tři části: vnější konstantu E , rozdíl teplot ΔT a vliv měřeného povrchu I (např. drsnost povrchu). Vnější konstanta E se skládá z emisivity povrchu ε (sálavého panelu a měřeného povrchu) a Stefan-Boltzmannovy konstanty c_ε . Teplotní rozdíl určuje, jaké teplo bude pohlceno jednotlivými částmi měřeného povrchu. Platí $\Delta T = T^4 - T_o^4$.

$$Q = E \cdot A \cdot I \quad [\text{W}] \quad (10-1)$$

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.

$$Q = \varepsilon_1 \varepsilon_2 c_\varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \iint_{S_1, S_2} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dS_1 dS_2 \quad [\text{W}] \quad (10-2)$$

ε_1 – emisivita osálané plochy S_1 [-]

ε_2 – emisivita sálající plochy S_2 [-]

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

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 [m^2]

S_2 – velikost sálající plochy [m^2]

φ_1 – úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy S_1 [$^\circ$]

φ_2 – úhel mezi normálou a spojnicí středu plochy S_2 [$^\circ$]

r – vzdálenost bodu v osálané rovině od panelu [m] [8]

kde T_2 je teplota sálavého panelu a T_1 je teplota měřeného povrchu. Úhly φ_1 a φ_2 jsou úhly mezi plochou měřeného povrchu dS_1 a plochou sálavého panelu dS_2 . Vzdálenost těchto dvou ploch určuje r . Emisivitu ε_1 a ε_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.

$$Q_b = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} c_\varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_b}{100} \right)^4 \right] \frac{\cos^2 \varphi_b}{r^2} S_2 S_b \quad [\text{W}] \quad (10-3)$$

ε_1 – emisivita osálané plochy $\varepsilon_1 = 1$ [-]

ε_2 – emisivita sálající plochy $\varepsilon_2 = 1$ [-]

T_b – povrchová teplota jednotlivých osálaných ploch S_b [K]

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

Připomínám, že v tomto případě uvažuji vzdálenost r od středu sálavého panelu ke středu měřeného povrchu (jednotlivých částí měřeného povrchu $S_b = S_3 = 0,09 \text{ m}^2$).

Pro určení vzdálenosti jednotlivých bodů měřené plochy od zdroje sálání (panelu) je potřeba pro můj případ dosadit do rovnice 10-3 vzorec 10-4.

$$\cos \varphi_b = \frac{h}{r_b} = \frac{h}{d_b} = \frac{h}{\left(x_z - x_b \right)^2 + \left(y_z - y_b \right)^2 + h^2} \quad [-] \quad (10-4)$$

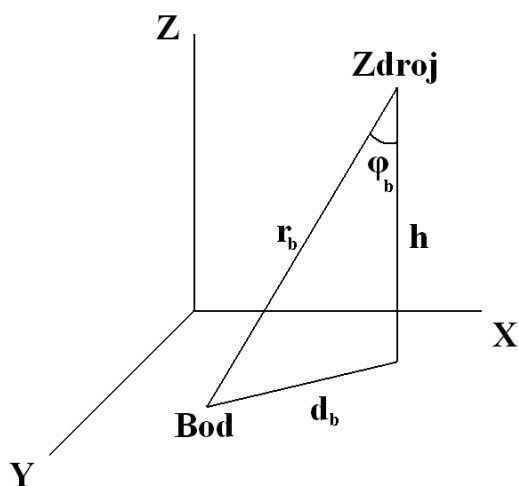
Za r je dosadím d , abych určil polohu jednotlivých bodů osálané plochy od sálavého panelu na obr. 10-3.

$$d_b = \left(x_z - x_b \right)^2 + \left(y_z - y_b \right)^2 + h^2 \quad [\text{m}] \quad (10-5)$$

h – výška zavěšení panelu [m]

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

x_z – x souřadnice zdroje (panelu) [m] tj. $x_z = 1,81$ m
 x_b – x souřadnice jednotlivého bodu osálané plochy [m]
 y_z – y souřadnice zdroje (panelu) [m] tj. $y_z = 0,59$ m
 y_b – y souřadnice jednotlivého bodu osálané plochy [m]
 d_b – odvěsna pravoúhlého trojúhelníku [m]



Obr. 10-3 Grafické znázornění výpočtu jednotlivých bodů osálané plochy

Pak dosazení vzorce 10-4 do rovnice 10-5 dostanu rovnici 10-6.

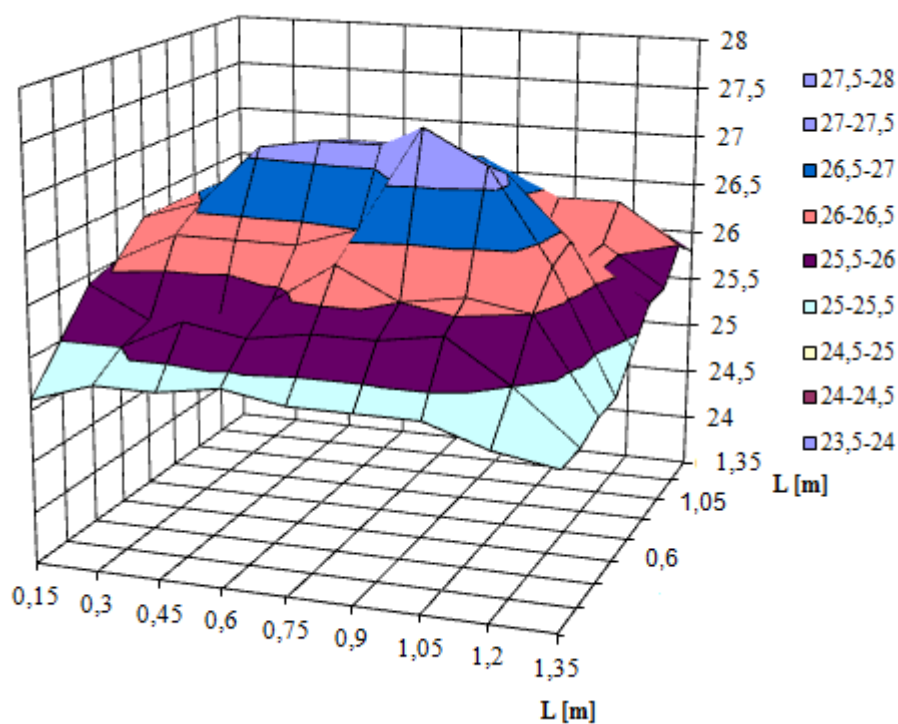
$$Q_b = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} c_\varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_b}{100} \right)^4 \right] \frac{h^2}{\left((x_z - x_b)^2 + (y_z - y_b)^2 + h^2 \right)^2} S_2 S_b \quad [\text{W}] \quad (10-6)$$

Naměřené teploty v jednotlivých bodech osálané plochy jsou uvedeny v tab. 10-1, kde jsou uvedeny i souřadnice jednotlivých bodů. Na obr. 7 je grafické vyjádření teplot jednotlivých bodů pod panelem. Střed panelu je dán souřadnicemi $x_z = 1,81$ a $y_z = 0,59$ v tab. 10-1 a obr. 10-3 a středy jednotlivých bodů osálané plochy jsou uvedeny v tab. 10-1. Vypočtené hodnoty dopadajícího sálavého výkonu Q_b na jednotlivé body osálané plochy jsou zobrazeny v tab. 10-2.

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	20,3	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	21,4	19,8	19,8
0,6	20,2	20,3	20,6	20,7	20,6	20,6	20,4	20,2	20,0
0,75	20,2	20,4	20,6	21,0	21,0	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	20,0	19,9

Průměrná teplota pod panelem činí 26,1 °C.



Obr. 10-4 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 2,40 m od panelu

Tab. 10-2 Naměřené 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	0,45	0,51	0,57	0,63	0,70	0,77	0,84	0,90	0,43
0,3	0,46	0,52	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86	0,93	0,44
0,45	0,47	0,53	0,59	0,66	0,73	0,81	0,88	0,95	0,45
0,6	0,47	0,53	0,59	0,66	0,73	0,81	0,89	0,96	0,45
0,75	0,47	0,52	0,59	0,66	0,73	0,80	0,88	0,96	0,45
0,9	0,46	0,52	0,58	0,65	0,71	0,78	0,86	0,94	0,44
1,05	0,45	0,51	0,57	0,63	0,70	0,77	0,84	0,91	0,43
1,2	0,44	0,49	0,55	0,61	0,67	0,74	0,80	0,87	0,42
1,35	0,42	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,40

10.0.1 Výpočet celkového sálavého výkonu

$$Q_c = \sum_{b=1}^{81} Q_b \quad [\text{W}] \quad (10-7)$$

Q_b - sálavý výkon jednotlivých bodů na osálané ploše [W]

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 55,46 W.

10.0.2 VÝPOČET MĚRNÉHO SÁLAVÉHO VÝKONU

$$Q_M = \frac{Q_c}{S_1} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}] \quad (10-8)$$

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu $S_1 = 7,9 \text{ m}^2$ je $7,02 \text{ Wm}^{-2}\text{K}$.

Pro další dvě měření jsem postupoval obdobným způsobem (viz níže).

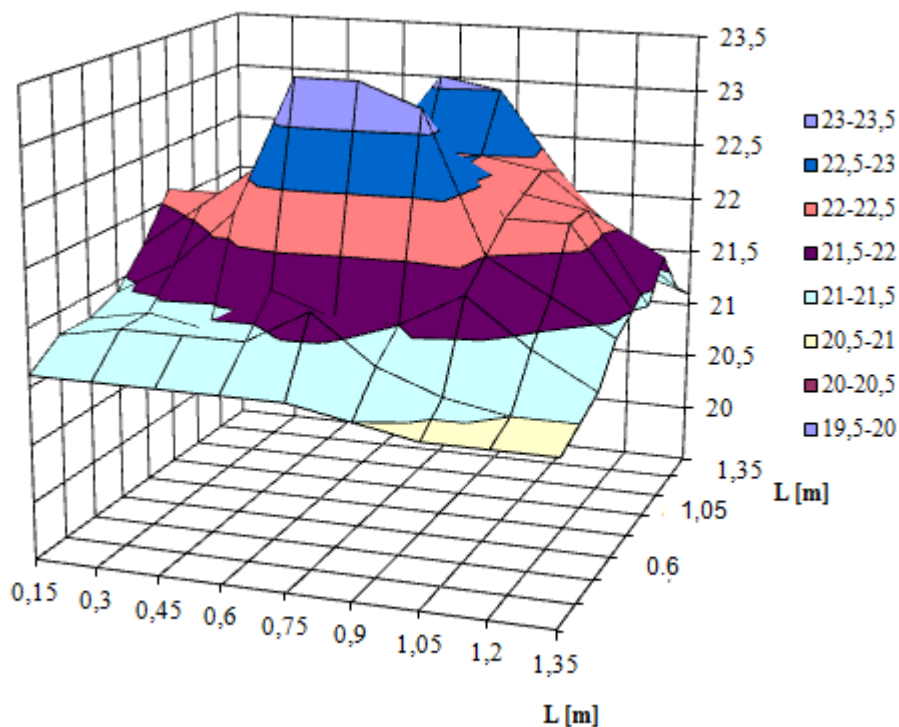
10.1 Druhé měření pro určení měrného sálavého výkonu panelu 300 W

Panel byl nainstalován ve výšce 1,60 m nad měřenou plochou obr. 10-4. V tab. 10-3 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osálané 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	21,1	21,4	21,4	21,5	22,0	22,0	21,5	21,3	21,1
0,3	21,5	22,0	22,1	22,4	23,1	23,0	22,3	21,7	21,3
0,45	21,7	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,4	22,0	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	22,0	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	21,0	21,0
1,35	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,0	20,9	20,9	20,9

Průměrná teplota pod panelem činí 21,9 °C.



Obr. 10-4 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 1,60 m od panelu

Tab. 10-4 Naměřené 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	0,41	0,49	0,59	0,71	0,84	1,00	1,19	1,39	1,61
0,3	0,43	0,51	0,61	0,73	0,87	1,05	1,25	1,48	1,72
0,45	0,43	0,52	0,63	0,75	0,91	1,09	1,30	1,53	1,79
0,6	0,44	0,52	0,63	0,76	0,92	1,10	1,31	1,55	1,82
0,75	0,43	0,52	0,62	0,75	0,91	1,08	1,30	1,53	1,79
0,9	0,43	0,51	0,61	0,73	0,87	1,04	1,25	1,48	1,72
1,05	0,41	0,49	0,59	0,70	0,84	1,00	1,18	1,39	1,61
1,2	0,39	0,47	0,56	0,66	0,79	0,93	1,10	1,28	1,47
1,35	0,37	0,44	0,52	0,62	0,73	0,86	1,00	1,15	1,31

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 75,37 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu S_I je 9,55 Wm⁻².

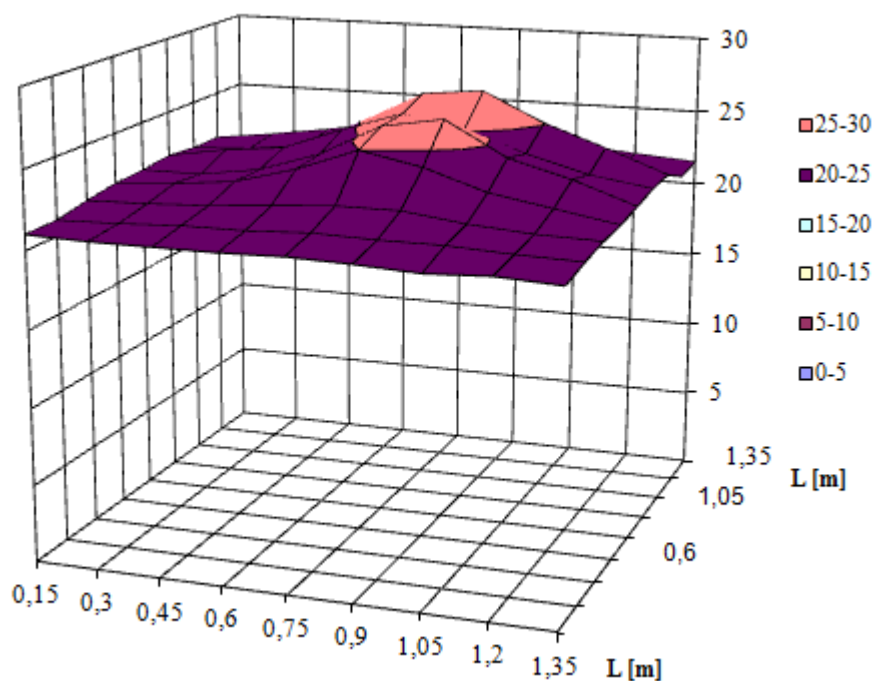
10.2 Třetí měření pro určení měrného sálavého výkonu

Panel byl zavěšen ve výšce 0,65 m nad měřenou plochou obr. 10-5. V tab. 10-6 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osávané plochy. Vypočtené hodnoty sálavého výkonu z tab. 11-37.

Tab. 10-6 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	21,1	21,1	21,4	21,8	22,1	22,3	22,1	21,8	21,5
0,3	21,8	22,3	22,9	23,6	25,3	25,1	22,7	21,5	21,3
0,45	21,8	22,0	22,5	23,8	26,6	27,0	25,1	23,7	22,2
0,6	22,0	22,7	23,1	24,6	25,9	25,1	23,8	22,7	22,1
0,75	21,8	21,8	22,4	23,7	25,8	26,5	24,3	23,2	21,8
0,9	21,7	22,0	22,4	23,5	25,0	24,2	22,9	22,2	21,5
1,05	21,4	21,5	21,7	22,0	22,3	22,3	21,8	21,5	21,4
1,2	21,0	21,1	21,3	21,3	21,5	21,4	21,4	21,2	21,1
1,35	21,0	20,9	20,9	20,9	21,0	20,9	20,7	20,9	20,7

Průměrná teplota pod panelem činí 22,5 °C.



Obr. 10-5 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 0,65 m od panelu

Tab. 10-7 Naměřené 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	0,16	0,21	0,29	0,39	0,55	0,79	1,17	1,76	2,71
0,3	0,17	0,22	0,30	0,42	0,59	0,87	1,35	2,12	3,41
0,45	0,17	0,23	0,32	0,44	0,62	0,92	1,45	2,34	3,94
0,6	0,18	0,23	0,32	0,45	0,64	0,96	1,51	2,46	4,16
0,75	0,17	0,23	0,32	0,44	0,63	0,93	1,46	2,35	3,95
0,9	0,17	0,22	0,30	0,42	0,59	0,88	1,34	2,11	3,41
1,05	0,16	0,21	0,29	0,39	0,55	0,79	1,17	1,77	2,71
1,2	0,15	0,20	0,26	0,35	0,48	0,68	0,97	1,41	2,05
1,35	0,14	0,18	0,23	0,31	0,42	0,57	0,78	1,08	1,50

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 78,59 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu S_j je $9,95 \text{ Wm}^{-2}$.

Tab. 10-8 Přehled vypočtených hodnot pro všechny výšky zavěšení panelu

Výška h [m]	Průměrná teplota T_p [°C]	Celkový sálavý výkon Q_i [W]	Měrný sálavý výkon I_s [W/m ²]
2,40	26,1	55,46	7,02
1,60	21,9	75,37	9,55
0,65	22,5	78,59	9,95

11 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 0,05m s celkovou aktivní plochou 0,72 m². 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.

12 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 $T_{o7} = 24$ °C

vlhkost $\Phi_7 = 75$ %

Výška zavěšení panelu 2,40 m.

Tab. 12-1 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. 12-2 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. 12-3 Levá strana panelu T_{37} naměřené teploty [°C]

61,5
64,6
59,1

Tab. 12-4 Pravá strana panelu T_{47} naměřené teploty [°C]

61,5
64,6
59,1

Tab. 12-5 Přední strana panelu T_{57} naměřené teploty [°C]

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

Tab. 12-6 Zadní strana panelu T_{67} naměřené teploty [°C]

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

Z naměřených hodnot jsem určil průměrné teploty na každé straně panelu, viz tab. 12-7.

Tab. 12-7 Průměrné teploty z jednotlivých stran panelu [°C] a [K]

Strana panelu	[°C]	[K]
T_{17}	95,8	368,9
T_{27}	44,5	317,6
T_{37}	61,7	334,9
T_{47}	61,7	334,9
T_{57}	69,5	342,7
T_{67}	66,0	339,1

Tab. 12-8 Výpočet teplotního součinitele α_{i7} podle strany panelu

Strana panelu	α_{i7} [Wm ⁻² K]
T_{17}	3,4
T_{27}	4,6
T_{37}	6,4
T_{47}	6,4
T_{57}	6,7
T_{67}	6,5

Tab. 12-9 Výpočet ztrát prouděním P_{i7} podle strany panelu.

Strana panelu	P_{i7} [W]
T_{17}	173,1
T_{27}	67,5
T_{37}	7,2
T_{47}	7,2
T_{57}	18,2
T_{67}	16,4

Tab. 12-10 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 2,40 m

	Stěny panelu	K_{i7} [-]	S_{i7} [m ²]	α_{i7} [-]	P_{i7} [m ²]	T_{i7} [°C]	T_{i7} [K]
T_{17}	aktivní stěna	1,15	0,72	3,4	173,1	95,8	368,9
T_{27}	neaktivní stěna	2,15	0,72	4,6	67,5	44,5	317,6
T_{37}	levá stěna	2,56	0,03	6,4	7,2	61,7	334,9
T_{47}	pravá stěna	2,56	0,03	6,4	7,2	61,7	334,9
T_{57}	přední stěna	2,56	0,06	6,7	18,2	69,5	342,7
T_{67}	zadní stěna	2,56	0,06	6,5	16,4	66,0	339,1

Celkové ztráty prouděním 289,5 W

Sálavá účinnost panelu 58,64 %

Teplota naměřená termočlánkem 99 °C

13 Druhé měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 700 W

V druhém měření a třetím měření postupuju stejně jako v prvním měření.

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí $T_{o7} = 24$ °C

vlhkost $\Phi_7 = 74$ %

Výška zavěšení panelu 1,60 m.

Tab. 13-1 Dolní (aktivní) strana panelu T_{17} naměřené teploty [°C]

93,9	96,5	96,6
94,7	101,3	98,1
89,5	98,8	95,8

Tab. 13-2 Horní strana panelu T_{27} naměřené teploty [°C]

45,9	45,8	43,4
41,9	41,9	42,4
45,3	44,7	43,2

Tab. 13-3 Levá strana panelu T_{37} naměřené teploty [°C]

60,6
66,4
62,8

Tab. 13-4 Pravá strana panelu T_{47} naměřené teploty [°C]

57,5
64,1
61,1

Tab. 13-5 Přední strana panelu T_{57} naměřené teploty [°C]

70,0	69,3	65,9
------	------	------

Tab. 13-6 Zadní strana panelu T_{67} naměřené teploty [°C]

65,1	66,0	63,2
------	------	------

Tab. 13-7 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu [°C] a [K]

Strana panelu	[°C]	[K]
T_{17}	96,1	369,3
T_{27}	43,8	317,0
T_{37}	63,3	336,4
T_{47}	60,9	334,1
T_{57}	68,4	341,6
T_{67}	64,8	337,9

Tab. 13-8 Výpočet teplotního součinitele α_{i7} podle strany panelu

Strana panelu	α_{i7} [Wm ⁻² K]
T_{17}	3,4
T_{27}	4,5
T_{37}	6,4
T_{47}	6,3
T_{57}	6,6
T_{67}	6,5

Tab. 13-9 Výpočet ztrát prouděním P_{i7} podle strany panelu

Strana panelu	P_i [W]
T_{17}	174,5
T_{27}	64,9
T_{37}	7,6
T_{47}	7
T_{57}	17,6
T_{67}	15,8

Tab. 13-10 Celkové vypočtené hodnoty jednotlivých stěn panelu pro výšku 1,60 m

	Stěny panelu	K_{i7} [-]	S_{i7} [m ²]	α_{i7} [-]	P_{i7} [m ²]	T_{i7} [°C]	T_{i7} [K]
T_{17}	aktivní stěna	1,15	0,72	3,4	174,5	96,1	369,3
T_{27}	neaktivní stěna	2,15	0,72	4,5	64,9	43,8	317,0
T_{37}	levá stěna	2,56	0,03	6,4	7,6	63,3	336,4
T_{47}	pravá stěna	2,56	0,03	6,3	7	60,9	334,1
T_{57}	přední stěna	2,56	0,06	6,6	17,6	68,4	341,6
T_{67}	zadní stěna	2,56	0,06	6,5	15,8	64,8	337,9

Celkové ztráty prouděním 287,3 W

Sálavá účinnost panelu 58,96 %

Teplota naměřená termočlánkem 98 °C

14 Třetí měření pro určení sálavé účinnosti u panelu 700 W

Počáteční hodnoty měření: teplota okolí $T_{o7} = 22$ °C

vlhkost $\Phi_7 = 70$ %

Výška zavěšení panelu 0,65 m.

Tab. 14-1 Dolní (aktivní) strana panelu T_{17} naměřené teploty [°C]

97,5	98,7	96,8
99,7	100	99,4
97,3	96	97,8

Tab. 14-2 Horní strana panelu T_{27} naměřené teploty [°C]

44	44,1	42,4
39,6	40,1	40,2
42,8	43,6	41,5

Tab. 14-3 Levá strana panelu T_{37} naměřené teploty [°C]

55
60,7
54,5

Tab.14-4 Pravá strana panelu T_{47} naměřené teploty [°C]

60,7
58,7
56,2

Tab. 14-5 Přední strana panelu T_{57} naměřené teploty [°C]

61,5	64,8	63,5
------	------	------

Tab. 14-6 Zadní strana panelu T_{67} naměřené teploty [°C]

62	66,3	63,5
----	------	------

Tab. 14-7 Průměrné teploty naměřených teplot z jednotlivých stran panelu [°C] a [K]

Strana panelu	[°C]	[K]
T_{17}	98,1	371,3
T_{27}	42	315,2
T_{37}	56,7	335,6
T_{47}	58,5	329,9
T_{57}	64	337,2
T_{67}	63,9	337,1

Tab. 14-8 Výpočet teplotního součinitele α_{i7} podle strany panelu

Strana panelu	α_{i7} [Wm ⁻² K]
T_1	3,4
T_2	4,5
T_3	6,2
T_4	6,3
T_5	6,5
T_6	6,5

Tab. 14-9 Výpočet ztrát prouděním podle strany panelu

Strana panelu	P_{i7} [W]
T_{17}	186,4
T_{27}	65,7
T_{37}	6,5
T_{47}	6,9
T_{57}	16,4
T_{67}	16,4

Tab. 14-10 Průměrné teploty jednotlivých stěn panelu v [°C] a [K] pro výšku zavěšení 0,65 m

	Stěny panelu	K_{i7} [-]	S_{i7} [m ²]	α_{i7} [-]	P_{i7} [m ²]	T_{i7} [°C]	T_{i7} [K]
T_{17}	aktivní stěna	1,15	0,72	3,4	186,4	98,1	371,3
T_{27}	neaktivní stěna	2,15	0,72	4,5	65,7	42	315,2
T_{37}	levá stěna	2,56	0,03	6,2	6,5	56,7	335,6
T_{47}	pravá stěna	2,56	0,03	6,3	6,9	58,5	329,9
T_{57}	přední stěna	2,56	0,06	6,5	16,4	64	337,2
T_{67}	zadní stěna	2,56	0,06	6,5	16,4	63,9	337,1

Celkové ztráty prouděním 298,3 W

Sálavá účinnost panelu 57,39 %

Teplota naměřená termočlánkem 97 °C

Sálavá účinnost sálavého panelu o příkonu 700 W pro výšku zavěšení 2,40 m vyšla 58,64 %, pro výšku zavěšení 1,60 m vyšla 58,96 % a pro výšku 0,650 m 57,39%. Průměrná sálavá účinnost vyšla tedy 58,33 %. Z vypočítané sálavé účinnosti panelu plyne, že výška zavěšení panelu má malý vliv na sálavou účinnost. Zvýšit sálavou účinnost je možné zlepšením izolace horní stěny a postraních stěn panelu, aby celkové ztráty prouděním, které činily pro výšku 2,40 m 289,5 W, pro výšku 1,60 m 287,3 W a instalaci panelu ve výšce 0,65 m 298,3 W.

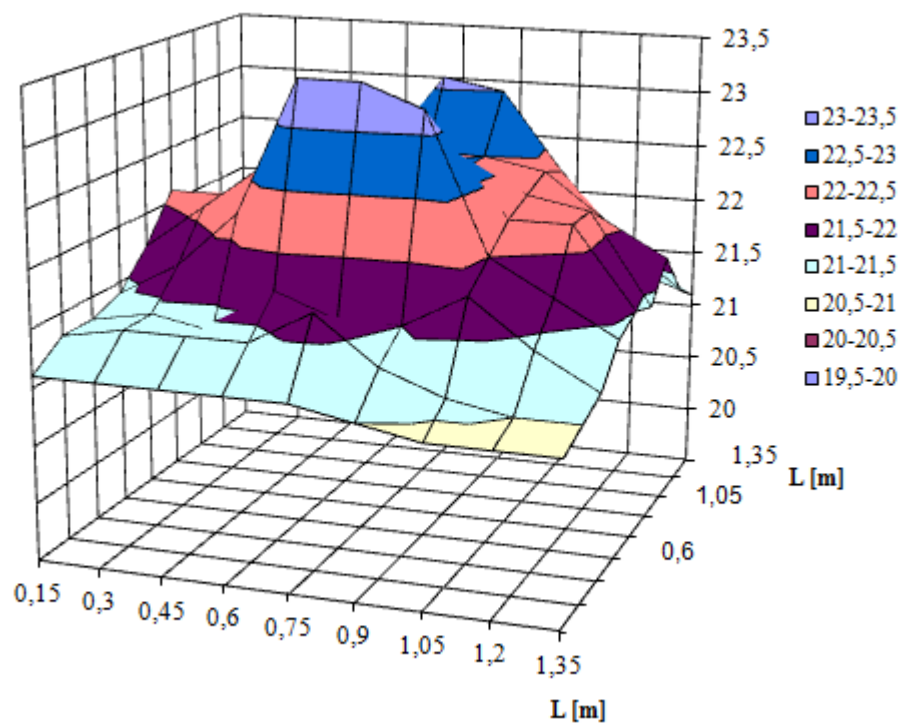
15 Stanovení měrného sálavého výkonu u panelu 700 W

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

Tab. 15-1 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	18,7	18,5	18,6	18,8	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9
0,3	18,2	18,3	18,5	18,7	18,6	18,7	18,9	18,9	18,9
0,45	18	18	18	18	18,2	18,4	18,7	18,7	18,6
0,6	18,7	18,7	18,8	18,8	18,9	19	19	19	19
0,75	18,7	18,9	19	19,1	19,1	19,1	19,3	19,4	19,4
0,9	18,9	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19	19	19,3
1,05	18,3	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,6	18,5	18,9
1,2	18,1	18,1	18,1	18,1	18,3	18,2	18,2	18,2	18,9
1,35	17,9	17,9	18	17,9	18,1	18,1	18,1	18,1	17,9

Průměrná teplota pod panelem činí 18,7 °C.



Obr. 15-1 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 2,40 m od panelu

Tab. 15-2 Naměřené 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	0,86	0,97	1,08	1,21	1,35	1,49	1,63	1,78	1,92
0,3	0,88	0,99	1,11	1,25	1,39	1,54	1,69	1,84	1,98
0,45	0,89	1,01	1,14	1,27	1,42	1,57	1,72	1,88	2,03
0,6	0,89	1,01	1,13	1,27	1,42	1,57	1,73	1,89	2,04
0,75	0,89	1,00	1,13	1,26	1,41	1,56	1,72	1,87	2,02
0,9	0,88	0,99	1,11	1,24	1,38	1,53	1,69	1,84	1,98
1,05	0,86	0,97	1,09	1,21	1,35	1,49	1,64	1,78	1,92
1,2	0,83	0,94	1,05	1,17	1,30	1,44	1,57	1,71	1,83
1,35	0,80	0,90	1,00	1,12	1,24	1,36	1,49	1,61	1,74

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 111,77 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu S_I je 14,15 Wm⁻².

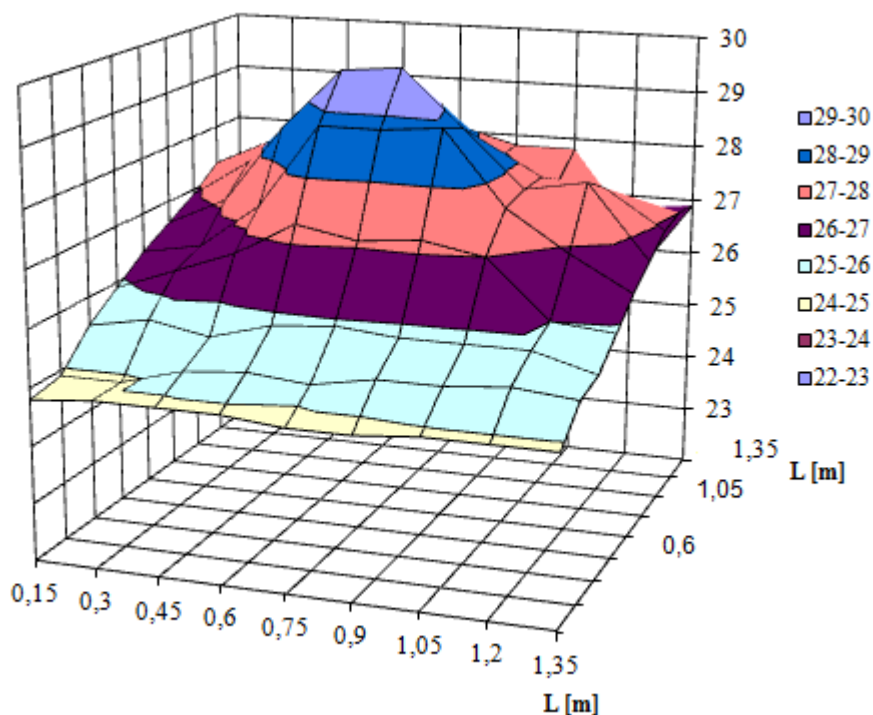
16 Druhé měření pro určení měrného sálavého výkonu u panelu 700 W

Panel byl nainstalován ve výšce 1,60 m nad měřenou plochou. V tab. 16-1 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osálané plochy. Vypočtené hodnoty sálavého výkonu jsou uvedeny v tab. 16-2.

Tab. 16-1 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	26,7	26,8	27	28,1	28,1	27,8	27,8	25,4	26,9
0,3	27,3	27,8	27,9	28	28,2	27,8	27,4	27	27
0,45	26,9	27,6	27,9	28,5	28,9	28,3	27,7	27,6	26,9
0,6	26,6	27,1	28,5	29,6	29,7	28,7	27,7	27,9	26,6
0,75	26,3	26,5	27,3	28,8	28,8	28,9	27,6	26,9	26,3
0,9	25,9	26,3	26,7	27,3	27,1	27,2	27	26	25,9
1,05	25,5	25,7	25,5	25,8	25,9	25,8	25,8	25,8	25,5
1,2	24,9	24,9	25,2	25,3	25,2	25,4	25,4	25,5	25,4
1,35	24,8	24,9	24,9	24,9	24,8	24,8	24,9	24,9	24,9

Průměrná teplota pod panelem činí 26,8 °C.



Obr. 16-1 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 1,60 m od panelu

Tab. 16-2 Naměřené 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	0,34	0,48	0,70	0,98	1,33	1,71	1,99	2,07	1,84
0,3	0,35	0,51	0,74	1,06	1,46	1,90	2,23	2,29	2,04
0,45	0,35	0,50	0,73	1,03	1,42	1,85	2,17	2,22	2,00
0,6	0,33	0,47	0,66	0,92	1,25	1,60	1,86	1,91	1,73
0,75	0,29	0,41	0,57	0,77	1,01	1,26	1,44	1,48	1,36
0,9	0,25	0,35	0,47	0,61	0,78	0,94	1,05	1,08	1,00
1,05	0,21	0,28	0,37	0,47	0,58	0,68	0,74	0,75	0,71
1,2	0,17	0,22	0,28	0,35	0,42	0,48	0,51	0,52	0,49
1,35	0,14	0,17	0,21	0,26	0,30	0,34	0,36	0,36	0,34

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 144,07 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu S_l je 18,24 Wm⁻².

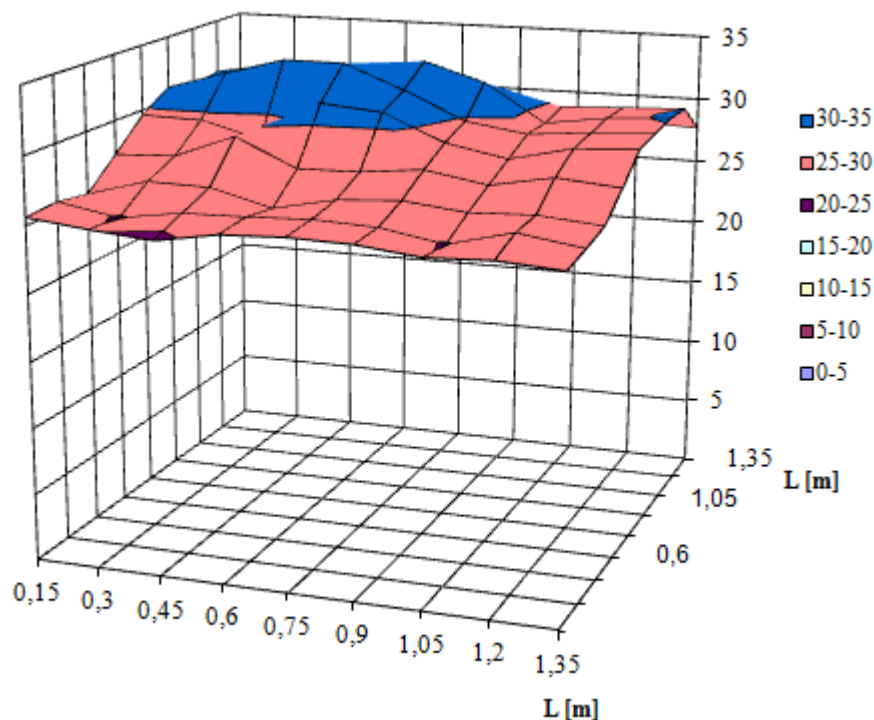
17 Třetí měření pro určení měrného sálavého výkonu u panelu 700 W

Panel byl zavěšen ve výšce 0,65 m nad měřenou plochou obr. 17-1. V tab. 17-1 jsou uvedeny naměřené teploty na jednotlivých bodech osálané plochy. Vypočtené hodnoty sálavého výkonu z tab. 17-2.

Tab. 17-1 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	29,1	29,8	30,1
0,6	31	32,4	33,7	33,7	31,9	29,8	29,1	29,5	29,8
0,75	29,6	29,5	28,3	31,4	31	29	28,1	29,2	29,5
0,9	27,4	27,6	29,4	27,3	27,4	27,9	27,1	28	27,6
1,05	25,3	26,6	26,5	25,3	26,3	26,6	26,1	26,3	25,9
1,2	25,7	24,9	25,6	25,7	25,9	25,7	24,9	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 28,4 °C.



Obr. 17-1 Graf rozložení teplot pod panelem ve vzdálenosti 0,65 m od panelu

Tab. 17-2 Naměřené 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	0,30	0,40	0,53	0,73	1,03	1,50	2,21	3,33	5,12
0,3	0,31	0,41	0,56	0,78	1,13	1,68	2,52	3,93	6,29
0,45	0,32	0,43	0,59	0,81	1,16	1,75	2,79	4,42	7,31
0,6	0,32	0,43	0,58	0,82	1,21	1,84	2,88	4,62	7,73
0,75	0,32	0,43	0,60	0,82	1,19	1,81	2,81	4,45	7,35
0,9	0,32	0,43	0,57	0,81	1,16	1,70	2,59	4,00	6,44
1,05	0,31	0,40	0,55	0,76	1,06	1,52	2,25	3,38	5,21
1,2	0,29	0,38	0,50	0,68	0,93	1,31	1,88	2,69	3,95
1,35	0,26	0,34	0,45	0,59	0,80	1,09	1,51	2,09	2,90

Celkový součet dopadajícího sálavého výkonu je 148,63 W.

Celkový měrný sálavý výkon, který dopadl na plochu S_l je 18,82 Wm⁻².

Tab. 17-3 Přehled vypočtených hodnot pro všechny výšky zavěšení panelu 300 W i 700 W

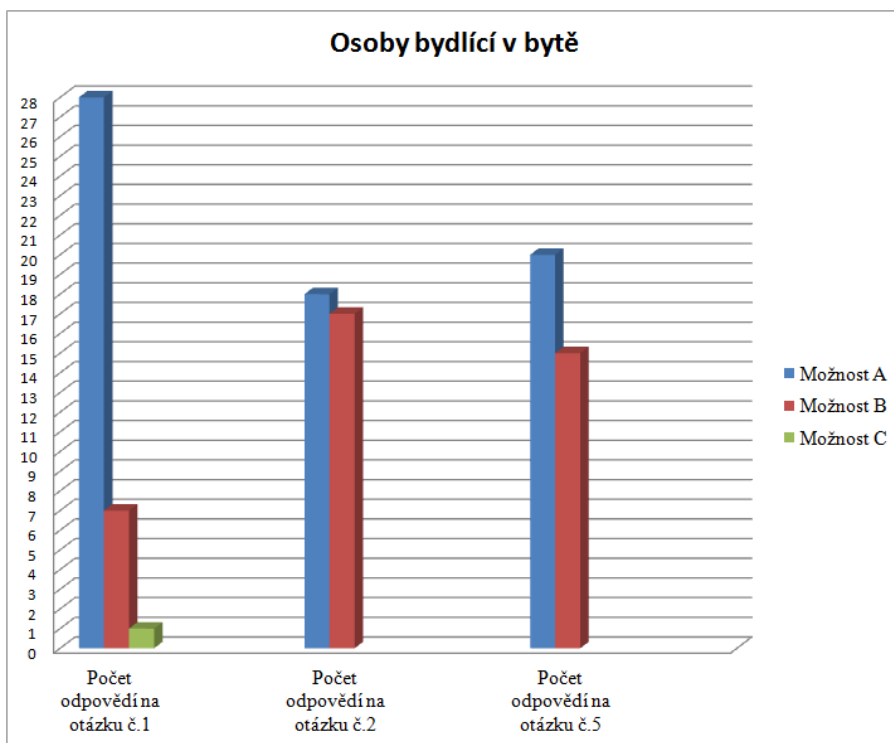
Výška h [m]	Průměrná teplota T_p [°C]	Celkový sálavý výkon Q_i [W]	Měrný sálavý výkon I_s [W/m ²]
2,40	26,1	55,46	7,02
1,60	21,9	75,37	9,55
0,65	22,5	78,59	9,95
700 W			
Výška h [m]	Průměrná teplota T_p [°C]	Celkový sálavý výkon Q_i [W]	Měrný sálavý výkon I_s [W/m ²]
2,40	25,7	111,77	14,15
1,60	26,8	144,07	18,24
0,65	28,4	148,63	18,82

18 Subjektivní pocity

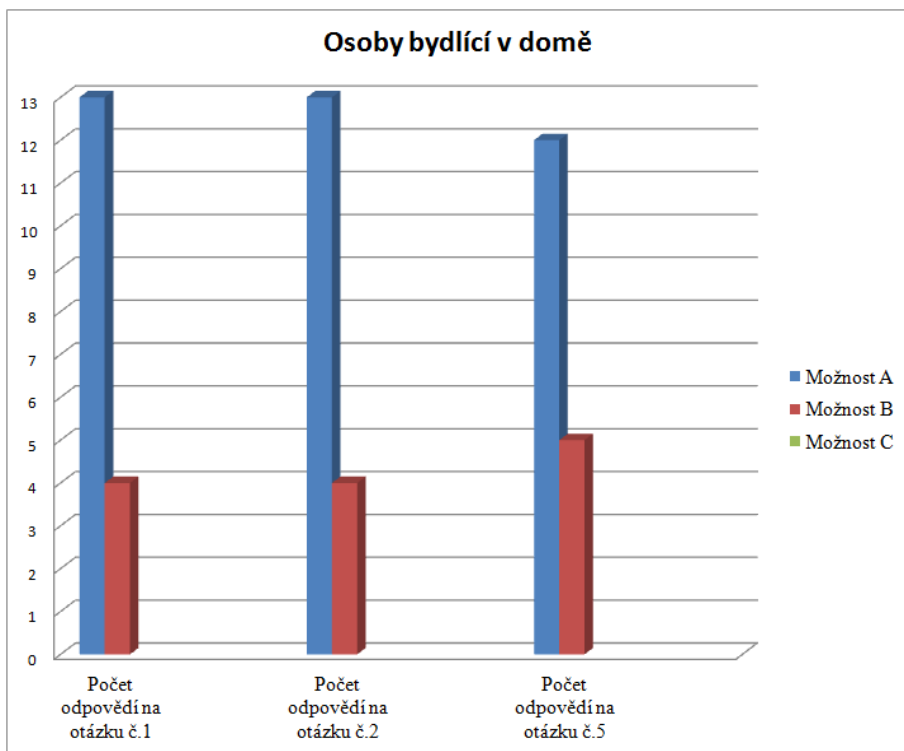
Jsou dány subjektivním vnímáním tepla každé osoby. Pro zaručení subjektivní tepelné pohody uvedený níže. Omezil jsem to na lidi od 19 let do 24 let ženy a muži. Testoval jsem osoby pod zavěšením panelem o příkonu 300 W a 700 W. Formulář pro vyhodnocení subjektivních pocitů.

19 Výsledky testu subjektivních pocitů

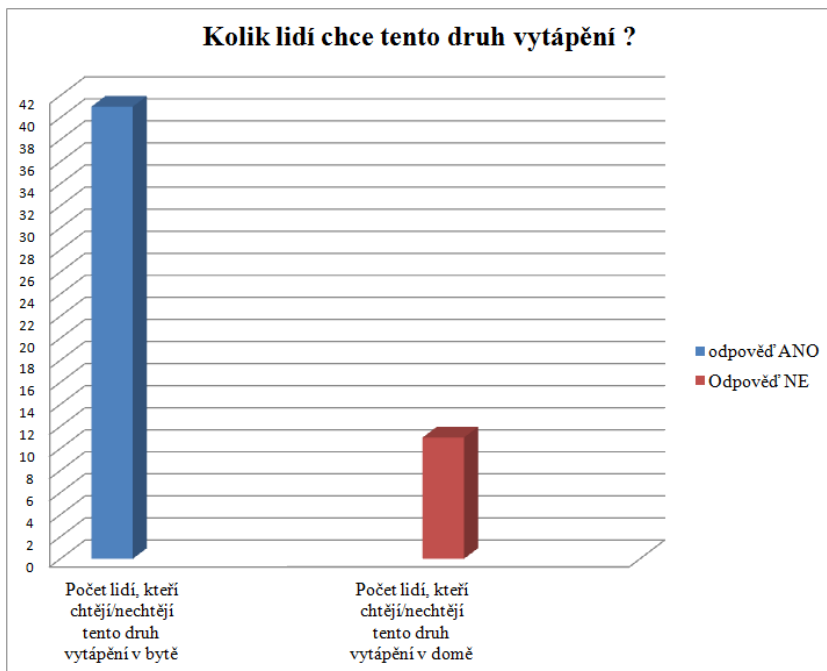
Testu se zúčastnilo 53 lidí. Z toho 2 ženy a 51 mužů. Formulář vyplnilo dohromady 52 lidí. Jeden člověk vyplnil pouze ¼ testu. Počet lidí, kteří bydlí v bytech, byl 35 a zbytek 17 v rodinných domech. Sálavý panel byl umístěn 0,65 m od hlavy testované osoby. Byty a rodinné domy mají výšku stropů od 2,4 m do 2,6 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 sádkartonu (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 7,02 do 9,95 Wm^{-2} . Výsledky testu uvádí grafy níže.



Obr. 19-1 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v bytech



Obr. 19-2 Odpovědi na otázky 1, 2, 5 pro osoby žijící v domě



Obr. 19-3 Odpověď na otázku kolik lidí preferuje sálavý typ vytápění

20 Měření v reálném domě, který je vytápěn sálavými panely

Jedná se o rodinný dům. Zastavěná plocha 120,7 m². Plocha přízemí 109,1 m². 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.



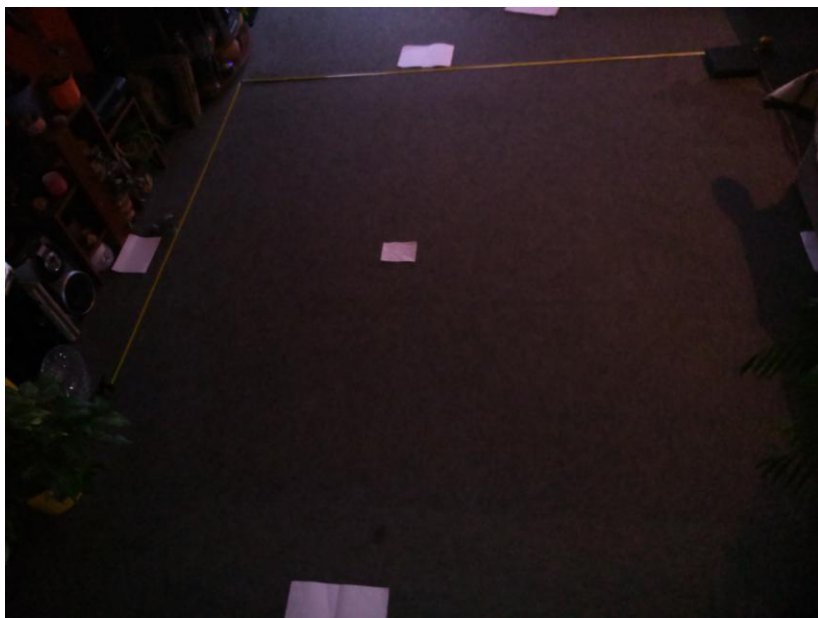
Obr. 20-1 Vstupní část domu



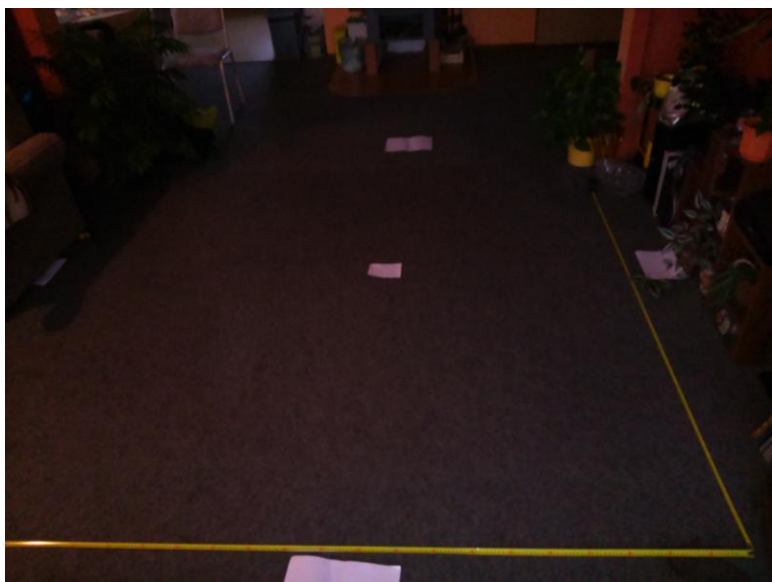
Obr. 20-2 Zadní část domu

20.1 Měření sálavého měrného výkonu

Pohled na osálanou plochu pod panelem, kde probíhalo měření se zkušební vzorkem, který je umístěn v pravém horním rohu.



Obr. 20-3 Pohled na o sálanou plochu obývacího pokoje od vstupu



Obr. 20-4 Pohled na sálanou plochu obývacího pokoje od okna



Obr. 20-5 Pohled na sálavé panely obývacího pokoje od dveří



Obr. 20-6 Pohled na sálavé panely dětského pokoje od dveří

X_b/Y_b	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35
0,15	18,5	18,6	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

Tab. 20-1 Osálaná plocha 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	18,5	18,6	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

Tab. 20-2 Vypočtený sálavý výkon pod panelem

Měrný sálavý výkon vyšel 7,02W.

21 Jednopodlažní rodinný dům

Na obr 21-1 vidíme příklad rodinného domu tzv. Bungalov. Zastavěná plocha 272 m². Plocha. Výška místností 2,6 m. Vytápění je provedeno klasickými radiátory.



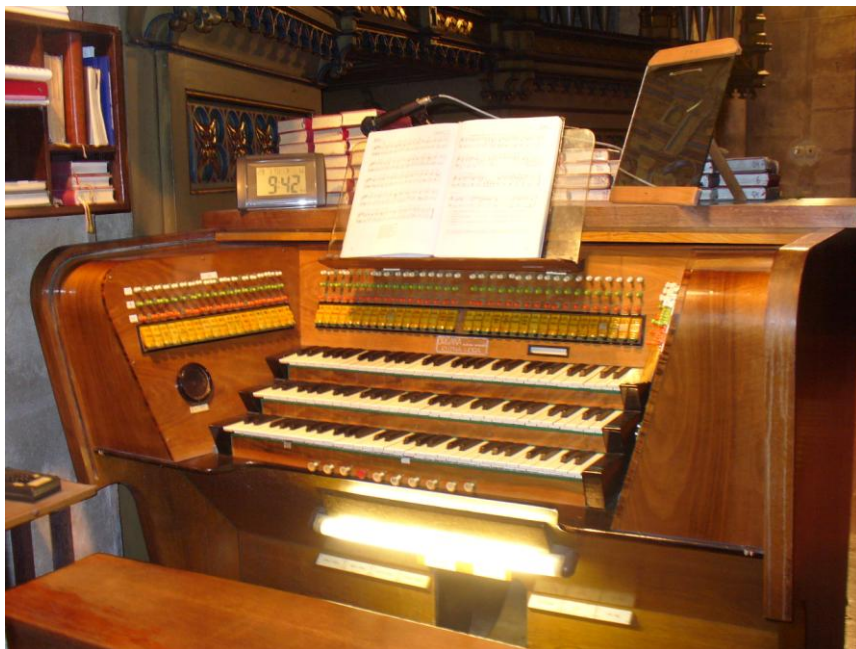
Obr. 21-1 Bungalov

22 Využití sálavého panelu při obsluze varhan

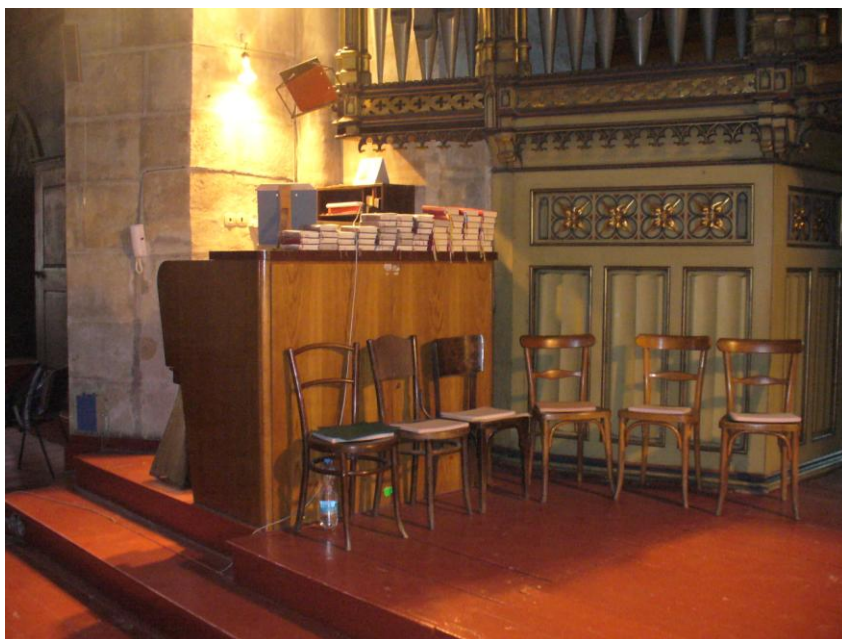
Při Dnech vědy a techniky byl náš stánek osloven panem Adamcem. Chtěl použít sálavé panely k ohřátí rukou obsluhy varhan v katedrále sv. Bartoloměje na náměstí Republiky v Plzni. Problém spočíval v tom, že pokud byla venku teplota nižší než 5 °C obsluze varhan mrzly prsty na rukou a v promrzlých rukou 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. Dále bylo třeba zachovat výhled na noty. Dalším kritériem, které bylo třeba dodržet teplotu od sálavého panelu 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. Zkoušeli jsme nejdříve nainstalovat nízkoteplotní panel 300 W. Ten, ale svými rozměry nepokryl celé klávesy ani teplota kláves nebyla přijatelná pro obsluhu. Byl tedy nainstalován vysokoteplotní panel o příkonu 1200 W.

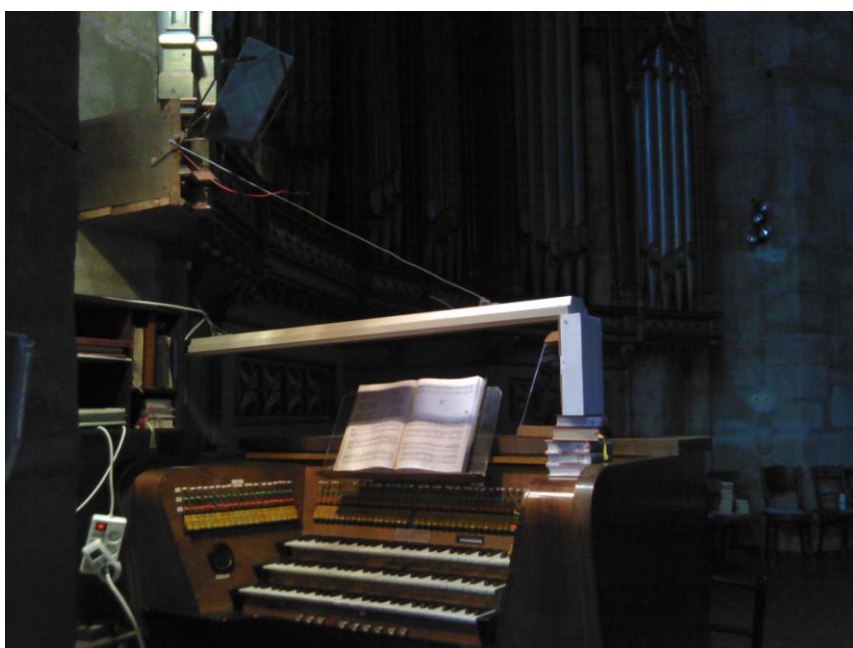
Tento panel svými rozměry a teplotou postačoval. Obsluze se jednalo o rychlý nárůst topného výkonu, protože obsluha budu u varhan maximálně 1,5 až 2 hodiny. Nainstalovaný panel nepřekáží ve výhledu na noty, sbor ani faráře. Jeho instalace bude lehká a vyhovuje i památkářům, protože lze využít k instalaci stávající montážní otvory, které drží píšťaly varhan, viz obr. 23-26. 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 bude třeba použít přímot s možnou regulací topného výkonu, protože pro umístění sálavého panelu, který by pokryl tento prostor je vzhledem k rozměrům nevyhovující.



Obr. 22-1 Pohled od varharníka před instalací panelu

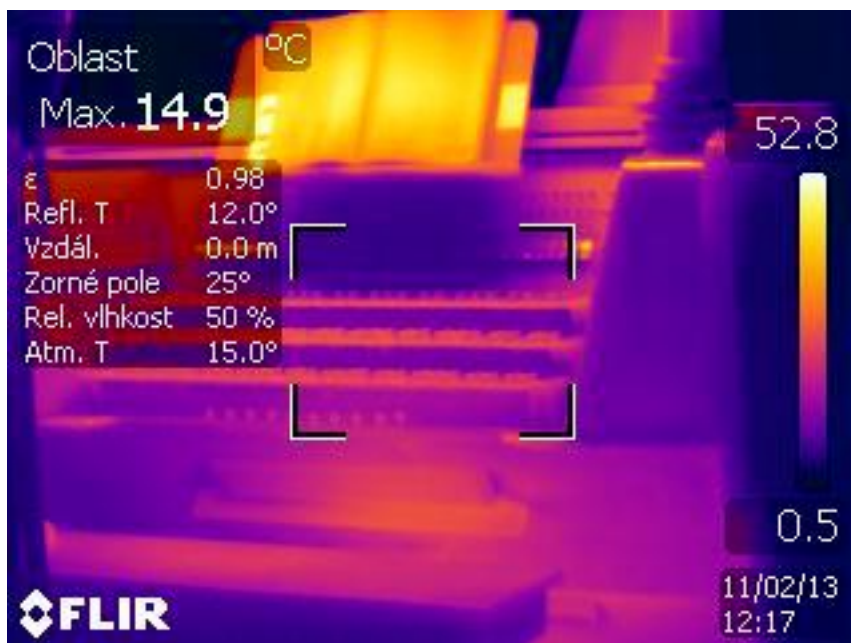


Obr. 22-2 Pohled od pěveckého sboru před instalací panelu

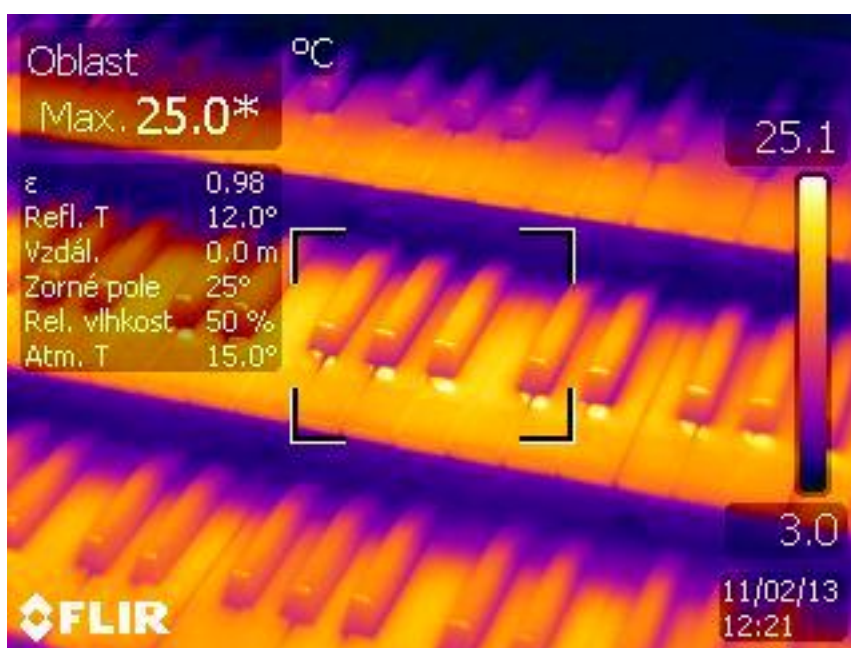


Obr. 22-3 Instalace vysokoteplotního sálavého panelu Ecosan s příkonem 1200 W

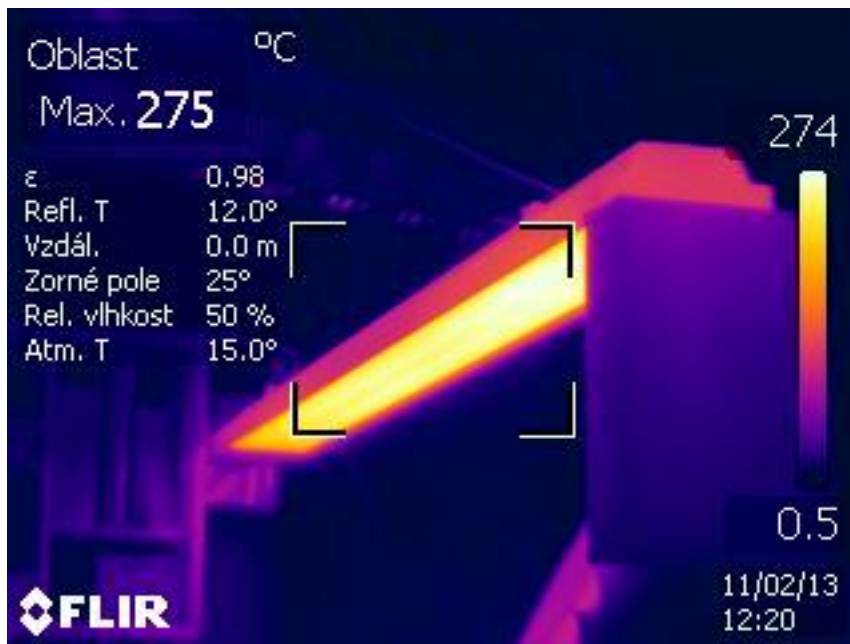
Pro měření teploty kláves bylo zde výhodnější použít infrakameru, protože měření pomocí pyrometru by byla nepřesná s ohledem na velikost kláves.



Obr. 22-4 Pohled infrazamerou Flir na teplotu kláves varhan



Obr. 22-5 Pohled infrazamerou Flir na teplotu kláves varhan po ustáleném stavu



Obr. 22-6 Pohled infrazamerou Flir na sálavý panel po ustáleném stavu

Maximální teplota naměřená termokmerou u sálavého panelu byla 275 °C. Teplota kláves byla naměřena 25 °C. Sálavá účinnost panelu byla 64,26 %.

Strana panelu	Součinitel ztrát	Plocha stěn	Teplotní součinitel	Ztráty prouděním	Průměr. teplota
	prouděním K_i [-]	panelu S_i [m ²]	a_i [K]	stěn panelu P_i [W]	stěn panelu T_i [°C]
Aktivní strana	1,15	0,24	4,5	253,7	235,8
Horní strana	2,15	0,24	6,0	86,6	64,3
Levá strana	2,56	0,01	7,0	4,4	60,7
Pravá strana	2,56	0,01	7,1	4,8	64,9
Přední strana	2,56	0,11	7,1	44,5	63,6
Zadní strana	2,56	0,11	6,8	35,0	53,4
Sálavá účinnost η	64,26	[%]			
Cel. ztrt. proud. P_i				429,0	W

Tab. 22-1 Tabulka vypočtených hodnot k určení sálavé účinnosti panelu

23 Program pro výpočet tepelných ztrát jednopodlažních domů

Tento program počítá ztráty dle 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 dle normy dle 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 je rovnice 23-1. První tabulka počítá součinitel prostupu tepla pro obvodové zdi.[10]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (23-1)$$

S_n – tloušťka jednotlivých vrstev	[m]
λ_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	$[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$

23.1 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} . [11]

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

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

Materiál zdi	Tloušťka jed. vrstev zdi s_{ven} [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ_{ven} [W/mK]	Součinitel prostupu tepla U_{ven} [W/m ² K]	Součinitel prostupu tepla U_{dopl} [W/m ² K]
				0,3
Nevyhovuje		Souč. tep. $\lambda_{\text{venizolace}}$ [W/mK]		
Dop. izolace $S_{\text{venizolace}}$ [m]	#DIV/0!			

Obr. 23-1 Výpočtová tabulka pro součinitele přestupu tepla 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} dle normy ČSN 73 0540-2:2011. Musí platit, že $U_{ven} < U_{dopl}$. V tom to případě je $U_{dopl} = 0,3$. Pokud je ta to podmínka splněna zobrazí v tabulce není potřeba izolace a pokračuje se na další výpočet. Není-li tato podmínka splněna $U_{ven} < U_{dopl}$ zobrazí v tabulce *nevyhovuje*. Uživatel napíše do tabulky hodnotu součinitele prostupu $\lambda_{venizolace}$. Poté je vypočtena doporučená tloušťka izolace viz rovnice 23-2. Je třeba použít nejbližší vyšší tloušťku izolace. Po použití přídatné izalce bude podmínka $U_{ven} < U_{dopl}$ splněna.

$$s_{izolace} \geq \frac{\left((1 - U_{dopl}) \cdot \left((S_1 / \lambda_1) + (S_2 / \lambda_2) + (S_3 / \lambda_3) + R_{si} + R_{se} \right) \right) \cdot \lambda_{venizolace}}{U_{dopl}} \quad [\text{m}] \quad (23-2)$$

Tento postup je stejný i pro výpočet součinitele vnitřních zdí U_{vn} . U 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} a R_{se} .

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

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

23.2 Výpočet součinitele prostupu tepla Uokna průsvitné části dle 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. 23-2 o jaký typ okna se jedná. Vybranou hodnotu zapíše do tabulky viz obr. 23-3. [12]

Dle ČSN ISO 10 077		
Typ rámu	Lin. činit. prost. tepla pro typy zasklení ψ_{skla} [W/mK]	
	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. 23-2

Pak uživatel zadá potřebné parametry okna. Součinitel prostupu tepla U_{okna} se vypočte podle rovnice 23-3.

$$U_{okna} = \frac{\sum S_{skla} \cdot U_{skla} + \sum S_r \cdot U_r + \sum l_{nep} \cdot \psi_{nep}}{\sum S_{skla} + \sum S_r} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (23-3)$$

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_r – plocha rámu	$[\text{m}^2]$
U_r – součinitel prostupu tepla rámu	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
l_{nep} – viditelný obvod zasklení	[m]
ψ_{nep} – 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]	Souč. prost. tep. zaskl. U_{skla} $[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$	Plocha rámu S_r $[\text{m}^2]$	Součinitel prostupu tepla rámu U_r $[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$	Vidit. obvod zasklení výplně l_{nep} [m]	Lin. činitel pr. t. ψ_{nep} $[\text{WmK}]$ zadat viz tab. 4	Součinitel prostupu tepla U_{okna} $[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno
					0,0		0,0		Není okno

Obr. 23-3

Viditelný obvod zasklení l_{nep}

$$l_{nep} = 2 \cdot (d - 2 \cdot v_r) + 2 \cdot (v - 2 \cdot v_r) \quad [\text{m}] \quad (23-4)$$

Plocha zasklení S_{skla}

$$S_{skla} = (d - 2 \cdot v_r) \cdot (v - 2 \cdot v_r) \quad [\text{m}^2] \quad (23-5)$$

Plocha rámu S_r

$$S_r = (2 \cdot v \cdot v_r + [2 \cdot (d - 2 \cdot v_r) \cdot v_r]) \quad [\text{m}^2] \quad (23-6)$$

Program vypočte po zadání parametrů okna l_{nep} 23-4, S_{skla} 23-5, S_r 23-6. Do tabulky se může zadat až 8 druhů oken. Pozadání všech parametrů vypočte součinitel přestupu tepla u jednotlivých oken.

23.3 Výpočet součinitele prost. tepla U_{dv} neprůsvitné části dle 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 23-7.

$$U_{dvr} = \frac{\sum S_{dv} \cdot U_{dv} + \sum S_{rdv} \cdot U_{rdv}}{\sum S_{dv} + \sum S_{rdv}} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (23-7)$$

- 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 [m^2]
- S_{rdv} – plocha rámu dveří [m^2]
- U_{rdv} – součinitel prostupu tepla rámu [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

Plocha dveří S_{dv}

$$S_{dv} = (d - 2 \cdot v_r) \cdot (v - 2 \cdot v_r) \quad [\text{m}^2] \quad (23-8)$$

Plocha rámu dveří S_{rdv}

$$S_{rdv} = (2 \cdot v \cdot v_r + [2 \cdot (d - 2 \cdot v_r) \cdot v_r]) \quad [\text{m}^2] \quad (23-9)$$

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} [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Plocha rámu dveří S_{rdv} [m^2]	Souč. prostupu tepla rámu U_{rdv} [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Součinitel prostupu tepla U_{dvr} [$\text{W/m}^2\text{K}$]
					0,0		Nejsou dveře
					0,0		Nejsou dveře
					0,0		Nejsou dveře
					0,0		Nejsou dveře
					0,0		Nejsou dveře
					0,0		Nejsou dveře
					0,0		Nejsou dveře
					0,0		Nejsou dveře

Obr. 23-4

Program vypočte po zadání parametrů okna S_{dv} 23-8, S_{rdv} 23-9. Do tabulky se může zadat až 8 druhů dveří. Pozadání všech parametrů se vypočte součinitel přestupu tepla u jednotlivých dveří. [12]

23.4 Výpočet součinitele prost. tepla U_{pod} pro přilehlou zeminu dle 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. 23-4. Pak zadá potřebné parametry podlahy viz obr. 23-5. Nejdříve se vypočte charakteristické číslo podlahy B' . V tabulce na obr. 23-5 je nutné do kolonky izolace napsat parametry izoalce. Pak se vypočte U_{pod} . Pokud vyhovuje nebude program počítat dopručenou izolaci. Jinak je potřeba zadat $\lambda_{podizolace}$. [13]

Dle ČSN ISO 13 370		
Kategorie	Popis	Tepelná vodivost λ_{zeminy} [W/mK]
1	Hliny a jíly	1,5
2	Pisky a štěrky	2
3	Stejnorodá skála	3,5

Obr.23-4

Parametry podlahy		Charektesisické číslo pod. B [m]	Celk. ekviv.tl. d_t [m]	
Šířka podlahy s_{pod} [m]		#HODNOTA!	#HODNOTA!	
Délka podlahy d_{pod} [m]				
Šířka obvodových zdí w [m]				
Součinitel tepelné vodivosti zeminy vod. λ [W/mK] tab. 7				
R_f	#HODNOTA!			
Materiál podlahy	Tloušťka jed. vrstev podlahy s_{pod} [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ_{pod} [W/mK]	Součinitel prostupu tepla U_{pod} [W/m ² K]	Součinitel prostupu tepla U_{dop4} [W/m ² K]
			#HODNOTA!	0,45
Izolace				
		Souč. tep. $\lambda_{podizolace}$ [W/mK]		
Dop. izolace $S_{podizolace}$ [m]	#HODNOTA!			

Obr. 23-5

Výpočet charakteristického čísla podlahy B' rovnice 23-10.

$$B' = \frac{S_{pod}}{0,5 \cdot O_{pod}} \quad [\text{m}] \quad (23-10)$$

O_{pod} – obvod podlahy odělující vytápění
prostor uvažované části

[m]

S_{pod} – plocha podlahy

[m²]

Pomocí rovnice 23-11 se spočte d_t ekvivalentní tloušťka podlahy.

$$d_t = w + \lambda_{ze\min y} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [\text{m}] \quad (23-11)$$

w – šířka obvodových stěn

[m]

R_f tepelný odpor podlahy

[m²KW⁻¹]

$R_{si} = 0,17$

[m²KW⁻¹]

$R_{se} = 0,04$

[m²KW⁻¹]

Porovnáním zda $d_t < B'$ se použije pro výpočet U_{pod} rovnice 23-12 nebo 23-13.

$$d_t \geq B' \Rightarrow U_{pod} = \frac{\lambda_{ze\min y}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (23-12)$$

$$d_t < B' \Rightarrow U_{pod} = \frac{2 \cdot \lambda_{ze\min y}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (23-13)$$

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 23.1.

23.5 Výpočet součinitele prost. tepla U_{pod1} pro podlahu, kde není nevytápěn suterén

Postup výpočtu je obdobný jako v kapitole 23.1. Tuto tabulku viz obr vyplňuje uživatel jen, když se jedná o dům, kde není vytápěn suterén a podlaha nemá kontakt s přilehlou zemínou.

Materiál podlahy	Tloušťka jed. vrstev podlahy s_{pod1} [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ_{pod1} [W/mK]	Součinitel prostupu tepla U_{pod1} [W/m ² K]	Součinitel prostupu tepla U_{dop5} [W/m ² K]
				0,3
		Souč. tep. $\lambda_{pod1izol}$ [W/mK]		
Dop. izolace $S_{pod1izol}$ [m]	#DIV/0!			

Obr. 23-6

23.6 Výpočet součinitele přestupu tepla U pro neprůsvitné části dle ČSN EN ISO 6946 pro jednoplášťovou konstrukci

Zde musí uživatel zadat číslo jedna ke střeše, o kterou se jedná viz obr. 23-7, 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}	[W/m ² K]
	Střecha strmá se sklonem nad 45° U_{dop6}	0,3	[W/m ² K]
	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně U_{dop7}	0,24	[W/m ² K]

Obr. 23-7

Pak se opět postupuje jako v předzích kapitolách. Vyplní se potřebné parametry a vypočte se součinitel přestupu tepla střechy $U_{stř}$ viz obr. 23-8.

Materiál střechy	Tloušťka jed. vrstev střechy $s_{stř}$ [m]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{stř}$ [W/mK]	Součinitel prostupu tepla $U_{stř}$ [W/m ² K]	Součinitel prostupu tepla U_{dop8} [W/m ² K]
				0,24
		Souč. tep. $\lambda_{střizolace}$ [W/mK]		
Dop. izolace $S_{střizolace}$ [m]	#DIV/0!			

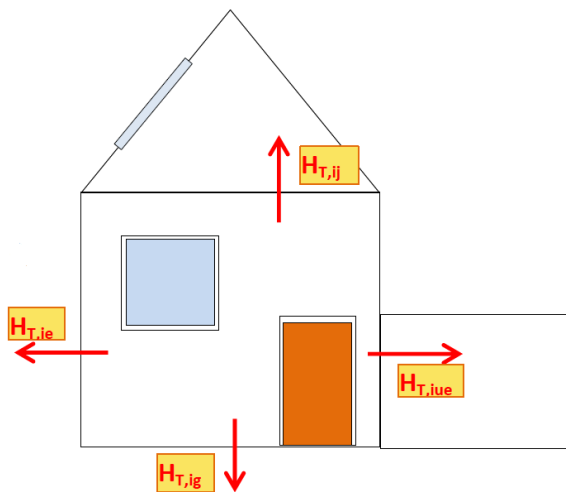
Obr. 23-8

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

Výpočet tepelných ztrát domu prostupem tepla nám ukazuje rovnice 24-1.

$$\theta_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{W}] \quad (24-1)$$

Pro názornost výpočtu jsou na obr. 24-1 vyobrazeny jednotlivé ztráty prostupem tepla graficky. [11]



Obr. 24-1

$H_{T,ie}$	– 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. 24-2

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. 24-3.

Klimatické údaje		
Výpočtová venkovní teplota	t_{ev} [°C]	
Roční průměrná teplota vzduchu	t_m [°C]	
Korekční činitelé vystavení klím.podm.	e_k [-]	1

Obr. 24-3

Oblvodová zeď U_{1m} [W/m ² K]	Vnitřní zeď U_{2m} [W/m ² K]	Strop U_{3m} [W/m ² K]	Okna U_{okna} [W/m ² K]	Dveře U_{dve} [W/m ² K]	Podlaha U_{pod} [W/m ² K]	Podlaha pro nevyt. suterén U_{pod1} [W/m ² K]	Střecha U_{st} [W/m ² K]
			Není okno	Nejsou dveře	#HODNOTA!		
			Není okno	Nejsou dveře			
			Není okno	Nejsou dveře			
			Není okno	Nejsou dveře			
			Není okno	Nejsou dveře			
			Není okno	Nejsou dveře			
			Není okno	Nejsou dveře			
			Není okno	Nejsou dveře			

Obr. 24-4

Z tabulky na obr. 24-4 odečte uživatel potřebné součinitele prostupu tepla potřích k výpočtu ztárt prostupem tepla. Součinitele prostupu tepla byly vypočteny v první části programu viz kapitola 23. Jako první se počítají tepelná ztráty přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$.

Stavební část		ΔU_{tba} pro vodorovné stavební části [W/m ² K]
Lehká stropní/podlahová konst. (např. dřevěná, kovová)		0
Těžká str./podl.konst.	Počet stran v kontaktu s venkovním prostředím	1
		2
		3
		4
		0,05
		0,10
		0,15
		0,20

Obr. 24-7

Plocha otvorové výplně (okna, dveře) [m ²]	ΔU_{tba} pro vodorovné stavební části [W/m ² K]
0 až 2	0,5
>2 až 4	0,4
>4 až 9	0,3
>9 až 20	0,2
>20	0,1

Obr. 24-8

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

Zde se počítá tepelná ztráta do zeminy. Uživatel začne vyplněním tabulky na obr. 24-9. vyplní \check{s}_{pa} , d_{poda} a program spočte charakteristický parametr B_a' .

$$B_a' = \frac{2 \cdot S_{poda}}{O_{poda}} \quad [\text{m}] \quad (24-2)$$

\check{s}_{pa} – šířka podlahové konstrukce [m]

d_{poda} – délka podlahové konstrukce [m]

O_{poda} – obvod podlahové konstrukce [m]

S_{poda} – plocha podlahové konstrukce [m²]

Šířka podlahy \check{s}_{pa} [m]	Délka podlahy d_{poda} [m]	Plocha podlahy S_{poda} [m ²]	Obvod podlahy O_{poda} [m]	Charakteristický parametr B_a' [m]
		0,0	0,0	#DIV/0!

Obr. 24-9

Stavební část	Součinitel prostupu tepla U_{poda} [W/m ² K]	Korigovaný souč. pr. t. $U_{equiva,k}$ [W/m ² K]	Ekvív. souč. prostupu tepla U_{kca} [W/m ² K]	Plocha stav. částí (zemina) S_{poda} [m ²]	$S_{poda} \cdot U_{equiva,k}$
					0,0
					0,0
Celkem ekvivalentní stavební části					0,0

Obr. 24-10

$$H_{Ta,g} = f_{ga1} \cdot f_{ga2} \cdot G_{wa} \sum_k S_{poda} \cdot U_{equiva,k} \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (24-3)$$

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 [m²]

U_{poda} – součinitel prostupu tepla podlahy [Wm⁻²K⁻¹]

G_{wa} – korekční čin. vlivu spodní vody [-]

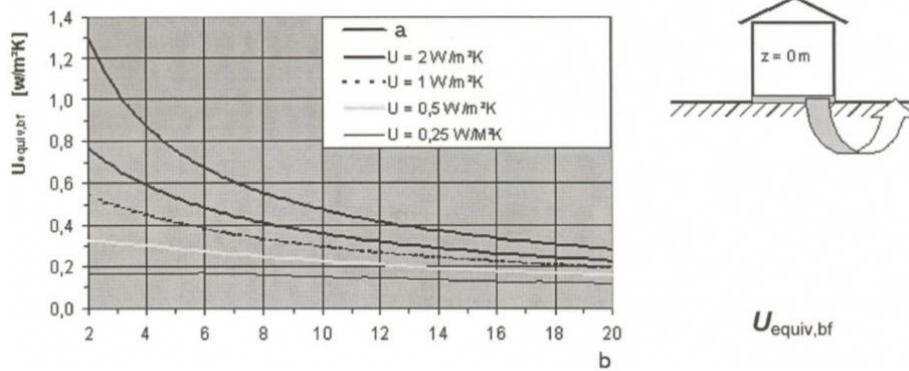
$\Delta U_{equiva,k}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla [Wm⁻²K⁻¹]

Z tabulky na obr. 24-11 zapíše hodnotu G_{wa} do tabulky na obr. 24-13.

Vyberte G_{wz}	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. 24-11

Z obr. 24-12 odečte uživatel hodnotu ekvivalentního součinitele prostupu tepla $\Delta U_{equiva,k}$ z hodnot B_a' na obr. 24-12 $B_a' = b$ a U_{poda} . Odečtenou hodnotu $\Delta U_{equiva,k}$ uživatel zapíše do tab. na obr. 24-10.



Obr. 24-12

Korekční činitelé	Korekční čin. vliv ročních změn teplot f_{g12} [-]	Vnitřní teplota t_{iv} [°C]	Tepl.redukční činitel f_{g2a} [-]	Korekční čin. vlivu spodní vody G_{va} [-]
	1,45		#DIV/0!	
Celkový součinitel tepelné ztráty zemínou $H_{Tz,if}$				0

Obr. 24-13

Do tab. na obr. 24-13 doplní uživatel teplotu t_{iv} .

$$f_{ga2} = \frac{t_{iv} - t_m}{t_{iv} - t_{ev}} \quad [-] \quad (24-4)$$

t_{iv} – výpočtová vnitřní teplota [°C]

t_{ev} – vnější teplota [°C]

Hodnoty teplot t_m , t_{ev} jsou uvedeny v tab. na obr. 24-13 jsou vyplněny automaticky. Hodnotu teploty t_{iv} , si může uživatel vybrat z tabulky na obr. 24-14 nebo si může zadat vlastní teplotu.

Druh místnosti	Teplota vzduchu [°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. 24-14

24.3 Tepelná ztráta nevytápěným prostorem $H_{Ta, iue}$

Tepelná ztráta nevytápěným prostorem je např. nevytápěný suterén, půda. Výpočet se provádí pomocí rovnice 24-5.

Stavební část	Plocha stav. části S_{ka1} [m ²]	Souč. prostupu tepla U_{kca1} [W m ⁻² K ⁻¹]	Korekční součinitel ΔU_{kca1} [W m ⁻² K ⁻¹]	Korigovaný souč. pr. t. U_{kca1} [W m ⁻² K ⁻¹]	Tep. nevyt. prostoru $t_{i,u}$ [°C]	Výpočtová teplota $t_{i,u}$ [°C]	Tep. red. čísel b_{ua} [-]	$S_{ka1} \cdot U_{kca1} \cdot b_{ua}$
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
Celkový součinitel tepelné ztráty přes nevytápěný prostor $H_{Ta, iue}$								#DIV/0!

Obr. 24-15

$$H_{Ta, iue} = \sum_k S_{ka1} \cdot U_{kca1} \cdot b_{ua} \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (24-5)$$

S_{ka1} – plochy stavebních částí [m²]

U_{kca1} – korigovaný součinitel prostupu tepla [W m⁻² K⁻¹]

b_{ua} – teplotní redukční čísel [-]

$$U_{kca1} = U_{ka1} + \Delta U_{tba1} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (24-6)$$

U_{ka1} – korigovaný součinitel prostupu tepla $[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$

ΔU_{tba1} – korekční činitel prostupu tepla $[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$

Korekční činitel ΔU_{tba1} vybere uživatel z tabulek na obr. 24-6, 24-7, 24-8 podle druhu stavební části.

$$b_{ua} = \frac{t_{iv} - t_{ua}}{t_{iv} - t_{ev}} \quad [-] \quad (24-7)$$

t_{ua} – korekční činitel prostupu tepla $[\text{°C}]$

t_{iv} – výpočtová vnitřní teplota $[\text{°C}]$

t_{ev} – vnější teplota $[\text{°C}]$

Hodnoty teplot t_{ev} je uvedena v tab. na obr. 24-3 jsou vyplněny automaticky. Hodnotu teploty t_{iv} , si může uživatel vybrat z tabulky na obr. 24-11 nebo si může zadat vlastní teplotu.

24.4 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 24-8. Hodnoty se zapíší do tabulky na obr. 24-16.

Stavební část	Plocha stav.části S_{ka1} [m ²]	Souč. prostupu tepla U_{ka1} [W/m ² K]	Korekční součinitel ΔU_{tba1} [W/m ² K]	Korigovaný souč. pr. t. U_{kca1} [W/m ² K]	Tep. nevyt. prostoru t_{ev} [°C]	Výpočtová teplota t_{iv} [°C]	Tep. red. činitel b_{ua} [-]	$S_{ka1} U_{kca1} b_{ua}$
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
				0,0			#DIV/0!	#DIV/0!
Celkový součinitel tepelné ztráty přes sevřítápný prostor $H_{Tz,ua}$								#DIV/0!

Obr.24-16

$$H_{Ta,ij} = \sum_k f_{ija} \cdot S_{ka2} \cdot U_{ka2} \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (24-8)$$

f_{ij} – teplotní redukční činitel	[-]
S_{ka2} – plochy stavebních částí	[m ²]
U_{ka2} – korigovaný součinitel prostupu tepla	[Wm ⁻² K ⁻¹]

$$U_{ka2} = U_{ka2} + \Delta U_{tba2} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (24-9)$$

U_{ka2} – korigovaný součinitel prostupu tepla	[Wm ⁻² K ⁻¹]
ΔU_{tba2} – korekční činitel prostupu tepla	[Wm ⁻² K ⁻¹]

Korekční činitel ΔU_{tba2} vybere uživatel z tabulek na obr. 24-6, 24-7, 24-8 podle druhu stavební části.

$$f_{ij} = \frac{t_{iv} - t_{vyt.prostor}}{t_{iv} - t_{ev}} \quad [-] \quad (24-10)$$

$t_{vyt.prostor}$ – 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. 24-3 jsou vyplněny automaticky. Hodnotu teploty t_{iv} , si může uživatel vybrat z tabulky na obr. 24-11 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. [12]

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

Nyní se budeme věnovat tepelným ztrátám větráním, které vypočteme z rovnice 24-11.

Druh místnosti	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Šířka místnosti \check{s}_i [m]										
Délka místnosti d_i [m]										
Výška místnosti v_i [m]										
Objem místnosti V_{ic} [m ³]	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. $n_{min,i}$ [1/h]										
Nejmenší hyg. mn. vzduchu $V_{min,i}$ [m ³ /h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Int. výměny vzduchu n_{50} [1/h]	4									
Čin. zaclonění e_i [-]										
Výškový kor. čísel ε_i [-]										
Množství vzduchu infiltrací $V_{inf,i}$ [m ³ /h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zvolená výpočtová hodnota V_i [m ³ /h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Souč. návrhové tepel. větráním $H_{v,i}$ [W/K]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Teplotní rozdíl [°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 $\phi_{v,i}$	0,0	[W]								

Obr. 24-18

$$\phi_{v,i} = H_{v,i} \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{W}] \quad (24-11)$$

$H_{v,i}$ – součinitel návrhové tepelné ztráty větráním $[\text{WK}^{-1}]$

t_{iv} – výpočtová vnitřní teplota $[\text{°C}]$

t_{ev} – výpočtová vnější teplota $[\text{°C}]$

Výpočet objemu jednotlivých místností V_{ic} .

$$V_{ic} = \check{s}_i \cdot d_i \cdot v_i \quad [\text{m}^3] \quad (24-12)$$

\check{s}_i – šířka místnosti $[\text{m}]$

d_i – délka místnosti $[\text{m}]$

v_i – výška místnosti $[\text{m}]$

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

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

$$V_{inf,i} = 2 \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [\text{m}^3\text{h}^{-1}] \quad (24-13)$$

n_{50} – intenzity výměny vzduchu za hodinu při orzdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a vnějškem budovy a zahrnující účinky přívodů vzduchu.

e_i – stínící činitel

ε_i – výškový korekční činitel, který zohledňuje zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země.

Hygienické množství vzduchu V_i

$$V_i = \max (V_{inf, i}; V_{min, i}) \quad [m^3h^{-1}] \quad (24-14)$$

$V_{inf, i}$ – množství vzduchu $[m^3h^{-1}]$

$V_{min, i}$ – požadovaná hodnota z hygienických důvodů $[m^3h^{-1}]$

Nejmenší požadované množství vzduchu $V_{min, i}$ z hygienických důvodů pro vytápěný prostor i se stanoví z rovnice 24-15.

$$V_{min, i} = n_{min} \cdot V_{ic} \quad [m^3h^{-1}] \quad (24-15)$$

$n_{min, i}$ – nejmenší hyg. intezita množství vzduchu $[lh^{-1}]$

V_{ic} – objem jednotlivých místností $[m^3]$

Součinitel návrhové tepelné ztráty věteráním

$$H_{v, i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [WK^{-1}] \quad (24-16)$$

ρ – hustota vzduchu při t_{iv} v kilogramech na metr

krychlový $[kgm^{-3}]$

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu při t_{iv} v kilojoulech $[m^3h^{-1}]$

na kilogram a Kelvin $[KJkg^{-1}K^{-1}]$

Za předpokladu konst. ρ a c_p se rovnice zjednoduší na rovnici

$$H_{v,i} = 0,34 \cdot V_i \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (24-17)$$

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

25 Výpočet potřeby tepla denostupňová metoda

Teoretickou potřebu tepla na vytápění $Q_{\text{VYT, teor}}$ se vypočítá podle rovnice 25-1. nejprve uživatel vyplní tabulku na obr. 25-1.

Délka otopného období	d		[dni]
Průměrná venkovní teplota v otopném období	t_{es}		[°C]
Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty	e_t		[-]
Opravný součinitel na zkrácení doby provozu otep. soust.	e_d		[-]
Účinnost rozvodu tepelné energie	η_R		[-]
Účinnost obsluhy (resp. regulace)	η_O		[-]
Účinnost zdroje tepla (kotle)	η_K		[-]

Obr. 25-1

$$Q_{\text{vyt, teor}} = 24 \cdot 3600 \cdot \phi_i \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_e)} \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad [\text{J}] \quad (25-1)$$

ϕ_c – celková tepelná ztráta domu $[\text{W}]$

d – počet dnů otopného období $[\text{dny}]$

t_{is} – průměrná vnitřní teplota domu $[\text{°C}]$

t_{es} – průměrná venkovní teplota za otopné období $[\text{°C}]$

t_{ev} – výpočtová venkovní teplota $[\text{°C}]$

ε_o – opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti 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 25-2.

$$t_{is} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic} \cdot t_{iv}}{\sum_{i=1}^n V_{ic}} \quad [\text{J}] \quad (25-2)$$

V_{ic} – objemy jednotlivých místností $[\text{m}^3]$

t_{iv} – výpočtová vnitřní teplota $[\text{°C}]$

Vypočtená hodnota t_{is} se automaticky zapíše do tabulky na obr. 25-2.

Místnosti	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Objemy místností V_{ic} $[\text{m}^3]$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vnitřní výpočtová teplota t_{iv} $[\text{°C}]$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Venkovní návrhová tep. v zim. období t_{ev} $[\text{°C}]$	0									
Převažující vnitř. teplota v otopném období t_i $[\text{°C}]$	#DIV/0!									

Obr. 25-2

Průměrnou venkovní teplotu za otopné období t_{es} určíme podle normy ČSN EN 12831 ukazuje tab. na obr. 25-3. Označení t_{es} je v tabulce v normě ČSN EN 12831 pod značkou $\theta_{m,e}$, t_e pod značkou θ_e a t_{em} pod značkou $\theta_{np,e}$.

Místo (klimatická stanice)	výška nad mořem (m)	θ_e (°C)	Otopné období pro $\theta_{np,e} = 12 \text{ °C}$		Otopné období pro $\theta_{np,e} = 15 \text{ °C}$		Otopné období pro $\theta_{np,e} = 13 \text{ °C}$	
			$\theta_{m,e}$ (°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. 25-3

Zvolenou hodnotu t_{es} podle lokality, kde se nachází dům, u kterého se výpočet provádí, zapíšeme do tabulky na obr. 25-1.

Výpočet opravného součinitele e pro přerušované vytápění uvádí rovnice 13-3.

$$e = e_t \cdot e_d \quad [-] \quad (25-3)$$

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 součinitele ε vyjadřující nesoučasnosti přírážek uvádí rovnice 25-4.

$$\varepsilon = \frac{\Phi_{T,i}}{\Phi_i} \quad [-] \quad (25-4)$$

$\Phi_{T,i}$ – tepelné ztráty prostupem tepla [-]

Φ_i – celková tepelná ztráta domu [-]

Velikost součinitele nesoučasnosti přírážek ε se pohybuje od 0,6 pro rodinné domy.

Výpočet skutečné potřeby tepla Q_{vyt} uvádí rovnice 25-5.

$$Q_{vyt} = \frac{Q_{vyt, teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} \quad [J] \quad (25-5)$$

η_R – účinnost rozvodu tepelné energie zahrnuje účinnost [-]

η_o – účinnost regulace [-]

η_k – účinnost kotle [-]

25. 1 Stanovení počtu sálavých panelů

Tabulka 25-4 ukazuje celkový přehled parametrů domu. Dále vypočtené objem, plochu, počet panelů podle plochy S_{pod} , počet panelů podle ztrát ϕ_{ijed} , tepelné ztráty prostupem tepla, tepelné ztráty způsobené větráním v jednotlivých místnostech.

Druh místnosti	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Šířka místnosti ξ_i [m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Délka místnosti d_i [m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Výška místnosti v_i [m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plocha podlahy S_{pod} [m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Objem místnosti V_{ic} [m ³]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráty prostupem tepla [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráty větráním [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráty v jednot. pros i větr. Φ_{ijed} [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intezita osálení $I_s < 200$ [W/m ²]	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Počtu panelů P_{orien} podle ztrát Φ_{ijed} [ks]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Obr. 25-4

Uživatel zapíše parametry sálavého panelu do tab. na obr. 25-5.

Příkon panelu		$P_{\bar{r}}$	700	[W]	
Rozměry panelu		Délka	a	1,2	[m]
		Šířka	b	0,6	[m]
		Výška	c	0,05	[m]
Sálavá účinnost panelu		η_s	0,57	[-]	

Obr. 25-5

Výpočet intenzity osálení I_{sijed} viz rovnice 25-8.

$$I_{Si} = \frac{\phi_{ijed} \cdot \eta_s}{S_{pod}} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (25-8)$$

ϕ_{ijed} – celkové ztráty u jednotlivých místností [W]

η_s – sálavá účinnost panelu [-]

S_{pod} – plocha podlahy v místnosti [m²]

Orintační počet sálavých panelů

$$P_{orien} = \frac{\phi_{ijed}}{P_{\bar{r}}} \quad [\text{ks}] \quad (25-9)$$

$P_{\bar{r}}$ – výkon sálavého panelu [W]

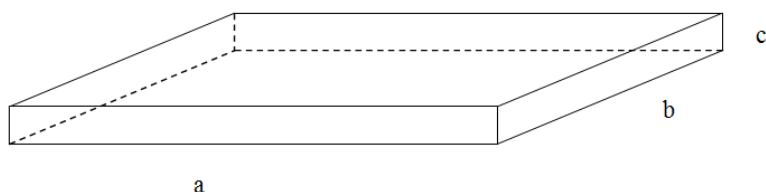
Na obr. 25-6 jsou shrnuty všechny vypočtené důležité údaje o počítaném domu. [14]

Celkový objem domu	V_{domu}	0	$[\text{m}^3]$
Celková plocha podlahy domu	S_{domu}	0	$[\text{m}^2]$
Celkové ztráty prostupem a větráním domu	Φ_i	0	$[\text{W}]$
Potřebné teplo na vytápění domu	Q_{vyt}	#DIV/0!	MJ
Počtu panelů cel. podle ztrát Φ_{ijed}	P_{sal2}	0,0	$[\text{ks}]$

Obr. 25-6

25.2 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. 25-7 je znázorněna poloha měřeného panelu. Naměřené hodnoty uživatel zapíše do příslušných tabulek na obrázcích 25-8 až 25-13.



Obr. 25-7

Zadní strana panelu		

Obr. 25-8

Horní strana panelu		

Obr. 25-9

Aktivní strana panelu		

Obr. 25-10

Levá strana panelu

Obr. 25-11

Pravá strana panelu

Obr. 25-12

Přední strana panelu		

Obr. 25-13

Do tabulky na obr. 23-14 uživatel zapíše parametry sálavého panelu.

Příkon panelu		P_{ξ}		[W]
Teplota okolí		T_o		[°C]
Rozměry panelu	Délka	a		[m]
	Šířka	b		[m]
	Výška	c		[m]

Obr. 25-14

Do tab. na obr. 25-15 napíše uživatel součinitel ztrát prouděním podle polohy jednotlivé strany panelu. Vše je popsáno v kapitole Určení sálavé účinnosti panelu.

Strana panelu	Součinitel ztrát prouděním K_i [-]	Plocha stěn panelu S_i [m ²]	Teplotní součinitel a_i [K]	Ztráty prouděním stěn panelu P_i [W]	Průměr. teplota stěn panelu T_i [°C]
Aktivní strana					
Horní strana					
Levá strana					
Pravá strana					
Přední strana					
Zadní strana					
Sálavá účinnost η		[%]			
Cel. ztrt. proud. P_i				0,0	W

Obr. 25-15

25.3 Program pro výpočet měrného sálavého výkonu mezi dvěma plochami

Tento program spočítá podle rovnice 25-11 sálavý výkon v jednotlivých místech osálané plochy pod panelem. Do tab. na obr. 25-16 uživatelé vyplní potřebné parametry pro výpočet. Je zde možno měnit i plochu osálané plochy S_l . Podrobnější popis je v kapitole měrného sálavého výkonu.

$$Q_b = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} c_\varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_b}{100} \right)^4 \right] \frac{h^2}{\left((x_z - x_b)^2 + (y_z - y_b)^2 + h^2 \right)^2} S_2 S_b \quad [\text{W}] \quad (25-11)$$

X souřadnice středu panelu	x_z		[m]
Y souřadnice středu panelu	y_z		[m]
Aktivní plocha panelu	S_1		[m ²]
Teplota panelu	T_2		[°C]
Plocha měřeného vzorku	S_b		[m ²]
Výška zavěšení panelu	h		[m]
Emisivita měřené plochy	ε_1		[-]
Emisivita panelu	ε_2		[-]
Stefan Boltzmanova konst.	Cč	5,67	[W/m ² K ⁴]
Prům. teplota pod panelem	T_p	18,7	[°C]
Velikost osálané plochy	S_l	7,9	[m ²]

Obr. 25-16

Na obr. 25-17 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. 25-17

Celkový sálavý výkon Q_i	0	[W]
Měrný sálavý výkon I_s	0	W/m ²

Obr. 25-18

Na obr. 25-18 je znázorněna tabulka výsledných hodnot. Celkový sálavý výkon a měrný sálavý výkon.

26 Závěr

V disertační práci jsem řešil způsob určení přesnější hodnoty intenzity osálení při využití tepelného toku sáláním z plochy S_1 na plochu S_2 . 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 dotazníku přiloženého v příloze a objektivního měření normovaným pyrometrem zapůjčeného katedrou KEE. Měření probíhalo při okolních teplotách od 17 °C do 24 °C a vlhkosti od 50% do 62%. Pro subjektivní testy na zvoleném vzorku osob byly panely o výkonu 300 W a 700 W zavěšovány postupně v těchto výškách: 2,4 m; 1,6 m; 0,65 m. Pocitově nejlepší pro danou skupinu byl sálavý panel 300 W ve výšce 0,65 m nad subjektem a aplikací vypočtený měrný sálavý výkon 9,95 Wm⁻². Pro sálavý panel 700 W nebyla subjektivně měřena vhodná výška, protože aplikací vypočtený měrný sálavý výkon se nepřiblížil k hodnotě 9,95 Wm⁻² ani pro výšku 2,4 m (v této výšce vypočtený měrný sálavý výkon dosahoval 14,15 Wm⁻²). Měření v reálném prostředí při teplotě okolí 18 °C a při výšce zavěšení panelu 2,4 m a výkonu sálavého panelu 500 W byl aplikací spočten měrný sálavý výkon 7,3 Wm⁻². Rozdíl v měřeních byl v maximální povrchové teplotě panelu, kdy 300 W panel dosahoval teploty 100 °C oproti tomu 500 W panel dosahoval teploty 65 °C. Na základě všech provedených testů a výpočtů vychází měrný sálavý výkon v rozmezí 9-11 Wm⁻² vhodný pro většinu osob z hlediska jejich subjektivní tepelné pohody. 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.

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.

27 Reference

- [1] <http://www.infratopeni-infrapanely.cz>
- [2] www.csnonlinefirmy.unmz.cz
- [3] Bašta, J.: *Otopné plochy*. ČVUT, Praha, 2001, ISBN 80-01-02365-6
- [4] Bašta, J. & Vavříčka, R.: *Otopné plochy*, Praha 2005
- [5] Veverková Z., Kabele K.: Jak stanovit maximální hodnotu osálení hlavy 200 W.m^{-2} , *Topenářství instalace*, 2005
- [6] <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/>
- [7] <http://www.fenixgroup.cz/pages/cs/podpora/pro-projektanty/teorie-vytapeni-elektrickymi-salavymi-panely>
- [8] http://www.aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/zivotni.../ZP_prednaska_13_v6.doc
- [9] Rada, J. & kol., (1985). *Elektrotepelná technika*, Praha
- [10] <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-12831-2005-03>
- [11] <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-iso-6946-1998-06>
- [12] <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-iso-10077-1-2007-05>
- [13] <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-iso-13370-2009-02>
- [14] <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni.html>

28 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., NESTOROVIC, 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., NESTOROVICĚ, 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

29 Přílohy

Dotazník

1. Jak se cítíte v této místnosti?
 - A) Cítím se dobře
 - B) Necítím se dobře
 - C) JinéUveďte, jak se cítíte.....

2. Vyhovuje Vám teplota v této místnosti?
 - A) Ano
 - B) Ne

3. Bydlíte v rodinném domě?
 - A) Ano
 - B) Ne
 - C) JinéKde bydlíte.....

4. Jaké máte pocity pod panelem?
Napiště.....

5. Vyhovoval by Vám tento druh vytápění?
 - A) Ano
 - B) Ne

6. Jak se Vám líbilo toto měření?

7. Jaké změny byste v tomto řešení uvítal?