

Analýza sálavého toku podlahového a stropního vytápění

Výzkumná zpráva

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.
Ing. Martin Kny, Ph.D.

20. 8. 2018



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

UCEEB

UNIVERZITNÍ CENTRUM
ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH
BUDOV

OBSAH

1	PŘEDMĚT ZAKÁZKY	3
1.1	Základní údaje zakázky.....	3
1.2	Specifikace obsahu zakázky	3
2	METODICKÝ POSTUP	4
2.1	Metodika experimentálního měření	4
2.1.1	Měřicí situace.....	4
2.1.2	Postup měření sálavého tepelného toku.	4
2.1.3	Měřicí přístroje a zařízení.....	5
2.1.4	Souhrn měřených veličin	6
3	VÝSLEDKY	7
3.1	Sálavý tepelný tok u podlahového vytápění.....	7
3.2	Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu pro podlahové vytápění	8
3.3	Sálavý tepelný tok u stropního vytápění	9
3.4	Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu u stropního vytápění	10
4	ZÁVĚR	11
5	FOTODOKUMENTACE	12

Tiráž:

Analýza sálavého toku podlahového a stropního vytápění

Výzkumná zpráva

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D. | daniel.adamovsky@fsv.cvut.cz | +420 778 403 299

Ing. Martin Kny, Ph.D. | martin.kny@cvut.cz |

20. 8. 2018

České vysoké učení technické v Praze
Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
Třínečká 1024 | 273 43 Buštěhrad | www.uceeb.cz

1 PŘEDMĚT ZAKÁZKY

1.1 Základní údaje zakázky

Objednatel:	Fénix Trading s.r.o.
Adresa:	Slezská 535/2, Jeseník
IČ:	48399043
Web:	http://www.fenixgroup.cz/
Zastoupena:	Ing. Cyrilem Svozilem
Kontaktní údaje:	email: c.svozil@fenixgroup.cz
Zhotovitel:	České vysoké učení technické v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
Adresa:	Třinecká 1024, 273 43 Buštěhrad
IČ:	6840770
DIČ:	CZ68407700
Web:	www.uceeb.cz
Zodpovědná osoba:	Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.
Předmět objednávky:	Stanovení sálavého tepelného toku pro elektrické podlahové a stropní vytápění v závislosti na vzdálenosti od vytápěné plochy. Sálavý tok je stanoven pro ustálený teplotní stav v měřicí kabině (teplota interiéru 21 °C, teplota exteriéru -10 °C). Dále je předmětem stanovení podílu tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu vytápěné plochy.

1.2 Specifikace obsahu zakázky

Předmětem této výzkumné zprávy je stanovení sálavého tepelného toku pro elektrické podlahové a stropní vytápění (výrobek objednavatele) v závislosti na vzdálenosti od vytápěné plochy. Sálavý tok je stanoven pro ustálený teplotní stav v měřicí kabině (teplota interiéru 21 °C, teplota exteriéru -10 °C).

Předmětem zprávy je také stanovení podílu tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu pro podlahové a stropní vytápění.

2 METODICKÝ POSTUP

Stanovení sálavého tepelného toku i výsledného podílu tepelného toku sáláním bylo provedeno při experimentálním měření v klimatické kabině zhotovitele.

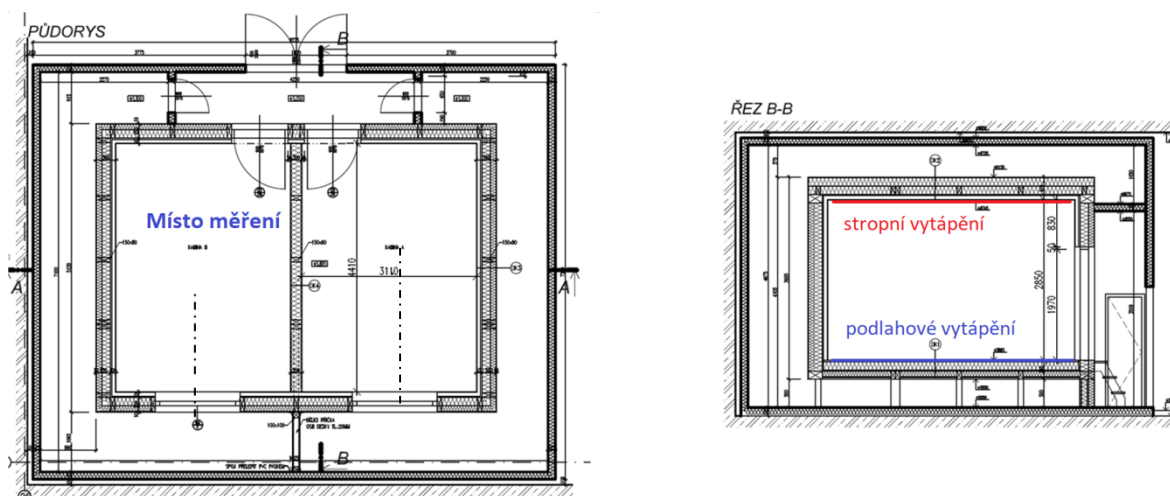
2.1 Metodika experimentálního měření

2.1.1 Měřící situace

Měření proběhlo v klimatické kabině Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Jedná se o místnost, v jejímž okolí lze upravovat teplotu a napodobit tak reálné podmínky působící na budovy v letním a zimním období.

Podlahové i stropní vytápění bylo realizováno pomocí elektrické topné folie. Folie ECOFILM F (40 W/m^2) byla u podlahového vytápění osazena pod nášlapnou vrstvou (laminátová „plovoucí podlaha“) a u stropního vytápění folie ECOFILM C (100 W/m^2) nad sádkartonovou deskou. Systém vytápění spolu s jeho regulací (prostorový termostat umístěn na stěně kabiny) byl v kabině osazen objednatel standardním způsobem. Schéma kabiny viz obr. 2-1.

Veškerá měření proběhla při ustáleném stavu, při kterém byla teplota interiéru řízena prostorovým termostatem na hodnotu $21 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota meziprostoru (exteriéru) dosahovala $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.



Obrázek 2-1 Schéma měřícího místa a umístění panelů

2.1.2 Postup měření sálavého tepelného toku.

Měřící kabina byla nejprve vybavena potřebnou měřící technikou (viz Tab. 2-1):

- Na stěny byla osazena teplotní čidla pro měření povrchové teploty,
- na podlaze a stropu byly vyznačeny kontrolní body pro vyhodnocení měřítka záběru termokamery,
- byl instalován stojan s kulovým teploměrem (výška 1.1 m),
- byl instalován výškově posuvný stojan s čidlem sálavého tepelného toku,
- byl instalován pomocný zdroj tepla (plechový válec s žárovkou o příkonu 75 W).

Poté byla připravená kabiny uvedena do teplotně ustáleného stavu (nastavená teplota termostatu 21 °C, teplota meziprostoru nastavena na -10 °C). K prvotnímu ustálení kabiny došlo po cca 40 hodinách (podlahové vytápění). Při ustalování byl kromě vlastní otopné plochy v činnosti i doplňkový zdroj tepla.

Při vlastním měření byla nejprve otopná plocha snímkována termokamerou a bezprostředně poté byl měřen sálavý tepelná tok v jednotlivých vzdálenostech od otopné plochy (300 mm, 800 mm, 1300 mm, 1800 mm, a 2300 mm). Měření sálavého tepelného toku bylo opakováno 3 krát bezprostředně po sobě. Vlastní měření probíhalo po dobu cca 30 minut. Po měření podlahového vytápění bylo do činnosti uvedeno vytápění stropní. Po opětovném ustálení kabiny bylo měření stejným způsobem provedeno i pro vytápění stropní.

Snímkování termokamerou a měření sálavého tepelného toku vyžadovalo přítomnost osoby v kabině. Tato osoba mohla po dobu měření ovlivnit tepelnou bilanci kabiny (vzestup tepoty snímané termostatem a v důsledku snížení výkonu otopné plochy). Aby k tomuto nedocházelo, byl v kabině instalován již zmíněný pomocný ohřívač o výkonu 75 W. Tento ohřívač byl v průběhu přítomnosti osoby v kabině vypnut. Tepelná bilance kabiny tak nebyla v průběhu měření významně narušena.

V průběhu měření i vlastního ustalování byla v kabině průběžně měřena (a v minutových intervalech zaznamenávána) povrchová teplota stěn, teplota kulového teploměru, teplota vzduchu v kabině a chlazeném meziprostoru a také příkon otopné plochy (viz Tab. 2-2).

2.1.3 Měřicí přístroje a zařízení

Tabulka 2-1 Souhrn vlastností použitých přístrojů

Popis	Typ	Rozsah	Přesnost	Číslo čidla
Měřicí ústředna „Indoor Climate Analyzer	Brüel & Kjær type 1213			1406645
Čidlo pro měření radiační asymetrie	Radiant Temperature Asymmetry Transducer MM 0036	±50 °C (teplota vzduchu)	±0,05 K při $(t_r - t_a) < 15$ K, ±0,05 až ±2,0 K při $15 < (t_r - t_a) < 50$ K	372-010
Měřicí ústředna	Datataker DT85-3	3 V	0,08 mV	106146
Teplota vzduchu (2ks)	TG8-40, Pt 1000	-20 až 60 °C	0,21 °C	-
Povrchové teploty (6 ks)	TG7, Pt 1000	-20 až 60 °C	0,21 °C	
Elektrický příkon – 1f	EKM 265	1,5 W - 2650 W	±1 %	-
Termokamera	InfraTec VarioCAM HD 1024 x 768 IR px	teplotní rozsah -40 až 1200 °C	1,5 K (nebo 1,5 %)	1007616

2.1.4 Souhrn měřených veličin

Tabulka 2-2 Souhrn měřených veličin

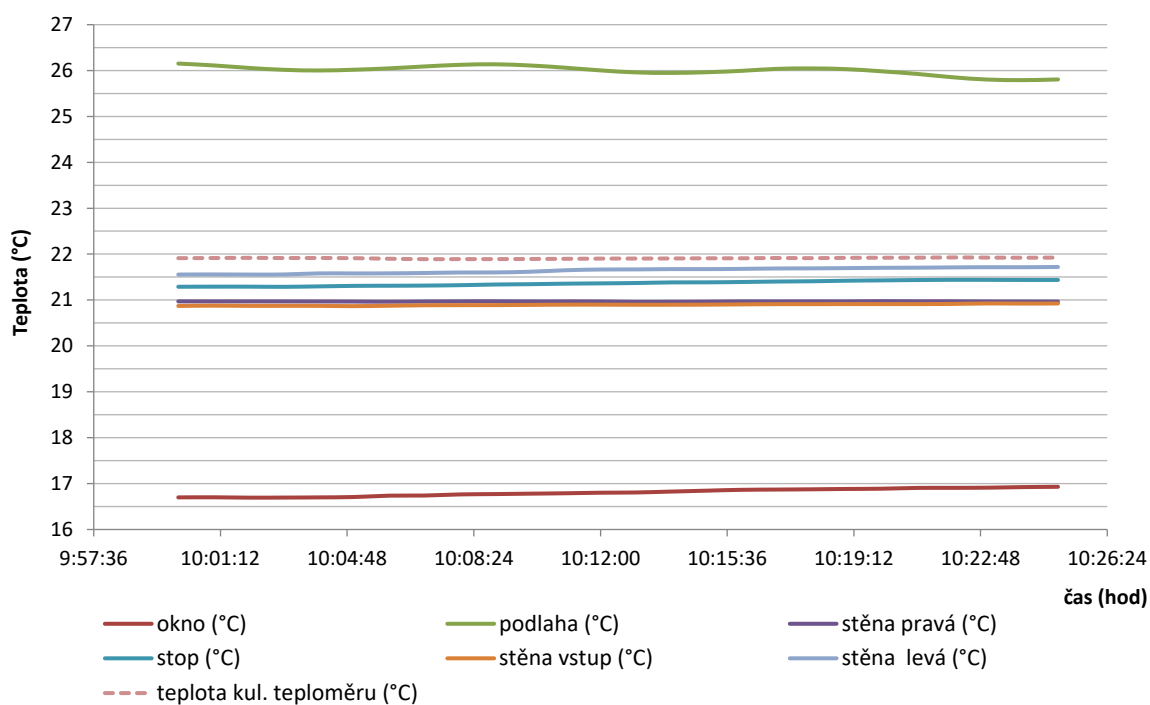
Název	Značka	Jednotka
Tepelný tok	Q	W
Měrný sálavý tepelný tok	q	W/m ²
Teplota vzduchu	t_a	°C
Teplota povrchu	t_s	°C
Elektrický příkon 1f	P_{el}	W

3 VÝSLEDKY

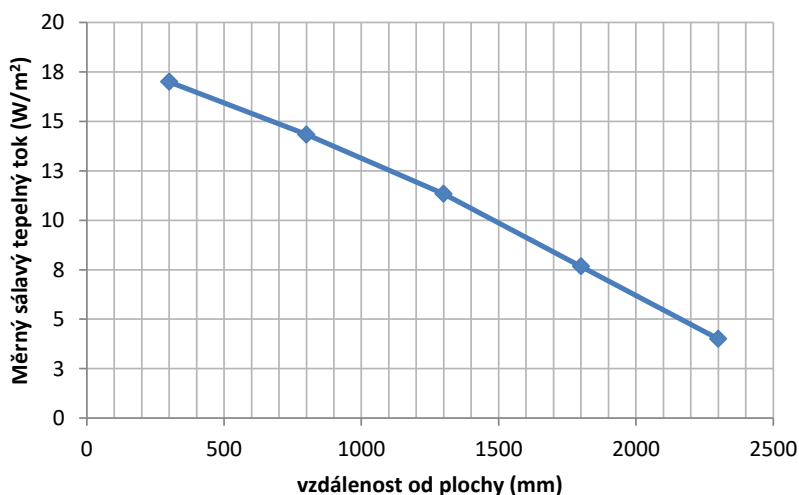
3.1 Sálavý tepelný tok u podlahového vytápění

Tabulka 3-1 Změřený sálavý tepelný tok pro podlahové vytápění

Vzdálenost od plochy (mm)	300	800	1300	1800	2300
měrný sálavý tok podlahy (W/m ²)	443	440	438	435	432
měrná sálavý tok pozadí (W/m ²)	426	426	426	427	428
měrný sálavý tepelný tok (W/m ²)	17	14	11	8	4



Obrázek 3-1 Podmínky v kabině v průběhu měření podlahového vytápění



Obrázek 3-2 Závislost tepelného toku na vzdálenosti od plochy (podlahové vyt.)

3.2 Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu pro podlahové vytápění

Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu byl zjištěn z měřených hodnot rozložení povrchových teplot v kabině (otopná plocha hodnocena termokamerou). Z hodnot byl následně vypočten tepelný tok sáláním z otopné plochy, který byl porovnán z příkonem otopné plochy. Změřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3-2

Zjištěný podíl tepelného toku sáláním z podlahy k elektrickému příkonu dosahuje 77 %.

Tabulka 3-2 změřené a vypočtené hodnoty pro stanovení sálavého tepelného toku

Aktivní otopná plocha (stanoveno termokamerou)	S1		8.308	m²
---	-----------	--	--------------	----------------------

Konstanta	Značka		Hodnota	Jednotka
Emisivita sálání povrchu skutečného tělesa	ϵ		0.95	-
Stefan-Boltzmanova konstanta	σ_0		5.67E-08	W/(m ² .K)

Povrchová teplota	Značka		Hodnota	Jednotka
Průměrná teplota povrchu vytápěné plochy	$t_{s,p}$		26.20	°C
Průměrná termodynamická teplota vytápěného povrchu	$T_{s,p}$		299.35	K

Teploty povrchů okolních konstrukcí (ve středu plochy)				
1 - okno	t_{s1}	1.82	16.81	°C
2 - levá stěna (od vstupu)	t_{s2}	11.97	21.64	°C
3 - pravá stěna (od vstupu)	t_{s3}	11.97	20.97	°C
4 – strop	t_{s4}	13.23	21.36	°C
5 - stěna s oknem (bez plochy okna)	t_{s5}	7.16	20.97	°C
celková plocha okolních stěn		46.15		m ²
Průměrná teplota povrchů okolních stěn	t_s		21.1	°C
Průměrná termodynam. teplota povrchů okolních stěn	T_s		294.24	K

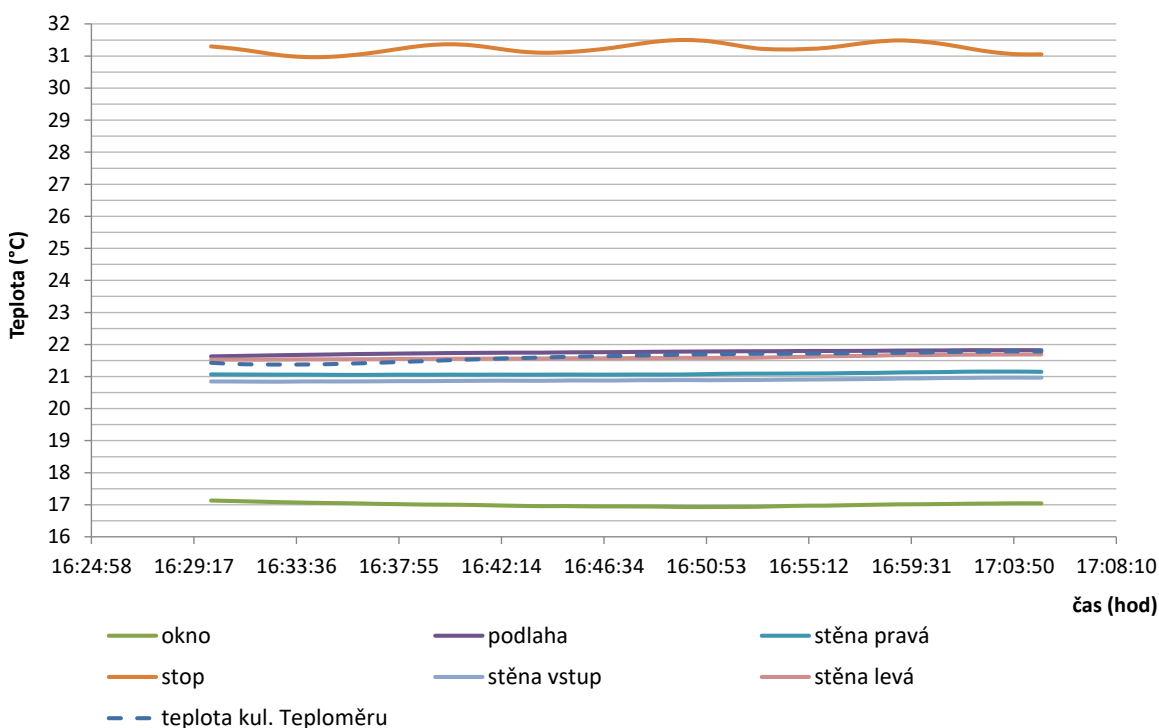
Veličina	Značka		Hodnota	Jednotka
Elektrický příkon (průměrný v ustáleném stavu)*	P_{el}		308.7	W
Tepelný tok sdílený sáláním z podlahy	Q_s		239.1	W
Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu	η_s		77.43%	-

* Maximální zaznamenaný příkon dosahoval 535 W

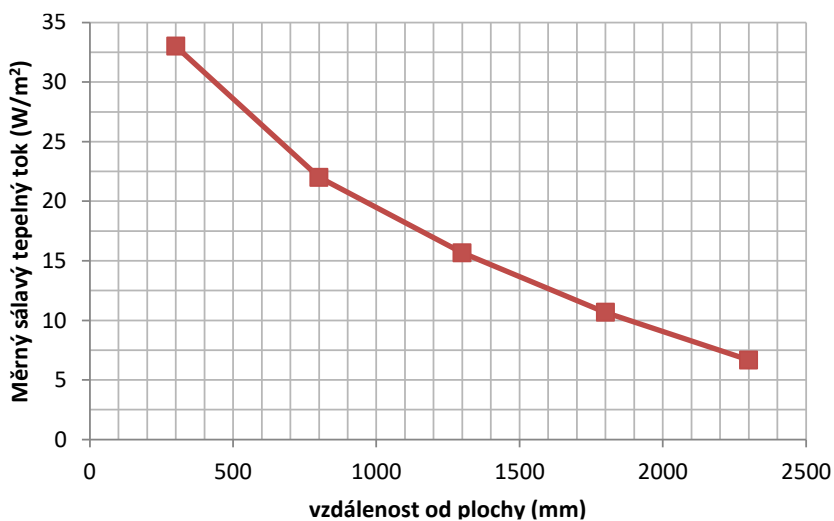
3.3 Sálavý tepelný tok u stropního vytápění

Tabulka 3-3 Změřený sálavý tepelný tok pro stropní vytápění

Vzdálenost od plochy (mm)	300	800	1300	1800	2300
měrný sálavý tok stropu (W/m^2)	459	448	442	438	434
měrná sálavý tok pozadí (W/m^2)	426	426	426	427	427
měrný sálavý tepelný tok (W/m^2)	33	22	16	11	7



Obrázek 3-3 Podmínky v kabině v průběhu měření stropní vytápění



Obrázek 3-4 Závislost tepelného toku na vzdálenosti od plochy (stropní vyt.)

3.4 Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu u stropního vytápění

Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu byl zjištěn z měřených hodnot rozložení povrchových teplot v kabině (otopná plocha hodnocena termokamerou). Z hodnot byl následně vypočten tepelný tok sáláním z otopné plochy, který byl porovnán z příkonem otopné plochy. Změřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3-4

Zjištěný podíl tepelného toku sáláním ze stropního vytápění k elektrickému příkonu dosahuje 84 %.

Tabulka 3-4 změřené a vypočtené hodnoty pro stanovení sálavého tepelného toku

Aktivní otopná plocha (stanoveno termokamerou)	S1		5.440	m²
---	-----------	--	--------------	----------------------

Konstanta	Značka		Hodnota	Jednotka
Emisivita sálání povrchu skutečného tělesa	ϵ		0.95	-
Stefan-Boltzmanova konstanta	σ_0		5.67E-08	W/(m ² .K)

Povrchová teplota	Značka		Hodnota	Jednotka
Průměrná teplota povrchu vytápěné plochy	$t_{s,p}$		29.60	°C
Průměrná termodynam.teplota vytápěného povrchu	$T_{s,p}$		302.75	K

Teploty povrchů okolních konstrukcí (ve středu)				
1 - okno	t_{s1}	1.82	17.00	°C
2 - levá stěna (od vstupu)	t_{s2}	11.97	21.59	°C
3 - pravá stěna (od vstupu)	t_{s3}	11.97	21.08	°C
4 - podlaha	t_{s4}	13.23	21.36	°C
5 - stěna s oknem (bez plochy okna)	t_{s5}	7.16	21.08	°C
celková plocha okolních stěn		46.15		
Průměrná teplota povrchů okolních stěn	t_s		21.1	°C
Průměrná termodynam. teplota povrchů okolních stěn	T_s		294.29	K

Veličina	Značka		Hodnota	Jednotka
Elektrický příkon (průměrný v ustáleném stavu)*	P_{el}		313.6	W
Tepelný tok sdílený sáláním čelní plochou	Q_s		264.0	W
Podíl tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu	η_s		84.17%	-

* Maximální zaznamenaný příkon dosahoval 538 W

4 ZÁVĚR

V této zprávě jsou shrnuty závěry z měření sálavého tepelného toku pro elektrické podlahové a stropní vytápění v závislosti na vzdálenosti od vytápěné plochy a podílu tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu.

Závěry pro jednotlivé části zprávy jsou:

Měrný sálavý tepelný tok (měřen v bodech ve vzdálenostech 300 mm, až 2300 mm):

- Pro podlahové vytápění dosahuje měrný sálavý tepelný tok, v rozsahu měřených vzdáleností, hodnot 17 W/m² až 4 W/m²,
- Pro stropní vytápění dosahuje měrný sálavý tepelný tok, v rozsahu měřených vzdáleností, hodnot 33 W/m² až 7 W/m²,
- Pokles tepelného toku se vzrůstající vzdáleností je u stropního vytápění zpočátku výraznější oproti vytápění podlahovému. Tento stav je dán menší aktivní plochou (vytápěnou plochou) použitou u stropního vytápění.

Podílu tepelného toku sáláním k elektrickému příkonu η_s :

- parametr η_s dosahuje u podlahového vytápění hodnoty cca 77 %,
- u stropního vytápění dosahuje hodnoty 84 %,

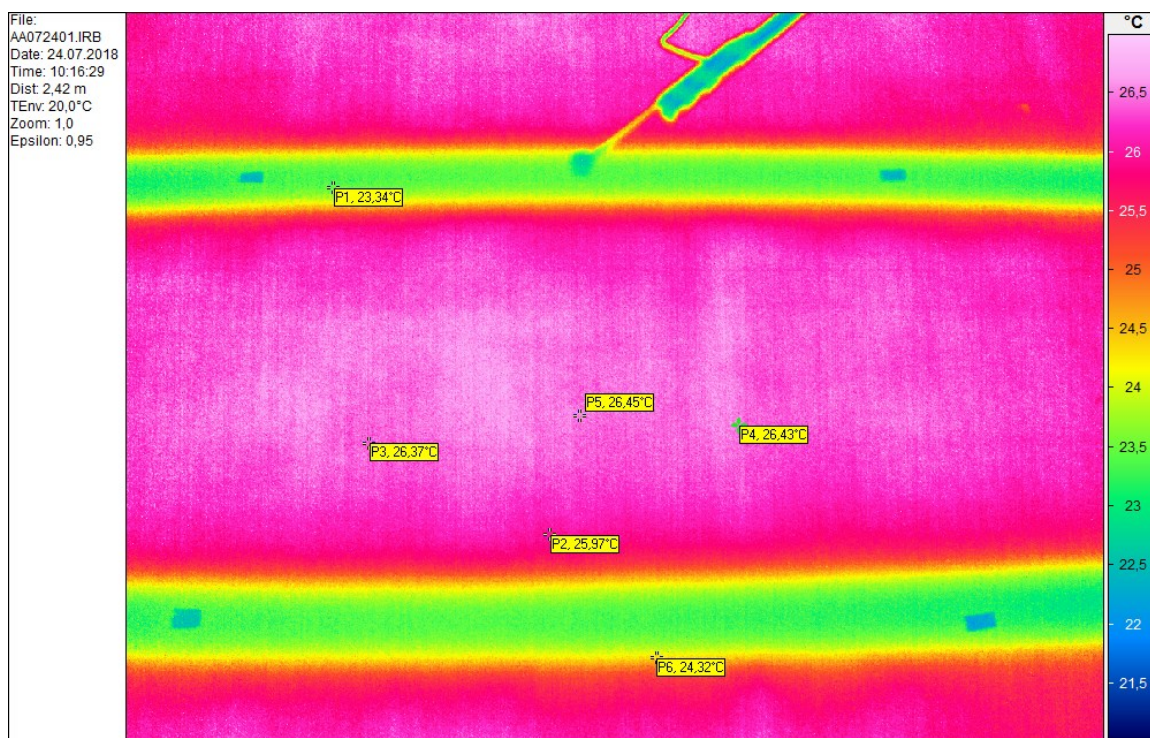
Obecný souhrn:

Výsledky této zprávy odpovídají v literatuře obecně publikovaným závěrům. Tepelný tok sdílený sáláním vzrůstá se 4. mocninou rozdílu povrchových teplot. Stropní vytápění, kde je dosahováno oproti vytápění podlahovému, vyšších povrchových teplot má v důsledku toho sálavou složku sdílení tepla vyšší. Tomuto stavu dále napomáhá nižší konvekční složka u stropního vytápění.

5 FOTODOKUMENTACE



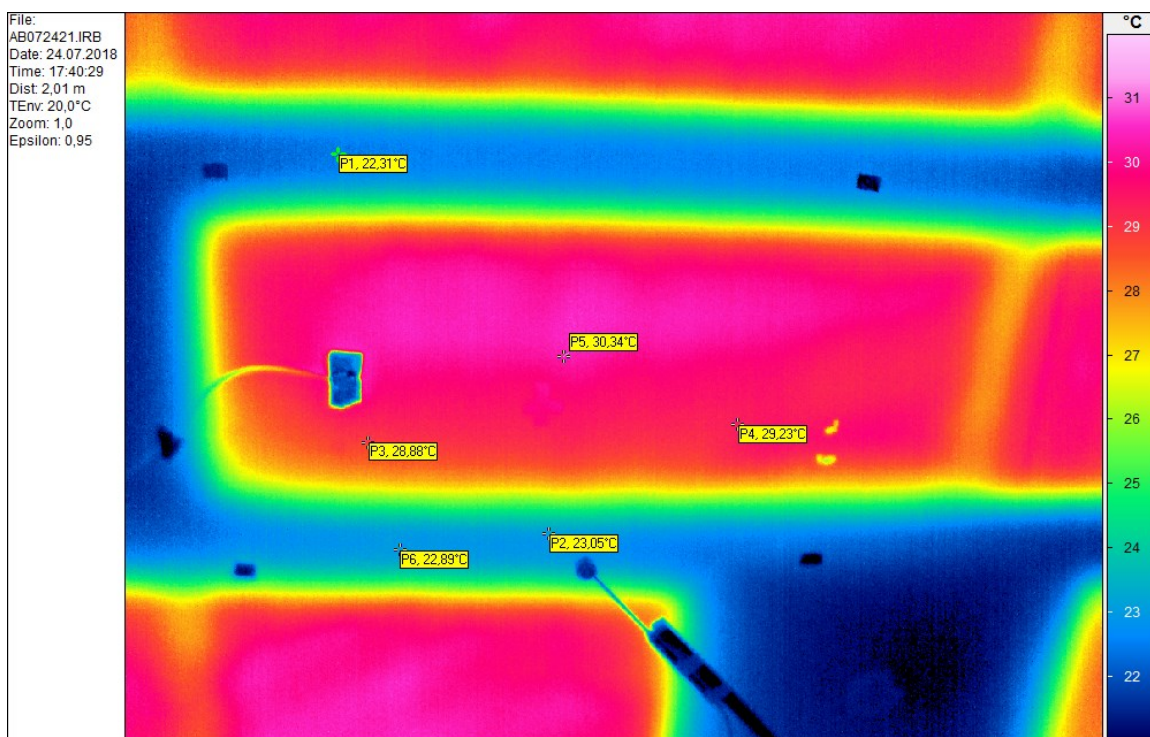
Obrázek 5-1 Pohled do měřicí kabiny připravené k měření sálavého tepelného toku podlahového vytápění. Vlevo je viditelná ústředny se zapojeným snímačem pro měření sálavého tepelného toku. Na podlaze je vyznačen záběr termokamery a body pro určení měřítka záběru (obdobně u stropního vytápění). Vpravo je vidět kulový teploměr.



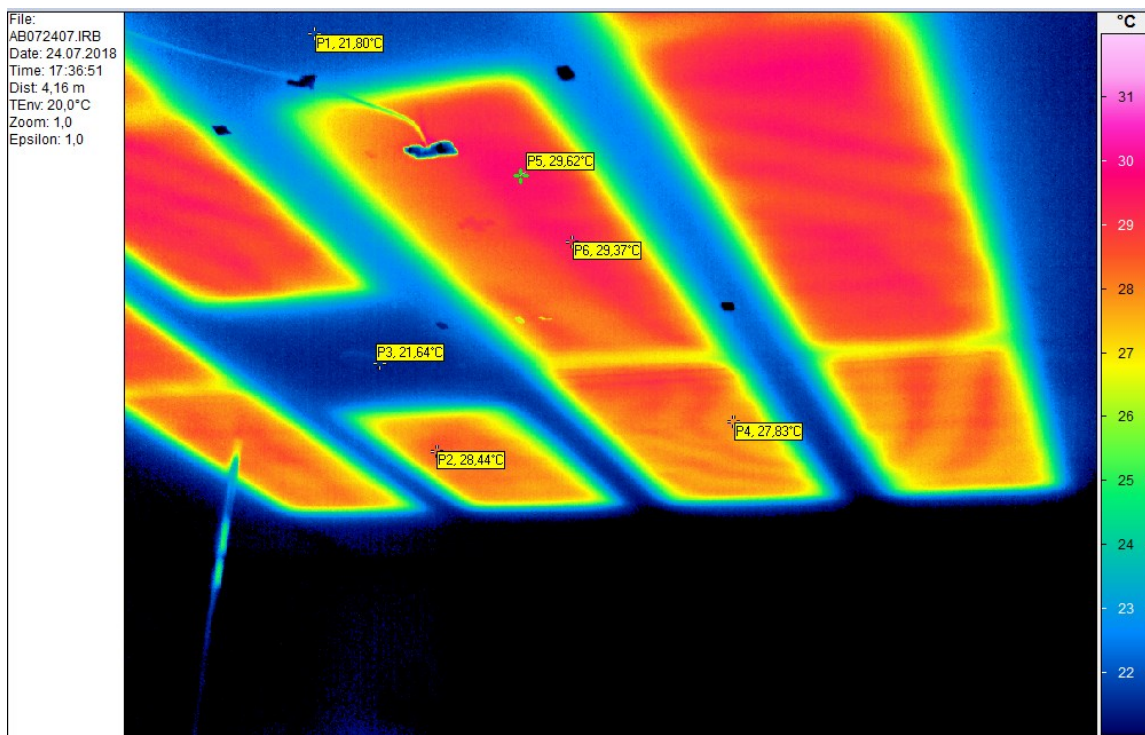
Obrázek 5-2 Povrchové teploty podlahy při podlahovém vytápění (ustálený stav)



Obrázek 5-3 Povrchové teploty podlahy při podlahovém vytápění – širší záběr (ustálený stav)



Obrázek 5-4 Povrchové teploty stropu při stropním vytápění (ustálený stav)



Obrázek 5-5 Povrchové teploty stropu při stropním vytápění – širší záběr (ustálený stav)