

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Termovizní měření budov

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek ŠPIROCH**
Osobní číslo: **E11B0518P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Termovizní měření budovy**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte a ověřte různé metody zjišťování odražené teploty a její vliv na měření.
2. Uveďte metody určování emisivity.
3. Proveďte termovizní měření vybrané budovy a toto měření vyhodnoťte.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ilona Gonová


Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá termovizním měřením. Teoreticky je zaměřena na problematiku odražené teploty a emisivity. Popisuje měření odražené teploty a emisivity. Dále obsahuje vyhodnocení termovizního měření vybrané budovy.

Klíčová slova

Termokamera, odražená teplota, emisivita, infračervená termografie, černé těleso, vyhodnocení termogramu, bezdotykové měření, určení teploty.

Abstract

This thesis deals with the thermovision measurements. The theoretical part focuses on the background concerning reflected temperature and emissivity. The thesis describes measurement reflected temperature and emissivity. Next, it contains evaluation of thermography measurement selected building.

Key words

Thermal camera, reflected temperature, emissivity, infrared thermography, black body, evaluation of thermogram, non-contact measurement, determine the temperatur.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2014

Marek Špiroch

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Iloně Gonové, za cenné profesionální rady, ochotu, trpělivost a za čas, který mi věnovala. Zároveň chci poděkovat environmentálnímu informačnímu centru ENVIC za půjčení termokamery. Poděkování patří i mé rodině za podporu.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	9
ÚVOD	10
1 BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLoty	11
1.1 VÝHODY BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ TEPLA	11
1.2 NEVÝHODY A UPOZORNĚNÍ BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ TEPLA	11
1.3 KIRCHHOFFŮV ZÁKON	12
2 ODRAŽENÁ ZDÁNlivÁ TEPLota	13
2.1 PŘÍKLAD VÝPOČTU TEPLoty POVRCHU	13
2.2 METODY ZJIŠŤOVÁNÍ ODRAŽENÉ TEPLoty	14
2.2.1 <i>Nepřímá metoda</i>	14
2.2.2 <i>Přímá metoda</i>	15
2.3 OVĚŘENÍ METOD ZJIŠŤOVÁNÍ ODRAŽENÉ TEPLoty	15
2.3.1 <i>Nepřímá metoda</i>	15
2.3.2 <i>Přímá metoda</i>	16
3 EMISIVITA	18
3.1 ČERNÉ, ŠEDÉ TĚLESO A SELEKTIVNÍ ZÁŘIČ	18
3.2 METODY URČOVÁNÍ EMISIVITY	19
4 TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ VYBRANÉ BUDOVY	21
4.1 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ	21
4.2 POUŽITÝ SOFTWARE	22
4.3 MĚŘENÁ BUDOVA	23
4.4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÉ BUDOVY	23
5 ZÁVĚR	34
6 SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	35
7 PŘÍLOHA	36

Seznam symbolů a zkratk

M.....	intenzita vyzařování
f (T).....	Termodynamická teplota tělesa
L.....	zář
ε	emisivita
ρ	reflexivita
τ	transmisivita
α	pohltivost

Seznam obrázků a tabulek

OBR. 1.1 SLOŽKY ZÁŘENÍ (PŘEVZATO Z [4]).....	12
OBR. 2.1 NEPŘÍMÁ METODA (PŘEVZATO Z [6]).....	14
OBR. 2.2 PŘÍMÁ METODA (PŘEVZATO Z [6]).....	15
OBR. 2.3 OVĚŘENÍ NEPŘÍMÉ METODY.....	16
OBR. 2.4 OVĚŘENÍ PŘÍMÉ METODY – HISTOGRAM ODRAŽENÉ TEPLoty.....	17
OBR. 2.5 OVĚŘENÍ PŘÍMÉ METODY – MĚŘENÁ PROTĚJŠÍ BUDOVA.....	17
OBR. 3.1 EMISIVITA.....	20
OBR. 4.1 TERMOKAMERA TESTO 875-2(PŘEVZATO Z [5]).....	21
OBR. 4.2 NÁHLED PROGRAMU IRSOFT.....	22
OBR. 4.3 MĚŘENÁ BUDOVA.....	23
OBR. 4.4 URČENÍ ODRAŽENÉ TEPLoty.....	24
OBR. 4.5 SEVEROZÁPADNÍ STRANA BUDOVY.....	24
OBR. 4.6 SEVEROZÁPADNÍ STRANA VENTILAČNÍ SYSTÉMY.....	25
OBR. 4.7 PLASTOVÉ OKNO.....	25
OBR. 4.8 DETAIL PLASTOVÉHO OKNA.....	26
OBR. 4.9 SOKL BUDOVY.....	27
OBR. 4.10 JIHOZÁPADNÍ STRANA BUDOVY.....	27
OBR. 4.11 DVEŘE NA JIHOZÁPADNÍ STRANĚ BUDOVY.....	28
OBR. 4.12 JIHOZÁPADNÍ STRANA DETAIL PANELŮ.....	29
OBR. 4.13 DETAIL STARÝCH A NOVÝCH OKEN.....	29
OBR. 4.14 HLAVNÍ VSTUPNÍ DVEŘE.....	30
OBR. 4.15 BALKÓN.....	30
OBR. 4.16 OKNO (INTERIÉR).....	31
OBR. 4.17 DETAIL OKNA (INTERIÉR).....	31
OBR. 4.18 HORNÍ KOUT V INTERIÉRU.....	32
OBR. 4.19 BALKÓNOVÉ CHODBOVÉ DVEŘE(INTERIÉR).....	32
TAB. 2.1 HODNOTY OVĚŘENÍ NEPŘÍMÉ METODY.....	16
TAB. 2.2 HODNOTY OVĚŘENÍ PŘÍMÉ METODY.....	17
TAB. 3.1 EMISIVITA.....	20
TAB. 4.1 TEPLoty SEVEROZÁPADNÍ STRANY.....	24
TAB. 4.2 TEPLoty DETAILU DVEŘÍ.....	28
TAB. 4.3 TEPLoty V KOUTU.....	32
TAB. 4.4 TEPLoty CHODBOVÉ DVEŘE.....	33

Úvod

Předkládaná bakalářská práce se zabývá termovizním měřením budov. Je rozdělena na tři části. V první části popisuje měření a problematiku odražené teploty. Odražená teplota se do jisté míry podílí na výsledku měření. Její špatné určení může mít za následek nepřesné hodnoty teplot. V práci je popis některých metod měření odražené teploty a ověření přímé a nepřímé metody. Další část práce je věnována emisivitě. Emisivita je u bezdotykového měření velmi důležitá. Pro její zjištění existuje několik metod měření nebo lze nalézt v tabulce. V poslední části je změřen panelový dům na Borech a pomocí termosnímků vyhodnocen.

1 Bezdotykové měření teploty

Každé těleso má svou povrchovou teplotu způsobenou vysíláním elektromagnetického záření. Jedním z metod určení teploty je bezdotykové měření teploty označované jako infračervená pyrometrie. Slouží k tomu bezdotykový teploměr (senzor), který přijímá záření vlnové délky od 0,4 μm do 25 μm . [1]

Pokryvané oblasti spektra:

- Viditelné spektrum (0,4-0,78 μm),
- blízké infračervené spektrum (0,78-1 μm),
- krátkovlnné infračervené spektrum (2-3 μm),
- středovlnné infračervené spektrum (3-5 μm),
- dlouhovlnného infračerveného spektra (5-25 μm). [1]

Pokryvané oblasti spektra jsou v rozsahu teplot -40 °C do +10000°C.

1.1 Výhody bezdotykového měření tepla

- Rychlost,
- měření pohybujících se objektů,
- měření neschopných přístupných a nebezpečných míst,
- měření velkých změn teplot,
- zpracování teploty celých povrchů těles (termovize). [1, 2]

1.2 Nevýhody a upozornění bezdotykového měření tepla

- Měřené těleso musí být pro senzor viditelné (snížení přesnosti při vysoké úrovni prachu nebo kouře),
- nepřesná korekce odražené teploty z okolního prostředí,
- neznalost emisivity povrchu tělesa. [2]

1.3 Kirchhoffův zákon

Vyjádření zákona pro zář rovnicí

$$\frac{M}{\alpha} = f(T) \text{ resp. } \frac{L}{\alpha} = f(T) \quad (1.1)$$

Rovnice uvádí, že poměr dvou veličin intenzity vyzařování M a pohltivosti α závisí pouze na termodynamické teplotě tělesa. Chemické složení, úprava povrchu a oxidace nehraje u tělesa žádnou roli. [1]

Zákon pro černé těleso

$$M = f(T) \text{ resp. } L = f(T) \quad (1.2)$$

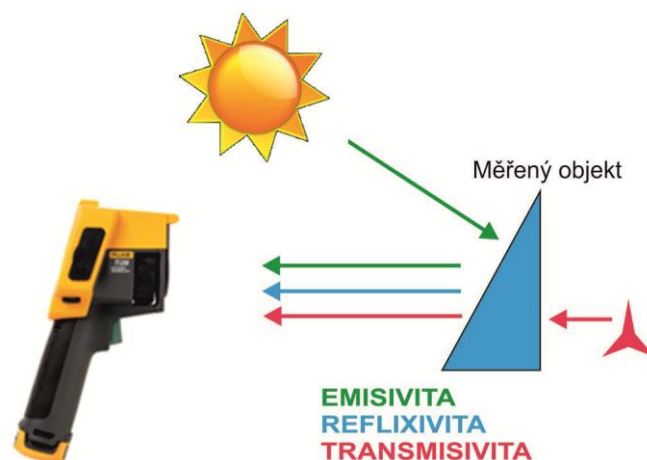
Z Kirchhoffova zákona plyne, že tělesem nejlépe přijímané složky elektromagnetického vlnění jsou zároveň ty, které nejlépe vyzáří a naopak. [1]

Složky záření, které jsou zachyceny termokamerou, obsahují:

- Záření měřeného objektu
- Odražené záření od okolí
- Přenosné záření objektem

Součet těchto složek je vždy roven 1:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (1.3)$$



Obr. 1.1 Složky záření (převzato z [4])

2 Odražená zdánlivá teplota

Odraz okolního elektromagnetického záření od povrchu měřeného tělesa, které následně dopadá na senzor termokamery, se nazývá odražená teplota. Termokamera dále přijímá vlastní tepelné záření objektu i odražené tepelné záření, a není schopna je od sebe oddělit. Eliminace odraženého záření se provádí stanovením hodnoty, která je poté zadána do termokamery. [3]

Se vzrůstající odrazivostí povrchu tělesa roste i vliv odražené zdánlivé teploty. Vliv odražené teploty klesá, čím vyšší je emisivita. Při měření tělesa s vysokou emisivitou lze odraženou teplotu zadat odhadem. Příkladem je termografické zkoumání budov. [3]

2.1 Příklad výpočtu teploty povrchu

Hodnota emisivity v termokameře je 0,95 a odražená teplota 20 °C. Termokamera přijme od měřeného tělesa určitý stupeň intenzity infračerveného záření. Od tělesa pochází 95% záření a zbylých 5% je odrazem objektů z okolí o teplotě 20 °C. [4]

Důležité poznatky:

- Při zadání hodnoty emisivity 1 se do výpočtu nezahrne žádná odražená teplota z okolí.
- Hodnota emisivity okolo 0,9 u měřeného objektu nevyžaduje přesné zadání hodnoty odražené teploty

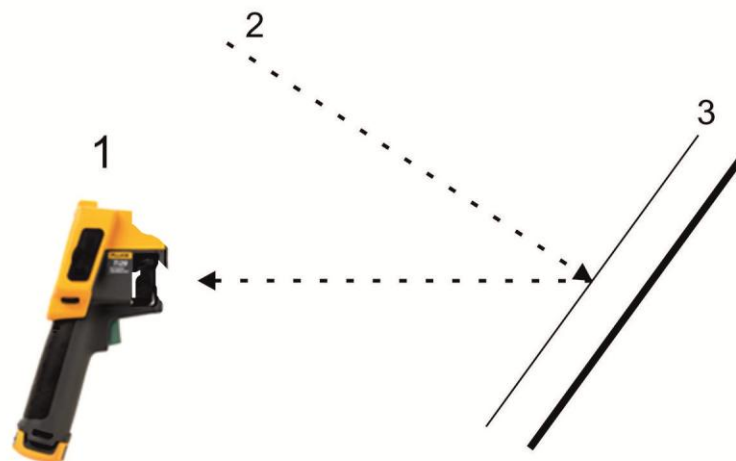
U nízké hodnoty emisivity nelze určit teplotu předmětu bezkontaktním měřením teploty.

2.2 Metody zjišťování odražené teploty

Jestliže jsou odstraněny různé druhy rušení z okolí měření, rovná se teplota odraženého záření teplotě okolí. Teplota okolí může být změřena teploměrem okolního vzduchu. Pokud je v okolí měření zdroj infračerveného záření, bude potřeba hodnotu odraženého záření změřit. [5]

2.2.1 Nepřímá metoda

Reflektor je označení pro těleso, které odráží stejně silně ve všech směrech dopadající záření. Jako reflektor lze použít hliníkovou fólii, protože má vysoký stupeň odrazu. Reflektor se ideálně přiloží na plochu měřeného objektu. Hodnota emisivity v termokameře se nastaví na 1,00 a změří se teplota na reflektoru. Změřená teplota termokamerou je hledaná odražená teplota. Po následném zadání této hodnoty do termokamery a správném nastavení stupně emisivity je měřena skutečná teplota daného objektu. [5]

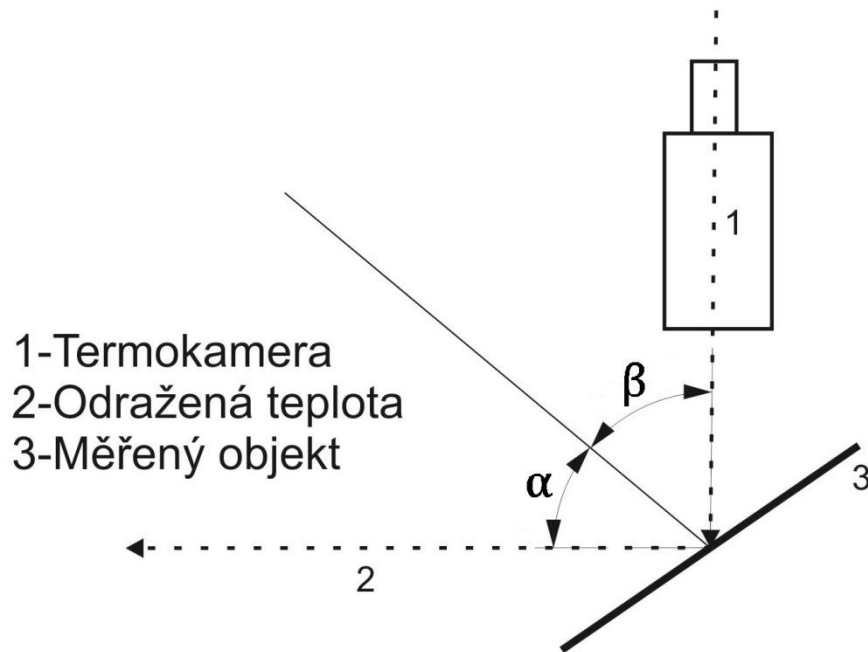


- 1-Termokamera
- 2-Odražená teplota
- 3-Povrch reflektoru

Obr. 2.1 Nepřímá metoda (převzato z [6])

2.2.2 Přímá metoda

Stanovení odražené zdánlivé teploty pomocí přímé metody se zakládá na měření okolních objektů a oblohy zacílenou termokamerou. Musí se odhadnout úhel odrazu α a úhel dopadu β při zobrazení tělesa termokamerou z místa jejího umístění. Na zdroj odrážejícího záření se zaměří termokamera v úhlu, který odpovídá úhlu odrazu α . Musí být umístěna před měřeným tělesem, aby se změřila průměrná zdánlivá teplota zdroje. [6]

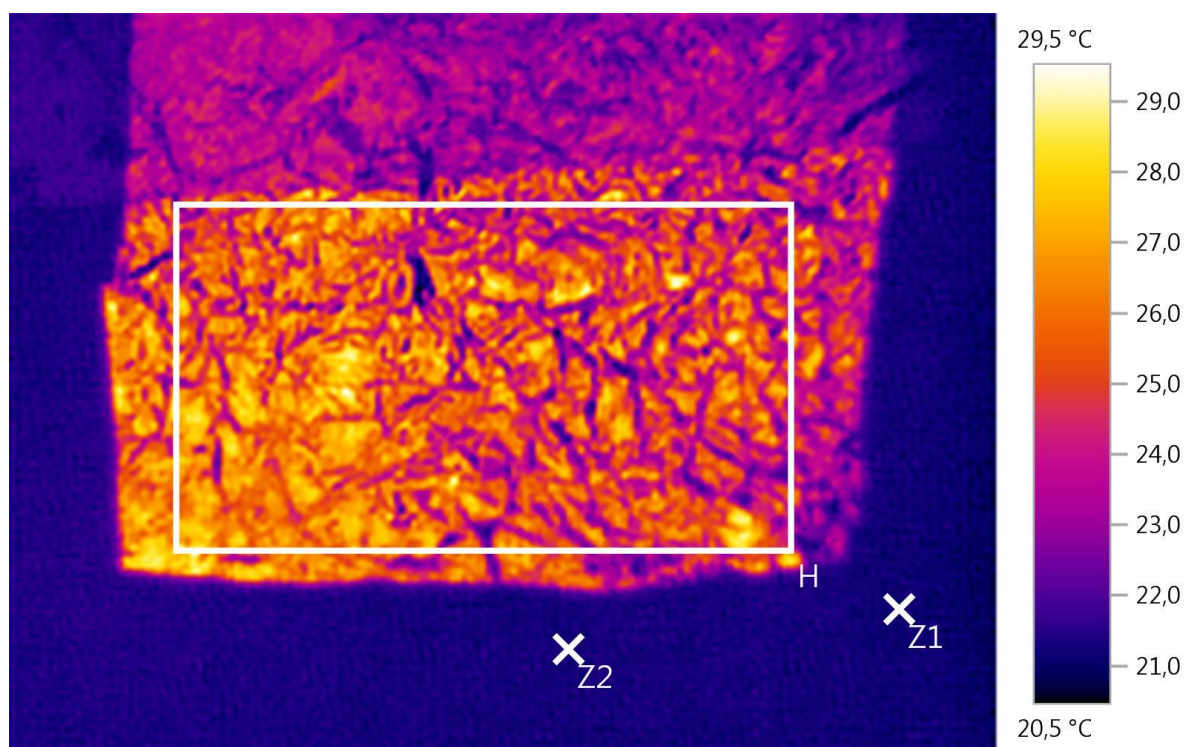


Obr. 2.2 Přímá metoda (převzato z [6])

2.3 Ověření metod zjišťování odražené teploty

2.3.1 Nepřímá metoda

U nepřímé metody, jsme přilepili hliníkovou fólii na desku dřevěné skříňky. Emisivita byla nastavena na hodnotu 1 a následně změřena fólie. Na obrázku Obr. 2.3 vidíme termosnímek naší fólie.



Obr. 2.3 Ověření nepřímé metody

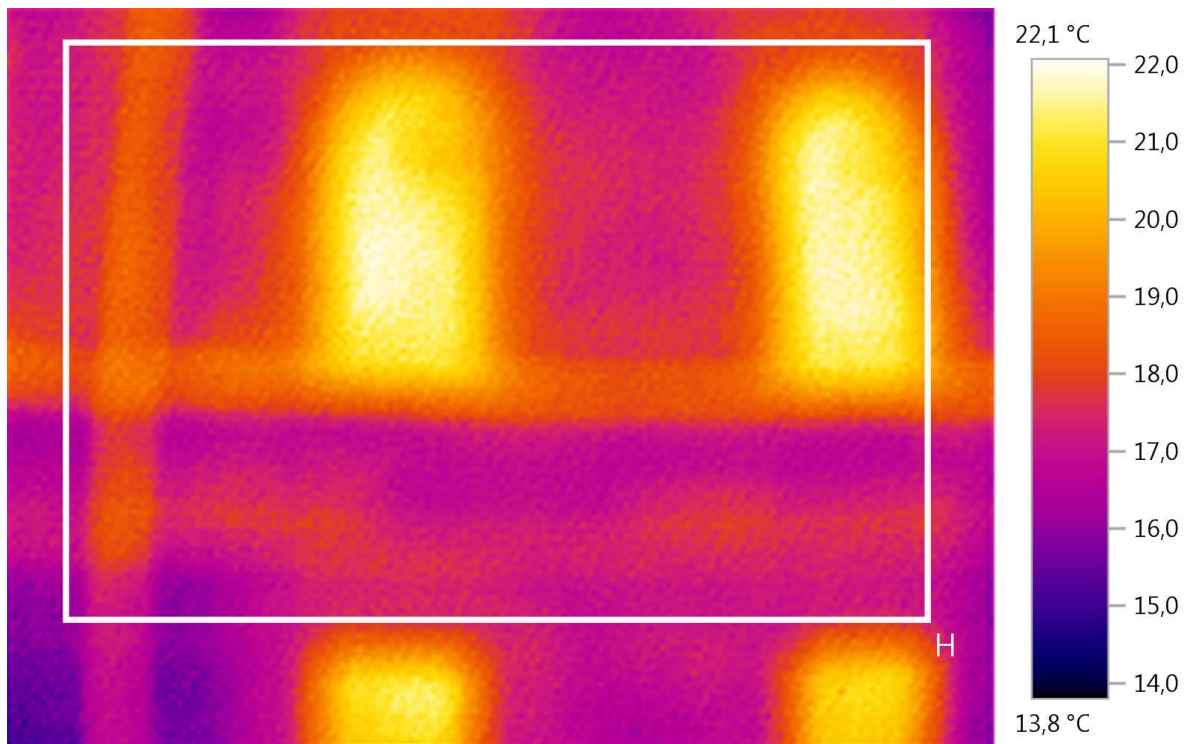
Tab. 2.1 Hodnoty ověření nepřímé metody

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]	Poznámka
Z1	21,8	0,91	15,3	Chybná hodnota
Z2	20,9	0,91	25,3 (H)	Správná hodnota

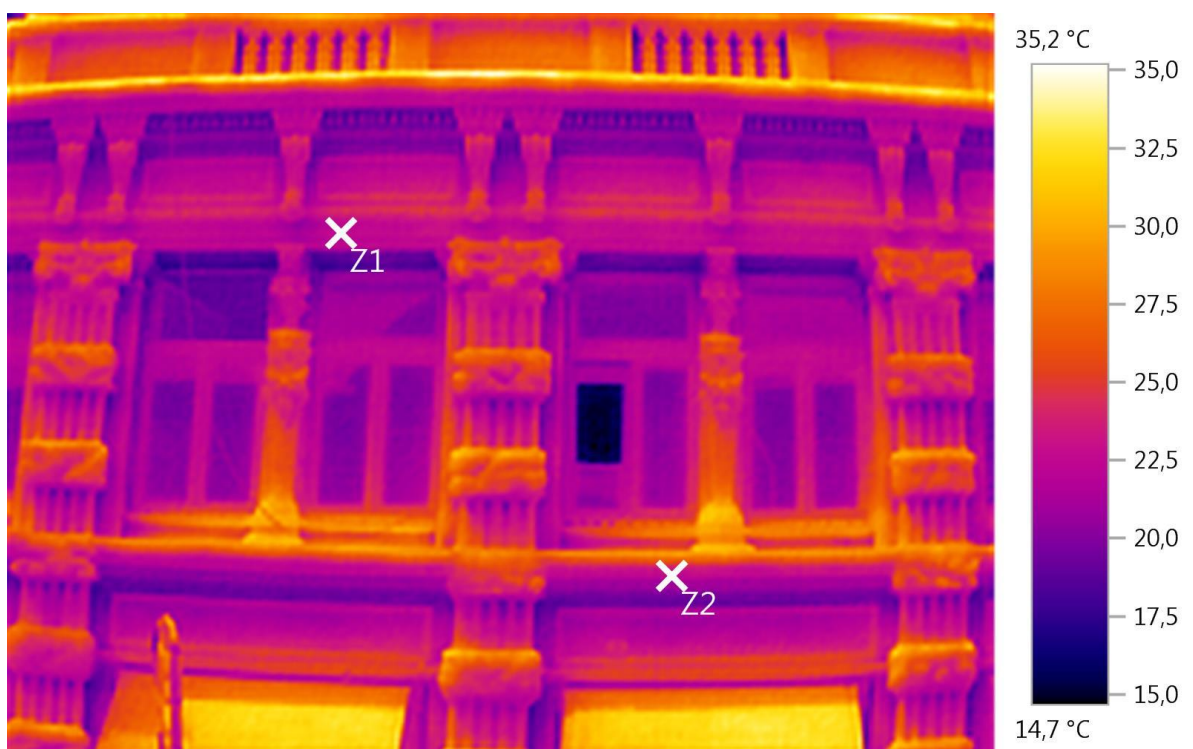
Pomocí programu Testo IRSoft jsme na termosnímku vyznačili obdélník H a body Z1, Z2. Obdélník H slouží k výpočtu průměrné hodnoty teploty (25,3 °C). Bod Z1 má úmyslně chybně zadanou odraženou teplotu. Bod Z2 má zadanou námi naměřenou správnou hodnotu odražené teploty. Teploty těchto dvou bodů by se měli rovnat, ale kvůli rozdílné odražené teplotě se liší o 1 °C.

2.3.2 Přímá metoda

U našeho pokusu ověření přímé metody jsme zvolili ulici Sedláčkova v centru města Plzně. Udělali jsme rozostřený snímek protější budovy Obr. 2.4, pod stejným úhlem, jakým byl pořízen snímek měřené budovy Obr. 2.5. V programu Testo IRSoft jsme zjistili průměrnou teplotu protější budovy, která je rovna odražené teplotě.



Obr. 2.4 Ověření přímé metody – histogram odražené teploty



Obr. 2.5 Ověření přímé metody – měřená protěží budova

Tab. 2.2 Hodnoty ověření přímé metody

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]
Z1	22,7	0,96	18,3
Z2	22,6	0,96	18,3

3 Emisivita

Emisivita značená ε je poměr dvou veličin. První veličinou je intenzita vyzařování reálného tělesa a druhou intenzita vyzařování černého tělesa [1]. Platí vztah:

$$\varepsilon = \frac{M}{M_0} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda, T) M_{0\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{0\lambda} d\lambda} \quad (2.4)$$

Emisivita je číslo od nuly do jedné. Ovšem hodnotu jedna má pouze tzv. černé těleso. Realizace tohoto tělesa v praxi se provádí pomocí malého otvoru do velké dutiny. Běžná tělesa dosahují emisivity menší než jedna. V termodynamickém smyslu se tedy nejedná o černá tělesa, ale považují se za „hodně tmavé“, s emisivitou okolo 0,9. Hodnotu emisivity pohybující se kolem 0,1 mají běžně čisté kovové povrchy. [7]

Při měření předmětu termokamerou, termokamera zobrazí na snímku infračervené záření vyzářené a odražené. Obsluha termokamery musí rozumět, co je na snímku, aby věděla, kde je na obraze energie vyzářená a odražená. Na emisivitu mají vliv některé faktory. Základním je samozřejmě druh materiálu, dále se může měnit vlnovou délkou, teplotou a změnou stavu povrchu. [5]

Pro emisivitu s odraženou teplotou platí určité vztahy. Při vysokém stupni emisivity ($\varepsilon > 0,8$) u měřených objektů, mají nízkou hodnotu odražené teploty. Teplota jde tedy změřit velmi přesně. [5]

U emisivity nejnížší ($\varepsilon < 0,6$), kde vlivem vysoké hodnoty odražené teploty je měření komplikovanější, je nezbytné správně nastavit odraženou teplotu.

3.1 Černé, šedé těleso a selektivní zářič

Černé těleso se dá definovat jako těleso, které nezávisle na úhlu dopadu dokonale absorbuje dopadající záření. Zároveň vyzařuje maximální energii bez ohledu na druhu materiálu a při každé vlnové délce. Zář u tohoto tělesa je stejná ve všech směrech poloprostoru. [1]

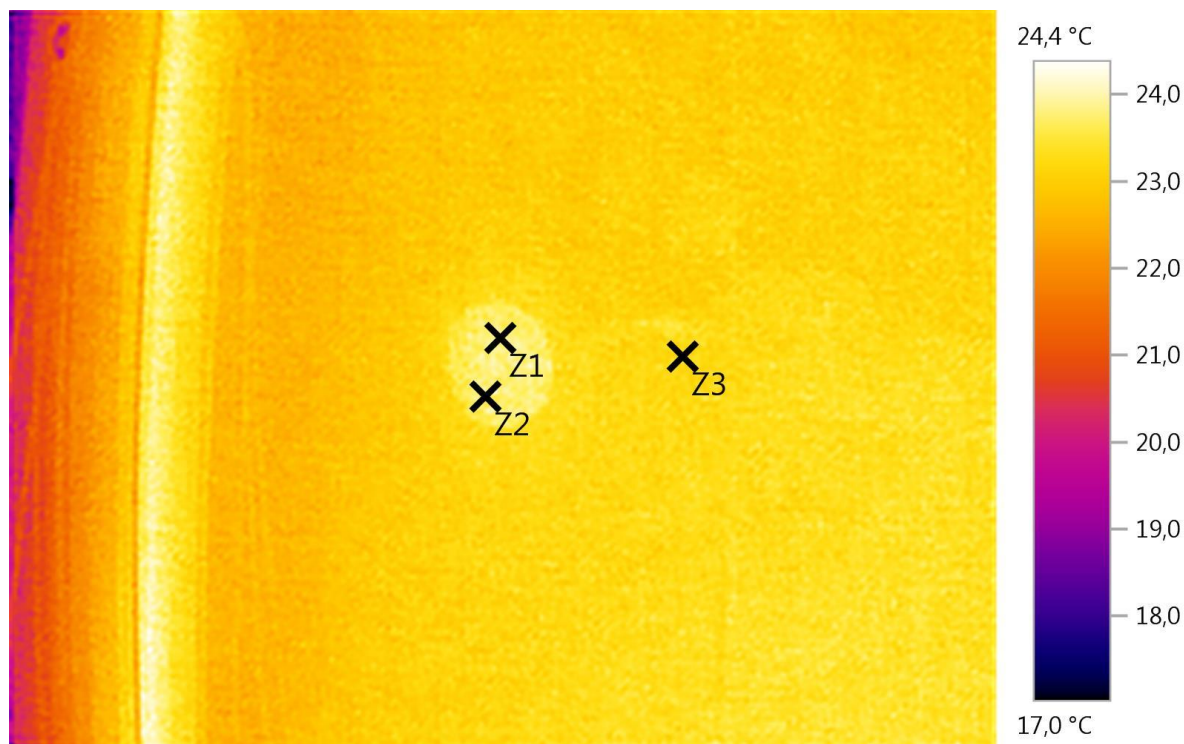
Šedé těleso je pojmenování tělesa, které je nezávislé na vlnové délce. Tedy jeho emisivita je při změně vlnové délky stále stejná. V praxi takové těleso neexistuje, ale některé materiály jsou nezávislé na vlnové délce v určitém rozsahu, proto je za šedá můžeme pro zjednodušení považovat. [9]

Selektivní zářiče jsou všechna reálná tělesa a jejich emisivita nabývá hodnot od 0 do 1. Emisivita u těchto těles je závislá na vlnové délce. [3]

3.2 Metody určování emisivity

Zjištění emisivity pro daný objekt lze provést několika způsoby. Nejsnazší je najít v tabulce materiál, ze kterého je vyrobeno dané těleso. Některé tabulky uvádějí i pásmo vlnových délek materiálu. Hlavně u kovových povrchů je dobré brát hodnoty v tabulkách jen orientačně, protože povrchová úprava tělesa může značně ovlivnit hodnotu emisivity. Pro určení emisivity konkrétního materiálu je zapotřebí pyrometr, na kterém se dá emisivita nastavit. [2]

- 1 Měřený materiál se ohřeje na známou teplotu. Teplotu ověříme přesným dotykovým teploměrem. Dále se použije např. infračervený teploměr nebo termokamera. Budeme měnit hodnotu emisivity v termokameře do doby, kdy teplota udávaná termokamerou bude rovna teplotě z dotykového teploměru. Při rovnosti teplot obou přístrojů získáme hledanou emisivitu.[2]
- 2 Část povrchu měřeného materiálu se upraví materiálem se známou emisivitou např. lepenkou nebo černým nástřikem. Termokamerou nebo infračerveným teploměrem se změří teplota materiálu, u kterého je známa emisivita. Následně se změří teplota měřeného materiálu bez úpravy a hodnota emisivity se mění, dokud teplota materiálu bez úpravy neodpovídá teplotě s úpravou. [2]



Obr. 3.1 Emisivita

Tab. 3.1 Emisivita

Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Poznámka
Z1	23,7	0,96	Správná hodnota emivity
Z2	25,1	0,70	Chybná hodnota emivity
Z3	23,7	0,84	Určení emivity skla

Na obrázku *Obr. 3.1* vidíme lepenku se známou emisivitou nalepenou na skle. První bod Z1 udává správnou teplotu se správnou emisivitou. U bodu Z2 byl nastaven chybný stupeň emivity, který se projevil v teplotě lepenky. Účel bodu Z3 bylo ověření 2. metody určení emivity. Měnili jsme hodnotu emivity, až na 0,84 dokud se nerovnaly teploty lepenky a skla.

- 3 Vyrobit se černé těleso ze vzorku měřeného materiálu. Při zhotovení se klade důraz na některá kritéria. Vyvrtaná díra by měla mít hloubku minimálně pětinásobně větší, než její průměr. Pokud je emivita vnitřních stěn větší než 0,5, emivita dutého tělesa je přibližně 1. Teplota naměřena v otvoru objektu je správná teplota měřeného materiálu. Teď už je postup podobný jako u předchozích metod. Na povrch materiálu, u kterého se hledá emivita, se namíří infračervený teploměr popřípadě termokamera a mění se emivita, dokud teplota neodpovídá teplotě z černého tělesa. [2]

4 Termovizní měření vybrané budovy

4.1 Měřicí zařízení

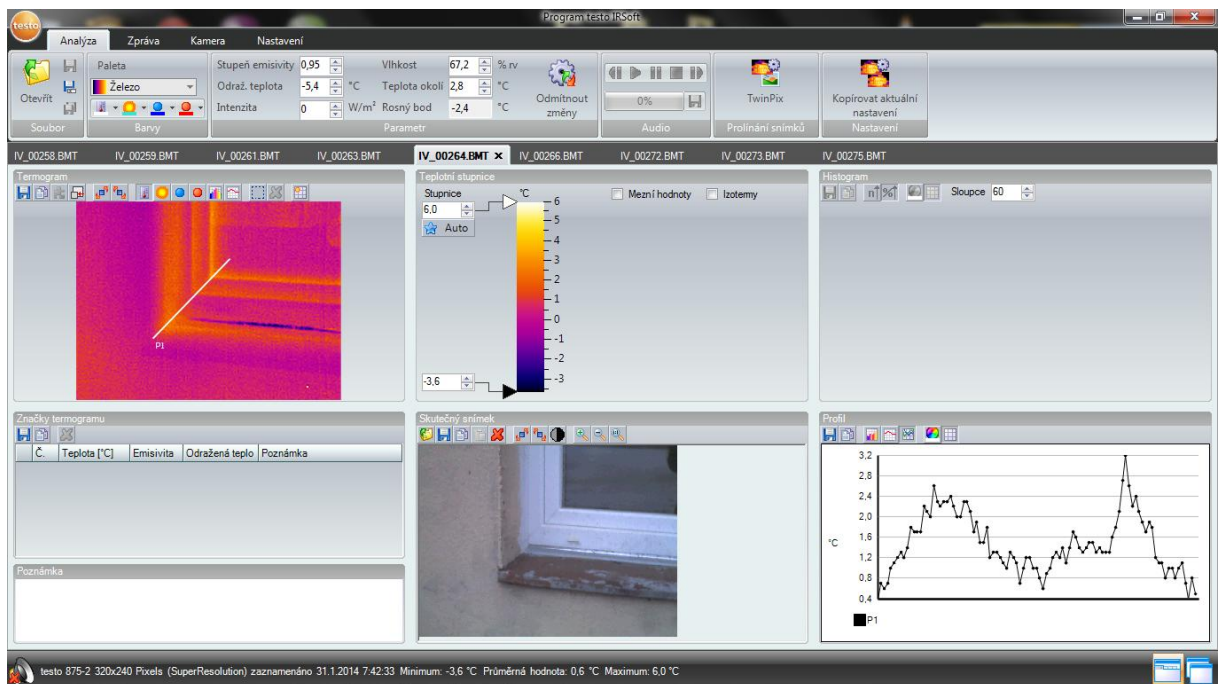
Jako měřicí zařízení byla použita termokamera Testo 875-2, kterou nám půjčilo environmentální informační centrum ENVIC. Tato termokamera je běžně používána v profesní termografii. Nejčastěji se kamera používá pro kontrolu rozvodů vytápění, elektrické revize, údržbu strojů, kontrolu fotovoltaických elektráren a základní termografii budov.



Obr. 4.1 Termokamera Testo 875-2(převzato z [5])

4.2 Použitý Software

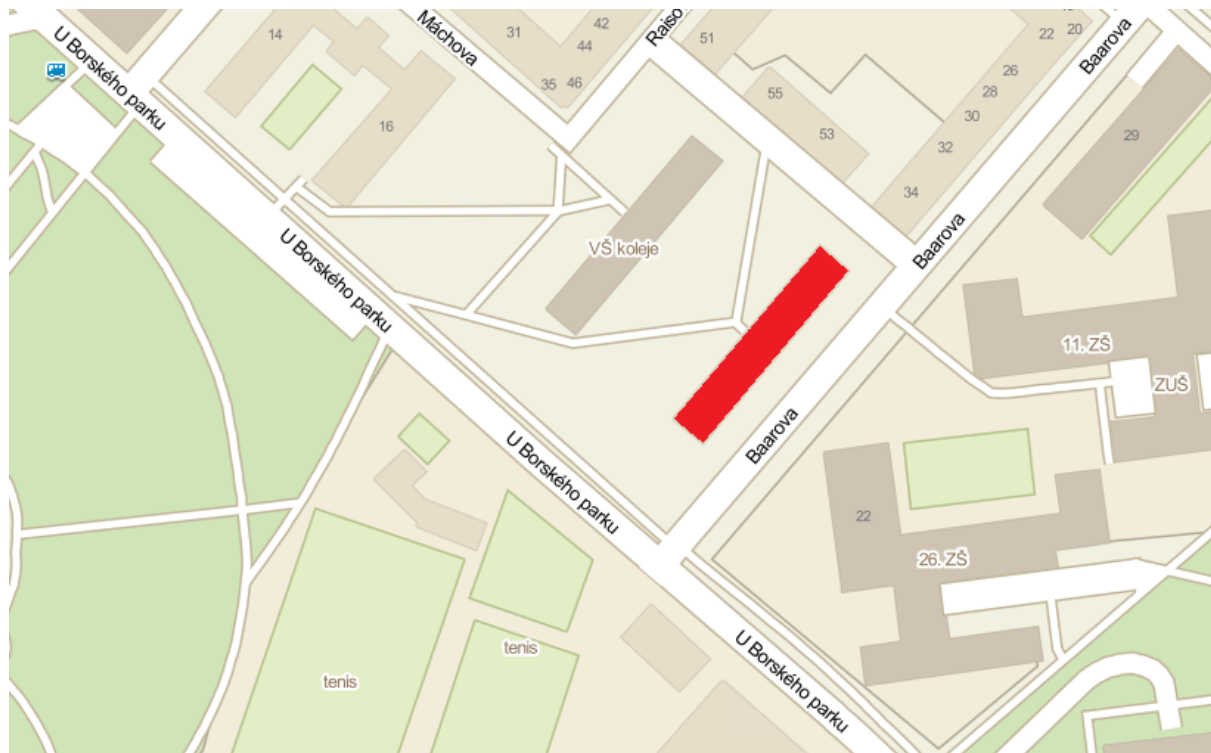
IRSoft je počítačový software od firmy Testo určený pro profesionální termografickou analýzu. Umožňuje rozsáhlou analýzu termogramů na počítači. Vyznačuje se snadnou obsluhou a logickým uspořádáním jednotlivých funkcí. Použití snadno srozumitelných symbolů a kontextových nápověd jsou ujasněny funkce každé analýzy. Funkce histogram zobrazuje rozložení teploty v jednotlivých částech snímku. Funkce teplotní profil vytvoří přímkou, která zobrazí průběh teplot. Vyfocené termosnímek obsahuje i reálnou fotografii. Plná verze počítačového softwaru IRSoft je součástí dodávky všech typů termokamer. Ukázkový výstup naleznete v příloze.



Obr. 4.2 Náhled programu IRSoft

4.3 Měřená budova

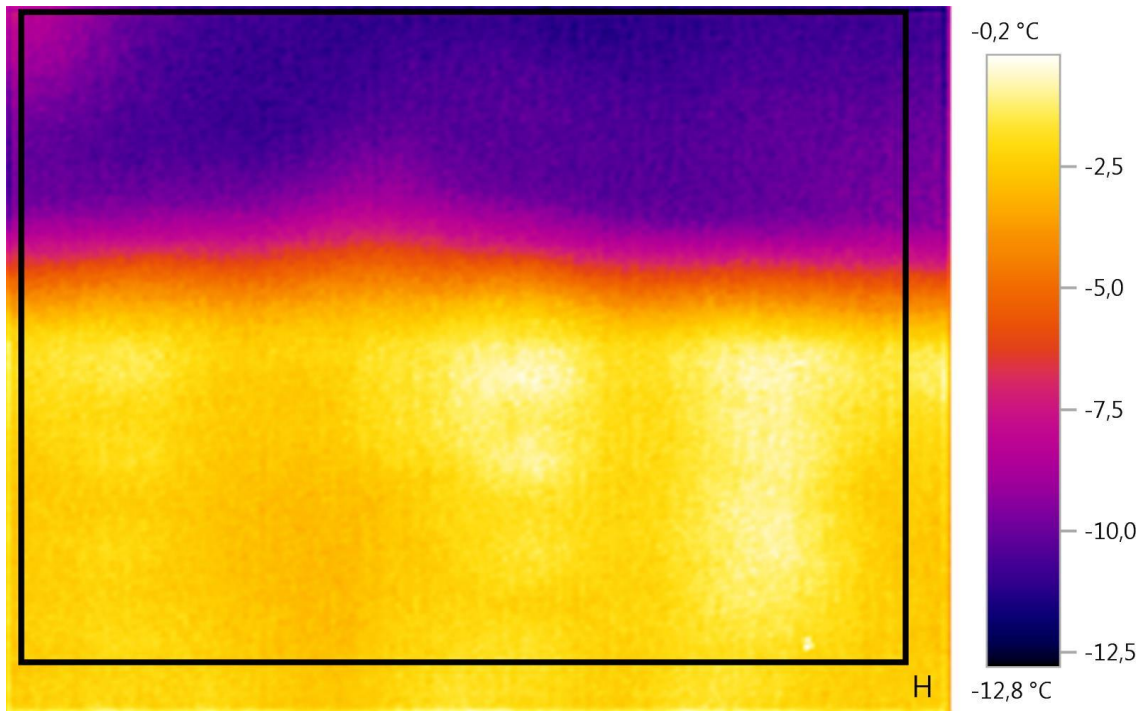
Pro měření byl vybrán panelový dům v Plzni na Borech. Jedná se o vysokoškolskou kolej Baarova č. p. 36. Panelový dům je bez zateplení. V roce 2012 byla osazena plastová okna na celé koleji mimo balkónů. Staří budovy jsme odhadli okolo 30 - 40 let. Na obrázku Obr. 4.1 vidíme červeně zbarvený náš panelový dům.



Obr. 4.3 Měřená budova

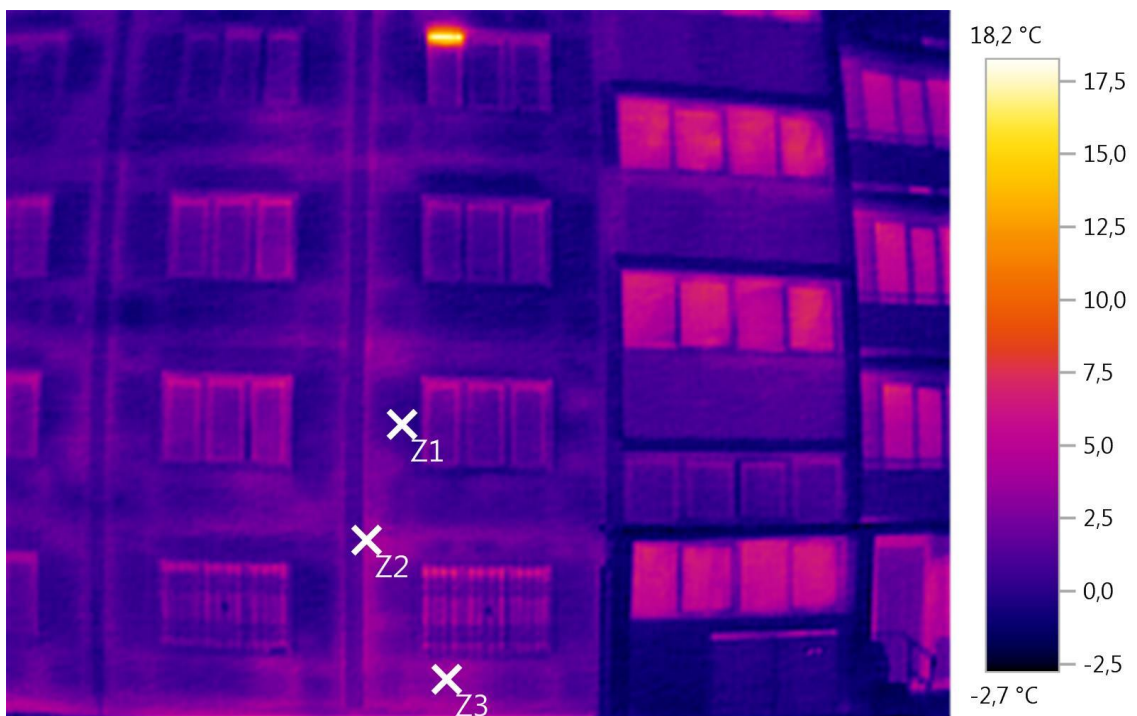
4.4 Vyhodnocení měřené budovy

Měření proběhlo dne 31. 1. 2014 přibližně v 7:30. Teplota okolí byla 0,3 °C. Vlhkost byla naměřena přibližně 85 %. Počasí bylo stabilní. Po celou dobu měření byla zatažená obloha. Ráno nefoukal žádný vítr. Podmínky pro měření byli téměř ideální, až na pár stromů před budovou. Nejdříve byl změřen exteriér budovy, poté její interiér.



Obr. 4.4 Určení odražené teploty

Na termosnímku *Obr. 4.3* je zachycena protější budova s oblohou pro určení odražené teploty pro měření. Hodnota byla $-5,3$ °C.



Obr. 4.5 Severozápadní strana budovy

Tab. 4.1 Teploty severozápadní strany

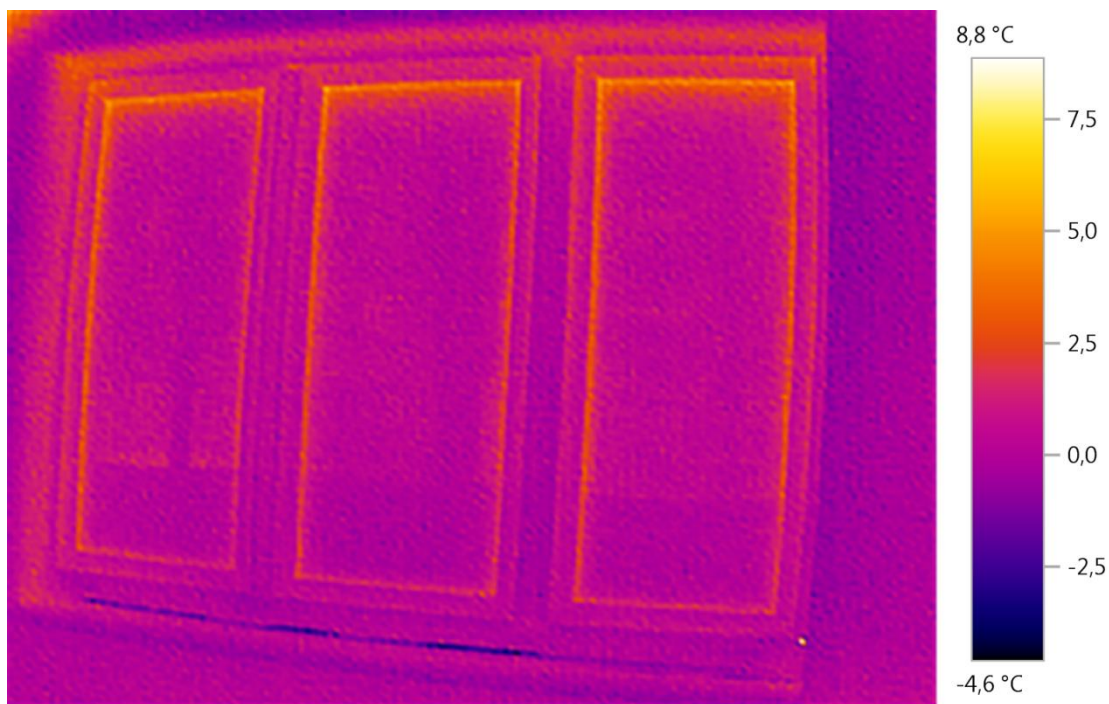
Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]
Z1	0,3	0,95	-5,3
Z2	4,0	0,95	-5,3
Z3	3,1	0,95	-5,3

Na termosnímku *Obr. 4.4* vidíme severozápadní stranu budovy. Spodní část budovy a spáry mezi jednotlivými panely jsou okolo 3 °C teplejší než zbytek zdiva. Jsou zde tedy patrné úniky tepla.



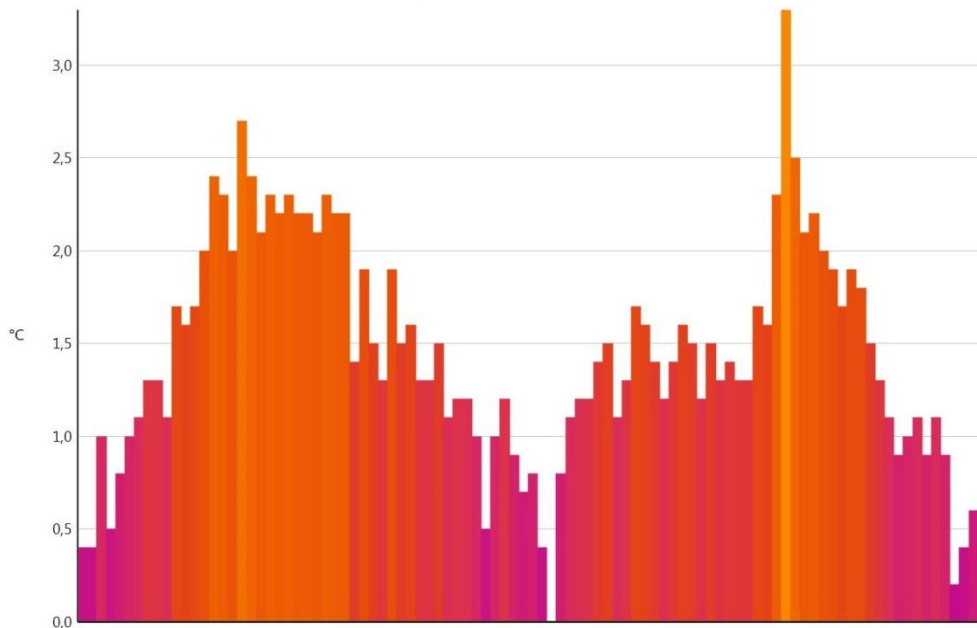
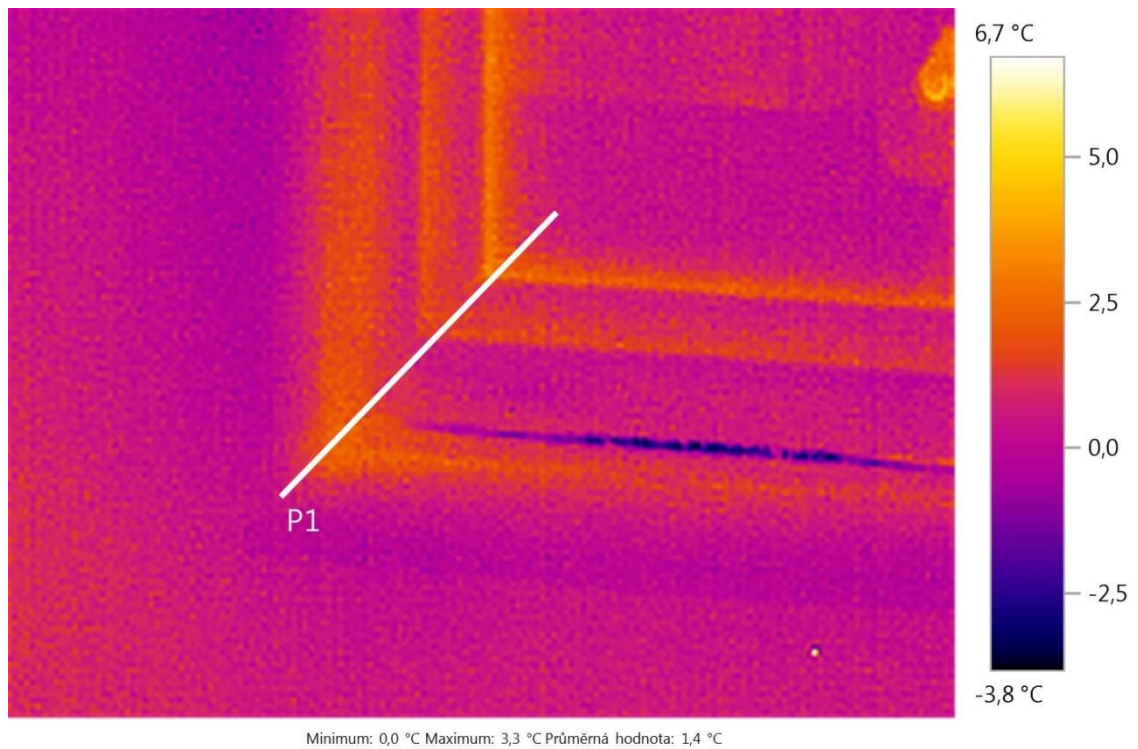
Obr. 4.6 Severozápadní strana ventilační systémy

Pohled na celou severozápadní stranu budovy. Kvalitu snímku zhoršují stromy v popředí. Na obrázku si můžeme všimnout některých teplejších míst v oknech, jde o otevřené ventilační systémy, přes které uniká teplo z interiéru budovy.



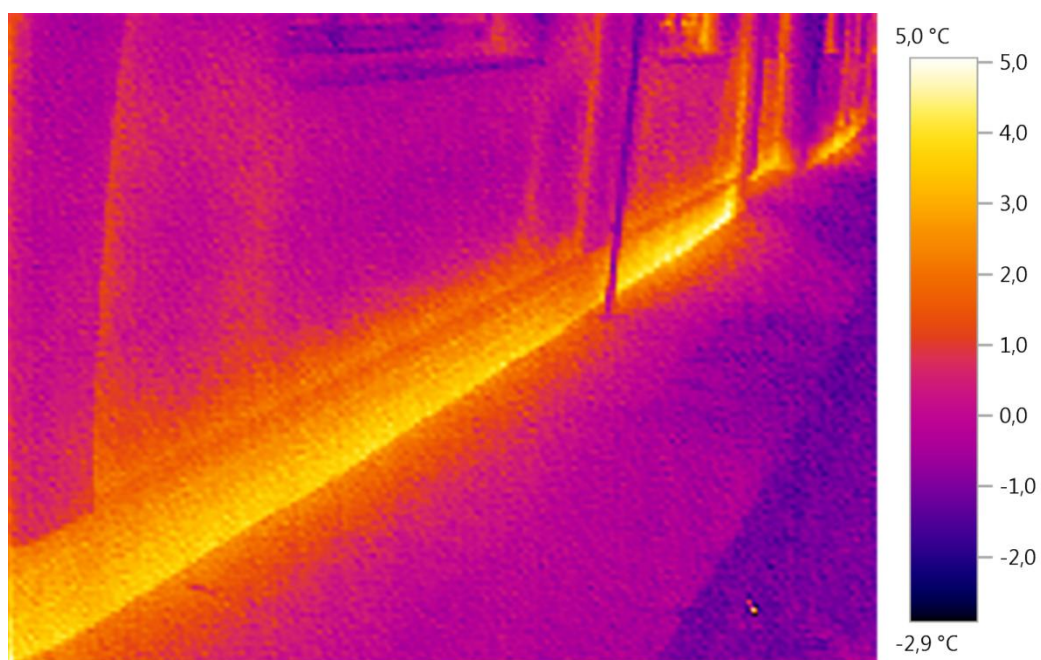
Obr. 4.7 Plastové okno

Termosnímek *Obr. 4.6* plastového okna, které dobře izoluje až na meziokenní spáry, kterými uniká teplo.



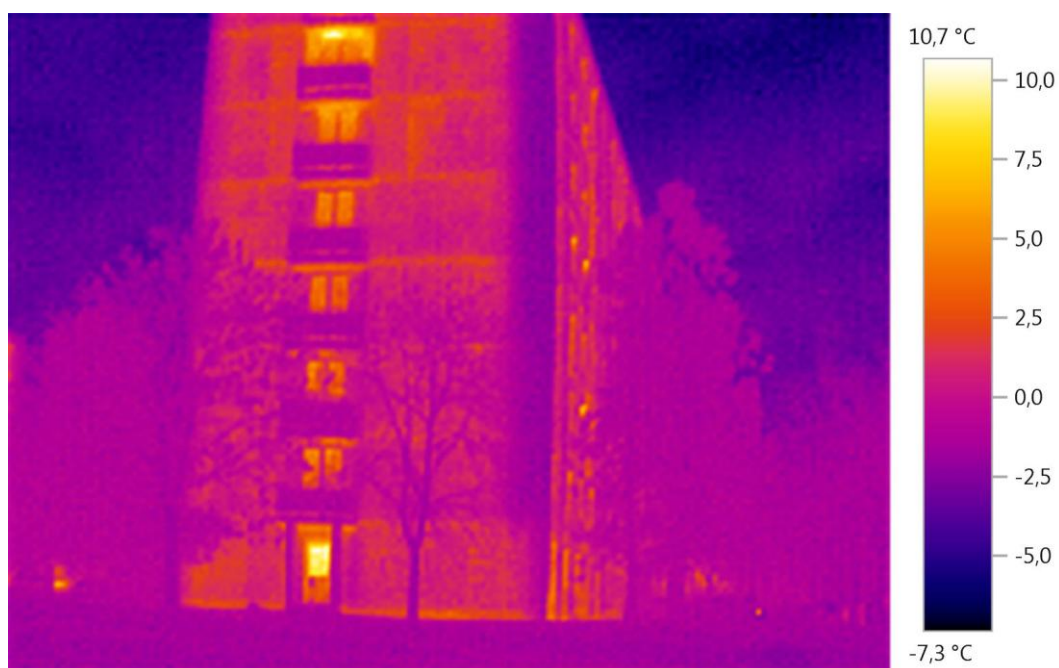
Obr. 4.8 Detail Plastového okna

Detail plastového okna, u kterého jsou patrné tepelné mosty v meziokenních spárách. A graf liniového profilu povrchových teplot.



Obr. 4.9 Sokl budovy

Snímek tepelného mostu u soklu budovy.



Obr. 4.10 Jihozápadní strana budovy

Pohled na panelový dům z jihozápadní strany. Na termografickém snímku vidíme úniky tepla u vstupních a balkónových dveří.

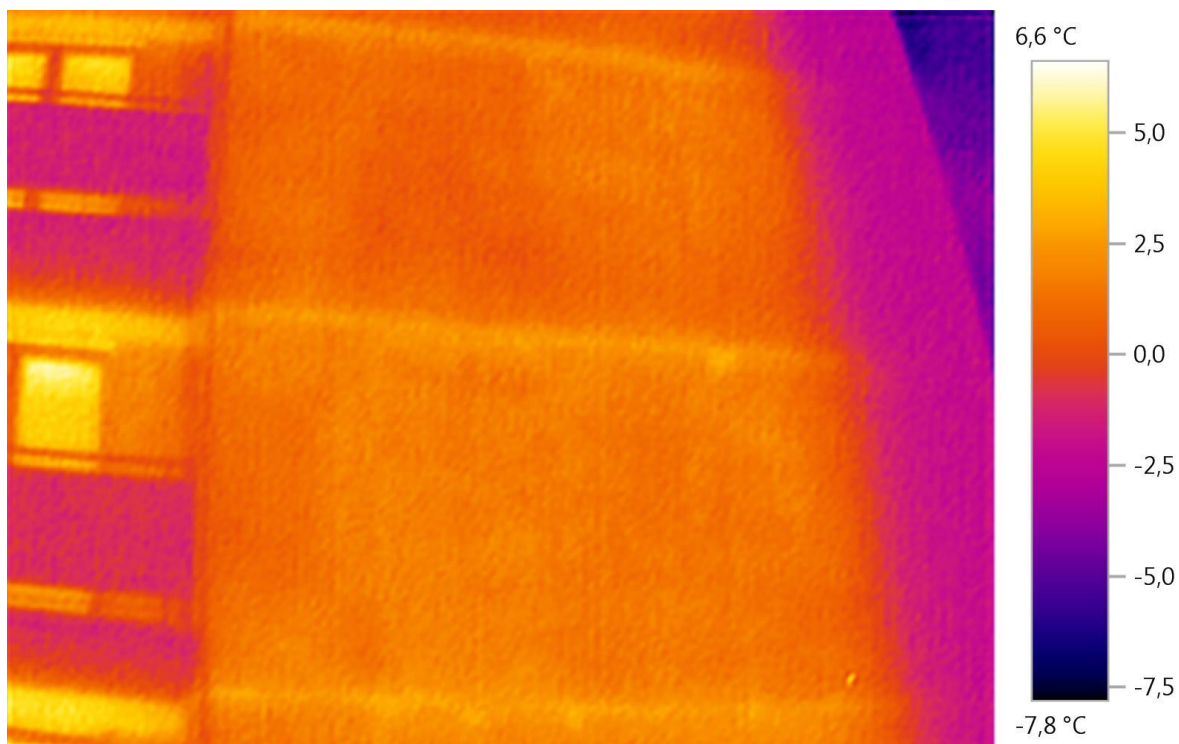


Obr. 4.11 Dveře na jihozápadní straně budovy

Tab. 4.2 Teploty detailu dveří

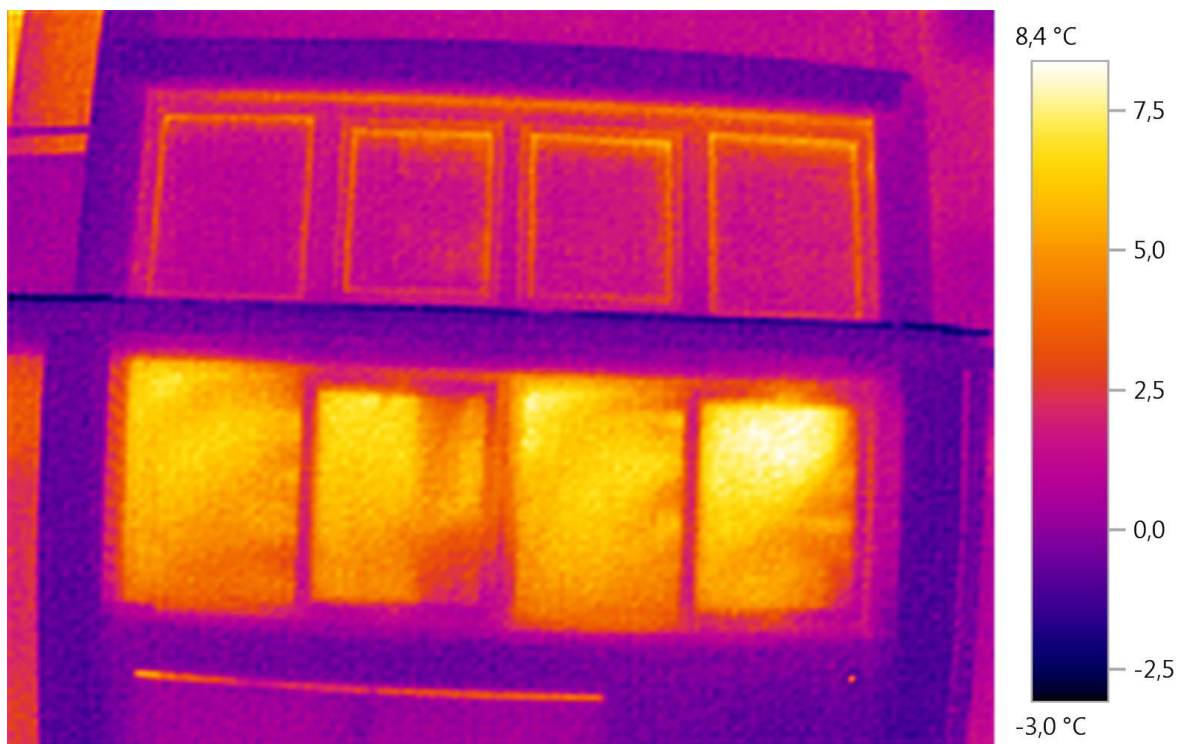
Č.	Teplota [°C]	Emisivita	Odražená teplota [°C]
Z1	6,7	0,95	-5,4
Z2	4,3	0,95	-5,4

Snímek netěsných vstupních dveří jasně vypovídá o úniku tepla. Řešením je montáž doplňkového těsnění, případně výměna dveří za nová kvalitnější a těsná. Můžeme zde také pozorovat tenčí zeď v oblasti nade dveřmi, která způsobuje tepelné ztráty.



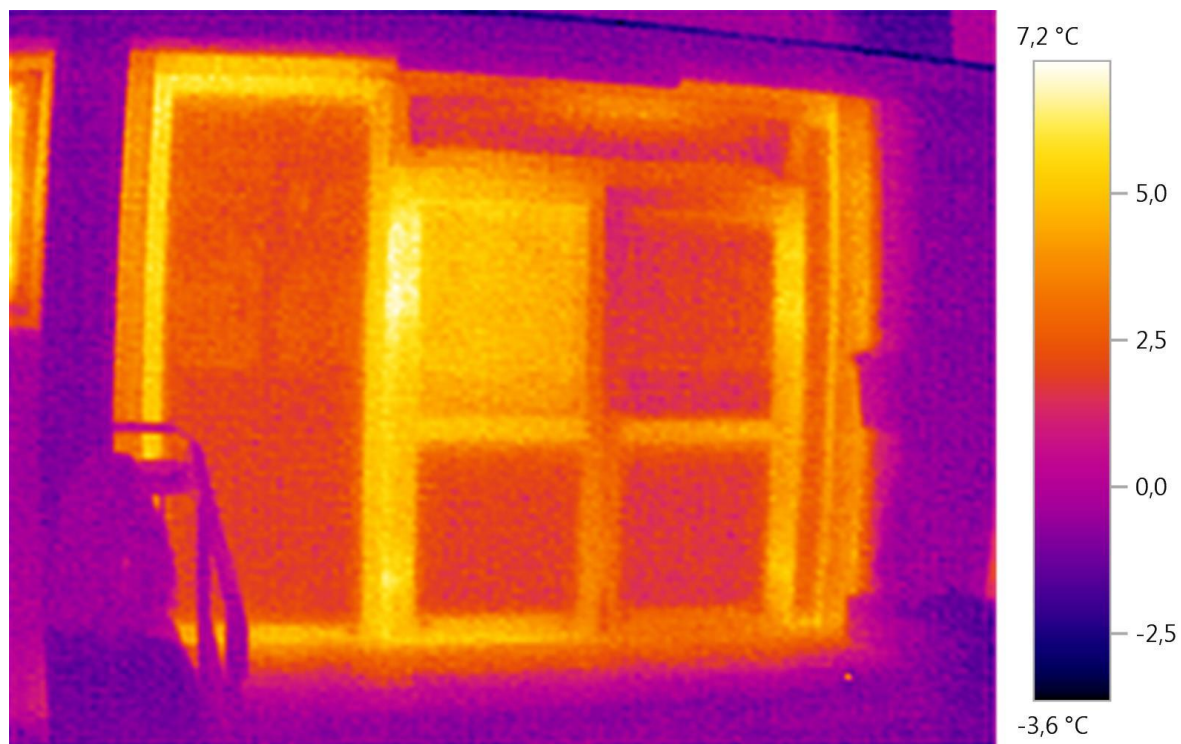
Obr. 4.12 Jihozápadní strana detail panelů

Na Obr. 4.11 jsou patrné tepelné mosty mezi jednotlivými panely každého patra.

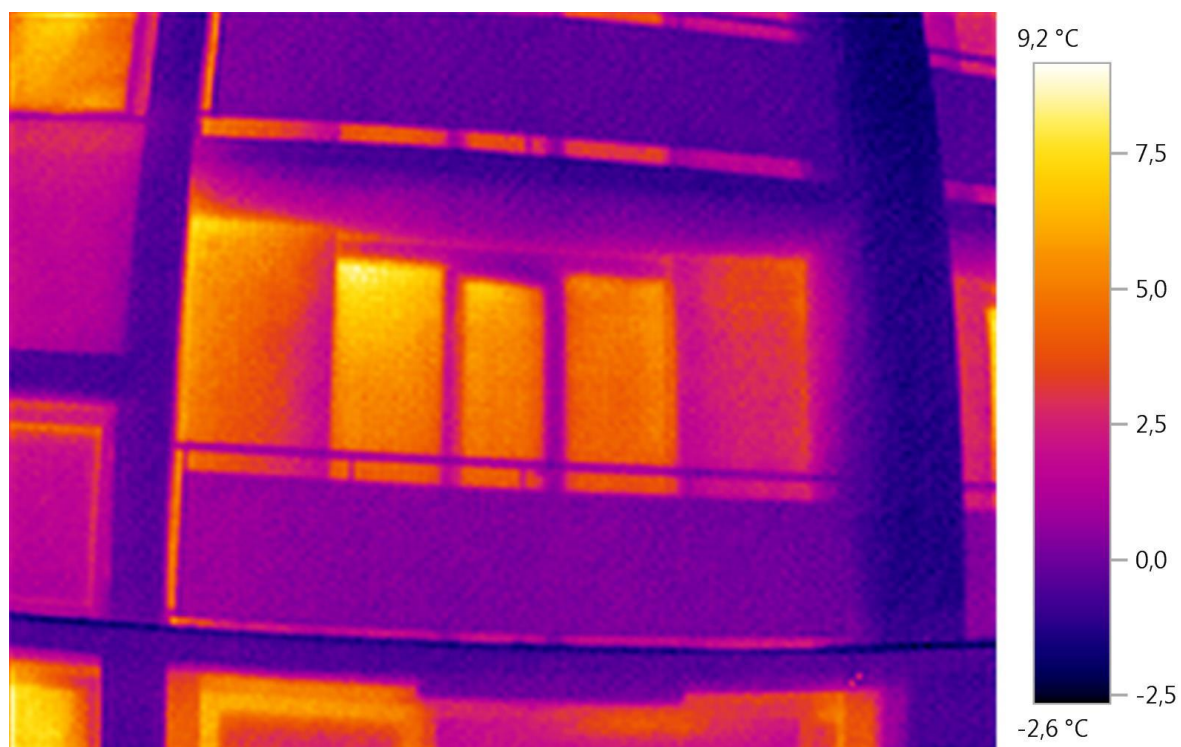


Obr. 4.13 Detail starých a nových oken

Na snímku vidíme detailní záběr mezipatrových chodbových oken. V horní polovině jsou nainstalována již plastová okna a úniky tepla nejsou tak velké. V dolní polovině obrázku jsou okna původní, která nebyla vyměněna, a úniky tepla jsou zde značně vyšší.

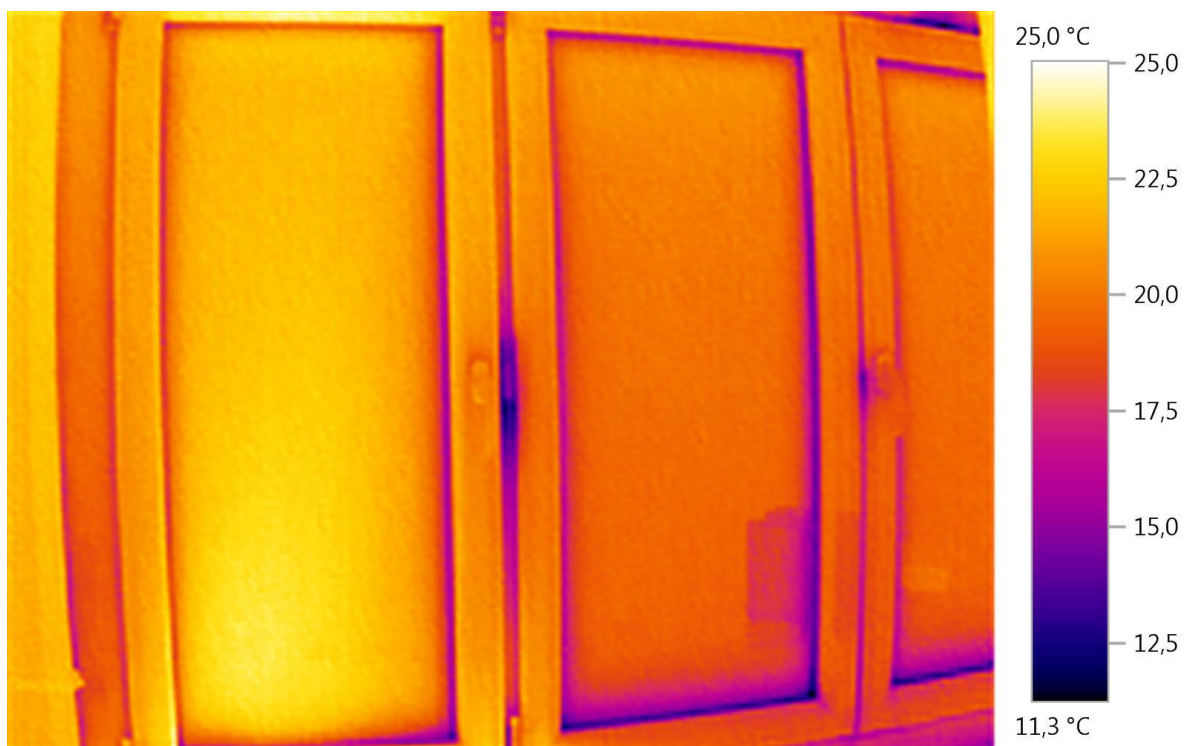


Obr. 4.14 Hlavní vstupní dveře

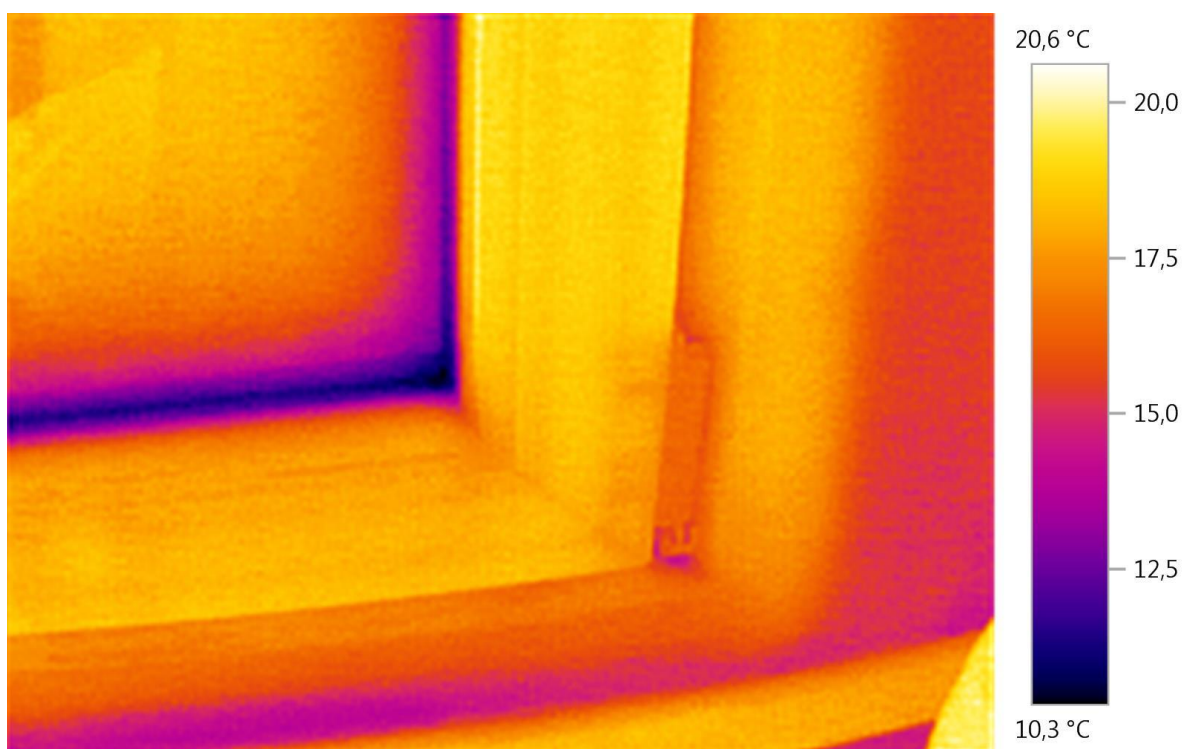


Obr. 4.15 Balkón

Termosnímek Obr. 4.14 zachycuje vstupní dveře na balkón. Balkónové dveře na všech patrech nebyly vyměněny za nové plastové, je zde tedy velký úbytek tepla. Také tenčí zdi v okolí dveří způsobují ztrátu tepla z interiéru.

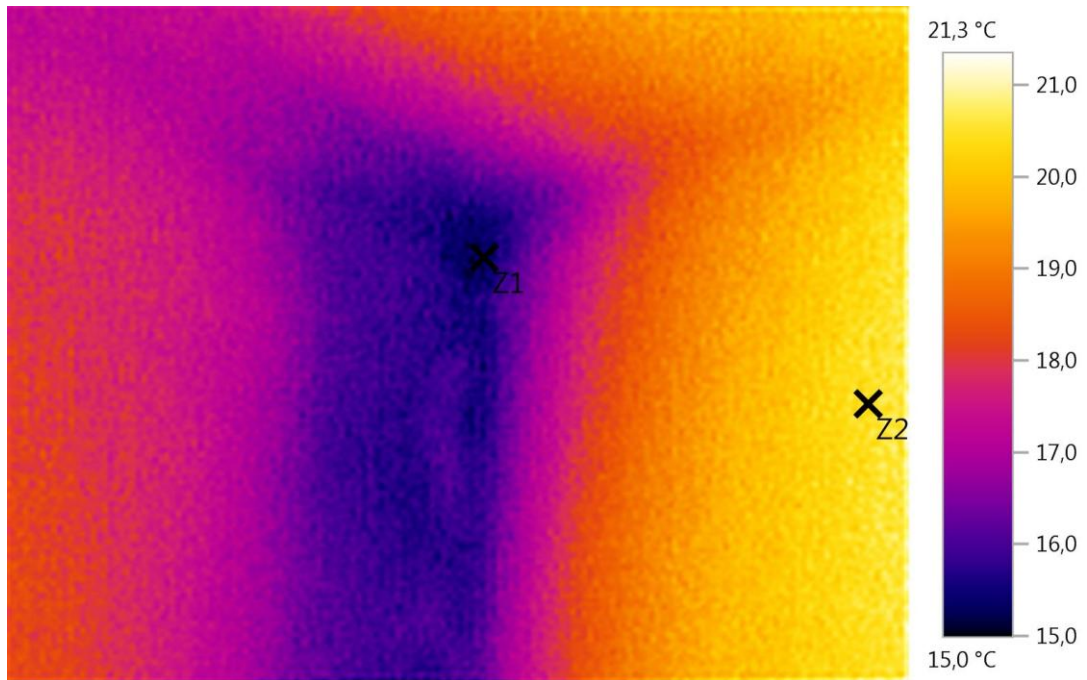


Obr. 4.16 Okno (interiér)



Obr. 4.17 Detail okna (interiér)

U snímků *Obr. 4.15* a *Obr. 4.16* je vyfoceno plastové okno z interiéru. Na snímcích jsou viditelné tepelné mosty u meziokenních spár.



Obr. 4.18 Horní kout v interiéru

Tab. 4.3 Teploty v koutu

Č.	Teplota [°C]	Emisivita
Z1	15,0	0,95
Z2	20,4	0,95

Na termosnímku *Obr. 4.17* je zobrazený horní kout společné kuchyně na 1. patře. Jde o styk jihozápadní stěny, vnitřní stěny a stropem tedy dvě teplé zdi a jedna chladná. Teplotní rozdíl mezi body Z1 a Z2 je přibližně 5°C.



Obr. 4.19 Balkónové chodbové dveře(interiér)

Tab. 4.4 Teploty chodbové dveře

Č.	Teplota [°C]	Emisivita
Z1	5,5	0,95
Z2	22,2	0,95

U obrázku Obr. 4.18 si všimneme netěsnosti dveří, které jsou na obou koncích každé chodby. Z naměřených bodů vidíme, že ztráty tepla jsou opravdu velké a bylo by vhodné vyměnit staré dveře za nové.

5 Závěr

Termovizní měření si našlo zastoupení v mnoha odvětvích. Dnes se běžně používá pro zjišťování tepelných ztrát a diagnostiku možných poruch a havárií ve výrobě, závad elektrozařízení a rozvodů a samozřejmě pro zjištění tepelných vlastností budov.

Pro určení přesných hodnot teploty je nastavení odražené teploty důležité, ale pokud měření probíhá za účelem zjištění, kde jsou největší ztráty tepla budovy, tak nehraje velkou roli. Metody zjišťování odražené teploty jsou snadné a lehce proveditelné i běžnými uživateli. Pokud obsluha zařízení má k dispozici reflektor, díky kterému je schopna určit odraženou teplotu, je zjištění pomocí nepřímé metody jednodušší než u metody přímé. U přímé metody si uživatel musí dát pozor na sluneční světlo, aby neovlivnilo měřené hodnoty teplot.

U měření je důležité znát hodnotu emisivity konkrétního materiálu. Emisivitu zjistíme měřením nebo ji lze najít v příslušných tabulkách. Chybná hodnota emisivity zanáší do měření velkou nepřesnost, proto je důležité stanovit hodnotu správně. U kovových materiálů hodně záleží na povrchové úpravě materiálu, která ovlivňuje hodnotu emisivity.

Termovizní měření budov je lepší provádět v zimě, kdy jsou tepelné ztráty dobře viditelné. Měřená kolejní budova v Plzni na Borech má značné ztráty tepla, které by vyřešilo zateplení objektu. Hlavní prioritou budovy je teplo na jednotlivých pokojích a po výměně plastových oken jsou studenti spokojeni. Vzhledem ke stáří budovy se teplota na pokojích pohybuje okolo 20 °C, když radiátory topí na maximum.

6 Seznam literatury a informačních zdrojů

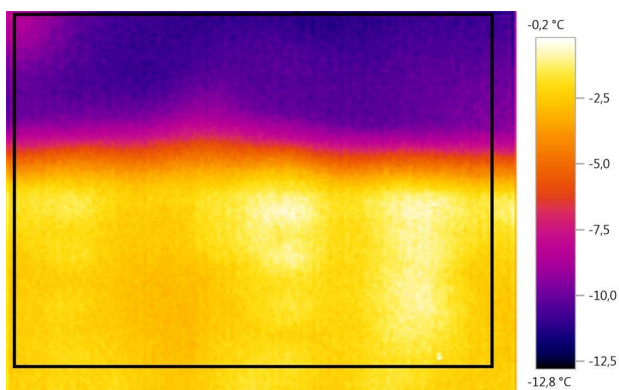
- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřící obvody*. 1.vyd. BEN – technická literatura, Praha 2005. 157, 163, 167 s
- [2] Princip bezdotykového měření [online]. [cit. 2014-3-20]:
<http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>
- [3] Termokamera [online] [cit.2014-3-22]:
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou>
- [4] Využití termokamer testů ve stavební praxi [online]. [cit. 2014-3-25]:
<http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/7069-vyuziti-termokamer-testo-ve-stavebni-praxi>
- [5] Profesionální kamery pro průmysl a stavebnictví [online]. [cit. 2014-3-29]
<http://www.termokamera.com/testo/0/0/2/16>
- [6] TŮMOVÁ, Olga a Tomáš LANGHAMMER. *Electroscope: Vlivy dílčích nejistot měření na celkovou nejistotu měření v infračervené termografii*[online]. 2013 [cit. 2014-06-02]. ISSN 1802-4564. Dostupné z:
http://147.228.94.30/images/PDF/Rocnik2013/Cislo3_2013/r7c3c8.pdf
- [7] Šťastník S., Hollan J., Steuer R.: *Možnost určení emissivity material* [online]: [cit. 2014-4-10], VUT BRNO, 2006:
Dostupné z WWW :< <http://amper.ped.muni.cz/LW-infrared/omitky06.pdf>>
- [8] FLUKE.: *Introdukce to Thermography Principles*, Fluke Corporation, 2009.
- [9] VAVŘIČKA, R.,: *Bezdotykové měření teploty* [online]: [cit. 2014-4-20], ČUVT PRAHA, 2006: Dostupné z WWW: < <http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>>

Příloha

Firma	Západočeská univerzita v Plzni Univerzitní 2732 Plzeň	Objednatel	Jan Novák
Zkušební technik	Marek Špiroch		

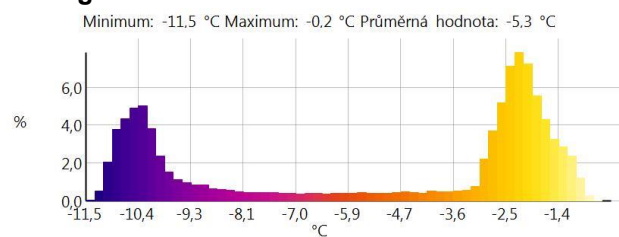
Přístroj	testo 875-2	Výrobní č.:	2239853	Objektiv:	Standardní 32°
-----------------	-------------	--------------------	---------	------------------	----------------

Zakázka



Data obrázku:	Datum:	31.1.2014	Stupeň emisivity:	0,95
	Čas:	7:32:58	Odraž. teplota [°C]:	-5,4
	Soubor:	IV_00258.BMT		

Histogram:





Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:38:50
 Soubor: IV_00259.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,3

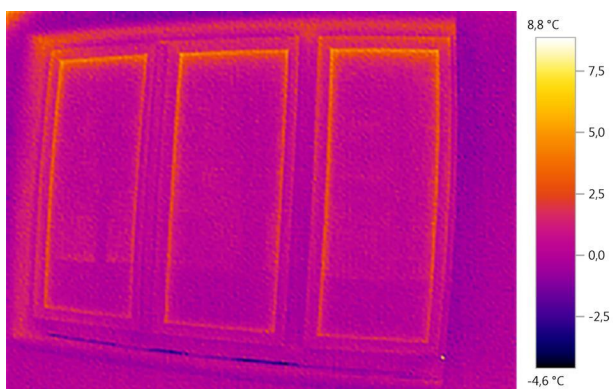
Značení obrázku:

Měřený objekt	Teplota [°C]	Emisivita	Odraž. tepl. [°C]	Poznámky
Bod měření 1	3,1	0,95	-5,3	-
Bod měření 2	4,0	0,95	-5,3	-
Bod měření 3	0,3	0,95	-5,3	-



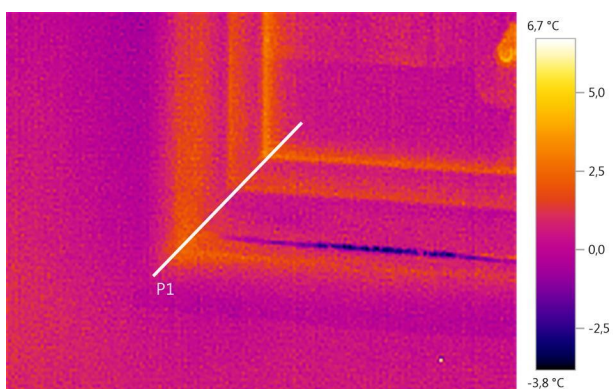
Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:40:04
 Soubor: IV_00261.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,4



Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:41:55
 Soubor: IV_00263.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
Odraž. teplota [°C]: -5,4

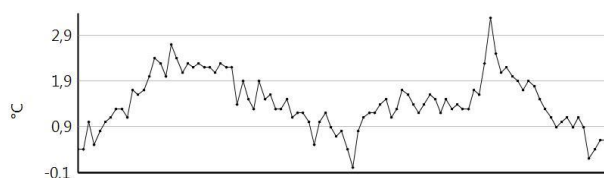


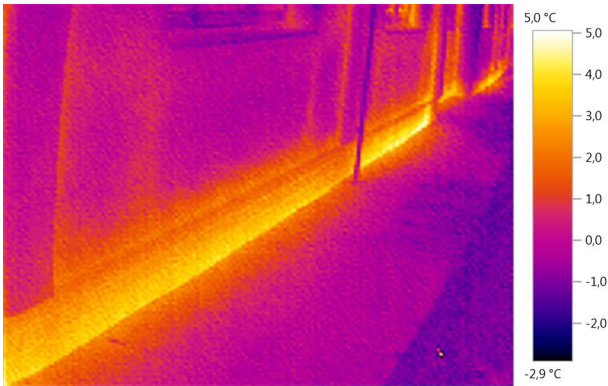
Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:42:33
 Soubor: IV_00264.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
Odraž. teplota [°C]: -5,4

Linie profilu:

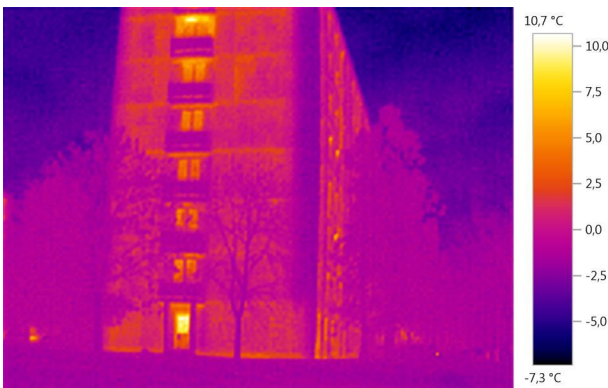
Minimum: 0,0 °C Maximum: 3,3 °C Průměrná hodnota: 1,4 °C





Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:43:07
 Soubor: IV_00266.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,4



Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:48:24
 Soubor: IV_00272.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,4



Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:49:23
 Soubor: IV_00273.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,4

Příloha

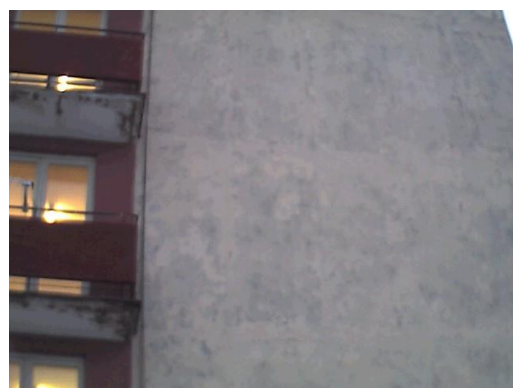
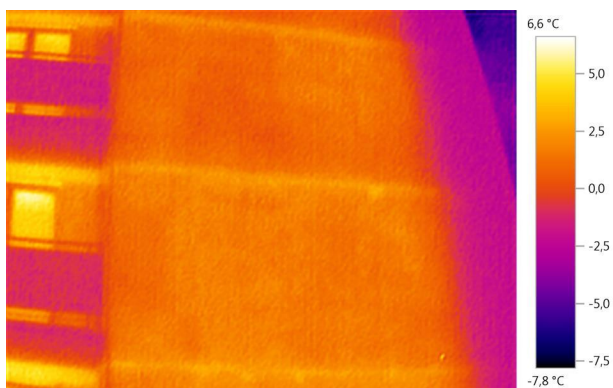
Značení obrázku:

Měřený objekt	Teplota [°C]	Emisivita	Odraž. tepl. [°C]	Poznámky
Bod měření 1	4,3	0,95	-5,4	-
Bod měření 2	6,7	0,95	-5,4	-



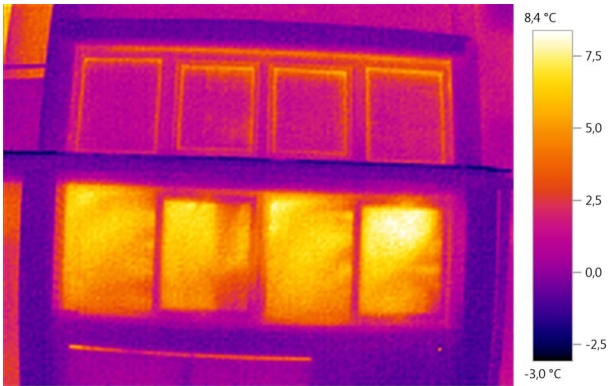
Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:49:44
 Soubor: IV_00275.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
Odraž. teplota [°C]: -5,4



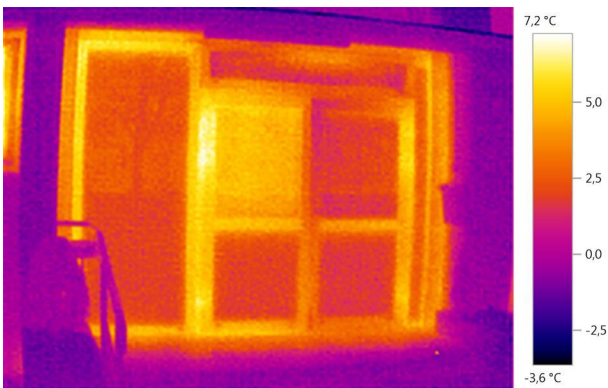
Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:50:10
 Soubor: IV_00277.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
Odraž. teplota [°C]: -5,4



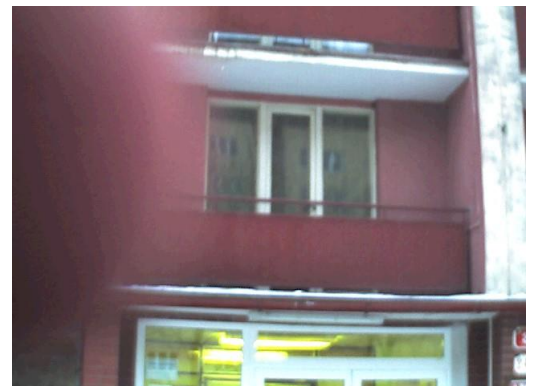
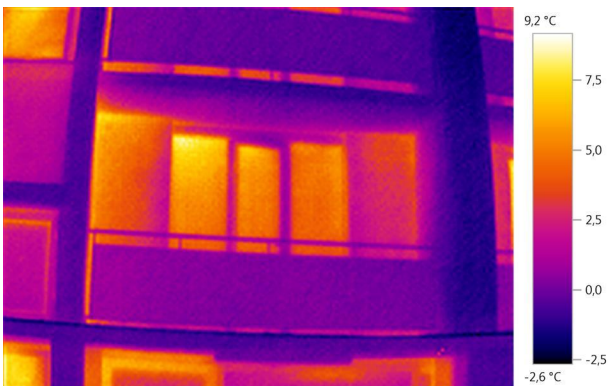
Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:51:30
 Soubor: IV_00279.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,4



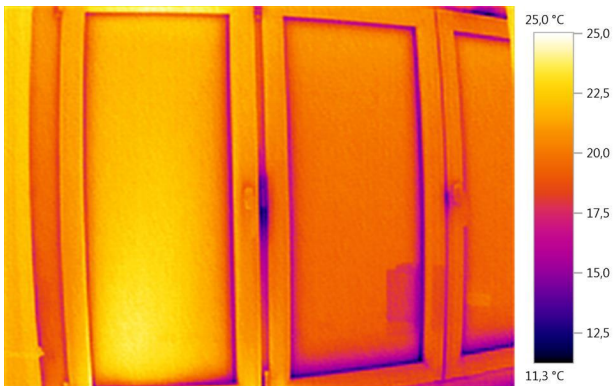
Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:52:12
 Soubor: IV_00280.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,4



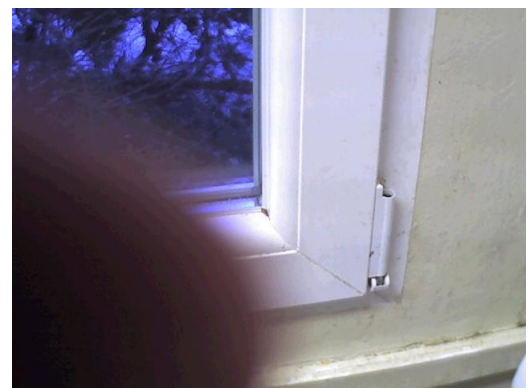
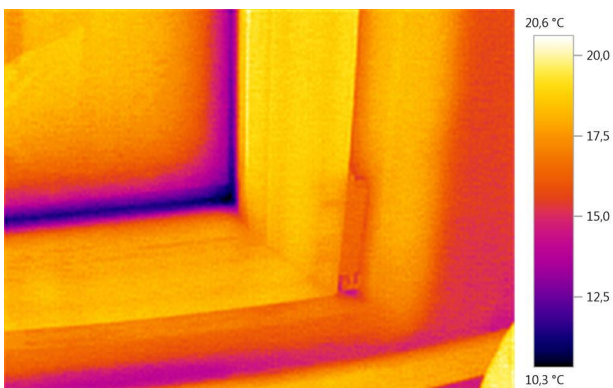
Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:52:27
 Soubor: IV_00281.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: -5,4



Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:54:13
 Soubor: IV_00282.BMT

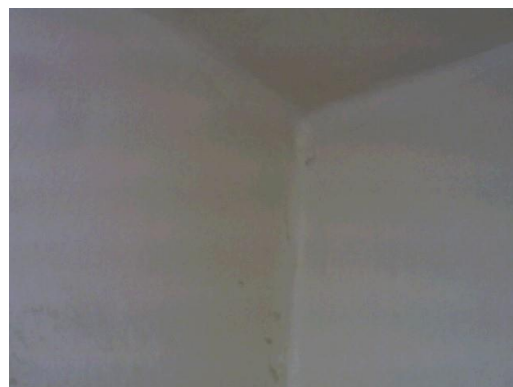
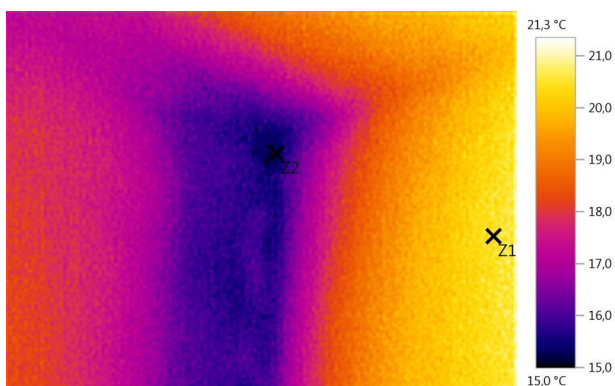
Stupeň emisivity: 0,95
Odraž. teplota [°C]: 15,0



Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:54:35
 Soubor: IV_00283.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
Odraž. teplota [°C]: 15,0

Příloha



Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:54:53
 Soubor: IV_00284.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: 15,0

Značení obrázku:

Měřený objekt	Teplota [°C]	Emisivita	Odraž. tepl. [°C]	Poznámky
Bod měření 1	20,4	0,95	15,0	-
Bod měření 2	15,0	0,95	15,0	-



Data obrázku: Datum: 31.1.2014
 Čas: 7:55:50
 Soubor: IV_00286.BMT

Stupeň emisivity: 0,95
 Odraž. teplota [°C]: 15,0

Značení obrázku:

Měřený objekt	Teplota [°C]	Emisivita	Odraž. tepl. [°C]	Poznámky
Bod měření 1	22,2	0,95	15,0	-
Bod měření 2	5,5	0,95	15,0	-



Příloha

Souhrn: Termovizní měření budov je lepší provádět v zimě, kdy jsou tepelné ztráty dobře viditelné. Měřená kolejní budova v Plzni na Borech má značné ztráty tepla, které by vyřešilo zateplení objektu. Hlavní prioritou budovy je teplo na jednotlivých pokojích a po výměně plastových oken jsou studenti spokojeni. Vzhledem ke stáří budovy se teplota na pokojích pohybuje okolo 20 °C, když radiátory topí na maximum. Pozn. Tato příloha slouží, jako ukázka výstupu z programu testo IRSofť.

5.6.2014 , _____

Marek Špiroch