

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ OBALOVÝCH KONSTRUKCÍ BUDOV

THERMAL MEASUREMENT OF THE BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KAROL KOZÁK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Karol Kozák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Termovizní měření obalových konstrukcí budov

v anglickém jazyce:

Thermal measurement of the building

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznámit se s teorií a praxí měření pomocí termovize. Termovizní měření obalových konstrukcí, které byly nebo budou zatepleny. Zjistit nebo vyvrátit nadměrné prostupy tepla přes tepelné mosty a také přes nekvalitní zateplení při praktickém měření na budovách A2, A3 a A4. Seznámit se s normou ČSN EN 13187 Tepelné chování budov - Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce by měla obsahovat:

1. Úvod do bezkontaktního měření teplot
2. Principy měření termovizí
3. Rozbor normy ČSN EN 13187
4. Výsledky z měření budov A2, A4 a A3.
5. Doporučení na základě výsledků měření.
6. Závěr, doporučení

Text práce v rozsahu 20 až 30 stran, obrázky, tabulky a grafy

Seznam odborné literatury:

[1] ČSN EN 13187 Tepelné chování budov

[2] Vollmer, M., Mollmann K.P., Infrared Thermal Imaging. Wiley

[3] Incropera F.P.: Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley 2011

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ASTRAKT

Termovízne meranie sa ako metóda bezkontaktného merania teplôt značne rozšírila v rôznych odvetviach priemyslu. V dnešnej dobe šetrenia energií a finančných prostriedkov vynaložených na vykurovanie budov sa stala neodmysliteľnou súčasťou revízií budov pri kontrole nadmerného prestupu tepla cez tepelné mosty. Preto je cieľom tejto bakalárskej práce v prvej časti popísať teoretické poznatky termovízneho merania a prestupu tepla budov. V druhej časti je práca zameraná na zužitkovanie teoretických poznatkov a pomocou praktického merania, ktoré je regulované podľa ustanovení normy ČSN EN 13187, vyvrátiť alebo potvrdiť nadmerné prestupy tepla budov A2, A3, A4, A5 na Fakulte strojného inžinierstva, Vysokého učenia technického v Brne.

ABSTRACT

Infrared measurements, as a method of contactless temperature measurement, has spread rapidly in various branches of industry. Nowadays, in era of saving energy and financial resources spent on building heating, it has become an inherent part of revisions and controls of excessive heat transfer over thermal bridges. The aim of this bachelor's thesis in its first part is to describe the theory of infrared measurement and heat transfer of the building and the second part is focused on application of theoretical knowledge to evaluate the results of practical measurements of buildings A2, A3, A4 and A5 on Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, which is regulated by the technical standard ČSN EN 13187.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

infračervené meranie, IR žiarenie, teplota, bezkontaktné meranie teploty, prechod tepla, tepelný most, emisivita

KEYWORDS

infrared measurements, IR radiation, temperature, contactless temperature measurement, heat transfer, thermal bridge, emissivity

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KOZÁK, K. *Termovizní měření obalových konstrukcí budov*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 74 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Termovízne meranie obalových konštrukcií budov vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

V Brne dňa 18. mája 2015

.....

Karol Kozák

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní bakalárskej práce a mojim rodičom za podporu počas štúdia.

OBSAH

ÚVOD	15
1 BEZKONTAKTNÉ MERANIE TEPLoty	16
2 TERMovÍZIA	17
2.1 HISTÓRIA	17
2.2 ELEKTROMAGNETICKÉ ŽIARENIE	18
2.2.1 STEFAN – BOLTZMANOV ZÁKON	19
2.2.2 PLANCKOV ZÁKON	19
2.2.3 WIENOV ZÁKON POSUNU	20
2.3 DOKONALE ČIERNE TELESO	21
2.3.1 EMISIVITA	21
2.4 INFRAČERVENÉ ŽIARENIE	22
2.4.1 ROZDELENIE IR ŽIARENIA	23
2.4.2 VYUŽITIE IR ŽIARENIA	23
2.5 FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE MERANIE	24
2.5.1 EMISIVITA	24
2.5.2 ODRAZENÁ TEPLota	25
2.5.3 VZDIALENOSŤ	25
2.5.4 RELATÍVNA VLHKOSŤ	26
3 TERMovÍZNE KAMERY	27
3.1 ROZDELENIE	27
3.1.1 KAMERY S ROZKLADOM OBRAZU	28
3.1.2 KAMERY S MaticovÝM DETEKTOROM FPA	28
3.2 VÝVOJ	30
3.2.1 I. GENERÁCIA	31
3.2.2 II. GENERÁCIA	31
3.2.3 III. GENERÁCIA	31
3.3 VÝROBCOVIA	31
3.4 FLIR i7	32
3.5 PYROMETRE	33
4 ROZBOR NORMY ČSN EN 13187	35
4.1 ZÁKLADNÉ POJMY A DEFINÍCIE	35
4.2 TERMOGRAFIKÁ SKÚŠKA	35
4.2.1 PROTOKOL O SKÚŠKE S IR KAMEROU	37
4.2.2 PROTOKOL O SKRÁTENEJ SKÚŠKE IR KAMEROU	38

5	TEPELNÉ STRATY BUDOV	39
5.1	PRECHOD TEPLA	39
5.2	KONVEKCIA	39
5.3	VEDENIE.....	40
5.4	ANALÓGIA S ELEKTRICÝMI OBVODMI	41
5.4.1	TEPELNÝ ODPOR	41
5.5	ÚČINNOSŤ IZOLÁCIE	42
5.6	TEPELNÉ MOSTY	42
5.6.1	TEPELNÉ MOSTY A ZDRAVIE.....	45
6	MERANIE BUDOV A2, A3, A4, A5	46
6.1	VYHODNOTENIE MERANIA.....	47
6.2	VÝSLEDKY MERANIA.....	48
6.2.1	VONKAJŠIE MERANIE	48
6.2.2	VNÚTORNÉ MERANIE	54
6.2.3	MERANIE ROHOVÝCH A OKRAJOVÝCH MIESTNOSTÍ.....	64
	ZÁVER.....	69
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	70
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	73

ÚVOD

Termovízne meranie je bezkontaktný, nedeštruktívny spôsob merania povrchových teplôt objektov, ktoré je založené na základe vyžarovania infračerveného žiarenia daného objektu. Výstupom takéhoto merania je termogram, znázorňujúci rozloženie teplotných polí na povrchu.

Jeho počiatky môžeme datovať na prelom 18. a 19. storočia, presnejšie do roku 1800, kedy bolo objavené infračervené žiarenie anglickým astronómom sirom Frederickom Williamom Herschelom.

V čase od vzniku prvých termovíznych kamier približne v polovici 20. storočia môžeme zaznamenať značné rozšírenie tohto moderného spôsobu zisťovania povrchových teplôt v rôznych odvetviach priemyslu (stavebníctvo, energetika, teplárenstvo...). Ako príklad si môžeme uviesť fakt, že v dnešnej dobe šetrenia energií a vynaložených finančných prostriedkov na vykurovanie budov si našla svoje stále miesto pri kontrolách a revíziách nadmerných prestupov tepla cez tepelné mosty.

Snaha o dokonalé zaizolovanie obalových plášťov nových budov pri výstavbe, alebo starších budov po dodatočnej rekonštrukcii je dnes už štandard a spôsob ako ušetriť nemalé finančné čiastky za uniknuté teplo. Je však potrebné myslieť aj na to, že nie vždy sa môžu dostaviť len pozitívne výsledky. Vyskytujú sa rôzne komplikácie týkajúce sa hromadenia vlhkosti, kvality vnútorného vzduchu, kondenzácie a vzniku plesní, čo v krajných prípadoch vedie až k ohrozeniu zdravotného stavu obyvateľov. [1]

1 BEZKONTAKTNÉ MERANIE TEPLoty

Teplota zohráva kľúčovú funkciu v rôznych procesoch a dejoch. Odvíjajú sa od nej určité vlastnosti materiálu a má vplyv na celkový priebeh danej operácie. Z tohto dôvodu sa veľké množstvo procesov nezaobíde bez jej priebežného merania. [2]

Teplotu môžeme merať dotykovým alebo bezdotykovým spôsobom. Dotykové meranie je využívané pri nenáročných procesoch, kedy je umožnené priložiť teplotný senzor na objekt, ktorého teplotu chceme merať. Ako teplotné senzory sa v značnej miere používajú termočlánky.

Ak je z určitého dôvodu, ako sú napr. vysoká teplota alebo pohyb objektu, zabránené pripevneniu termočlánku, využívajú sa metódy bezkontaktného merania teplôt. Sú založené na vyžarovaní elektromagnetického žiarenia o veľkosti vlnovej dĺžky $\lambda = 0,4 \div 25 \mu\text{m}$. Infračervená pyrometria, ako sa bezdotykové meranie teplôt niekedy nazýva, prináša určité výhody ako:

- meranie teplôt na objektoch konajúcich pohyb
- meranie teploty z bezpečnej vzdialenosti od objektu
- možnosť zaznamenať rýchle zmeny teploty a vysoké teploty
- možnosť zachytávať teploty celých povrchov, nie len daného bodu
- zníženie pravdepodobnosti možného ovplyvnenia meraného objektu
- nedochádza k mechanickému opotrebeniu čidla

Na druhej strane, tak isto ako výhody prináša so sebou aj určité negatíva:

- nutnosť optického kontaktu medzi snímačom a objektom
- nepresnosti spôsobené nesprávnym nastavením parametrov objektu a prostredia (emisivita meraného objektu, transmisivita prostredia...)
- nepresnosti spôsobené nepresnou kalibráciou meradla
- vyššia nákupná cena

Prístroje využívané na bezdotykové meranie teplôt sa nazývajú pyrometre a termovízie.[2]



Obr. 1.1 Pyrometer Micro Temp TQ-1[3]



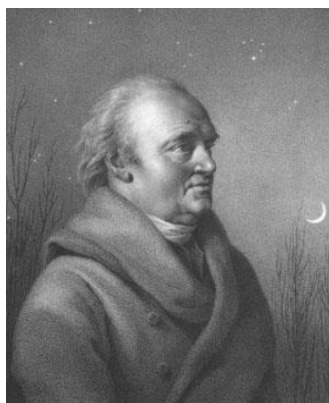
Obr. 1.2 Termokamera FLUKE TiS [4]

2 TERMOVÍZIA

„Tento rýchly technologický vývoj vedie k paradoxnej situácii , že celosvetovo je predaných viac termovíznych kamier ako je ľudí, ktorí chápu fyzikálne pozadie a vedia interpretovať pekné a farebné obrázky z displeja. Infračervené kamery ľahko vytvárajú obrázky , ale bohužiaľ, niekedy je veľmi ťažké aj pre špecialistov kvantitatívne popísať aj niekoľko najjednoduchších pokusov alebo pozorovaní“¹.

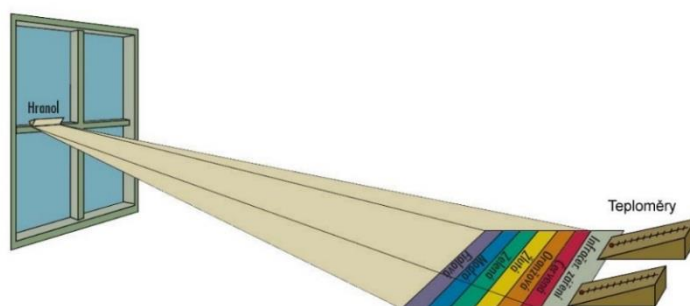
2.1 HISTÓRIA [6]

Prvý míľnik v histórii infračerveného žiarenia datujeme na rok 1800, kedy sa anglickému astronómovi sirovi Frederickovi Williamovi Herschelovi, preslávenému konštruovaním ďalekohľadov a objavením planéty Urán, podarilo objaviť infračervené žiarenie pri jeho pokuse s hranolom, ktorému predchádzalo pozorovanie slnečného žiarenia cez rôzne farebné sklá, pri ktorom sa dopracoval k zisteniu, že rôzne sklá prepúšťali rôzne množstvá slnečného tepla.



Obr. 2.1 Sir. Frederick William Herschel [6]

V pokuse s hranolom bola značná podobnosť s Newtonovým experimentom s tým rozdielom, že sa nezaoberal rozložením svetelnej intenzity, ale tepelným efektom celého spektra. Postupným posúvaním teplomera cez všetky farby viditeľného spektra zaznamenal nárast teploty a predpokladal, že v určitom bode musí existovať maximum. Zvláštny jav nastal, keď teplota neprestala rásť ani po opustení viditeľného spektra a maximum zaznamenal až v značnej vzdialenosti od oblasti červenej farby. Táto oblasť je dnes známa ako „oblasť infračervených vlnových dĺžok“. Pojem „infračervené“ sa zaviedol až niekoľko desaťročí po originálnom pomenovaní oblasti neviditeľného žiarenia ako „termické spektrum“ samotným Herschelom.



Obr. 2.2 Pokus F. W. Herschela s hranolom [7]

¹ VOLLMER, Michael a Klaus-Peter MÖLLMANN. *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. Weinheim: Wiley-VCH, c2010, xvii, 593 p. ISBN 3527407170.

Prvý tepelný obraz bol vytvorený v roku 1840 Johnom Hreschelom, synom Williama Herschela. Pri odparovaní tenkej vrstvy oleja, ktorá bola vystavená tepelnému žiareniu bolo na základe odrazeného svetla a infračervených účinkov vrstvy možné uzrieť tepelný obraz voľným okom. Sir John Herschel tiež vytvoril záznam tepelného obrazu na papier a pomenoval ho „termograf“.

Neskorší vývoj bol založený na objave bolometru, ktorý meria tok žiarenia a väčšinou sa spájal s vojenskými účelmi. V priebehu prvej svetovej vojny boli skonštruované prvé detekčné zariadenia na báze infračerveného žiarenia. Umožňovali detegovať blížiacu sa lietadlo na vzdialenosť 1,5 km respektíve blížiacu sa osobu na vzdialenosť 300m.

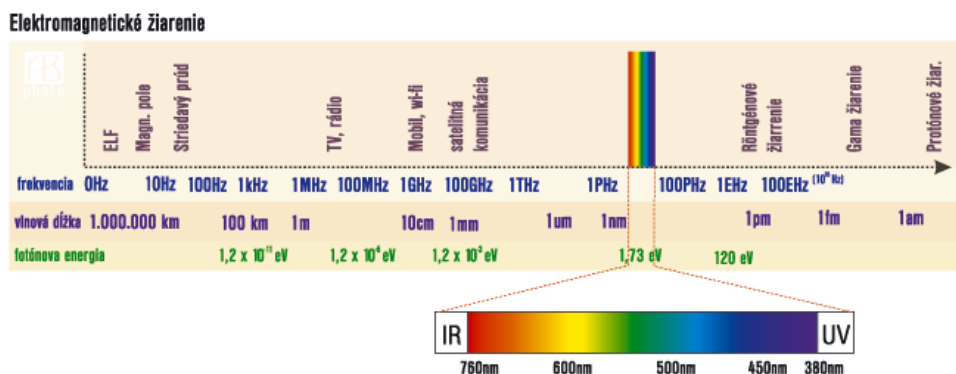
V medzivojnovom období nastal obrat z dôvodu objavenia nových detektorov IR žiarenia. Jednalo sa o konvertor obrazu a fotónový detektor, o ktoré prejavila záujem najmä armáda z dôvodu umožnenia „videnia v tme“. Negatívom však bola nutnosť vysielania vyhľadávacích infračervených paprskov, čo mohlo viesť k odhaleniu nie len nepriateľa, ale aj pozorovateľa. To viedlo k strate záujmu o tieto aktívne systémy a do popredia sa dostal výskum nových, pasívnych (bez potreby vyhľadávacích paprskov), systémov na základe fotónového detektoru. V čase výskumu bolo na infračervenú zobrazujúcu techniku uvalené informačné embargo. Jeho zrušenie viedlo k rýchlemu rozšíreniu tejto techniky do oblastí vedeckého, technického a bežného života. Prvý termografický systém na komerčné použitie bol vyrábaný švédskou firmou AGA v roku 1965.

2.2 ELEKTROMAGNETICKÉ ŽIARENIE

Elektromagnetické žiarenie je určitý spôsob prenosu energie žiarením (vlnením). Jeho základným parametrom je vlnová dĺžka λ [m], ktorá určuje vzdialenosť medzi dvomi vlneniami, ktoré kmitajú vo fáze. Je závislá na rýchlosti šírenia vlny v priestore v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a na frekvencii f [Hz].

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

Každé teleso s teplotou viac ako 0 K (absolútna nula) vyžaruje elektromagnetické žiarenie o určitých vlastnostiach (rýchlosť šírenia, frekvencia, vlnová dĺžka...), ktoré sú závislé na teplote. Z tohto faktu vychádzajú metódy bezkontaktného snímania teploty. Snímače (detektory žiarenia) na jednotlivých meracích zariadeniach prijímajú vysielané žiarenie od objektu a konvertujú ho na informácie o povrchovej teplote. [8]



Obr.2.3 Spektrum elektromagnetického žiarenia [9]

Infračervená pyrometria (obr. 2.3) využíva spektrum elektromagnetického žiarenia o veľkosti vlnových dĺžok 0,4 μm až 25 μm . Do tohto spektra spadá:

- oblast viditeľného spektra (0,4 ÷ 0,78 μm)
- oblast blízkeho infračerveného spektra (0,78 ÷ 1 μm)
- oblast krátkovlnného infračerveného spektra (2 ÷ 3 μm)
- oblast stredovlnného infračerveného spektra (3 ÷ 5 μm)
- oblast dlhovlnného infračerveného spektra (5 ÷ 25 μm)

Oblasť krátkovlnného, stredovlnného a dlhovlnného infračerveného spektra EM žiarenia sa spoločne označuje ako oblasť tepelného žiarenia. Využívaný rozsah 0,4 μm až 25 μm umožňuje merať teplotu v rozmedzí -40 ÷ +10000°C. [2]

2.2.1 STEFAN – BOLTZMANOV ZÁKON

Popisuje závislosť medzi teplotou povrchu a tepelným žiarením (obr. 2.4). Udáva nám intenzitu vyžarovania pre určitú teplotu v celom rozsahu vlnových dĺžok [2]. Z rovnice Stefan – Boltzmannovho zákona (2.2) vyplýva, že intenzita žiarenia narastá spolu so štvrtou mocninou teploty telesa.

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{0\lambda} d\lambda = \sigma \cdot T^4 \quad (2.2)$$

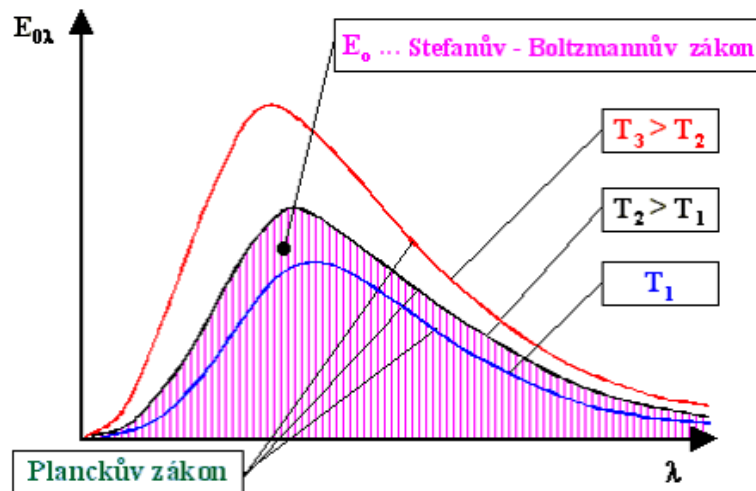
kde:	E_0	hustota intenzity žiarenia [Wm^{-2}]
	$E_{0\lambda}$	spektrálna hustota intenzity žiarenia absolútne čierneho telesa [W m^{-2}]
	σ	Stefan – Boltzmannova konštanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)
	T	teplota [K]

2.2.2 PLANCKOV ZÁKON

Z dôvodu nevhodnosti použitia Stefan – Boltzmannovho zákona v praxi sa používa Planckov zákon (2.3), ktorý vyjadruje závislosť spektrálnej hustoty intenzity žiarenia čierneho telesa na teplote a aj vlnovej dĺžke (obr. 2.4).

$$E_{0\lambda} = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1} \quad (2.3)$$

kde:	C_1	prvá vyžarovacia konštanta ($C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$)
	C_2	druhá vyžarovacia konštanta ($C_2 = 1,438810^{-2} \text{ Km}$)
	λ	vlnová dĺžka [m]
	T	teplota [K]



Obr. 2.4 Graf Steffan-Boltzmannovho a Planckovho zákona [10]

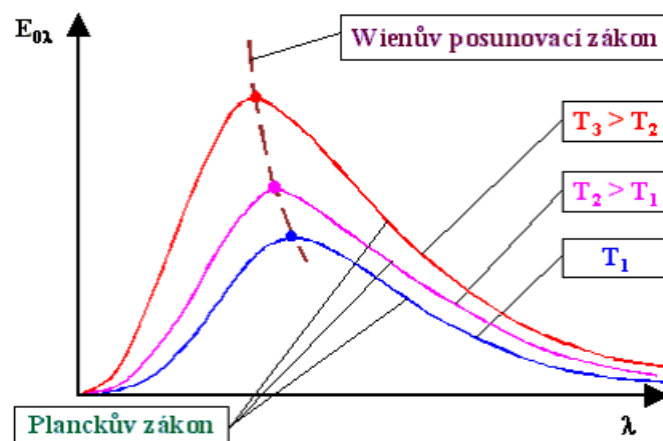
2.2.3 WIENOV ZÁKON POSUNU

Wienov zákon (obr. 2.5) vychádza priamo z Planckovho zákona a to tak, že zderivujeme spektrálnu hustotu intenzity žiarenia absolútne čierneho telesa $E_{0\lambda}$ podľa vlnovej dĺžky λ a položíme túto deriváciu rovno nule.

$$\frac{dE_{0\lambda}}{d\lambda} = 0 \quad (2.4)$$

Slovné znenie Wienovho zákona znie: „S narastajúcou teplotou žiariča sa posúva maximálna hodnota hustoty spektrálneho žiarivého toku $E_{0\lambda}$ ku kratším vlnovým dĺžkam“ [10]. To môžeme vyjadriť matematicky ako:

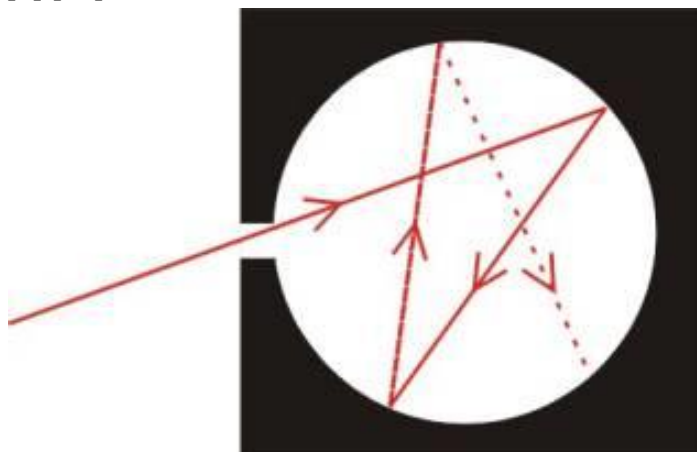
$$\lambda_{max} \cdot T = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ Km} \quad (2.5)$$



Obr.2.5 Graf Planckovho a Wienovho zákona posunu [10]

2.3 DOKONALE ČIERNE TELESO

Všetky vyššie uvedené zákony platia pre dokonale čierne teleso. Je to neexistujúce teleso, ktoré pri konštantnej teplote pohlcuje všetko elektromagnetické žiarenie, ktoré dopadne na jeho povrch bez ohľadu na jeho vlnovú dĺžku. Napriek tomu však platí aj to, že je dokonalým žiaričom, čo znamená, že z telies s rovnakou absolútnou teplotou vyžaruje najväčšie dosiahnuteľné množstvo žiarenia. Ako najjednoduchší model dokonalého čierneho telesa si môžeme predstaviť teleso s dutinou a vstupným otvorom (obr. 2.6) Žiarenie, ktoré vstúpi do dutiny je postupne pohltené počas jednotlivých odrazov a uniknuté žiarenie nie je žiadne alebo je nekonečne malé. [5] [11]



Obr. 2.6 Model dokonale čierneho telesa [11]

2.3.1 EMISIVITA

Keďže dokonale čierne teleso neexistuje, bol zavedený pojem emisivita, ktorý číselne popisuje zhoršenú schopnosť materiálu vyžarovať žiarenie. Emisivita je definovaná ako pomer intenzity vyžarovania skutočného telesa a intenzity vyžarovania dokonale čierneho telesa za predpokladu, že majú rovnakú teplotu

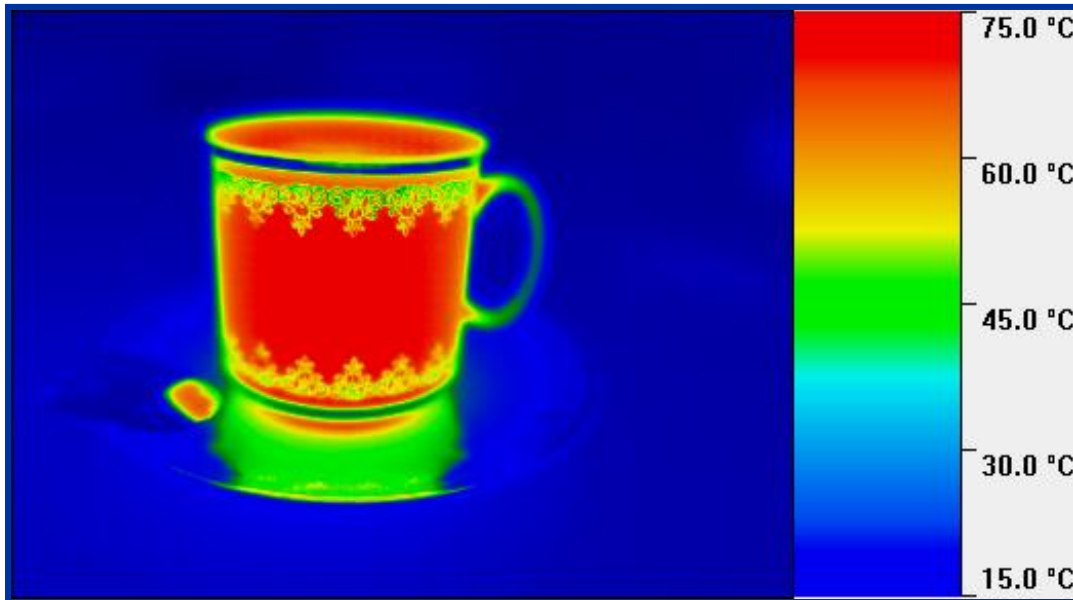
$$\varepsilon = f(\lambda, T) = \frac{E}{E_0} = [-] \quad (2.5)$$

Jedná sa o bezrozmernú veličinu nadobúdajúcu hodnoty z intervalu (0;1), 1 pre dokonale čierne teleso. V tabuľke 1 sú uvedené príklady hodnôt emisivity vybraných materiálov.

Tab. 1 Hodnoty emisivity vybraných materiálov [12] [13]

Materiál	Poznámka	Teplota [°C]	Emisivita [-]
ocel	valcovaná za studena	93	0,75 – 0,85
	plech leštený	38	0,07
betón	drsny	0 – 1093	0,94
tehla	červená, surová	21	0,93
meď	surová	38	0,74
hliník	vysoký lesk	100	0,09
železo	hrdzavé	25	0,65

Hodnota emisivity telesa závisí na troch kľúčových faktoroch. Materiál, kvalita povrchu a uhol pozorovania. Pre jeden druh materiálu je možné určiť viacero hodnôt emisivity závislých na štruktúre a spracovaní povrchu. Emisivity leštených kovov sa pohybujú pod hodnotami 0,1, avšak u drsných kovových materiálov sa tieto hodnoty vyšplhajú až na 0,8. [14]



Obr.2.7 Vplyv zmeny hodnoty smerovej emisivity v tangenciálnom smere na vyobrazenie teploty na okraji pohára [10]

2.4 INFRAČERVENÉ ŽIARENIE

IR žiarenie, ako sa skrátene označuje, tvorí časť spektra elektromagnetického žiarenia s veľkosťou vlnovej dĺžky väčšou ako viditeľné svetlo, ale menšou ako mikrovlnné žiarenie (obr. 2.8). Číselne sa hodnoty vlnovej dĺžky pohybujú od 760 nm do 1 mm. V značnej miere sa nachádza všade okolo nás, pretože žiarenie vysielané od všetkých objektov o izbovej teplote má charakter infračerveného žiarenia ($\lambda = 8 - 12 \mu\text{m}$).



Obr.2.8 Oblasť IR žiarenia v spektre elektromagnetického žiarenia [15]

Aj napriek k tomu, že IR žiarenie nepatrí do viditeľného spektra elektromagnetického žiarenia, jeho vplyv a následky na ľudský organizmus sa môžu prejavovať aj viditeľne. Pri vyššej hodnote jednorazového ožiarenia o nízkych vlnových dĺžkach môže dôjsť ku vzniku spáleniny. Ako je to možné?

Povrchy telies prijímajú hociktorý druh EM žiarenia, čím dochádza k zahriatiu ich povrchu a následne do prostredia vyžarujú teplo. Infračervené žiarenie nie je výnimkou, ba dokonca býva označované ako „tepelné“ žiarenie. Umožňuje výmenu a prenos tepla bez toho, aby došlo k zahriatiu okolitého vzduchu. Vplyv na ľudský organizmus súvisí s prenosom tepla tak, že pri dopade žiarenia na pokožku vyvolá na nervových receptoroch tepelný vnem, čo môže pri vhodných podmienkach viesť k spomínanej spálenine. [16]

V prípade, že nastane rovnovážny stav medzi vyžarovaným a prijímaným žiarením, dostávame sa do tzv. stavu tepelnej pohody. V iných prípadoch nastane pocit chladu, respektíve tepla.

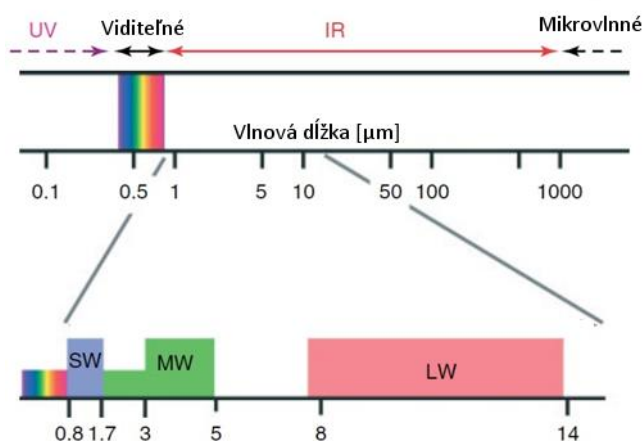
2.4.1 ROZDELENIE IR ŽIARENIA [5]

Termografia využíva len určitú úzku časť spektra IR žiarenia, ktorá je rozdelená na pásma (obr. 2.9). Typicky definované pásma poznáme 3. Sú to:

- long –wave region (LW) - dlhovlnné pásmo (približne 7 –14 μm)
- midwave region (MW) - stredovlnné pásmo (približne 3 – 5 μm)
- shortwave region (SW) - krátkovlnné pásmo (približne 0,9 – 1,7 μm)

„Komerčné kamery sú dostupné pre tieto 3 rozsahy. Obmedzenia týchto vlnových dĺžok vychádzajú z množstva tepelného žiarenia, ktoré môžeme očakávať, fyzického hľadiska detektorov a z prenosových vlastností prostredia.“

Rozdelenie IR žiarenia je pomerne dosť nejednotné a je možné nájsť rozdelenia s odlišnými hodnotami vlnových dĺžok alebo pomenovaním jednotlivých oblastí. IR žiarenie je samozrejme možné rozdeliť aj podľa iných faktorov akým je napríklad citlivosť detektorov.



Obr. 2.9 Detail spektra EM žiarenia využívaného termografiou [5]

2.4.2 VYUŽITIE IR ŽIARENIA

IR žiarenie našlo svoje uplatnenie v širokej škále oblastí vedecko – technického zamerania. To však neznamená, že sa s ním nestretávame v bežnom živote. Príklady z najbežnejšieho života sú rôzne detektory a snímače pohybu (obr. 2.10) , napríklad na automatické otváranie dverí, zapínanie osvetlenia alebo aj také diaľkové ovládanie od televízie, ktoré pracuje na báze vysielania impulzov s charakterom IR žiarenia, ktoré sú následne detegované čidlom na ovládanej televízii. [16]

Svoje postavenie má aj v obore komunikácie a prenosu informácií. Medzi najznámejšie príklady patria hlavne mobilné telefóny s infračerveným portom IrDA (obr. 2.11), ktorý umožňuje bezdrôtový prenos informácií a dát na krátku vzdialenosť pomocou IR žiarenia. Prvý infračervený port IrDA bol uvedený na trh v roku 1994.

Významnou a pre ľudský organizmus prospešnou oblasťou používania IR žiarenia je medicína. Preniká do vrchných vrstiev ľudského tkaniva, kde spĺňa najmä regeneračné a preventívne úlohy. Medzi pozitívne účinky môžeme zaradiť prekrvenie a zlepšenie prívodu živín do kože, znižuje bolesť, zápalovú reakciu organizmu a stuhnutosť kĺbového ústrojenstva, regeneruje svalovú hmotu po záťaži a iné. Jeho použitie však nie je doporučené u ľudí s poruchami vnímania tepla a u detí z dôvodu dostatočne nevyvinutej schopnosti termoregulácie. [17]



Obr. 2.10 Pasívny infračervený senzor [18]



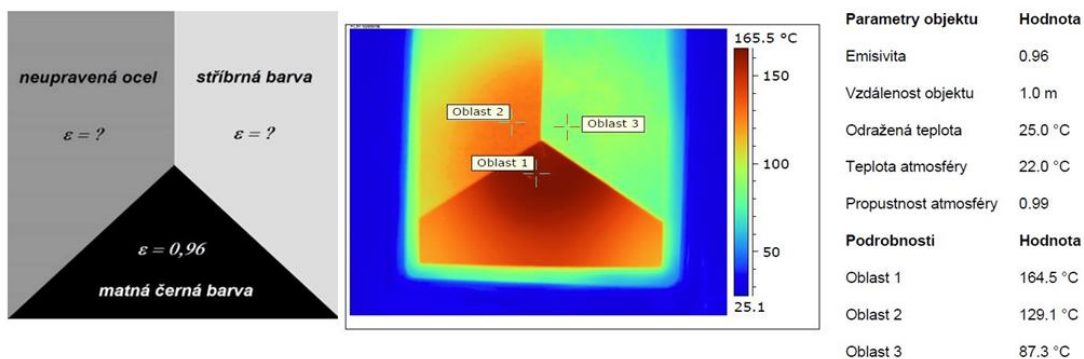
Obr. 2.11 Infračervený port na mobilnom telefóne [19]

2.5 FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE MERANIE

„Pri infračervenom meraní sú dôležité predovšetkým stabilné podmienky okolia. To znamená, klíma, objekty v okolí merania, a taktiež akékoľvek ďalšie faktory vplyvov by sa nemali počas merania meniť. Pri meraní vonku by malo byť počasie stabilné a obloha zatiahnutá, aby bol meraný objekt zatienený ako pred priamym slnečným žiarením, taktiež pred "studeným vyžarovaním oblohy".“² Ako odporúčenie sa uvádza teplotný rozdiel medzi vonkajšou a vnútornou teplotou 20 °C s tým, že vonkajšia teplota by sa mala pohybovať v mínusových hodnotách.

2.5.1 EMISIVITA

Správna hodnota emisivity je jedným z kľúčových faktorov správnosti merania. Na stanovenie správnej hodnoty sa používajú najrôznejšie tabuľky. Využívaná je aj metóda zahriatia povrchu telesa na známu teplotu a následné nastavenie emisivity na meracom zariadení. [21]



Obr. 2.12 Vplyv rôznej emisivity na vyhodnotenie teploty [7]

² Najlepší podmienky při infračerveném měření. [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.termokamera.com/testo/0/0/2/44>

Na obr. 2.12 je znázornený vplyv rôznej emisivity na vyhodnotenie povrchovej teploty. Ocel'ová doska bola rozdelená na 3 oblasti s rôznym povrchovým náterom a zahriata na konštantnú, rovnakú teplotu. Z priloženého vyhodnotenia termografu je však zrejmé, že povrchové teploty každej z častí sa javia dosť odlišne. [7]

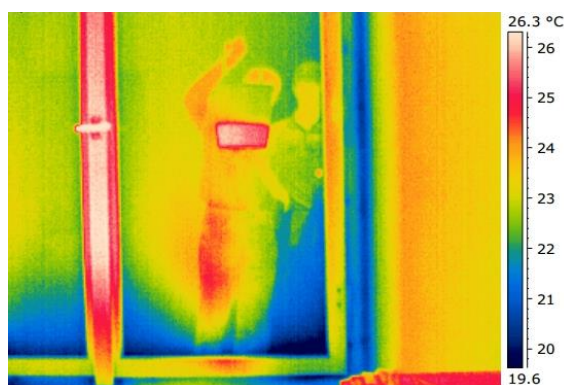
2.5.2 ODRAZENÁ TEPLOTA

Odrazená teplota spolu s nesprávnou emisivitou tvoria skupinu najbežnejších chýb pri infračervenom meraní. Je potrebné myslieť na to, že nie len jemné a lesklé materiály typu sklo (obr. 2.13) alebo leštené drevo (obr. 2.14) a kovy poskytujú možnosť odrazu. Aj bežné materiály ako sú tehla a betón majú schopnosť odrážať infračervené žiarenie od zdrojov v ich okolí. Nie vždy sa však vizuálny zrkadlový odraz musí prejaviť ako teplotný odraz na snímke z termovíznej kamery. Vznik zrkadlového odrazu žiarenia primárne závisí na štruktúre povrchu.

Zdrojom tejto chyby je paradoxne vo väčšine prípadov samotná osoba, ktorá vykonáva meranie. Vplyv na výsledky merania je možné korigovať nastavením odrazenej teploty na samotnom meracom zariadení, avšak teplotné rozloženie je takmer vždy nepravidelné, čo znižuje celkovú účinnosť tejto korekcie. Do diskusie sa dostávajú aj IR polarizátory, ktoré by mali napomôcť k potlačeniu, alebo aspoň k zisteniu teplotného odrazu. Ako odporúčanie sa uvádza meranie z rôznych smerov a uhlov, aby sa určité teplotné rozdiely mohli pripísať teplotnému odrazom. [5] [7]



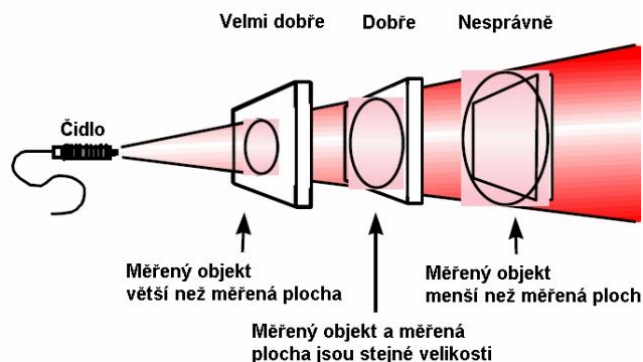
Obr. 2.13 Odraz IR žiarenia na leštenom dreve [5]



Obr. 2.14 Odraz IR žiarenia na skle [7]

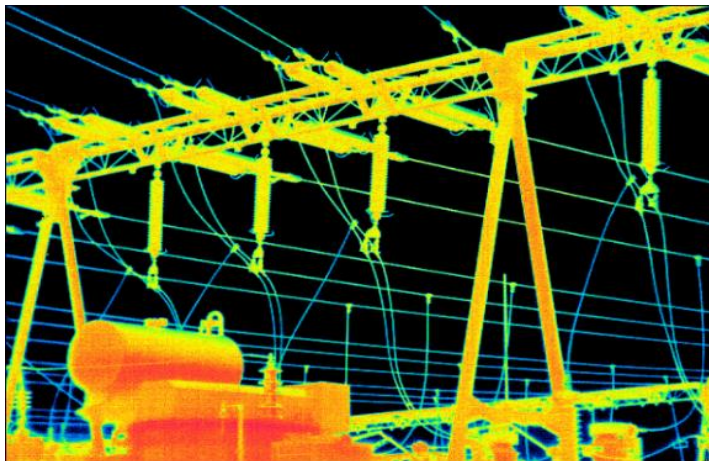
2.5.3 VZDIALENOSŤ

Nastavenie správnej vzdialenosti medzi meraným objektom a objektívom kamery (obr. 2.15) má za úlohu potlačiť vplyv atmosféry na pohlcovanie žiarenia vyžiareného objektom a brať do úvahy aj snímané žiarenie vyžiarené samotnou atmosférou.



Obr. 2.15 Volba správné vzdialenosti merania [21]

Pri meraní sa taktiež snažíme dosiahnuť, aby bol meraný objekt v zornom poli kamery čo najväčší. K takémuto stavu sa môžeme dopracovať zvolením vhodného objektívu a správnu vzdialenosťou merania. Pri nesprávnom vyplnení zorného poľa dochádza k ovplyvneniu merania žiarením pozadia (obr. 2.16) čo vedie ku skresleným informáciám o povrchových teplotách. [10] [21]



Obr. 2.16 Vplyv pozadia na výslednú teplotu malých objektov [10]

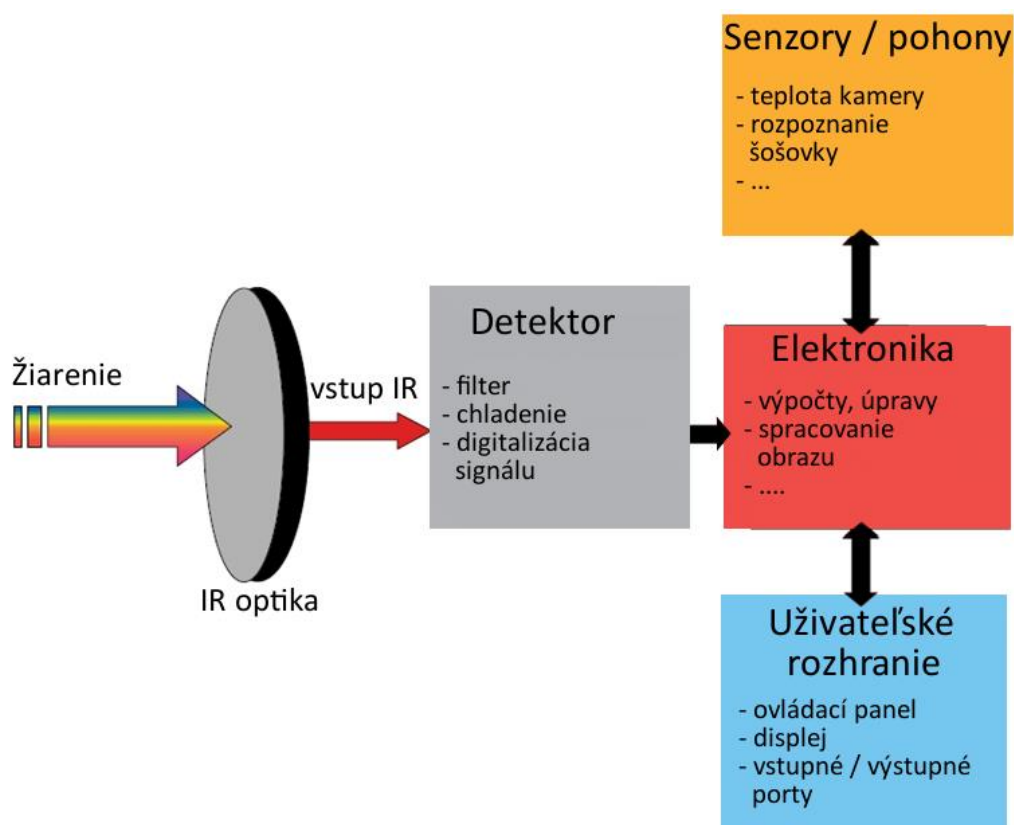
2.5.4 RELATÍVNA VLHKOSŤ

Kamera môže tiež kompenzovať fakt, že priepustnosť atmosféry je závislá od relatívnej vlhkosti. Preto je potrebné nastaviť jej správnu hodnotu. Pre malé vzdialenosti a normálne vlhkosti môže byť hodnota relatívnej vlhkosti ponechaná na prednastavenej hodnote 50%. [6]

3 TERMOVÍZNE KAMERY

Hlavným účelom infračervenej kamery je previesť infračervené žiarenie na farebný (alebo obsahujúci šedú stupnicu) vizuálny obraz. Tento vizuálny obraz by mal predstavovať dvojrozmerné rozloženie infračerveného žiarenia vyžarovaného objektom alebo scénou. Z týchto údajov je kamera schopná vyhodnotiť povrchové teploty objektov v jej zornom poli. Na základe toho procesu je možné definovať základné časti termovíznej kamery (obr. 3.1) [5]:

- 1) optika
- 2) detektor
- 3) chladenie, stabilizácia teploty detektoru
- 4) elektronika na spracovanie vstupných údajov
- 5) užívateľské rozhranie – vstupné a výstupné porty, displej, software



Obr. 3.1 Schematický náčrt základných častí termovíznej kamery [5]

3.1 ROZDELENIE

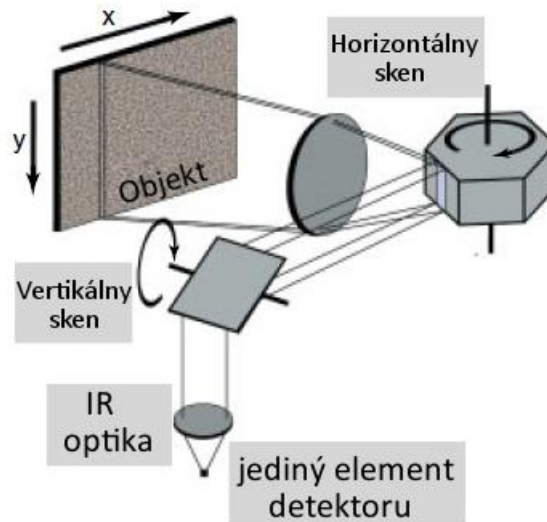
Termovízne kamery môžeme rozdeliť podľa rôznych parametrov. Najzákladnejšie rozdelenie je prevedené podľa spôsobu zobrazovania na:

- a) kamery s rozkladom obrazu
- b) kamery s maticovým detektorom FPA (Focal Plane Array) bez rozkladu obrazu

Medzi ďalšie môžeme zaradiť rozdelenie podľa chladienia (chladený detektor, nechladený), podľa rýchlosti záznamu (rýchle - videosekvencie, pomalé), podľa počtu komponentov (kompaktné, viackomponentové). [10]

3.1.1 KAMERY S ROZKLADOM OBRAZU

Základom tohto typu kamier je 2D optický systém spolu s jediným elementom detektoru IR žiarenia, ktoré zabezpečujú postupné, systematické vyobrazenie snímanej plochy po jednotlivých segmentoch - pixeloch. Dve rotujúce zrkadlá umožňujú postupné snímanie IR žiarenia v horizontálnom a vertikálnom smere (obr. 3.2). [5]



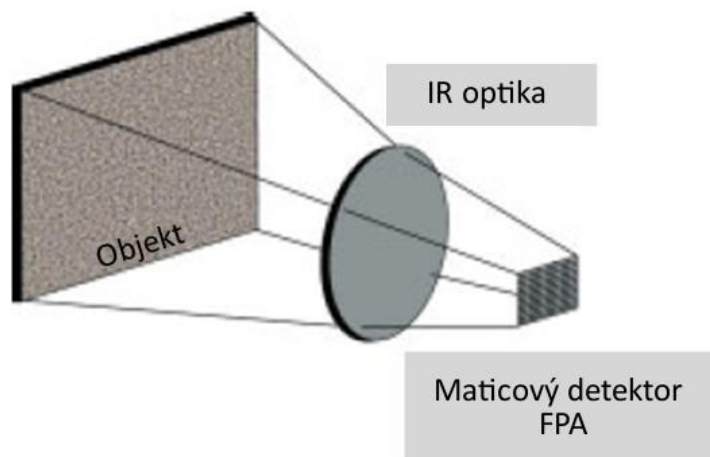
Obr. 3.2 Tvorba obrazu snímaním žiarenia v horizontálnom a vertikálnom smere [5]

Používaním rýchlych fotónových detektorov sa dosahujú krátke časy potrebné na sformovanie obrazu, pri stále dostačujúcom množstve pixelov. Napríklad, kamera o rozlíšení 272 x 136 pixelov (136 riadkov, 272 pixelov v každom riadku) a snímkovej frekvencii 15 Hz (schopná vytvoriť 15 ucelených snímok za 1 sekundu) nasníma 1 pixel za 1,8 μ s. V závislosti na rozlíšení kamery sa mení hodnota počtu snímok, ktorých je kamera schopná zachytiť počas jednej sekundy a to tak, že s narastajúcim počtom pixelov dochádza k znižovaniu snímkovej frekvencie. Je možné tomuto faktu predísť znížením času pre snímanie jedného pixelu. To však so sebou prináša viac nevýhod ako je prijímanie zníženého signálu objektu, väčší rušivý šum okolia a skreslené výsledky. [5]

Z dôsledkov určitého obmedzenia v počte pixelov a v hodnote snímkovej frekvencii sú systémy s rozkladom obrazu v pozadí oproti skenerom s maticovým detektorom. Aj napriek tomu sa však stále využívajú, a to hlavne pri snímaní pohybujúcich sa objektov. Dôvod je prostý. Je potrebné snímať len jeden z dvoch smerov – horizontálny (jeden riadok). Snímanie vo vertikálnom smere je zabezpečené samotným pohybom objektov voči kamere. Líniové snímače ponúkajú vysoké hodnoty snímkovej frekvencie (2000 – 3000 riadkov za sekundu) aj počtu pixelov (do 5000 pixelov na riadok), no zvýšením jednej hodnoty dôjde k automatickému zníženiu hodnoty druhej. [5]

3.1.2 KAMERY S MATICOVÝM DETEKTOROM FPA

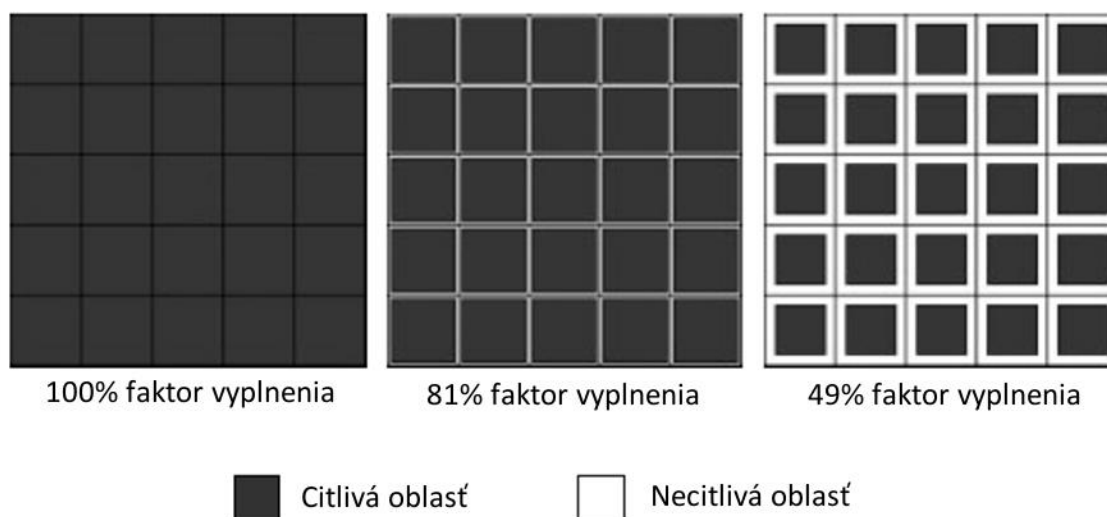
Oproti kamerám s rozkladom obrazu ponúkajú kamery s maticovým detektorom vyššie rozlíšenia pri zachovaní vyšších snímkových frekvencií (obr. 3.5). V týchto systémoch absentujú pohyblivé časti a výsledný obraz je tvorený simultánnym detegovaním dopadajúceho žiarenia na celé zorné pole termovíznej kamery (obr. 3.3). [5]



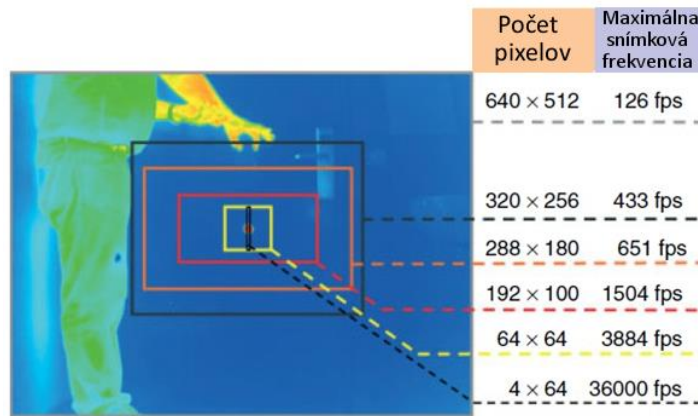
Obr. 3.3 Snímanie obrazu pomocou maticového detektoru [5]

Maticový detektor pozostáva z dvoch častí: IR senzoru z materiálu citlivého na IR žiarenie a integrovaného obvodu, ktorý prvotne prijíma a pomáha spracovávať signály zo senzoru. Na elektrické prepojenie týchto dvoch častí z odlišných druhov materiálov sa používa monolitická integrácia. Samotný senzor má štruktúru matice, ktorej elementy sú tvorené jednotlivými snímačmi IR žiarenia (mikrobolometre, fotónové detektory). Vo výslednom obraze odpovedá jeden pixel údajom zachytených na práve jednom snímači v danom pixeli (elemente matice). [5]

S napredujúcimi technologickými postupmi sú v oblasti termovíznej techniky s maticovým detektorom zjavné tendencie ich vývoja a to hlavne v oblastiach: zvyšovania počtu pixelov (zvyšovanie rozlíšenia), zmenšovania veľkosti jednotlivých pixelov, zvýšenie tepelnej citlivosti kamier, zvyšovania faktoru vyplnenia – pomeru medzi citlivou oblasťou na IR žiarenie a celkovej oblasti maticového detektoru (obr. 3.4). Použitím mikrobolometrov sa dosahujú hodnoty faktoru vyplnenia väčšie ako 80%, pri fotónových detektoroch sa hodnoty dostávajú cez hranicu 90%. [5]



Obr. 3.4 Faktor vyplnenia [5]



Obr. 3.5 Hodnoty maximálne snímkovej frekvencie v závislosti na počte pixelov (kamera FLIR SC6000) [5]

Pred použitím detektora na vyhodnotenie povrchových teplôt, musí prejsť tzv. „korekciou nejednotnosti“ (nonuniformity correction - NUC). Skladá sa z 2 častí: úprava vyosenia a sklonu signálu a z následnej teplotnej kalibrácie. Pri väčšine komerčných kamier táto úprava prebieha už pri ich výrobe, no niektoré kamery pre pokročilejšiu termografiu umožňujú tieto korekcie nastaviť samotným užívateľom. Aj napriek dôkladnej výrobe môže nastať situácia, kedy sa v rozlíšení kamery vyskytne chybný pixel. Uznávaní výrobcovia uvádzajú, že množstvo chybných pixelov na ich detektoroch sa pohybuje v hodnotách menších ako 0,01 %. Ak takýto prípad nastane, elektronika kamerového systému nahradí chýbajúcu hodnotu chybného pixelu priemerom hodnôt z okolitých pixelov. Väčší problém môže nastať v prípade, ak sa chybné pixely nahromadia v jednom mieste a vytvoria zhuk. [5]

3.2 VÝVOJ

Za niekoľko posledných desaťročí prešli termovízne kamery rôznymi zmenami. Došlo k zmene ich rozmerov, váhy (obr. 3.6), kvality obrazu, a takisto sa pozmenili aj účely, na ktoré sa využívajú. Od pôvodných, primárne vojenských účelov, sa používanie termovíznych kamier stalo neodmysliteľnou súčasťou aj nespočetného množstva technických a vedeckých oborov ako stavebníctvo, telekomunikácie, ekológia či medicína.



Obr. 3.6 VĽAVO: Model termovíznej kamery z roku 1969. Váha kamery bola 25 kg, ďalšie príslušenstvo vážilo 40 kg. Taktiež bol potrebný elektrický generátor a 10 l tekutého dusíku. VPRAVO: Model z roku 2009 s váhou 0,34 kg vrátane batérie. [6]

Z historického hľadiska a podľa vývoja detektorov môžeme termovízne kamery rozdeliť do troch generácií.

3.2.1 I. GENERÁCIA

Spadajú sem prvé termovízne kamery vznikajúce v 70. a 80. rokoch 20. storočia, využívané najmä vo vojenskom sektore (obr. 3.7). Pracovali s jednoduchými diskretnými detektormi tvoriacimi matice o veľkosti 100 elementov. Významný posun vpred sa datuje v 80. rokoch príchodom detektoru SPRITE a technológie skenovania. Kamery v tejto dobe pracovali s IR žiarením o veľkosti vlnovej dĺžky 8 – 12 μm a teplotnej citlivosti 0.2 K. [22] [23]



Obr. 3.7 Zástupca kamier I. generácie – FLIR LORIS [23]

3.2.2 II. GENERÁCIA

Pre II. generáciu je typické používanie skenovacieho systému v spolupráci s lineárnym alebo 2D FPA detektorom. Počet elementov sa pohybuje v rozhraní 100 – 10000. Značný bol pokles vo váhe a rozmeroch kamier ako aj v teplotnej citlivosti, ktorá klesla na 0,1 K. Kvalita obrazu zaznamenala oproti I. generácii zjavné zlepšenie. [22] [23]

3.2.3 III. GENERÁCIA

Zástupcov tvoria neskenovacie termovízne systémy pracujúce s chladenými alebo nechladenými 2D FPA detektormi. Počet elementov matice sa pohybuje od hranice 1 milión a viac. Tieto kamery obsahujú plne automatické digitálne spracovanie signálov na integrovaných obvodoch. Úlohou optiky je už len zaostriť obraz na FPA detektor. Zmena kvality obrazu nie je taká jasná ako medzi I. a II. generáciou. Výraznejší kvalitatívny rozdiel sa prejavil použitím detektorov s rozlíšením 640 x 512 pixelov a väčším. [22] [23]

3.3 VÝROBCOVIA

Ako v každom odvetví obchodu aj na trhu s termovíznymi kamerami sa postupom času vytvorila prirodzená konkurencia ako dôsledok príchodu rôznych výrobcov. Prináša to so sebou rôznorodosť produktov a znižovanie cien v rámci boja o zákazníka, čo vôbec nie je nevýhodou pri kúpe vlastného zariadenia. Nákup termovíznej kamery vyžaduje pomerne vysokú prvotnú investíciu (v závislosti na špecifikáciách) a preto je potrebné zohľadniť všetky faktory, ktoré by mohli ovplyvniť výber tej správnej kamery. Všeobecne sa odporúča nákup u certifikovaných predajcov so skúsenosťami ponúkajúcich hardware, software, príslušenstvo, služby a školenia. Pri kúpe termovíznej kamery je dôležité zvážiť, či parametre danej kamery vyhovujú požiadavkám kladeným na merania v oblasti budúceho používania (teplotný rozptyl, citlivosť detektoru, zorné pole...).

Medzi najznámejších výrobcov termovízných zariadení patria firmy ako JENOPTIC AG (Nemecko), FLUKE (USA), Testo (Nemecko). Za svetového lídra v oblasti zobrazovacej techniky patrí švédská firma FLIR System Inc. Ponúka široké spektrum výrobkov v oblasti

termografie pre menej skúsených technikov ako aj pre profesionálov v rozličných odvetviach vedy a priemyslu. S viac ako 60 pobočkami na celom svete zabezpečuje dobrú zákaznickú podporu, servis a školenia. [24]

FLIR System Inc. je preferovaným výrobcom aj na energetickom ústave fakulty strojného inžinierstva. Ústav aktuálne disponuje termovíznymi kamerami FLIR i7 a FLIR SC660. Na základe obmedzeného výberu, ale aj na základe špecifikácií oboch kamier bola na skúmanie budov fakulty zvolená kamera i7. Sám výrobca uvádza jej využitie v oblasti elektroniky a stavebníctva.

3.4 FLIR i7

Termovízna kamera spoločnosti FLIR s modelovým označením i7 (obr. XX) je najvyššou kamerou vo svojej triede „i“ s cenovou hladinou približne 2000 USD. Kamera zaznamenáva snímky vo formáte JPEG, na ktorých sú uložené potrebné dáta z merania, na microSD pamäťovú kartu, pre následné spracovanie v počítačovom softvare FLIR Tools, ktorý je súčasťou každej kamery od spoločnosti FLIR.

Tab. 3.1 Technické parametre kamery FLIR i7[25]

Rozlíšenie	140 x 140 pixelov
Počet pixelov	19600
Typ detektor	nechladený mikrobolometer
Emisivita	nastaviteľná 0,1 – 1
Spektrálny rozsah	7,5 – 13 μm
Teplotný rozsah	-20 °C ÷ 250 °C
Citlivosť detektoru	< 0,1 °C
Zorné pole	29°x 29°
Obrazovka	2,8" farebný LCD displej
Váha	0,340 kg s batériou
Meracie funkcie	bod, oblasť, izoterma
Farebná paleta	železo, dúha, šedá

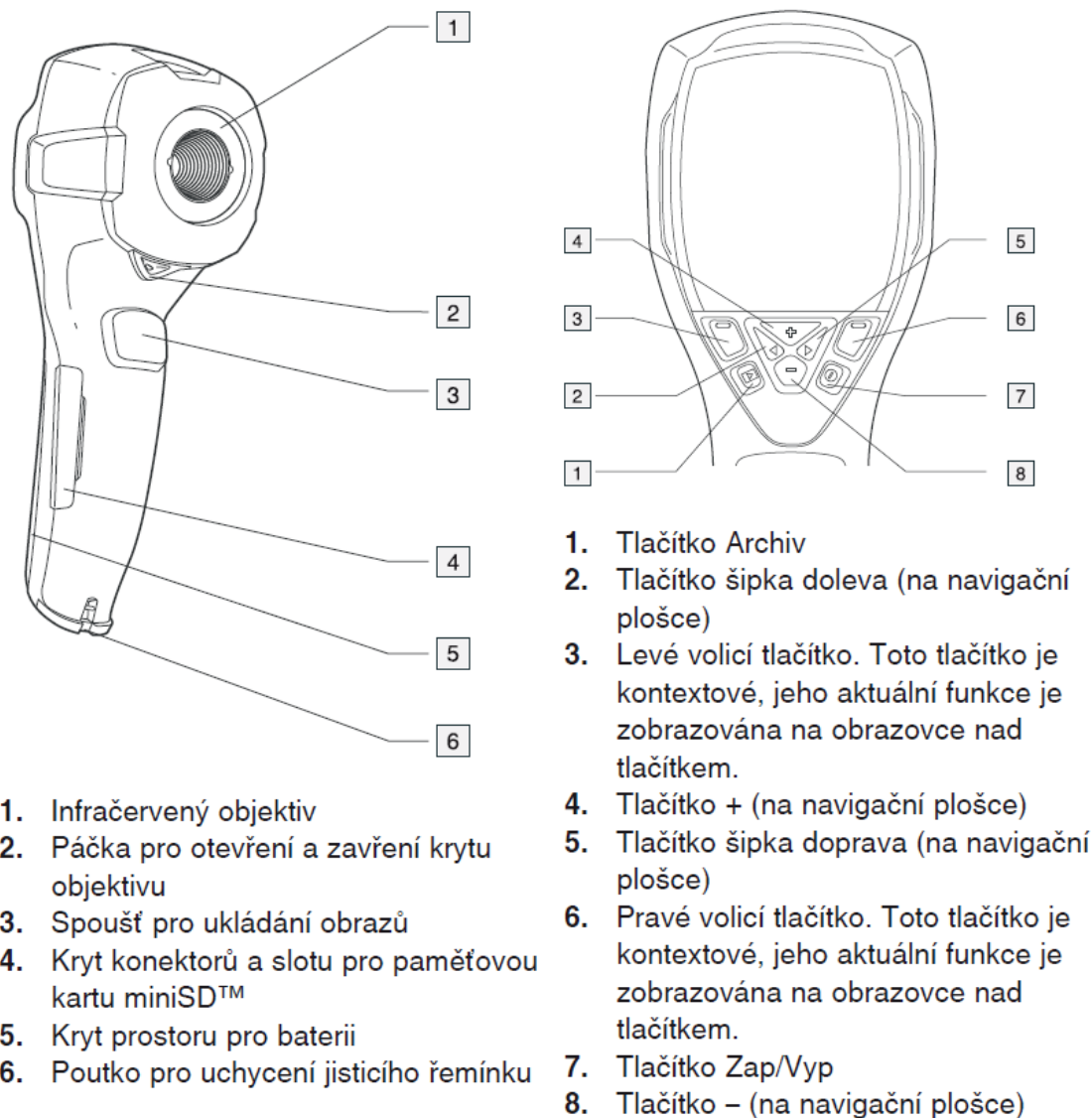


Obr. 3.8 FLIR i7 [10]

Svoje využitie nachádza v oblasti inšpekcie strojov, elektrických zariadení a diagnostiky budov. Jej malé rozlíšenie ju predurčuje na snímanie blízkych objektov vo vzdialenosti do 10 m. Kamera disponuje jednoduchým užívateľským prostredím a vďaka svojim rozmerom a váhe je ideálna do ťažšie prístupných terénov a oblastí. Spolu s kamerou sa v sade nachádza kufor na transport kamery, USB kábel, microSD pamäťová karta, nabíjačka, CD, manuál. [25]

Kamera FLIR i7 je ako každá iná termovízna kamera citlivá na určité vplyvy ako sú vlhkosť, otrasy, prach, dotyk prstou s optikou, vysoká teplota (vysoká intenzita žiarenia) a iné.

Preto je odporučené pri práci, transporte a čistení kamery dodržiavať určité zásady aby dochádzalo k minimálnemu ovplyvneniu merania.



Obr. 3.9 Popis kamery FLIR i7 [10]

3.5 PYROMETRE

Zástupcovia druhej skupiny meradiel používaných na bezkontaktné meranie teplôt sú pyrometre. Z dôvodu zameranie práce na termovíziu, v tejto kapitole nájdete len veľmi stručný popis tejto problematiky.

Jedná sa o bezdotykové teplomery, ktoré spracujú prijatý signál elektromagnetického žiarenia, vyžiareného meraným objektom. Pôvod ich názvu môžeme nájsť v gréčtine, pyr (oheň) a metrein (merať). Pracujú na teoretickom základe Stefan – Boltzmannovho zákona, ktorý hovorí, že intenzita žiarenia rastie so štvrtou mocninou termodynamickej teploty žiariaceho telesa. [26]

Kalibrovanie pyrometrov prebieha pomocou zariadení s presne stanovenou emisivitou (čierne žiariče), ktorých hodnota emisivity sa pohybuje v intervale $<0,99;1$.

Určujú teplotu len jedného, v danom momente snímaného bodu. Jeho veľkosť závisí na optických vlastnostiach pyrometru. Zostavením niekoľkých pyrometrov, je možné dosiahnuť vykreslenie jednoduchého tepelného obrazu. Pyrometre môžeme rozdeliť podľa spôsobu detekcie žiarenia na subjektívne a objektívne. [26]



Obr. 3.10 Kalibrovanie pyrometru [26]

4 ROZBOR NORMY ČSN EN 13187 [27]

Technická norma ČSN EN 13187, Tepelné chovanie budov – Kvalitatívne určenie tepelných nepravidielností v plášťoch budov – Infračervená metóda, je českým ekvivalentom k európskej norme EN 13187 : 1998, ktorá bola v roku 1998 schválená Európskou komisiou pre normalizáciu. Vychádza z medzinárodnej normy ISO 6781 : 1983, ktorá bola upravená z dôvodu vývoja meracej techniky a nadobudnutia nových skúseností pri riešení danej problematiky. Najvýraznejšou zmenou bolo znormalizovanie postupu merania „Zjednodušená skúška s IR kamerou“. Okrem Českej republiky sa k prijatiu a ustanoveniu tejto normy ako národnej zaviazalo ďalších osemnásť európskych krajín.

Daná norma nie je jedinou, ktorá sa venuje problémom v oblasti tepelných strát. Pri navrhovaní a riešení tepelnej izolácie budov je možné využiť poznatky aj z noriem:

- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov
- ČSN EN ISO 8990 Tepelná izolácia - Stanovenie vlastností prechodu tepla v ustálenom stave - Kalibrovaná a chránená teplá skriňa
- ČSN EN 1934 Tepelné správanie budov - Stanovenie tepelného odporu metódou teplej skrine pri použití merača tepelného toku – Murivo
- ČSN EN ISO 6946 Stavebné prvky a stavebné konštrukcie - Tepelný odpor a súčiniteľ prechodu tepla - Výpočtová metóda

4.1 ZÁKLADNÉ POJMY A DEFINÍCIE

V oblasti definícií a zavádzania pojmov vychádza norma ČSN EN 13187 z poznatkov noriem EN ISO 7345 a EN ISO 9288, ktoré môžeme taktiež priradiť do zoznamu v úvode kapitoly 6. Mimo definície v uvedených normách zavádza definície pojmov:

- a) termografia: Stanovenie a znázornenie rozloženia povrchovej teploty pomocou merania hustoty infračerveného žiarenia z povrchu, vrátane vyhodnotenia približných mechanizmov spôsobujúcich nepravidielnosti v tepelných obrazoch.
- b) tepelný obraz: Obraz, ktorý je vytvorený pomocou snímacieho zariadenia infračerveného žiarenia a ktorý znázorňuje rozloženie zdanlivých sálavých teplôt na povrchu.
- c) termogram: Tepelný obraz dokumentovaný fotografiou, zaznamenaný na videozáznam, disketu alebo ako súbor na počítačový hard disk.
- d) zdanlivá sálavá teplota: Teplota stanovená z merania celkovej intenzity sálania.
- e) Izotermný obraz: Tepelný obraz s izotermami.
- f) Izoterma: Oblasť zložená z bodov, čiar, alebo plôch majúcich rovnakú hustotu infračerveného žiarenia.
- g) IR kamera: Snímacie zariadenie infračerveného žiarenia, ktoré poskytuje tepelný obraz na základe zdanlivej sálavej teploty.

4.2 TERMOGRAFICKÁ SKÚŠKA

Podstatou termografickej skúšky je stanoviť rozloženie povrchových teplôt v snímanej časti obalovej konštrukcie a následné vyhodnotenie zaznamenaných termogramov. V prípade zistenia netypického rozloženia teplôt osoba vykonávajúca skúšku posudzuje typ a rozsah poruchy (chybná izolácia, hromadenie vlhkosti, netesnosti a prenikanie vzduchu a iné). Pribeh skúšky je schematicky znázornený na obr. 4.1, v ktorom čiarkované obdĺžniky označujú doporučené doplnkové informácie.

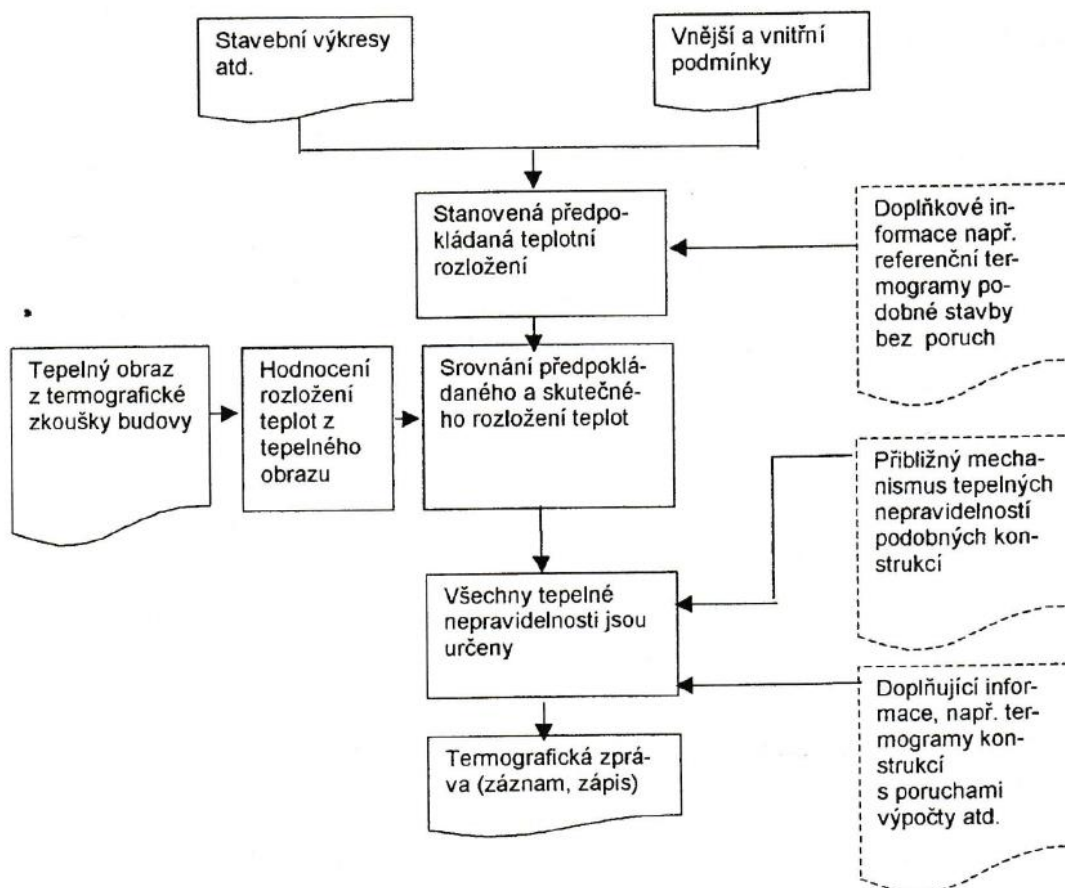
Pre prípravu pred skúškou je možné vychádzať z výkresovej dokumentácie budovy, ktorá môže dopomôcť k stanoveniu správnej hodnoty emisivity rôznych meraných povrchov. Atmosférické podmienky (teploty, tlaky, relatívna vlhkosť, poveternostné podmienky, zrážky, oblačnosť) sa zaznamenávajú. Teplota sa meria s presnosťou ± 1 °C, tlak s presnosťou ± 2 Pa.

V prípade dokazovania prítomnosti prenikania vzduchu je potrebné, aby bol medzi vonkajšou a vnútornou stranou plášťa tlakový rozdiel o hodnote minimálne 5 Pa. V takomto prípade sa skúška prevádza z tej strany, na ktorej je hodnota tlaku nižšia. Ak termogramy ukazujú prenikanie vzduchu, jeho prítomnosť je potrebné overiť zmeraním rýchlosti vzduchu v danom mieste.

„Rozloženie teplôt sa vyhodnocuje podľa termogramov. Ak sa tieto rozloženia líšia od predpokladaných, je potrebné to uviesť. Ak nepravidelnosti nemôžu byť prisúdené odchýlkam v emisivite alebo hodnote súčiniteľa prestupu tepla, potom tieto nepravidelnosti musia byť prehlásené za poruchy.“

K vyhodnoteniu termogramov je možné použiť v norme priložené referenčné termogramy bez porúch alebo so zámernými poruchami. Výstupom termografickej skúšky je protokol (obr. 4.2). Norma rozlišuje 2 protokoly:

- protokol o skúške s IR kamerou
- protokol o skrátenej skúške IR kamerou



Obr. 4.1 Schematický náčrt priebehu termografickej skúšky [27]

TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ		Objekt:			Číslo listu:	
Kamera:	Rozsah:	až	[°C]	Objektiv:	Datum:	
Snímek:	Směry t_R	t_R [°C]	Místa známé emisivity či kontrolní teploty	ε [-]	t [°C]	Poznámka:
	Zepředu					
	Zezadu					
	Zprava					
	Zleva					
	Shora					
	Zdola					

Obr. 4.2 Ukážka vhodnej tabuľky do protokolu o termovíznej skúške [10]

4.2.1 PROTOKOL O SKÚŠKE S IR KAMEROU

Skúška s IR kamerou sa využíva pri kontrole celkového chovania nových alebo zrekonštruovaných budov. Podľa normy ČSN EN 13187 musí protokol o skúške s IR kamerou obsahovať:

- popis skúšky s odkazom na túto normu a uvedenie, že bola prevedená skúška s IR kamerou, meno zákazníka a jeho úplná adresa
- stručný popis konštrukcie budovy (informácie musia vychádzať z výkresovej alebo inej dostupnej dokumentácie)
- typy povrchových materiálov použitých v konštrukcii a stanovené hodnoty emisivít týchto materiálov
- orientácia budovy k svetovým stranám a popis okolia (budovy, vegetácia, krajina atď.)
- určenie použitého zariadenia s uvedením výrobcu, typu a výrobného čísla
- dátum a hodina skúšky
- vonkajšia teplota vzduchu, uvedú sa aspoň minimálne a maximálne hodnoty zaznamenané
 - počas 24 h pred začiatkom skúšky
 - počas skúšky
- celkové informácie o podmienkach slnečného žiarenia pozorovaného počas 12 h pred začiatkom skúšky a počas skúšky
- zrážky, smer a rýchlosť vetra počas skúšky
- teplota vnútorného vzduchu a rozdiel teplôt medzi vnútornou a vonkajšou stranou obvodového plášťa počas skúšky
- rozdiel tlakov vzduchu na záveternej a náveternej strane, v prípade potreby pre každé poschodie
- iné dôležité faktory ovplyvňujúce výsledky, napr. náhle zmeny v počasí
- údaje o všetkých odchýlkach od požiadaviek skúšky
- náčrtok a/alebo fotografie budovy znázorňujúce polohy termogramov
- termogramy s uvedením teplotnej hladiny získanej pri skúške ukazujúce časti budov, kde boli zistené poruchy s určením ich odpovedajúcich polôh, a polohu IR kamery s ohľadom na účel merania a s komentárom ku vzhľadu tepelných obrazov, ak je možné s odkazom na správne prevedenie sa ďalej uvedie miesto rovnakého obvodového plášťa budovy
- identifikácia častí skúšanej budovy

- q) výsledky analýzy zaoberajúce sa typom a rozsahom každej poruchy, ktorá bola zistená, relatívny rozsah poruchy porovnaním porušenej časti plášťa s podobnými časťami v celej budove.
- r) výsledky doplňujúce meranie a šetrenie
- s) dátum a podpis

4.2.2 PROTOKOL O SKRÁTENEJ SKÚŠKE IR KAMEROU

Skrátená skúška s IR kamerou sa používa pri auditoch v miestach rekonštrukcie alebo pri výrobných kontrolách. Protokol o skrátenej skúške je časť normy, ktorá bola do pôvodného znenia pridaná po jej úprave. Ako vyplýva z jeho názvu, jedná sa o skrátenu verziu predchádzajúceho protokolu a pozostáva z bodov a, b, f, j, k, l, m, p, q, r, s. Body p, q majú pozmenené znenie:

- p) popis častí skúmanej budovy
- q) typ, rozsah a poloha každej zistenej poruchy

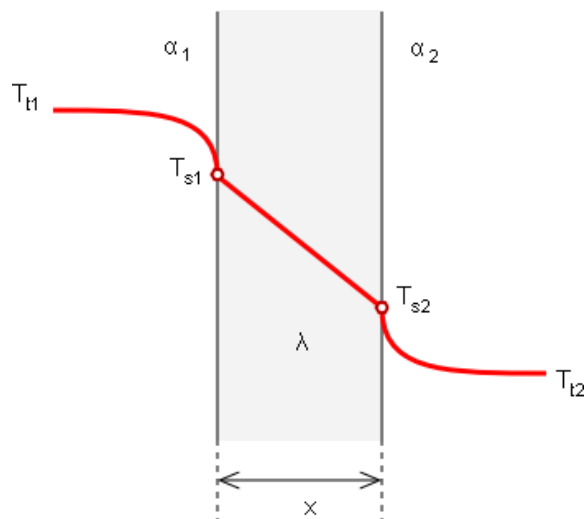
5 TEPELNÉ STRATY BUDOV

Vývoj cien energií a vidinu ušetrenia niekedy nemalých finančných prostriedkov môžeme považovať za jedny z hlavných dôvodov, prečo sa snažíme tepelné straty priviesť na minimum. Definujeme ich ako množstvo tepla odvedeného za danú dobu z vykurovaného prostredia do vonkajšieho prechodom tepla a vetraním. [28]

5.1 PRECHOD TEPLA

Ako vyplýva z II. termodynamického zákona, teplo sa vždy prenáša z teplejšieho objektu na studenší. Studenší objekt nebude nikdy samovoľne predávať teplo do objektu teplejšieho. Pri prenose tepla medzi dvomi tekutinami cez pevnú prekážku (stena, trubka) tomu nie je inak. V takom prípade môžeme hovoriť o tzv. prechode tepla. Prechod tepla prebieha v určitých fázach, ktoré majú svoj charakteristický priebeh teplôt (obr. 5.1) [29]:

- konvekcia (prúdenie) medzi vnútornou tekutinou a povrchom prekážky
- kondukcia (vedenie) cez prekážku
- konvekcia (prúdenie) medzi povrchom prekážky a vonkajšou tekutinou



Obr. 5.1 Priebeh teplôt pri prechode tepla [30]

5.2 KONVEKCIA

Konvekcia je veľmi zložitý dej, ku ktorému dochádza pri styku tekutiny a steny o rozdielnych teplotách, čo vedie k prenosu tepla medzi týmito dvomi médiami. Základné rozdelenie konvekcie je na konvekciu *prirodenú* a *nútenú*. Ako vyplýva z ich názvu, nútená konvekcia je vyvolaná pôsobením mechanickej sily (ventilátor, čerpadlo) naopak prirodzená konvekcia je vyvolaná bez zásahu z vonkajšieho prostredia (rozdiel hustôt, gravitačná sila). [31]

Na číselné vyjadrenie hodnoty tepelného toku sa používa Newtonov vzťah

$$\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot (T_w - T_\infty) \quad (5.1)$$

kde:	\dot{Q}	tepelný tok [W]
	α	súčiniteľ prestupu tepla [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]
	S	plocha povrchu steny [m^2]
	T_w	teplota povrchu steny [K]
	T_∞	teplota okolia [K]

Súčiniteľ prestupu tepla α udáva množstvo tepla, ktoré prejde jednotkovým povrchom za jednotku času. Je závislý na množstve veličín (rýchlosť prúdenia, tvare obtekaného povrchu atď.) a jeho hodnotu nehľadáme v tabuľkách. Je možné stanoviť ju experimentálne, výpočtom z diferenciálnych rovníc, na základe teórie podobnosti alebo z tvaru tepelnej medznej vrstvy (obr. 5.2). Pre prirodzenú konvekciu u plynov nadobúda hodnoty $2 - 25 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, pri kvapalinách sa jeho hodnoty môžu pohybovať v rádo vo vyšších hodnotách a to $50 - 1000 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. [32]



Obr. 5.2 Tvary tepelných medzných vrstiev [32]

5.3 VEDENIE

Vedenie tepla sa riadi empirickým Fourierovým zákonom, ktorý má tvar:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \text{grad } T \quad (5.2)$$

kde:	\dot{Q}	tepelný tok [W]
	λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]
	S	plocha steny [m^2]
	$\text{grad } T$	teplotný gradient

Záporné znamienko vyjadruje fakt, že v smere prechodu tepla dochádza k poklesu teploty. V literatúre sa často stretávame s veličinou $\dot{q}[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$, ktorá určuje hustotu tepelného toku a vyjadruje sa ako tepelný tok na jednotkovú plochu. [32]

Teplotný gradient má všeobecný tvar

$$\text{grad } T = \frac{dt}{dx}i + \frac{dt}{dy}j + \frac{dt}{dz}k \quad (5.3)$$

,kde i, j, k sú jednotkové vektory pravouhlého súradnicového systému. Pri uvažovaní šírenia tepla len v jednom rozmere, smere (1D šírenie), je možné prepísať Fourierov zákon do tvaru

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dt}{dx} \quad (5.4)$$

Vyššie uvedená rovnica (5.4) však pre samotný výpočet prechodu tepla nie je veľmi nápomocná. Jej formu, ktorú využívame pri výpočtoch dostaneme až zintegrovaním pre daný prípad. Medzi špecifické prípady môžeme zaradiť prechodu tepla rovinnou, valcovou, guľovou stenou jednoduchou respektíve zloženou z viacerých vrstiev. Pre zjednodušenie výpočtov však bola zavedená určitá analógia riešenia s elektrickými obvody.

5.4 ANALÓGIA S ELEKTRICÝMI OBVODMI

Ohmov zákon v elektrotechnike hovorí, že pretekajúci prúd uzavretým elektrickým obvodom je priamoúmerný napätiu zdroja a nepriamoúmerný odporu el. odporu.

$$I = \frac{U}{R} \quad (5.5)$$

kde: I prúd [A]
U napätie [V]
R elektrický odpor [Ω]

Fourierov zákon môžeme zapísať v analogickom tvare ako

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \quad (5.5)$$

kde: \dot{q} hustota tepelného toku [$W \cdot m^{-2}$]
 ΔT teplotný rozdiel [K]
 R_t tepelný odpor

Analógiu tak môžeme sledovať medzi hustotou tepelného toku a el. prúdom, teplotným rozdielom a elektrickým napätím a medzi dvomi odpormi – elektrickým a tepelným. [33]

5.4.1 TEPELNÝ ODPOR

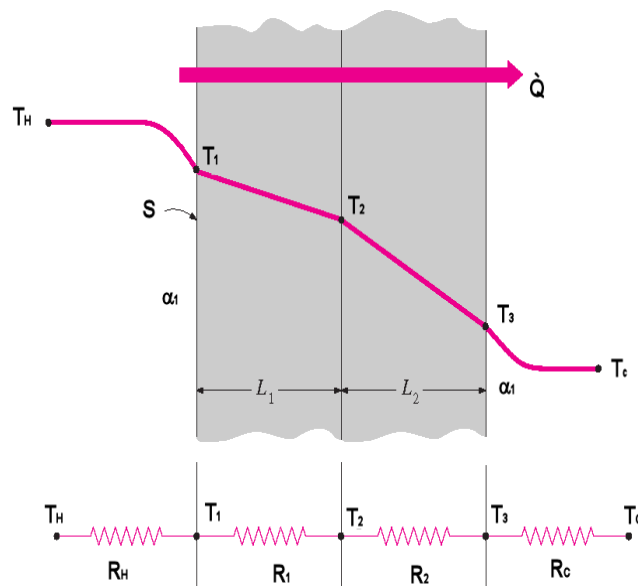
Vzťah pre určenie hodnoty tepelného odporu závisí na spôsobe prenosu tepla a na type prekážky (steny). V nasledujúcej tabuľke sú uvedené vzťahy pre základné jednoduché steny: rovinné, valcové, guľové. Tie vychádzajú z integrácie Fourierovho vzťahu (5.2), spomínanej v kapitole 5.3

Tab. 5.1 Vzťahy pre určenie tepelného odporu

	Vedenie $R_{t\lambda}$	Prúdenie $R_{t\alpha}$	Jednotka
Rovinná stena	$\frac{d}{\lambda}$	$\frac{1}{\alpha}$	$[m^2KW^{-1}]$
Valcová stena	$\frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$	$\frac{1}{2\pi r \alpha}$	$[mKW^{-1}]$
Guľová stena	$\frac{1}{4\pi\lambda} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$	$\frac{1}{4\pi r^2 \alpha}$	$[KW^{-1}]$

U zloženej steny z viacerých vrstiev odlišného materiálu alebo v prípade uvažovania aj vedenia a aj prúdenia tepla do výpočtu je možné predstaviť si jednotlivé časti ako samostatné rezistory s vlastným odporom R_i v sériovom zapojení (obr.). Vo výpočte následne pracujeme s celkovým odporom R_c , ktorý sa rovná súčtu všetkých jednotlivých odporov medzi uvažovanými bodmi výpočtu.

$$R_c = \sum_{i=1}^n R_i \quad (5.6)$$



Obr. 5.3 Analógia sériovo zapojených rezistorov [29]

5.5 ÚČINNOSŤ IZOLÁCIE

Za účelom zníženia tepelných strát dochádza k zatepľovaniu budov vrstvou izolačného materiálu. Medzi najznámejšie a najviac používané patria rôzne typy polystyrénu, minerálna a sklená vlna. Medzi menej známe a viac alternatívnejšie izolačné materiály môžeme zaradiť slamu alebo konope. V nasledujúcom zjednodušenom príklade by som chcel poukázať na výhodosť zateplenia ako na efektívny spôsob úspory tepla a financií.

Rovinná stena novostavby z tehál o hrúbke 300 mm a súčiniteli tepelnej vodivosti $\lambda_1 = 0,685 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ je na vnútornej strane pokrytá 12 mm vrstvou omietky, ktorej súčinitel tepelnej vodivosti $\lambda_2 = 0,9 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Súčinitel prestupu tepla na vnútornom a vonkajšom povrchu steny je $\alpha_1 = 5$ a $\alpha_2 = 15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Teplotný rozdiel medzi prostrediami je $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ($t_{\text{in}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{out}} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Celkový tepelný odpor takejto steny je $0,718 \text{ (m}^2\text{K)/W}$. Pri teplotnom rozdiely 25°C dostávame hustotu tepelného toku $34,819 \text{ W/m}^2$.

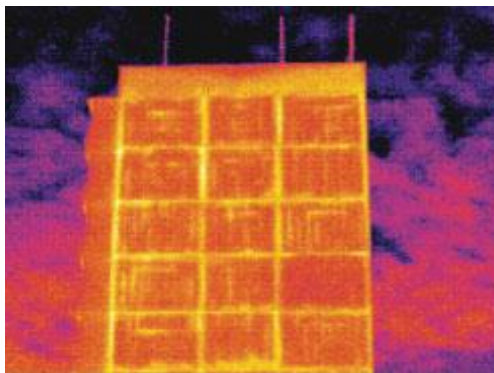
Na vonkajšiu stranu teraz pridáme vrstvu izolácie – penový polystyrén o hrúbke 15 cm, súčiniteli tepelnej vodivosti $\lambda_3 = 0,034 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Celkový tepelný odpor steny sa zvýši na $1,159 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$, čo pri rovnakých tepelných podmienkach vedie k zníženiu hodnoty hustoty tepelného toku na $21,568 \text{ Wm}^{-2}$. Tento rozdiel predstavuje pokles o 38,06 %.

5.6 TEPELNÉ MOSTY

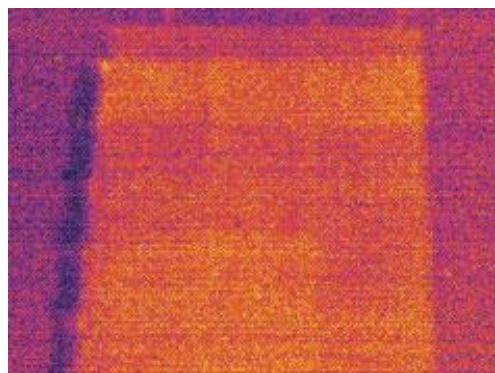
Tepelné mosty sú skryté, nežiadúce javy, ktoré sa snažíme minimalizovať vhodným izolovaním budovy. „Ak si stavbu predstavíme ako homogénne teleso, v ktorého vnútri je vyššia teplota ako v exteriéri, malo by mať povrchovú teplotu v celej ploche zhruba rovnakú. Ak sa na jeho povrchu objaví miesto s vyššou teplotou, ide zrejme o nežiaduci jav - tepelný most, ktorý vzniká najčastejšie zlým prevedením remeselných prác alebo kvôli nevhodnému technologickému

postupu. Tepelné mosty je nutné brať do úvahy už v projektovej fáze prípravy stavby, pretože správny návrh môže ušetriť náklady spojené s ich odstránením.³

Jedná sa o miesta so zvýšeným tepelným tokom. Nakoľko ich povrchová teplota je odlišná od povrchovej teploty celku, ich existenciu je pomerne ľahké odhaliť pomocou termovíznej kamery (obr. 5.4a,b). V interiéri sa javia ako miesta s nižšou teplotou, naopak v exteriéri, ako miesta so zvýšenou teplotou. Tepelné mosty môžeme rozdeliť na geometrické a podmienené materiálom. [35]

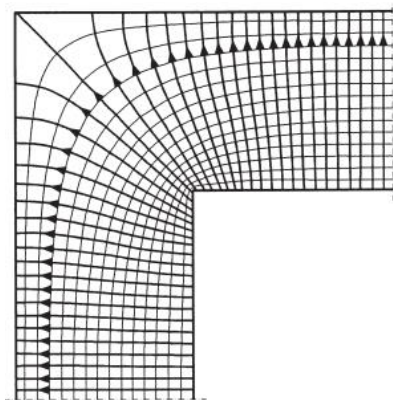


Obr. 5.4a Tepelné mosty na fasáde obytného komplexu [5]

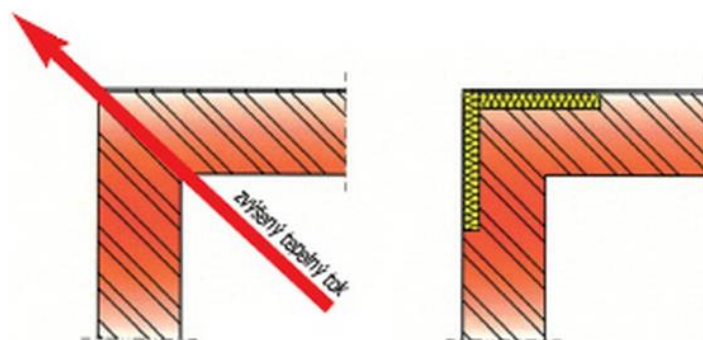


Obr. 5.4b Fasáda obytného komplexu po zateplení [5]

Geometrické tepelné mosty môžeme sledovať najmä v rohoch budov. Nachádza sa tu miesto so zmenou pomeru plochy tepelnýmenného povrchu medzi vnútornou a vonkajšou stranou konštrukcie. To vyúsťuje k zvýšeniu tepelného toku (obr.5.5) a následne vyšším tepelným stratám. Problém je možné odstrániť vhodným umiestnením lokálnej izolácie (obr. 5.6) V dôsledku priebehu izotermných čiar v mieste spojenia dvoch stien je možné sledovať lokálny pokles alebo nárast teploty pozdĺž rohu miestnosti (obr. 5.7). [36]



Obr.5.5 izočiarý tepelného toku [36]

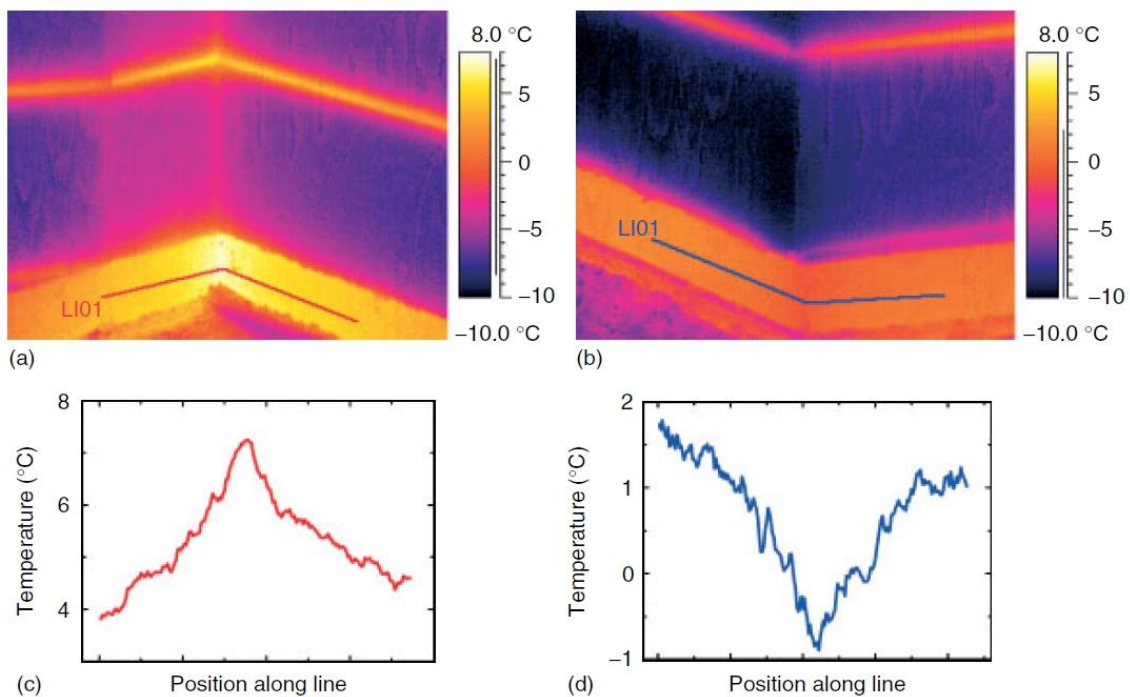


Obr.5.6 Umiestnenie izolácie [37]

Tepelné mosty podmienené materiálom sa vyskytujú v oblasti spojovania dvoch alebo viacerých materiálov s odlišnými tepelnými vlastnosťami – najmä súčiniteľom tepelnej vodivosti. Ako príklad môžeme uviesť podkrovné miestnosti, v ktorých sa izolácia často pokladá medzi drevené trámy a tým pádom sa práve tieto trámy stávajú tepelnými mostami. Pri skúmaní tepelnej izolácie sa môžeme stretnúť s pravidelne rozloženými stratami. Lineárny charakter je spôsobený vzduchovou medzerou medzi jednotlivými časťami izolácie. Bodové

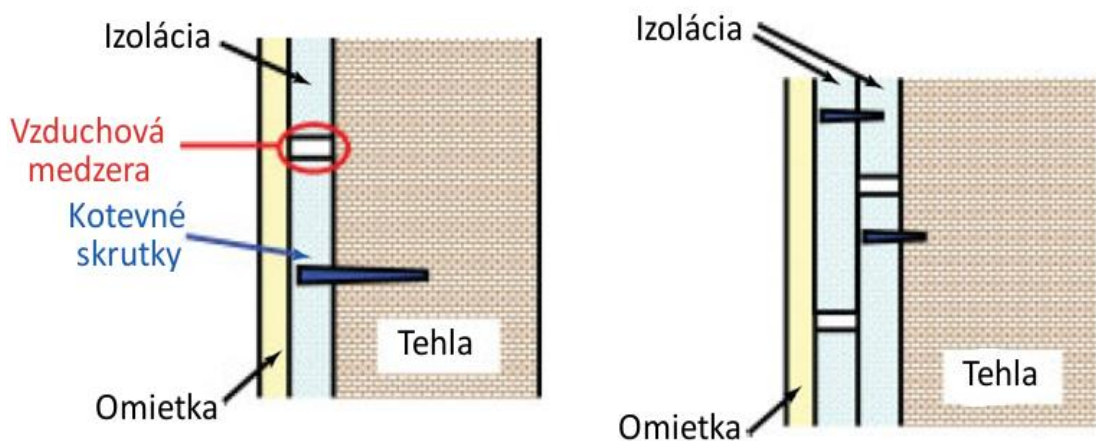
³ Tepelné mosty predstavujú ztráty a riziko. [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.energeticky.cz/tepelne-mosty-predstavuji-ztraty-a-riziko.html>

rozloženie ma za následok použitie dlhých kotevných skrutiek (obr. 5.8a). Predísť spomínaným problémom sa dá použitím dvoch vzájomne sa prekrývajúcich vrstiev izolácie a skrutiek s vhodnou dĺžkou (obr. 5.8b). [5]



Obr. 5.7 Priebehy teplôt pozdĺž rohu miestnosti [5]

V praxi sa často stretávame s kombináciou oboch typov tepelných mostov. Pripevňovaním železobetónových konštrukcií balkónu alebo podlahy (stropu) do zvislých stien z muriva dochádza ku kontaktu rozličných materiálov ako aj rozdielnemu tepelnému toku v mieste spojenia (obr.5.9). [5]



Obr. 5.8 a, b Tepelné mosty podmienené materiálom [5]



Obr. 5.9 Spojenie oboch typov tepelných mostov [5]

5.6.1 TEPELNÉ MOSTY A ZDRAVIE

Mimo tepelných strát prinášajú tepelné mosty aj ďalší problém. Vznik a šírenie plesní. Plesne sú jednoduché mikroorganizmy, vláknité huby, ktoré produkujú spóry. Sú to drobné častice, voľne sa šíriace prostredím, kde kontaminujú ďalšie objekty. Ich rozmnožovanie podporuje vlhké a zároveň teplé prostredie. [38]

Teplo je im dodávané samotným vykurovaním miestnosti. Potrebnú vlhkosť zabezpečujú tepelné mosty, ktorých povrchová teplota môže klesnúť pod teplotu rosného bodu pre dané podmienky (teplota, relatívna vlhkosť) a následne dochádza v danom mieste ku kondenzácii. Vlhkosťou prispieva aj samotný človek jeho činnosťou (varenie, sušenie prádla, nedostatočné vetranie). Netreba zabudnúť ani na iné zdroje vlhkosti ako napríklad bazény, ktoré do prostredia prispievajú vodnou parou o hmotnosti 100 g za 1 hodinu z 1 m² ich plochy.

Tab. 5.2 Hodnoty kritických povrchových teplôt pre vznik plesní pri danej relatívnej teplote [39]

Teplota [°C]	Relatívna vlhkosť 50%	Relatívna vlhkosť 60%
10	3,2	5,8
18	10,7	13,5
19	11,7	14,5
20	12,6	15,4
21	13,6	16,4
25	17,3	20,3

Inhalácia spórov ľudským organizmom vedie u niektorých jedincov k zdravotným problémom ako sú:

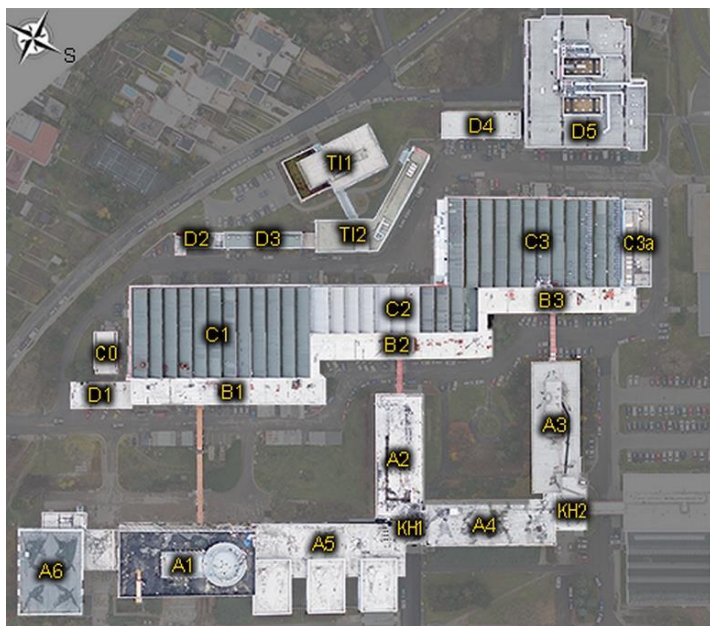
- znížená imunita a zvýšená chorobnosť
- opakované zápalové ochorenia
- alergie

Odstránenie plesní je beh na dlhú vzdialenosť a všeobecne platí, že sa jedná o finančne náročnú operáciu. Je odporúčané vynaložiť úsilie na preventívne opatrenia už pri projektovaní stavby, ako riešiť už vzniknutý problém. [38]

6 MERANIE BUDOV A2, A3, A4, A5

Meranie prebehlo v dňoch 27. – 29. januára 2014, počas najvhodnejších podmienok za účelom čo najviac znížiť vplyv negatívnych faktorov na výsledky merania (teplotný rozdiel, zrážky, oblačnosť, slnečné žiarenie a iné). Ako prvé som zmeral voľne prístupné učebne v budove A4 spoločne s vonkajším meraním budov A2, A3, A4. Nasledujúci deň prebehlo vnútorné meranie v budove A3. Posledný deň merania, spolu s vedúcim doc. Ing. Josefem Štětinou Ph.D., mi bolo umožnené namerať voľne neprístupné miestnosti v budove A2, ako napr. laboratórium na energetickom ústave A2/309, ale aj počas skúškového obdobia pozamkované posluchárne P1 a P6, ktoré som po dohode a odporúčaní môjho vedúceho práce pridal k meraným budovám v rámci budovy A5.

Budovy sa nachádzajú v severozápadnej časti areálu fakulty strojného inžinierstva (obr. 7.1). Budovy A2, A3, A4 sú podobného stavebného aj kompozičného charakteru. Podstatné časti sú tvorené učebňami (obr.7.2) a kanceláriami jednotlivých ústavov. Hlavnými časťami budovy A5 sú veľké posluchárne P1 – P3 a menšie posluchárne P4 – P6 (obr.7.3) doplnené o ďalšie učebne. Na budovách prebehla komplexná rekonštrukcia obalových plášťov spojená so zateplením a výmenou plastových okien. Úlohou merania bolo preskúmať funkčnosť prevedených rekonštrukcií z hľadiska prechodu tepla.



Obr. 7.1 Areál FSI VUT v Brne [40]



Obr. 7.2 Učebňa A4 – 202

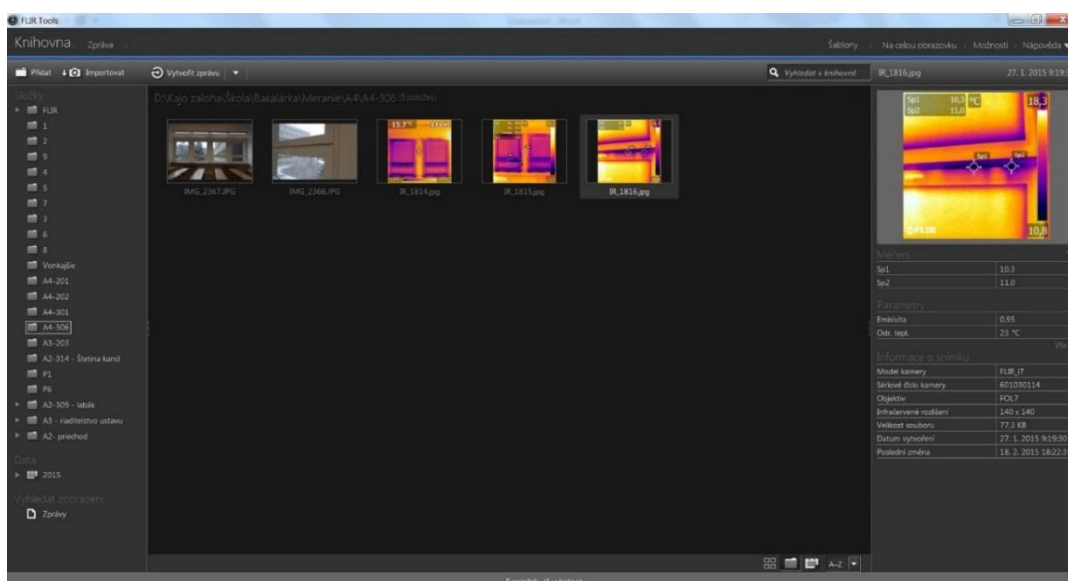


Obr. 7.3 Posluchárne P3 a P6

Na preskúmanie prestupu tepla mi bola zapožičaná termovízna kamera od spoločnosti FLIR s modelovým označením i7, ktorú som detailnejšie popísal v časti 3.4 tejto práce. Zaznamenané tepelné obrazy sú vo formáte jpeg a obsahujú všetky údaje o povrchových teplotách, ktoré som následne získal spracovaním vo freeware programe FLIR Tools. To mi umožnilo zistiť povrchové teploty v požadovaných bodoch.

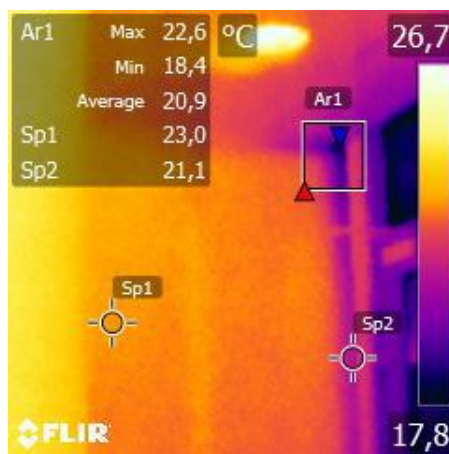
6.1 VYHODNOTENIE MERANIA

Software FLIR Tools ponúka jednoduché a prístupné užívateľské rozhranie s kompletnou lokalizáciou v českom jazyku pre nenáročné spracovanie meraní. Ako prvý krok sa fotografie z pamäťovej karty termokamery importujú do knižnice programu (obr.7.4). Na zvolenej termovíznej snímke môžeme sledovať nastavené parametre a informácie o danom snímku ako sú typ kamery, objektív, dátum vytvorenia a iné.

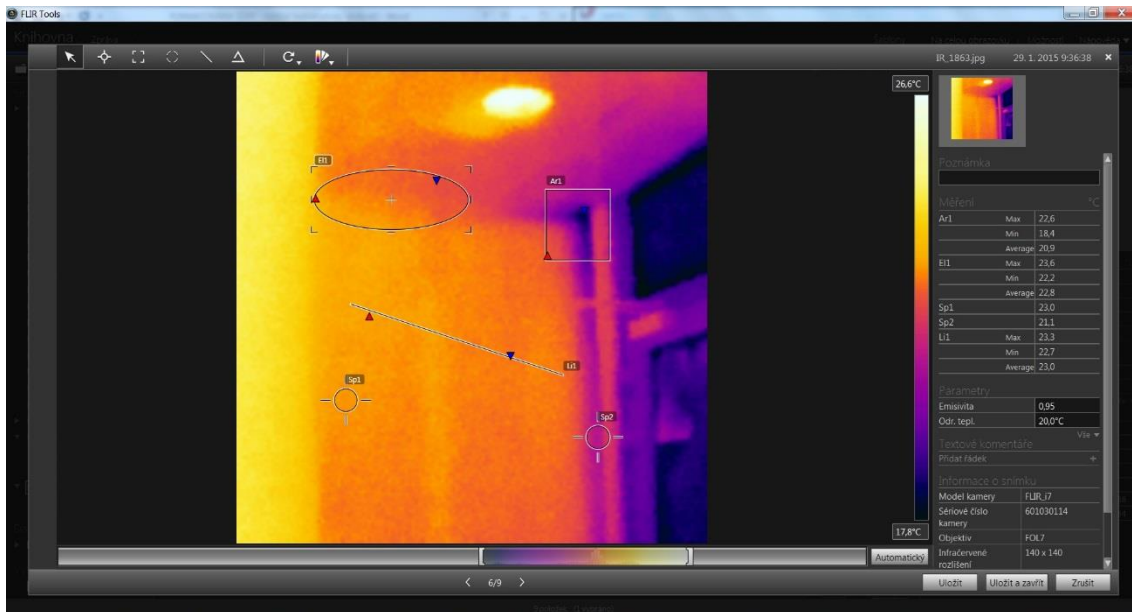


Obr. 7.4 Knižnica programu FLIR Tools s importovanými snímkami

V ďalšom kroku nasleduje zisťovanie povrchových teplôt na zvolenej snímke. V ponuke sa nachádza meranie v bode, meranie oblasti (elipsovitej, pravouhlej) a meranie po čiare. Taktiež je možná spätná úprava hodnôt emisivity, odrazenej teploty prípadne farebnej palety (obr. 7.6). Po uložení sa v snímke vygeneruje legenda s teplotami v jednotlivých, nami zvolených bodoch alebo oblastiach (obr. 7.5).



Obr. 7.5 Spracovaný termovízny snímok



Obr. 7.6 Úprava termovízneho snímku v programe FLIR Tools

Spracované termogramy z merania tvoria nasledujúcu podkapitolu. Jej súčasťou je tabuľka hodnôt atmosférických veličín, spracovaná termovízna snímka a priložená fotografia miesta kde vznikla, pre lepšiu vizualizáciu.

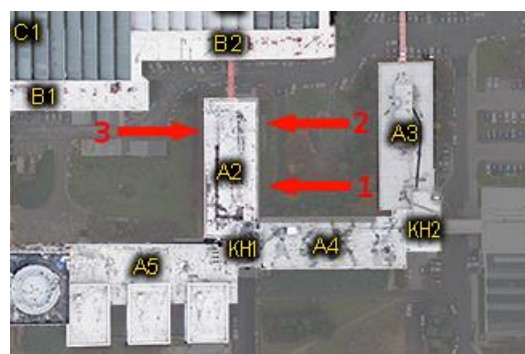
6.2 VÝSLEDKY MERANIA

6.2.1 VONKAJŠIE MERANIE

6.2.1.1 BUDOVA A2

Teplota	$t = 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$
Tlak	$p = 979,4 \text{ hPa}$
Počasiе	<ul style="list-style-type: none"> - jemné snehové prehánky - zamračená obloha - bezvetrie až jemný vánok

Smery merania

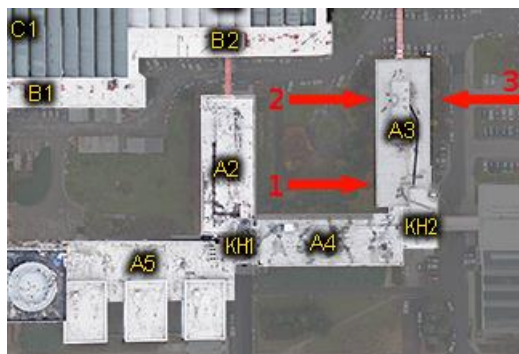


Č.M	Termogram	Fotografia
1		
2		
3		

6.2.1.2 BUDOVA A3

Teplota	$t = 0.1 \text{ °C}$
Tlak	$p = 979,4 \text{ hPa}$
Počasie	<ul style="list-style-type: none"> - jemné snehové prehánky - zamračená obloha - bezvetrie až jemný vánok

Smery merania

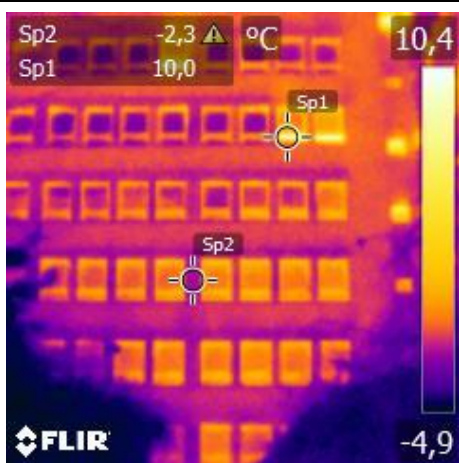


Č.M

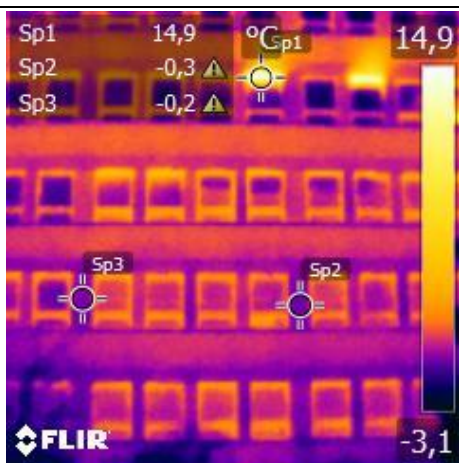
Termogram

Fotografia

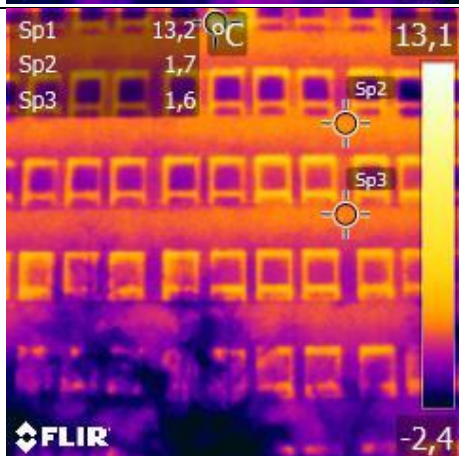
1



2



3



6.2.1.3 BUDOVA A4

Teplota	$t = 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$
Tlak	$p = 979,4 \text{ hPa}$
Počasie	<ul style="list-style-type: none"> - jemné snehové prehánky - zamračená obloha - bezvetrie až jemný vánok

Smery merania

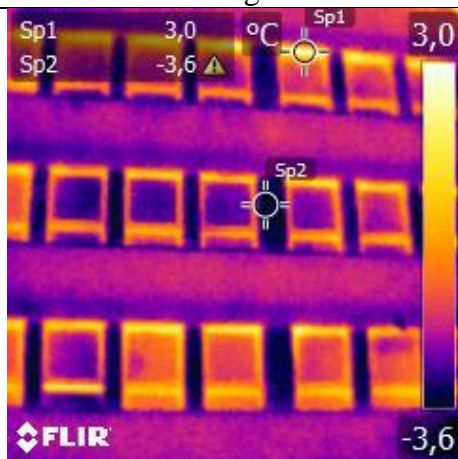


Č.M

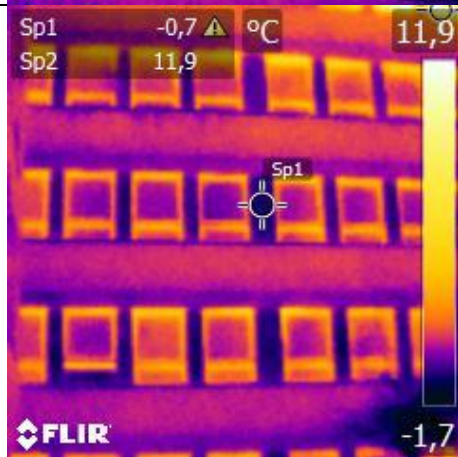
Termogram

Fotografia

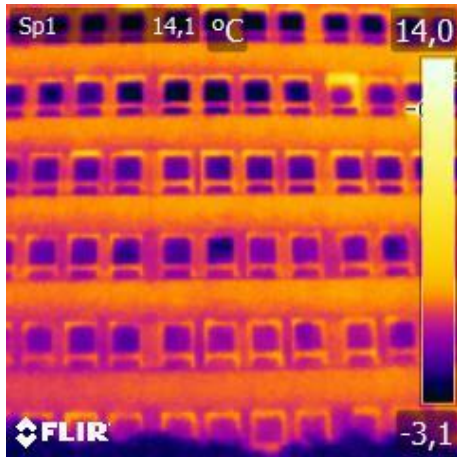
1



2



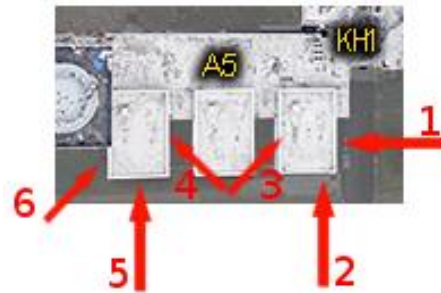
3



6.2.1.4 BUDOVA A5

Teplota	$t = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ (meranie č. 6 - $t = 1,1 \text{ } ^\circ\text{C}$)
Tlak	$p = 979,4 \text{ hPa}$
Počasie	- zamračená obloha (meranie č. 6 - slnečno) - bezvetrie až jemný vánok

Smery merania

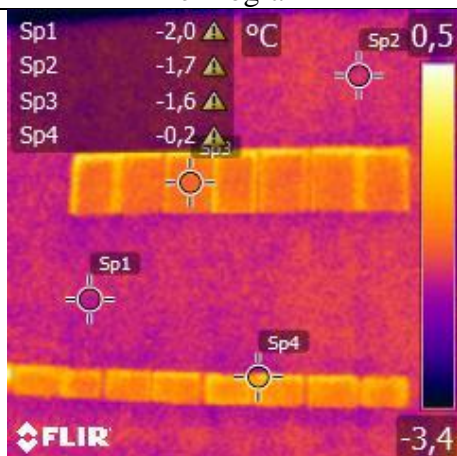


Č.M

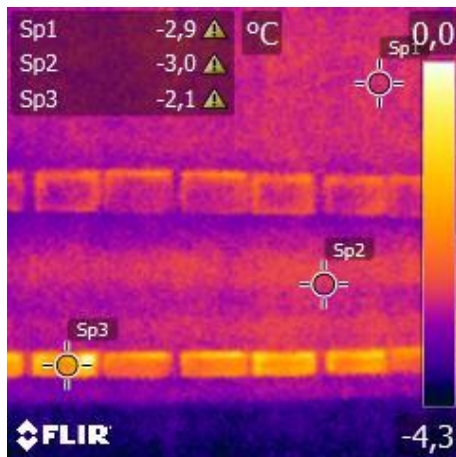
Termogram

Fotografia

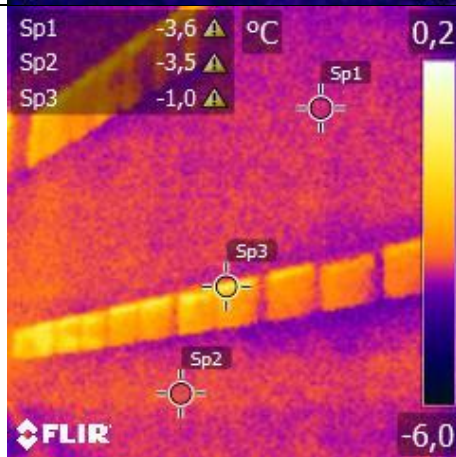
1



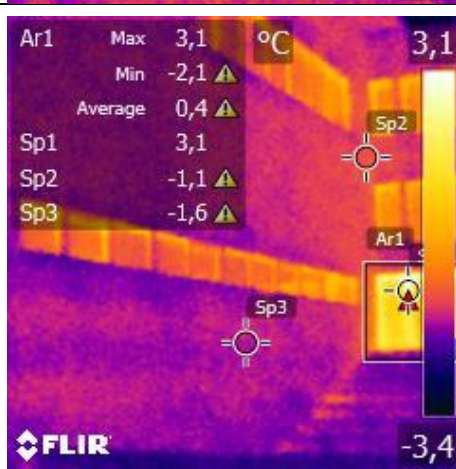
2



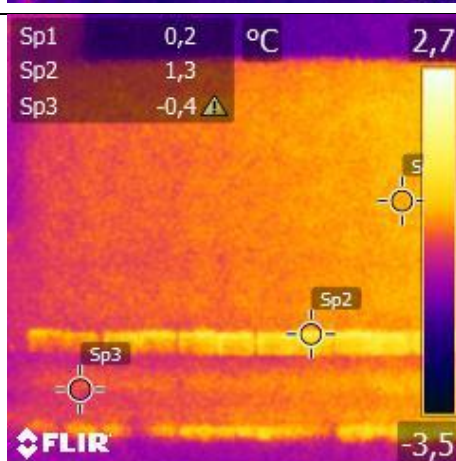
3



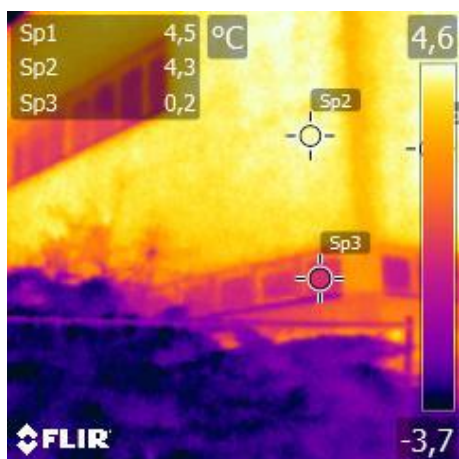
4



5



6



6.2.2 VNÚTORNÉ MERANIE

6.2.2.1 MIESTNOSŤ A4/201

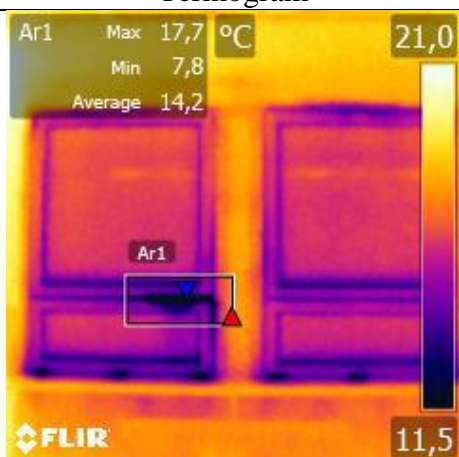
Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,9 \text{ °C}$
Vnútná teplota	$t_{in} = 22,1 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 23 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 979,2 \text{ hPa}$
Vnútný tlak	$P_{in} = 979,7 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,5 \text{ hPa}$

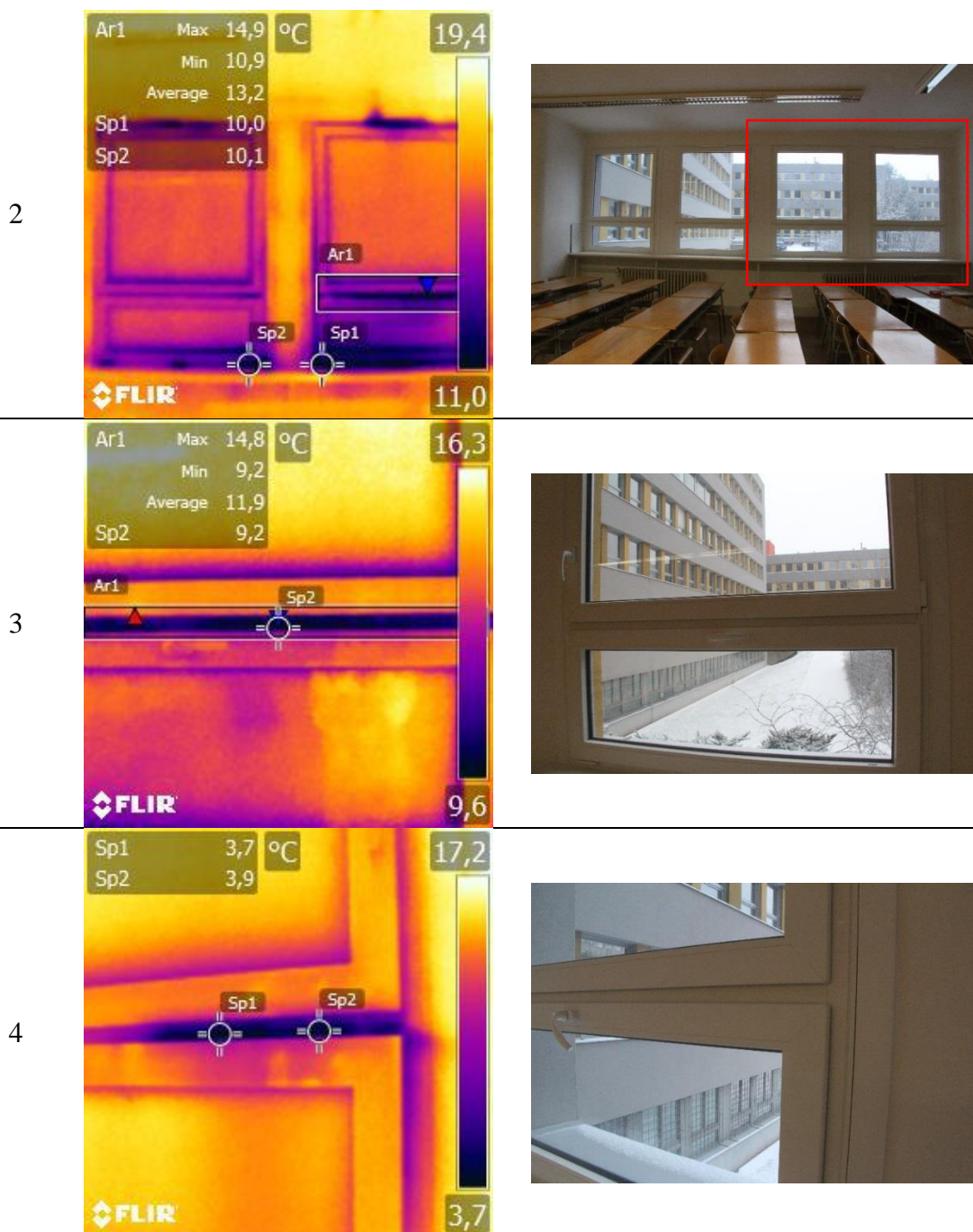
Č.M

Termogram

Fotografia

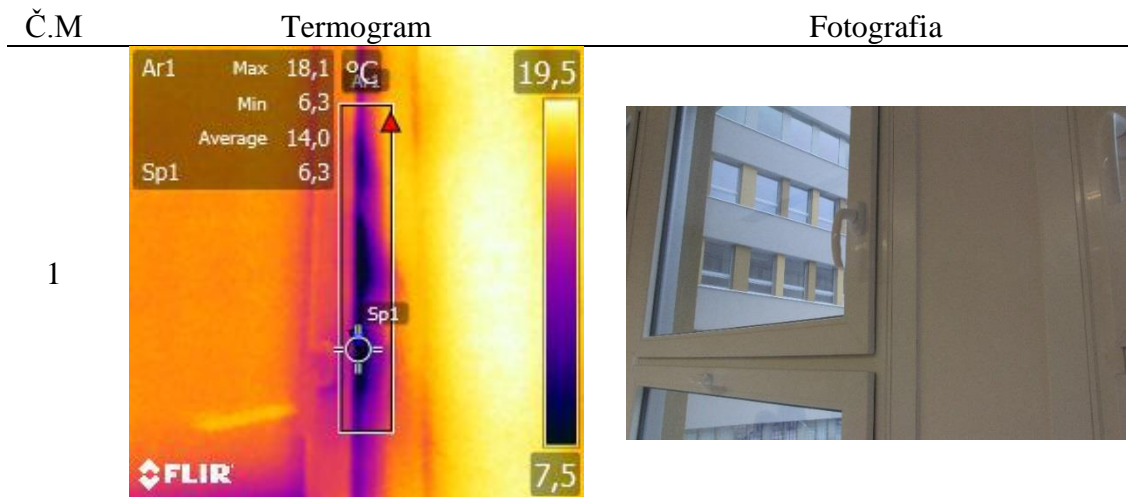
1





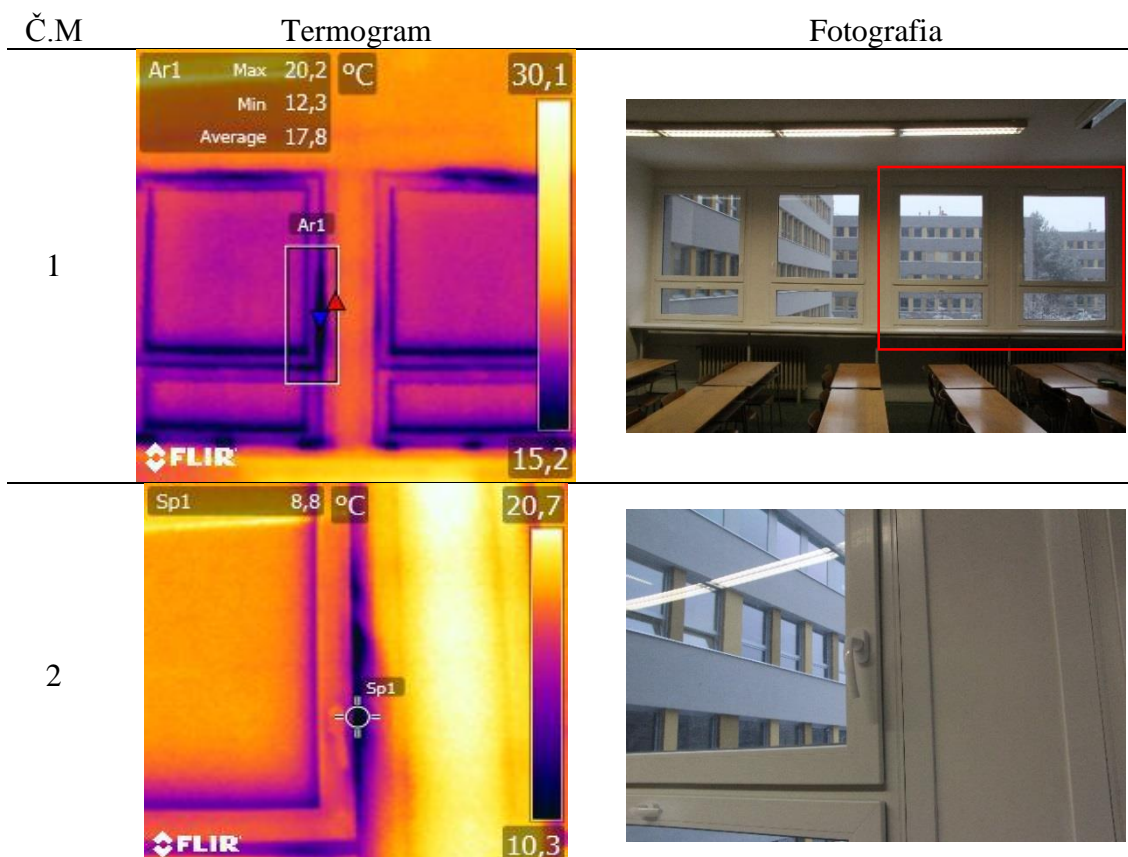
6.2.2.2 MIESTNOSŤ A4/202

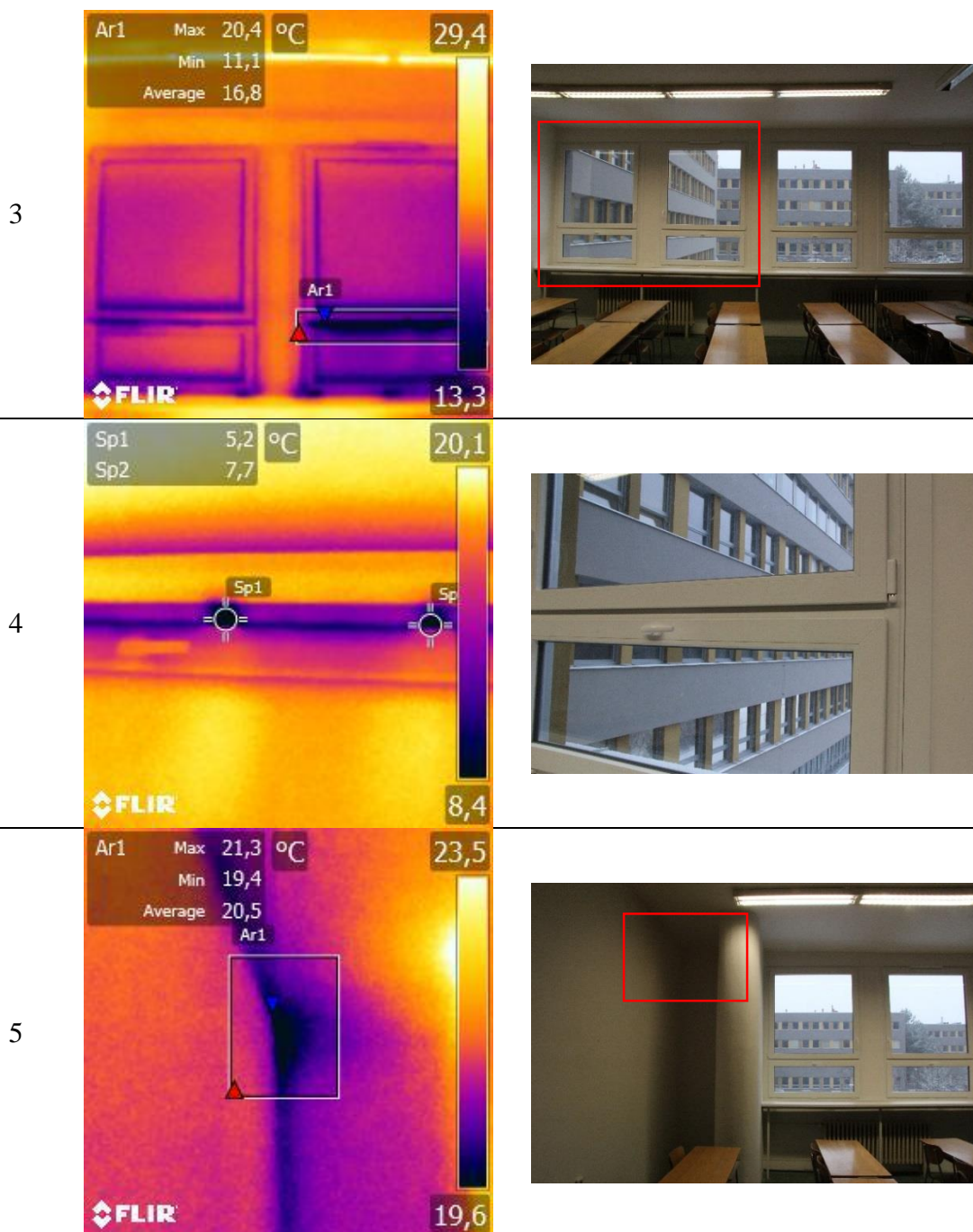
Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,9 \text{ °C}$
Vnútorná teplota	$t_{in} = 21,8 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 22,7 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 979,2 \text{ hPa}$
Vnútorný tlak	$P_{in} = 979,4 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,2 \text{ hPa}$



6.2.2.3 MIESTNOSŤ A4/301

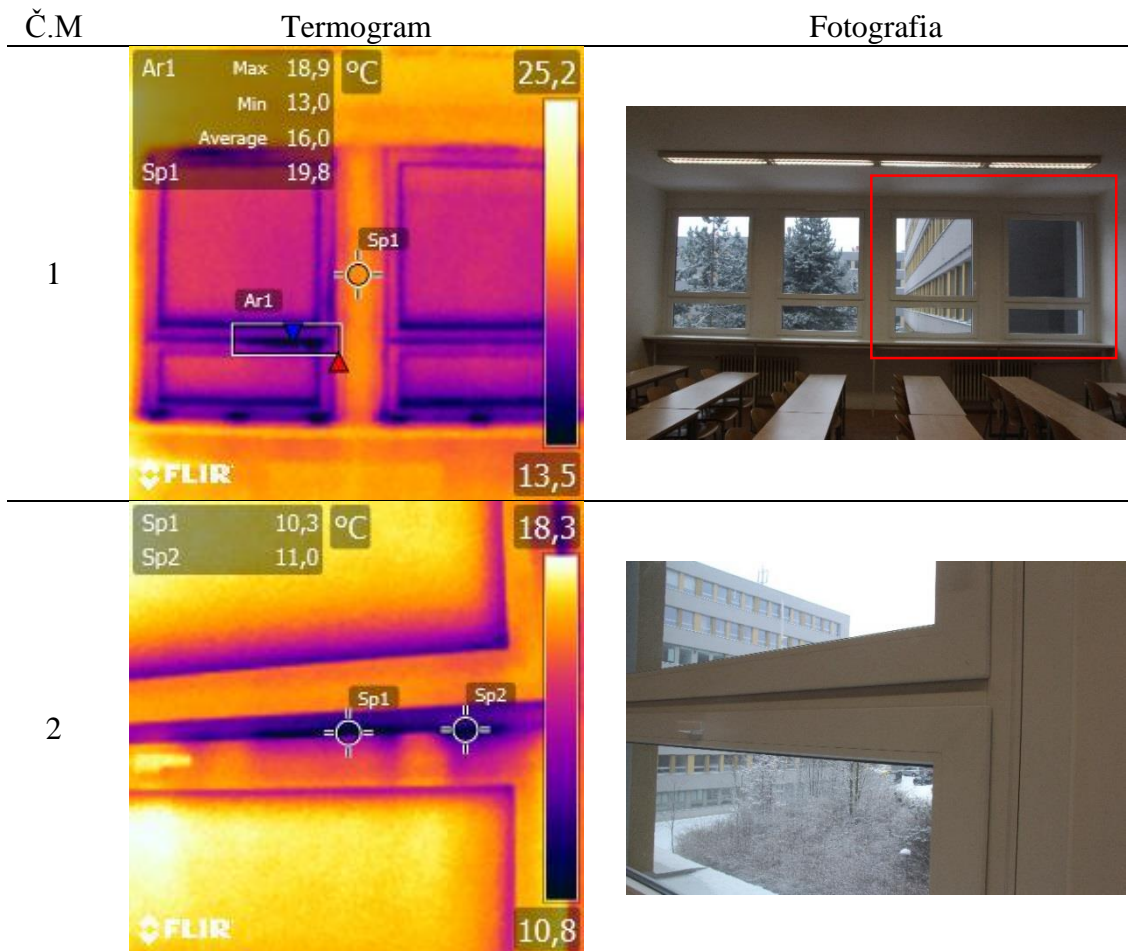
Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,9 \text{ °C}$
Vnútoraná teplota	$t_{in} = 22,5 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 23,4 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 979,2 \text{ hPa}$
Vnútorný tlak	$P_{in} = 979,5 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,3 \text{ hPa}$





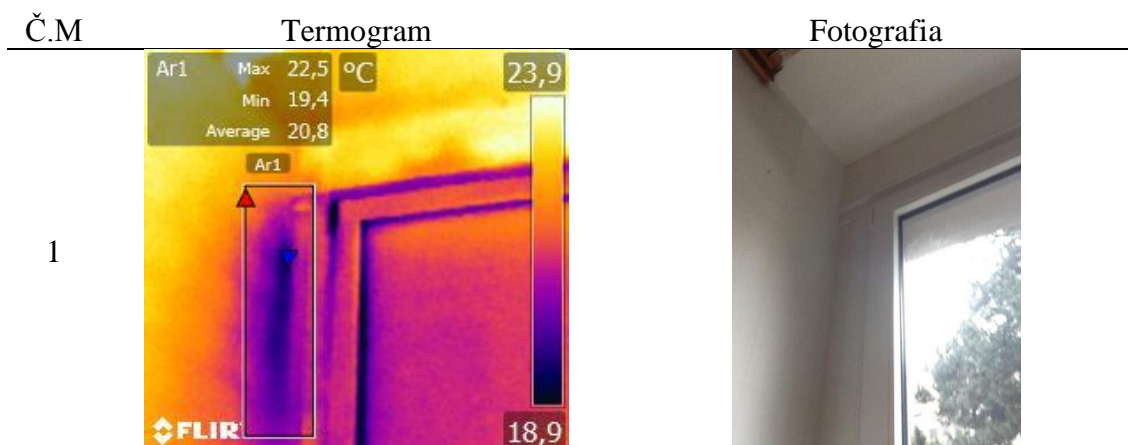
6.2.2.4 MIESTNOSŤ A4/306

Vonkajšia teplota	$t_{out} = - 0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$
Vnútrotná teplota	$t_{in} = 22,7 \text{ } ^\circ\text{C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 23,6 \text{ } ^\circ\text{C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 979,2 \text{ hPa}$
Vnútrotný tlak	$P_{in} = 979,4 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,2 \text{ hPa}$

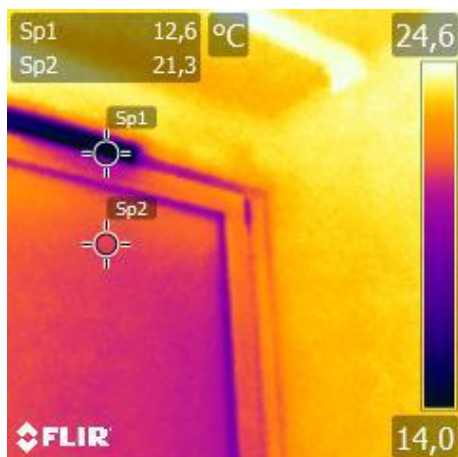


6.2.2.6 MIESTNOSŤ A3/203

Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,5 \text{ °C}$
Vnútrotná teplota	$t_{in} = 23,6 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 23,6 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 984,0 \text{ hPa}$
Vnútrotný tlak	$P_{in} = 982,9 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 1,1 \text{ hPa}$



2



6.2.2.7 MIESTNOSŤ A3/514

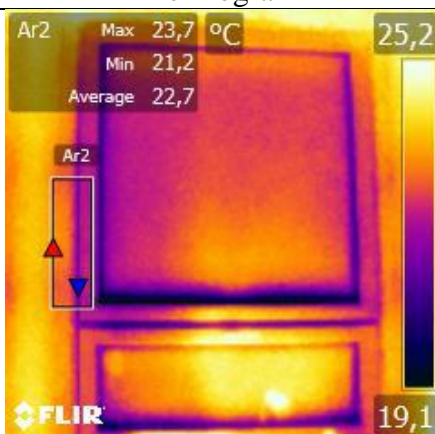
Vonkajšia teplota	$t_{out} = - 0,3 \text{ °C}$
Vnútrotná teplota	$t_{in} = 24,2 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 24,5 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 965,6 \text{ hPa}$
Vnútrotný tlak	$P_{in} = 964,8 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,8 \text{ hPa}$

Č.M

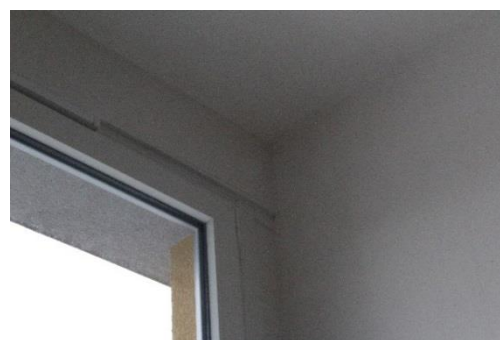
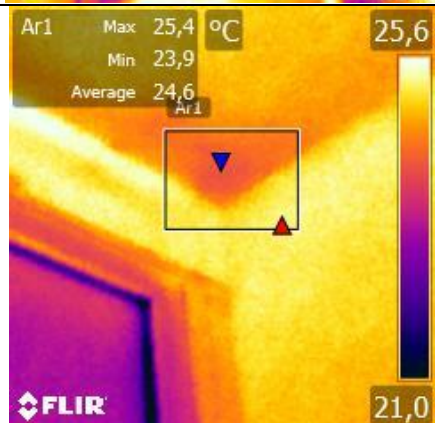
Termogram

Fotografia

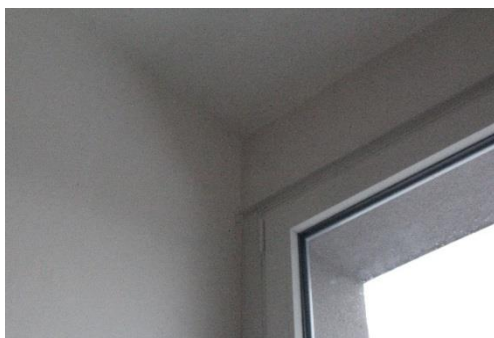
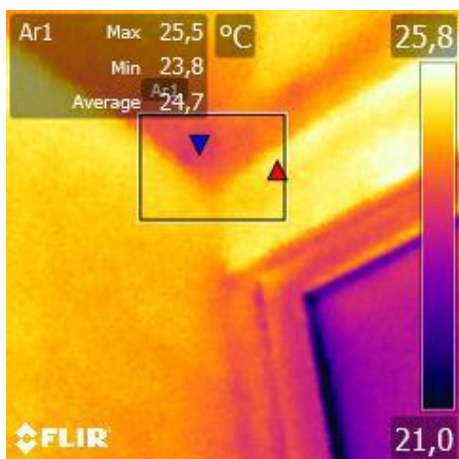
1



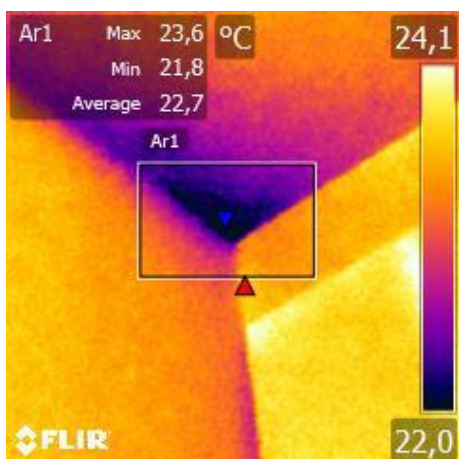
2



3



4



6.2.2.8 MIESTNOSŤ A2/314

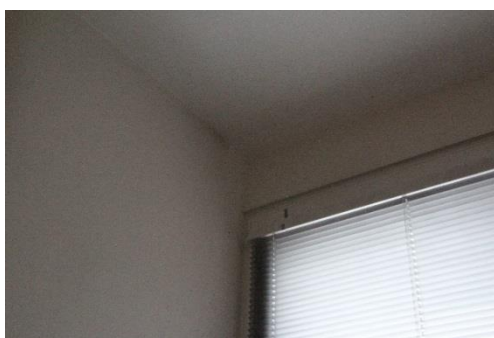
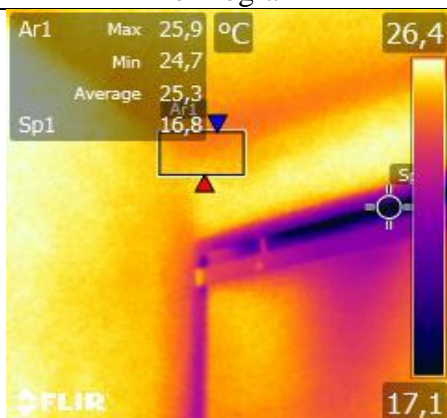
Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,3 \text{ °C}$
Vnútoraná teplota	$t_{in} = 24,8 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 25,1 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 965,6 \text{ hPa}$
Vnútorný tlak	$P_{in} = 965,4 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,2 \text{ hPa}$

Č.M

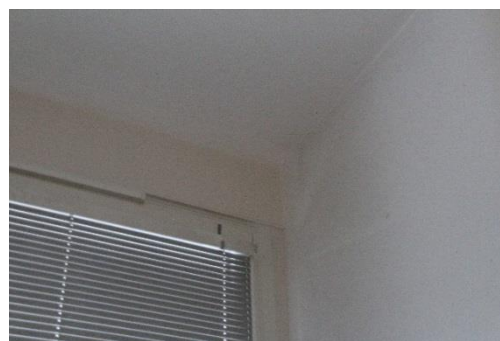
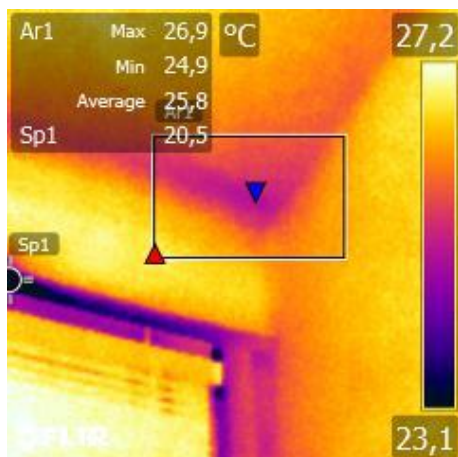
Termogram

Fotografia

1



2



6.2.2.9 POSLUCHÁREŇ A5/P1

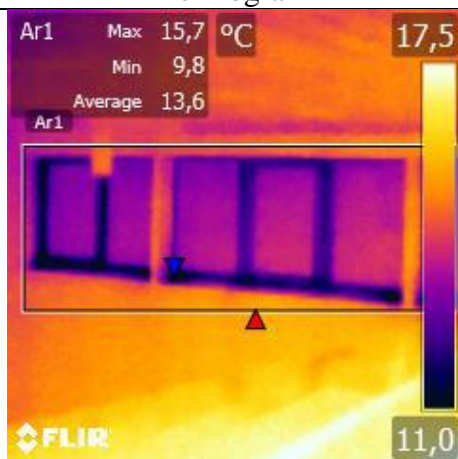
Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,1 \text{ °C}$
Vnútorná teplota	$t_{in} = 22,2 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 22,3 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 965,1 \text{ hPa}$
Vnútorný tlak	$P_{in} = 965,9 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,8 \text{ hPa}$

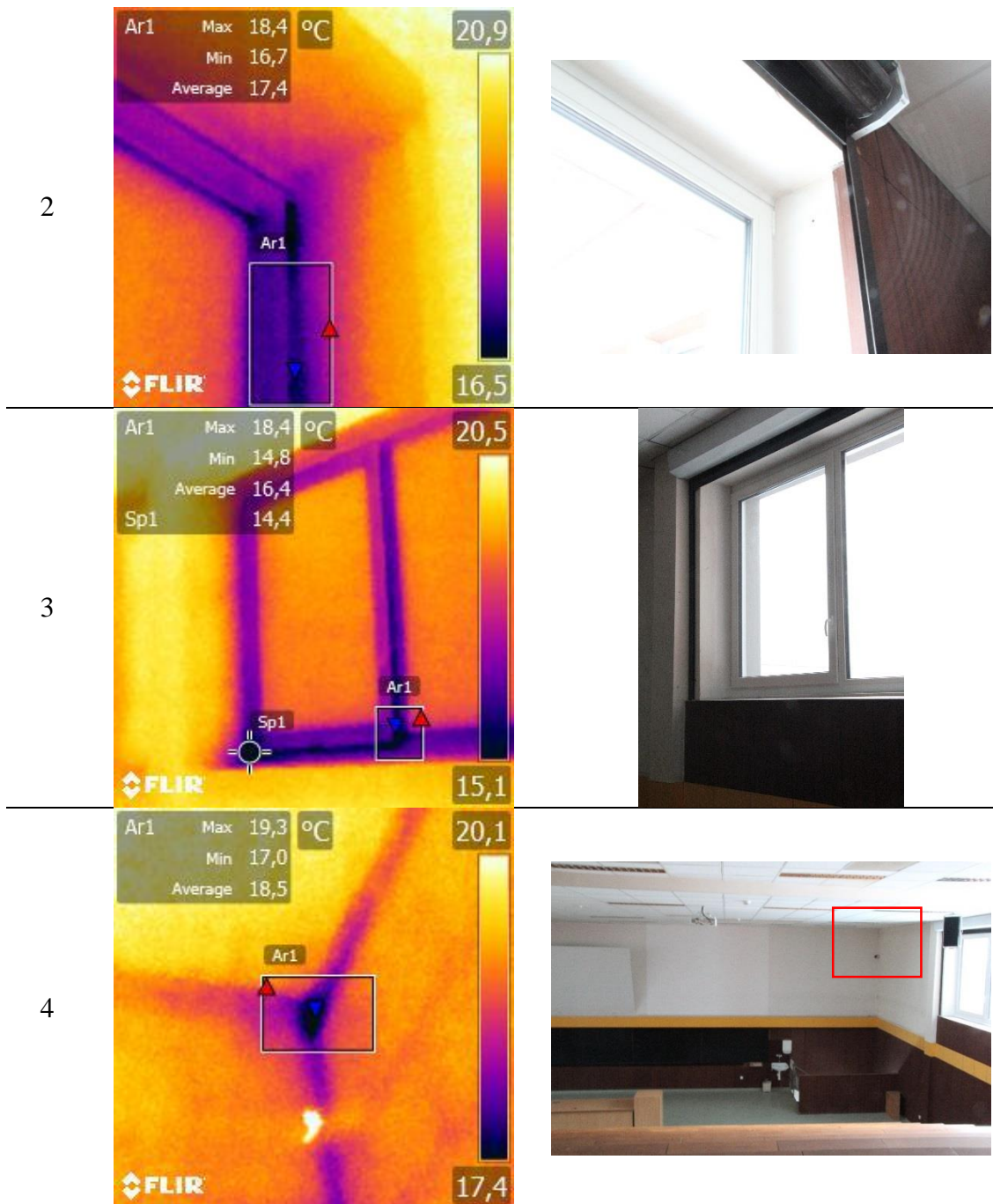
Č.M

Termogram

Fotografia

1





6.2.2.10 POSLUCHÁREŇ A5/P6

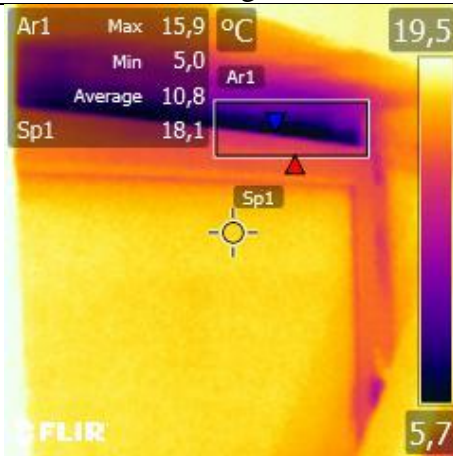
Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,1 \text{ °C}$
Vnútoraná teplota	$t_{in} = 22,1 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 22,2 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 965,1 \text{ hPa}$
Vnútorný tlak	$P_{in} = 966,7 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 1,6 \text{ hPa}$

Č.M

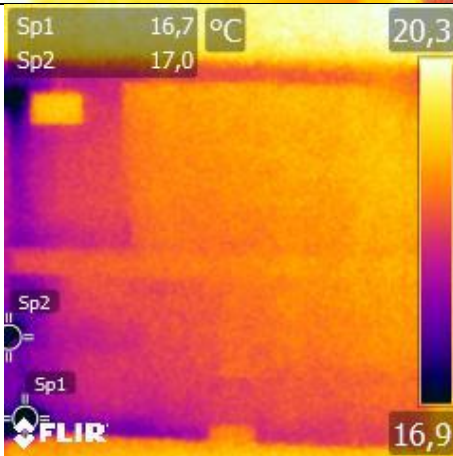
Termogram

Fotografia

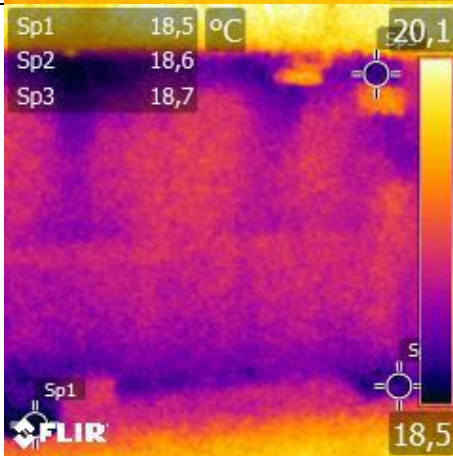
1



2



3

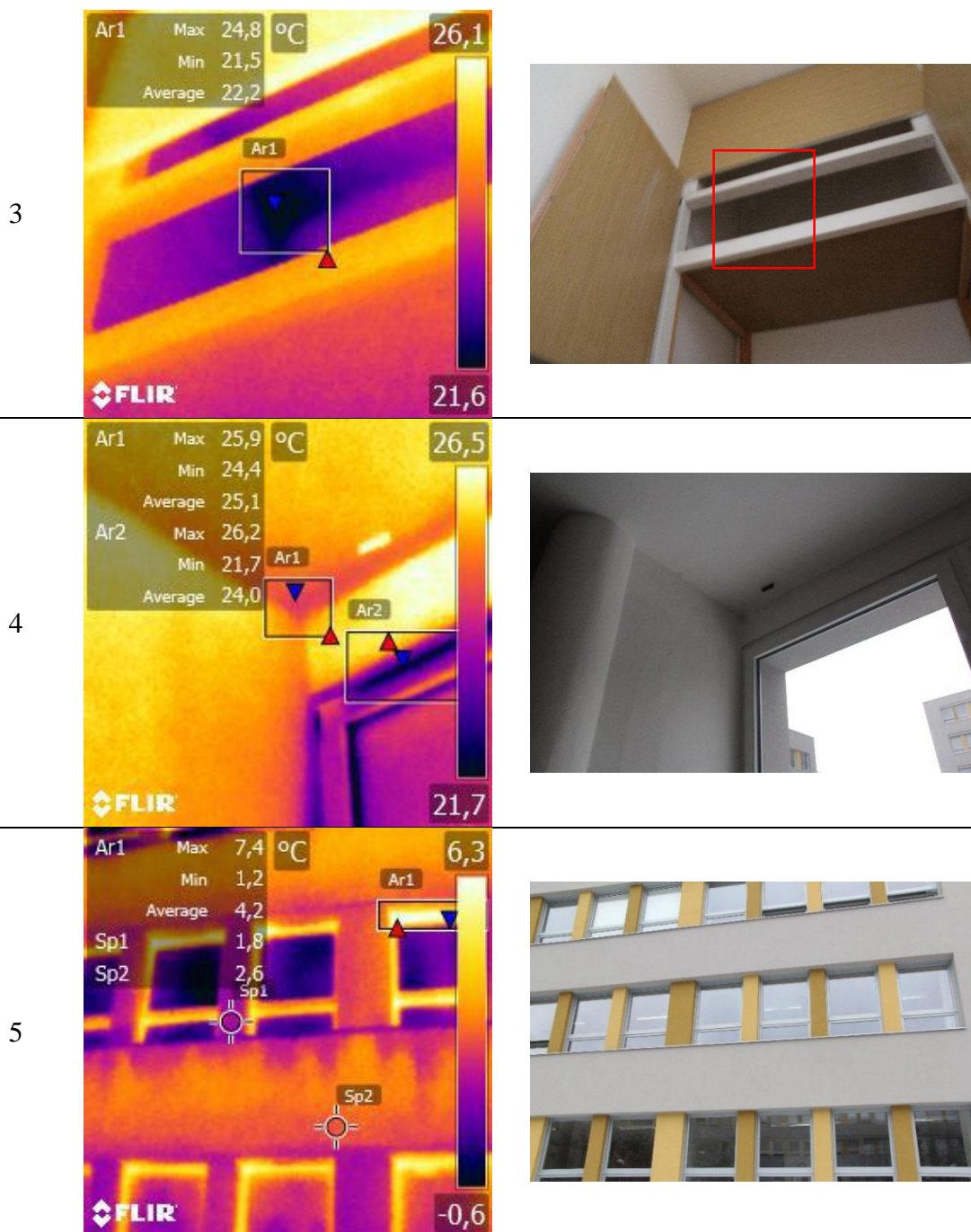


6.2.3 MERANIE ROHOVÝCH A OKRAJOVÝCH MIESTNOSTÍ

6.2.3.1 MIESTNOSŤ A2/309

Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,3 \text{ °C}$
Vnútoraná teplota	$t_{in} = 22,5 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 22,8 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 965,6 \text{ hPa}$
Vnútorný tlak	$P_{in} = 965,2 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,4 \text{ hPa}$

Č.M	Termogram	Fotografia
1		
2		

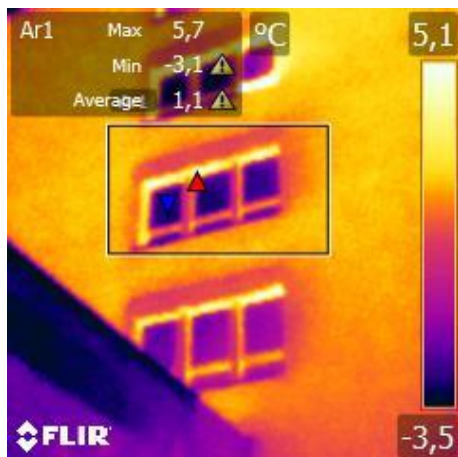


6.2.3.2 A3 / RIADITEĽSTVO ENERGETICKÉHO ÚSTAVU

Vonkajšia teplota	$t_{out} = -0,3 \text{ °C}$
Vnútrotná teplota	$t_{in} = 24,1 \text{ °C}$
Rozdiel teplôt	$\Delta t = 24,4 \text{ °C}$
Vonkajší tlak	$p_{out} = 965,6 \text{ hPa}$
Vnútrotný tlak	$P_{in} = 964,7 \text{ hPa}$
Rozdiel tlakov	$\Delta p = 0,9 \text{ hPa}$

Č.M	Termogram	Fotografia
1		
2		
3		

4



6.2.3.3 PRIECHOD MEDZI BUDOVMAMI A2 – B2

Vonkajšia teplota

 $t_{out} = -0,1 \text{ °C}$

Vnútroňná teplota

 $t_{in} = 21,9 \text{ °C}$

Rozdiel teplôt

 $\Delta t = 22 \text{ °C}$

Vonkajší tlak

 $p_{out} = 965,1 \text{ hPa}$

Vnútroňný tlak

 $p_{in} = 964,7 \text{ hPa}$

Rozdiel tlakov

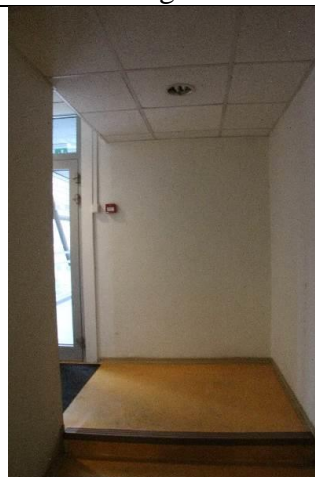
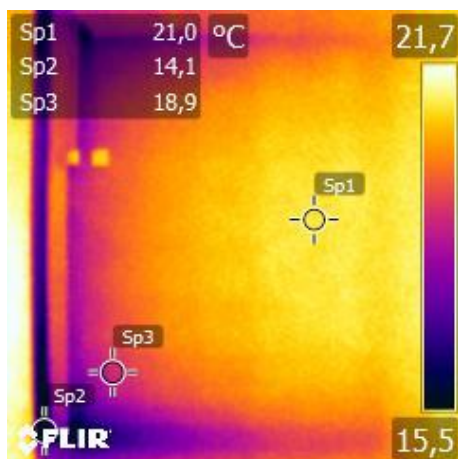
 $\Delta p = 0,4 \text{ hPa}$

Č.M

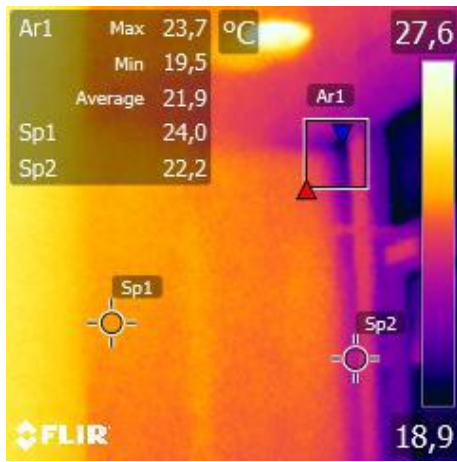
Termogram

Fotografia

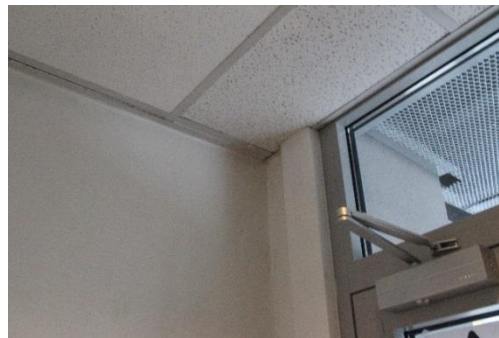
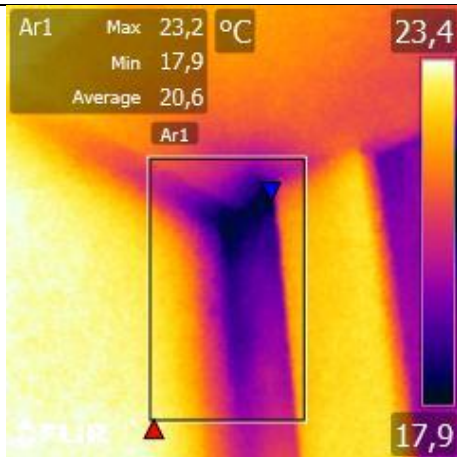
1



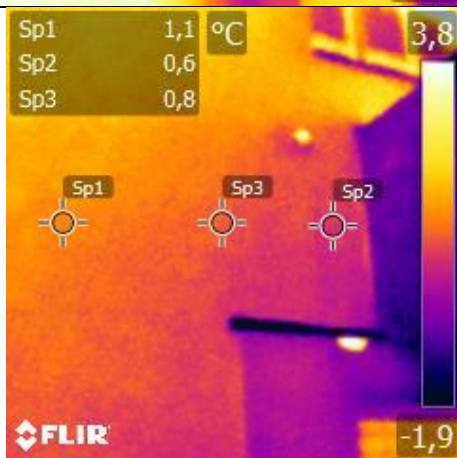
2



3



4



ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo v jej prvej časti rozobrať teóriu termovízneho merania a termovíznych skúšok podľa normy ČSN EN 13187. V druhej časti využiť teoretické poznatky pri potvrdení alebo vyvrátení nadmerných prechodov tepla cez obalové konštrukcie v budovách A2, A3, A4 a A5.

Infračervené žiarenie sa nachádza všade v okolí, avšak nezapadá do viditeľného spektra na základe hodnoty vlnovej dĺžky. To znamená, že na jeho pozorovanie je potrebná špeciálna technika s príslušným optickým vybavením - termovízna kamera, ktorá vyhodnocuje IR žiarenie v jednotlivých bodoch detektora a následne ich prevádza na viditeľný obraz. Prírodný vývoj technológií priniesol rozmanitosť kamier čo potencionálnym zákazníkom umožňuje vybrať tú správnu na použitie v stavebníctve, elektrotechnike, medicíne a iných poliach pôsobnosti termovíznych kamier.

Aplikáciou vhodnej izolačnej vrstvy na konštrukciu budovy sa snažíme o čo najväčšie zníženie nákladov na vykurovanie a udržiavanie tepelnej pohody vo vnútorných priestoroch. Počiatočná investícia sa pohybuje vo vyšších číslach, no návratnosť sa preukáže na znížených účtoch za energie. Z termovíznej techniky sa v stavebníctve v oblasti revízií a auditov postupne stala neodlučiteľná súčasť. Detekcia tepelných mostov a iných chýb obalových konštrukcií budov sa vďaka nej značne uľahčila. Avšak samotné vytváranie a správne vyhodnotenie termogramov je častokrát zložité a vyžaduje špecifický prístup. Jedná sa o problémy, ktoré by sa nemali ignorovať, pretože ich neriešenie so sebou prináša ďalšie, častokrát finančne náročnejšie komplikácie.

Postupným vyhodnocovaním snímkov merania sa dalo dospieť k ucelenému záveru, že rekonštrukcia budov spojená s pridaním izolácie na obalové konštrukcie prebehla úspešne. Počas merania som nenarazil na žiadne miesta s nadmerným prechodom tepla samotnou stenou – tepelné mosty, ktoré by vyžadovali dodatočnú rekonštrukciu plášťa budovy. Medzi kritickejšie miesta môžeme považovať steny a rohy v miestnostiach rohových a okrajových (priechod A2 – B2, A2/309...).

Komplexnejším problémom bolo dosadenie a tesnenie okien, kde bolo prúdenie vzduchu jasne viditeľné na snímkach z termovíznej kamery a aj citelné po následnom fyzickom overení. Vo väčšej mierke sa vyskytoval hlavne v učebniach budovy A4 (napr. 201,202,301,306). Najhorší prípad bol zistený v posluchárni A5/P6, kde je netesnosť okna spôsobená nie najšťastnejším konštrukčným riešením samotného uzatvárania okna z dôvodu nedostatku miesta na pôvodnú kľučku. Týmto problémom môžeme s určitosťou pripísať tepelné straty.

Pri meraní som sa nevyhol niekoľkým chybám, ktoré som spomínal aj v samotnej práci. Na snímke č. 6 z vonkajšieho merania budovy A5 môžeme sledovať vplyv slnečného žiarenia na zahriatie obalového plášťa. Pri meraní v miestnosti A3/514 je možné na snímku č. 1 sledovať môj teplotný odraz v spodnom okne. Spomínané chyby merania určitou mierou skresľujú výsledky.

Z vyvedených záverov merania a aj napriek neznalosti stavu budov z hľadiska tepelných strát z čias pred rekonštrukciou si dovoľím tvrdiť, že rekonštrukcia bola opodstatnená a z globálneho hľadiska prevedená úspešne. Prípadné tepelné straty boli potlačené na minimá a fakulta strojného inžinierstva môže očakávať postupnú návratnosť investície vo forme úspor energií vynaložených na vykurovanie.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] NAGY, Eugen. Bývať sa dá aj efektívnejšie. *Môj dom: Všetko o úsporách energií*. 2006, ročník VI., číslo 1/2006.
- [2] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.
- [3] *Pyrometers: Micro Temp TQ-1 Professional Infrared Tire Pyrometer* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.hmsmotorsport.com/store/trackside-tools/tire-tools/pyrometers>
- [4] *Termokamery: Termokamera FLUKE TiS* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.pilsnet.com/azb/goodsdetail.asp?lngDepartmentID=14&strGoodsID=FLUKETIS>
- [5] VOLLMER, Michael a Klaus-Peter MÖLLMANN. *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. Weinheim: Wiley-VCH, c2010, xvii, 593 p. ISBN 3527407170.
- [6] FLIR TOOLS INC. *User's manual* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.omega.com/manuals/manualpdf/M5150.pdf>
- [7] BRYNDA, Petr. *Úvod do teorie termovizního měření*. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1s/doc/works/teorie_brynda.pdf
- [8] KISEL, Dušan. *Bezdotykové meranie teploty: IR teplomery testo 830* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.ktest.sk/testo/testo_830/testo830.pdf
- [9] *Fotografovanie HDR snímok: Elektromagnetické žiarenie (EM) – viditeľné svetlo* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://abphoto.pansophia.sk/teoria.html>
- [10] ŠTĚTINA, Josef. *Termovize*. Brno, 2014. 73 s. Přednáška. VUT v Brně.
- [11] *ZÁŘENÍ ABSOLUTNĚ ČERNÉHO TĚLESA: Gymnázium Ladislava Jaroše Holešov* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm
- [12] *Tabulka emisivity kovových materiálů* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.newport.cz/techinfo/emiskovy.html>
- [13] *Tabulka emisivity nekovových materiálů* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.newport.cz/techinfo/emisnekovy.html>
- [14] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie I*. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 183 s. ISBN 978-80-214-4010-4.
- [15] *PULZNÍ MASÁŽNÍ PŘÍSTROJ S INFRARED TERAPIÍ HEALTH KING KW-301: Infračervené záření* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://compex.zdravi-cz.eu/masazni-pristroj-kw301.php>
- [16] TECHMANIA. *Infračervené záření* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f6d61676e6574696366be920766c6e79h&key=690

- [17] NÁSIROVÁ, Michaela. Infračervené záření a jeho působení na lidský organismus. Dostupné z: <http://www.2es.cz/med/layout/download/ir-med.pdf>
- [18] *Passive Infrared (PIR): Infrared Systems For Detecting Heat radiated from the Body* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <https://pirtechnology.wordpress.com>
- [19] *Nokia 6310* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://domeny666.sweb.cz/6310/>
- [20] *Nejlepší podmínky při infračerveném měření* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.termokamera.com/testo/0/0/2/44>
- [21] VAVŘIČKA, Roman. Bezdotykové měření teploty. Dostupné z: <http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>
- [22] *História termovízie: Vývoj termovízie* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.neweffect.sk/historia-a-fungovanie-termovizie/>
- [23] CHRZANOWSKI, Krzysztof. *Testing thermal imagers: practical guidebook*. Warsaw: Military University of Technology, 2010. ISBN 9788361486817.
- [24] *Termokamera: Prodej* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/prodej/>
- [25] *Termovizní kamera FLIR i7* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.termogram.cz/termovizni-kamera-flir-i7>
- [26] *ZPRAVODAJ: Bezdotykové měření teploty*. OMEGA, číslo 1, 2. vydání. Dostupné z: http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_1.pdf
- [27] ČSN EN 13187. *Tepelné chování budov - Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov - Infračervená metoda*. 1999. vyd. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [28] POČINKOVÁ, Marcela. *TZB II - Vytápění budov: Tepelné ztráty budov*. Brno, 2006. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně stavební fakulta.
- [29] ŠTĚTINA, Josef. Prostup tepla. Brno, 2012. 8 s. Přednáška. VUT v Brně.
- [30] *Řešené příklady: Prostup tepla stěnou* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/wiki/OOEET_ResenePriklady
- [31] ŠTĚTINA, Josef. Přenos tepla konvekcí. Brno, 2012. 24 s. Přednáška. VUT v Brně.
- [32] ŠTĚTINA, Josef. Základy přenosu tepla. Brno, 2014. 22 s. Přednáška. VUT v Brně.
- [33] ŠTĚTINA, Josef. Přenos tepla vedením. Brno, 2014. 21 s. Přednáška. VUT v Brně.
- [34] *Tepelné mosty představují ztráty a riziko* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.energeticky.cz/tepelne-mosty-predstavuji-ztraty-a-riziko.html>
- [35] ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích* [online]. 2012 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>

- [36] *Stavební fyzika: Tepelné mosty* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:http://www.kotaca.cz/PRILOHY/80-TI_Novomur_stavebni_fyzika5B37375D.pdf
- [37] *Tepelné mosty - hygienické a tepelnotechnické nebezpečie* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.stavajtesnami.sk/katalog/clanok_3.htm
- [38] *Nepodceňte plesne na stene – výrazne ohrozuje zdravie* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.protiplesniam.sk/plesne-na-stene-je-zdravotnym-rizikom/>
- [39] CHMÚRNY, Ivan. *Čo sú tepelné mosty* [online]. 2006 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:<http://mojdom.zoznam.sk/cl/10031/128661/Co-su-tepelne-mosty>
- [40] *Mapa areálu FSI* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <https://www.fme.vutbr.cz/planek/index.html>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Veličina	Symbol	Jednotka
prvá vyžarovacia konštanta	C_1	$C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$
druhá vyžarovacia konštanta	C_2	$C_2 = 1,438810^{-2} \text{ Km}$
hustota intenzity žiarenia skutočného telesa	E	Wm^{-2}
hustota intenzity žiarenia čierneho telesa	E_0	Wm^{-2}
spektrálna hustota intenzity žiarenia absolútne čierneho telesa	$E_{0\lambda}$	Wm^{-2}
frekvencia	f	Hz
teplotný gradient	$\text{grad } T$	-
prúd	I	A
jednotkové vektory	i, j, k	-, -, -
vnútorný tlak	p_{in}	Pa
vonkajší tlak	p_{out}	Pa
hustota tepelného toku	\dot{q}	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
tepelný tok	\dot{Q}	W
elektrický odpor	R	Ω
celkový odpor	R_c	Ω
jednotlivý odpor	R_i	Ω
tepelný odpor	R_t	m^2KW^{-1} , mKW^{-1} , KW^{-1}
tepelný odpor prúdenia	R_{ta}	m^2KW^{-1} , mKW^{-1} , KW^{-1}
tepelný odpor vedenia	$R_{t\lambda}$	m^2KW^{-1} ; mKW^{-1} ; KW^{-1}
plocha povrchu steny	S	m^2
vnútorná teplota	t_{in}	$^{\circ}\text{C}$
vonkajšia teplota	t_{out}	$^{\circ}\text{C}$
teplota	T, t	K, $^{\circ}\text{C}$
teplota povrchu steny	T_w	K
teplota okolia	T_{∞}	K
napätie	U	V
rýchlosť šírenia vlny	v	ms^{-1}

súčiniteľ prestupu tepla	α	$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
teplotný rozdiel	$\Delta T, \Delta t$	K, °C
tlakový rozdiel	Δp	Pa
emisivita	ε	-
vlnová dĺžka	λ	m
súčiniteľ tepelnej vodivosti	λ	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Stefan – Boltzmannova konštanta	σ	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$