

# **Vliv pozadí snímané scény na PIR detektor**

The Influence of Background of the Scene at PIR Detector

Ondřej Plášek

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2011/2012

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej PLÁŠEK**  
Osobní číslo: **A09192**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Vliv pozadí snímané scény na PIR detektor**

Zásady pro vypracování:

1. Vysvětlete principy metod detekce v infračervené oblasti.
2. V teoretické části posuďte normy týkající se testování pasivních infračervených detektorů v konkrétním prostředí.
3. Provedte měření vlivu pozadí na pasivní infračervený detektor.
4. Navrhněte řešení využití pozadí pro zvýšení spolehlivosti detekce pasivním infračerveným detektorem ve vnitřním prostředí.
5. Odhadněte další vývoj těchto systémů.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. UHLÁŘ, Jan. Technická ochrana objektů II. díl: Elektrické zabezpečovací systémy II. Vyd. 1. Praha: PA ČR, 2005, 229 s. ISBN 80-7251-189-0.
2. KŘEČEK, Stanislav a kol. Příručka zabezpečovací techniky. 3. aktualiz. vyd. S.I.: Cricetus, 2006, 313 s. ISBN 80-902938-2-4.
3. ČANDÍK, Marek. Objektová bezpečnost II. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004, 100 s. Učební texty vysokých škol UTB FT. ISBN 80-7318-217-3.
4. KINDL, Jiří. Projektování bezpečnostních systémů I. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 134 s. ISBN 978-80-7318-554-1.
5. ČSN EN 50131-2-2. Poplachové systémy – Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy – Část 2-2: Detektory narušení – Pasivní infračervené detektory. Praha: Český normalizační institut, 2008, 40 s.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Rudolf Drga**

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**25. května 2012**

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

*děkan*



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Teoretická část práce se zabývá charakteristikou jednotlivých principů detekce v infračervené oblasti záření, detektory infračerveného záření a dále příslušnými normami, které se vztahují na testování pasivních infračervených detektorů v definovaném prostředí. V praktické části jsou prezentovány výsledky měření vlivu pozadí snímané scény na PIR detektor. Následuje návrh řešení pozadí, které by mohlo zvýšit citlivost těchto detektorů. Závěr práce je koncipován do budoucího vývoje tohoto technického zařízení.

Klíčová slova: infračervené záření, PIR detektor, snímané pozadí

## **ABSTRACT**

The theoretical part deals with the individual characteristics of the detection of infrared radiation, infrared detectors and relevant standards that apply to the testing of passive infrared detectors in a defined environment. In the practical part there are presented results of measuring the impact of the scene behind the PIR detector. Following solution design background which could increase the sensitivity of these detectors. The conclusion is drawn on the future development of this technical equipment.

Keywords: infrared radiation, PIR detector, sensed background

### Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Rudolfu Drgovi za cenné rady, připomínky, odborné vedení a poskytnuté konzultace. Poděkování patří rovněž společnosti Fenix Trading s.r.o. za technické vybavení, konkrétně panu Martinu Smitalovi za poskytnuté informace. Děkuji také své rodině a přítelkyni za morální podporu při studiu.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 ZÁŘENÍ ABSOLUTNĚ ČERNÉHO TĚLESA .....	13
1.2 EMISIVITA .....	18
1.3 POHLTIVOST, PROPUSTNOST, ODRAZNOST .....	21
<b>2 DETEKTORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ</b> .....	<b>23</b>
2.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY DETEKTORŮ ZÁŘENÍ .....	23
2.2 DRUHY DETEKTORŮ .....	25
2.2.1 Tepelné detektory infračerveného záření .....	25
2.2.1.1 Termoelektrické detektory .....	25
2.2.1.2 Bolometrické detektory.....	27
2.2.1.3 Pyroelektrické detektory .....	28
2.2.2 Kvantové detektory infračerveného záření .....	32
<b>3 DETEKTORY PRO APLIKACI V BEZPEČNOSTNÍCH SYSTÉMECH</b> .....	<b>38</b>
3.1 PASIVNÍ INFRAČERVENÉ DETEKTORY .....	39
3.1.1 Pyroelement.....	40
3.1.2 Optické prvky pasivních infračervených detektorů .....	41
3.1.2.1 Optika na bázi zrcadel.....	42
3.1.2.2 Fresnelovy čočky .....	42
3.1.3 Eliminace planých poplachů u pasivních infračervených detektorů.....	43
<b>4 NORMY PRO TESTOVÁNÍ PASIVNÍCH INFRAČERVENÝCH DETEKTORŮ</b> .....	<b>46</b>
4.1 ČSN EN 50130-5 .....	46
4.1.1 Obecně o zkouškách vlivu prostředí .....	46
4.2 ČSN EN 50131-1 .....	48
4.3 ČSN EN 50131-2-2.....	49
4.3.1 Zkoušení .....	49
4.3.1.1 Standardní detekční cíl (SWT) .....	50
4.3.2 Odolnost proti proudění vzduchu.....	51
4.3.3 Funkční požadavky z hlediska klasifikace prostředí a odolnosti vůči vlivům prostředí .....	51
4.4 POSOUZENÍ NOREM.....	53
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>55</b>
<b>5 POZADÍ SNÍMANÉ PASIVNÍM INFRAČERVENÝM DETEKTOREM</b> .....	<b>56</b>
5.1 SÁLAVÝ PANEL GR 300 .....	56
5.2 MĚŘENÍ TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ SÁLAVÉHO PANELU GR 300 .....	57
<b>6 MĚŘENÍ VLIVU POZADÍ NA PASIVNÍ INFRAČERVENÉ DETEKTORY</b> .....	<b>64</b>
6.1 POUŽITÉ PASIVNÍ INFRAČERVENÉ DETEKTORY .....	64
6.2 ZKOUMÁNÍ REAKCE PIR DETEKTORŮ PŘI ZAHŘÍVÁNÍ SÁLAVÉHO PANELU.....	67
6.2.1 Úvod.....	67

6.2.2	Postup měření.....	68
6.2.3	Výsledky měření .....	69
6.2.4	Závěr .....	69
6.3	ZKOUMÁNÍ REAKCE PIR DETEKTORŮ PŘI ZASTÍNĚNÍ TEPELNÉHO ZÁŘENÍ RŮZNÝMI MATERIÁLY .....	69
6.3.1	Úvod.....	70
6.3.2	Postup měření.....	71
6.3.3	Výsledek měření .....	72
6.3.4	Závěr .....	74
<b>7</b>	<b>NÁVRH ŘEŠENÍ VYUŽITÍ POZADÍ PRO ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI DETEKCE .....</b>	<b>75</b>
7.1	NÁVRH POZADÍ V PODOBĚ PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ.....	75
7.2	NÁVRH POZADÍ S VYTÁPĚNÍM SÁLAVÝMI PANELY.....	77
7.3	ZÁVĚR.....	79
<b>8</b>	<b>ODHAD VÝVOJE PASIVNÍCH INFRAČERVENÝCH DETEKTORŮ .....</b>	<b>81</b>
8.1	DETEKTORY S VÍCE FUNKCEMI .....	81
8.2	DETEKTOR REDSCAN RLS-3060.....	83
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM ROVNIC .....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>98</b>



## ÚVOD

Již v dávných dobách si lidé uvědomovali potřebu hlídat své zdraví či život. S postupem času se jejich možnosti stále více zvyšovaly a s rozvojem řemesel mohli svůj majetek alespoň nějakým způsobem ochránit. Jednalo se o primitivní vynálezy jakožto první zámky apod. V tehdejší době si ale mohli takovéto zařízení pořídit pouze panovníci či šlechta a obyčejní lidé tyto možnosti neměli.

Dle mého názoru se zejména s technickým vývojem a pokroky ve druhé polovině 20. století zvyšují schopnosti obyvatel zabezpečit si svůj majetek před případnou krádeží, ztrátou či znehodnocením. K tomuto účelu byly vynalezeny nejen technické prostředky, které mají za úkol snižovat riziko takovýchto ztrát, ale i další systémy, jež se podílí na zabezpečení.

Samotnou ochranu majetku lze rozdělit na obvodovou (perimetrickou) ochranu, čímž se rozumí různé ploty, zdi, přírodní hranice či jiné zábrany umístěné na obvodu chráněného pozemku. Dále následuje ochrana plášťová, pod kterou chápeme např. okna, okenní mříže, vstupní dveře do objektů, zámky a zámkové systémy na těchto dveřích apod. Po ní přichází na řadu ochrana prostorová, čímž rozumíme zabezpečení konkrétních místností či prostorů, které se nacházejí uvnitř střeženého objektu. Nadále se jedná o ochranu předmětovou, jejímž úkolem je zabezpečit konkrétní předměty nacházejících se v místnostech. Může se jednat o různé obrazy, vzácné vázy nebo sošky, popřípadě jakýkoliv předmět, jenž si zákazník přeje nějakým způsobem chránit. V poslední fázi jde o ochranu klíčovou, pod kterou spadá zabezpečení důležitých míst v objektu, jako jsou například schodiště či chodby.

Tato práce se zabývá prostorovou ochranou, přesněji technickým prvkem, jenž takovouto ochranu provádí. Jedná se tedy o pasivní infračervený detektor (PIR detektor), který je zařazen do poplachových systémů ve skupině poplachových zabezpečovacích a tísňových systémů v části s názvem detektory narušení.

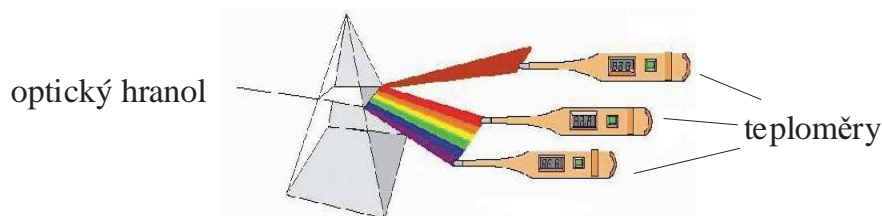
Hlavním tématem této práce je zkoumání, jaký vliv má pozadí snímané scény, na níž se PIR detektor takzvaně „dívá“. Vlivem pak chápeme působení různých předmětů, které jsou zdrojem infračervené záření o určité vlnové délce.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ

Infračervené záření (rovněž označované jako IR z anglického *InfraRed*), nazývané taktéž jako tepelné, je formou elektromagnetického vlnění, které má svou vlnovou délku kratší, než mají mikrovlny, ale naopak delší, než jakou má viditelné světlo. Vlnová délka tohoto záření má v elektromagnetickém spektru rozsah tří dekád a spadá do rozmezí od 760 nm do 1 mm, v němž mají fotony energii 0,0012 - 1,63 eV.

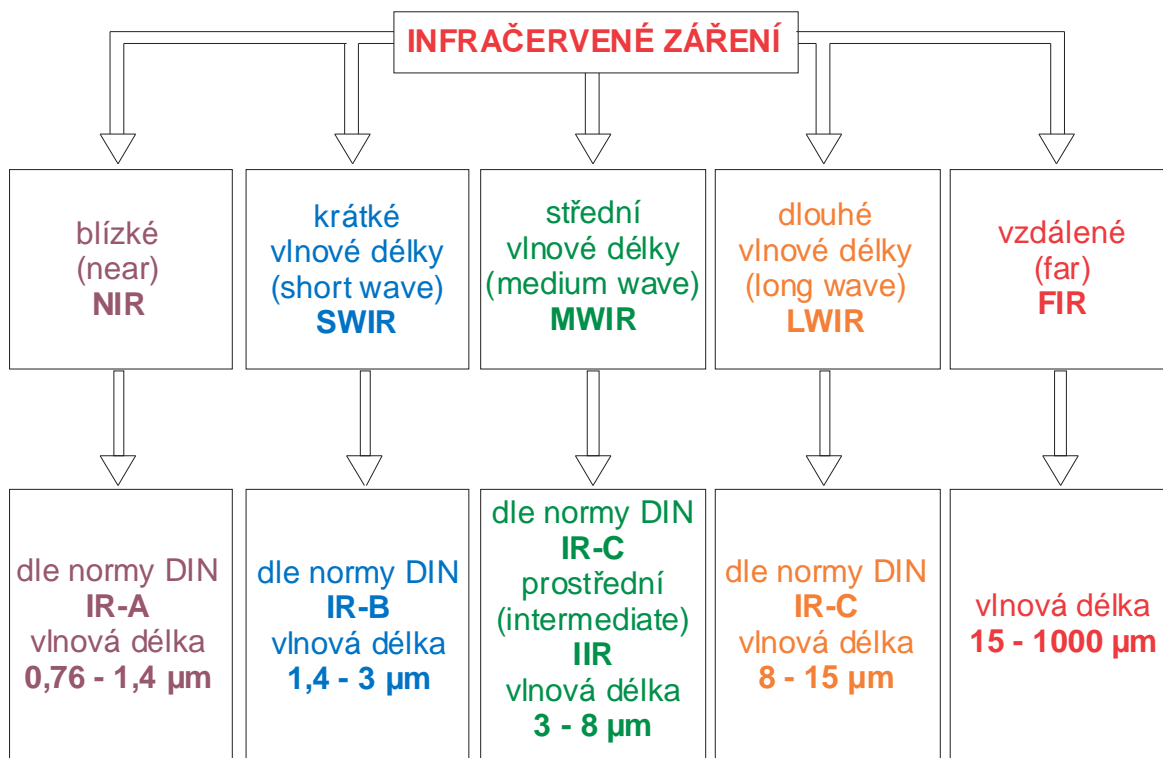
Toto záření bylo objeveno v roce 1800 britským astronomem Sirem Williamem Herschelem (1738 – 1822), který rozložil světlo ze Slunce na individuální barvy s využitím optického hranolu. Počínal si tak, že umístil soupravu se rtuťovými teploměry do rozloženého barevného spektra. Při měření měla linie se spektrem k červené straně větší teplotu a to v prostoru jednotlivých barev. Dále dostal myšlenku, umístit teploměr až za červenou oblast spektra, které je viditelné. Po umístění teploměru do tohoto prostoru byl překvapen svým zjištěním, že v tomto místě dociluje teplota nejvyšší hodnoty. Tento výsledek vedl k tomu, že v této zóně musí být určité záření, které není vidět a navíc přesouvá teplo. Název infračervené pak vznikl právě z toho, že se vyskytuje až za pozorovatelným červeným pásmem.



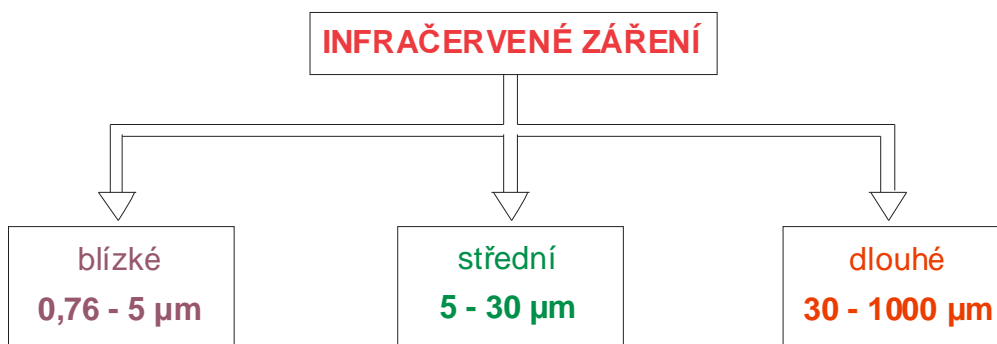
Obr. 1 Objev infračerveného záření [1]

### Dělení infračerveného záření

Tento druh záření lze ještě rozčlenit na dílčí oblasti. Členění ovšem postrádá jednoznačnost a proto můžeme nalézt v různých zdrojích jiné rozdělení. Tuto skutečnost popisují následující dva obrázky.



Obr. 2 Rozdělení infračerveného záření 1



Obr. 3 Rozdělení infračerveného záření 2

Infračervené záření se ve vakuu šíří rychlostí světla  $c = 299\,792\,458$  m/s. Tento jev popisuje Stefan-Boltzmannův zákon, který publikovali roku 1879 pánové Josef Stefan a Ludwig Boltzmann. Tímto zákonem je popsána celková intenzita záření absolutně černého tělesa a říká, že s rostoucí teplotou tělesa je vyzařováno větší množství energie. [1]

$$M_0 = \int_0^{\infty} M_{0\lambda} d\lambda = \sigma \cdot T^4$$

*Rovnice 1.1 Stefan-Boltzmannův zákon*

$M_0$  - intenzita vyzařování pro danou teplotu v celém rozsahu vlnových délek

$M_{0\lambda}$  - spektrální hustota vyzařování černého tělesa pro určitou vlnovou délku

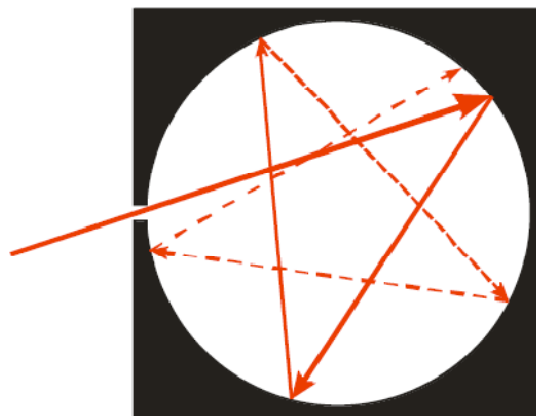
$\sigma$  - Stefan-Boltzmannova konstanta  $5,670\ 32 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

$T$  - termodynamická teplota tělesa (K)

## 1.1 Záření absolutně černého tělesa

Všechna tělesa jsou schopna, mimo toho, že záření vyzařují, taktéž záření pohlcovat, odrážet a propouštět. Tepelná energie vzniká pak převážně změnou z pohlceného záření. Vlastnosti konkrétního tělesa jsou rozhodující pro kvantitu záření, které je tělesem pohlceno. Rozhodující je zde hlavně povrchová úprava tělesa (záření je více pohlcováno tělesy, která jsou matná, na rozdíl od těles lesklých, od nichž se záření odráží) a jeho barva (bílá tělesa absorbují méně záření než černá).

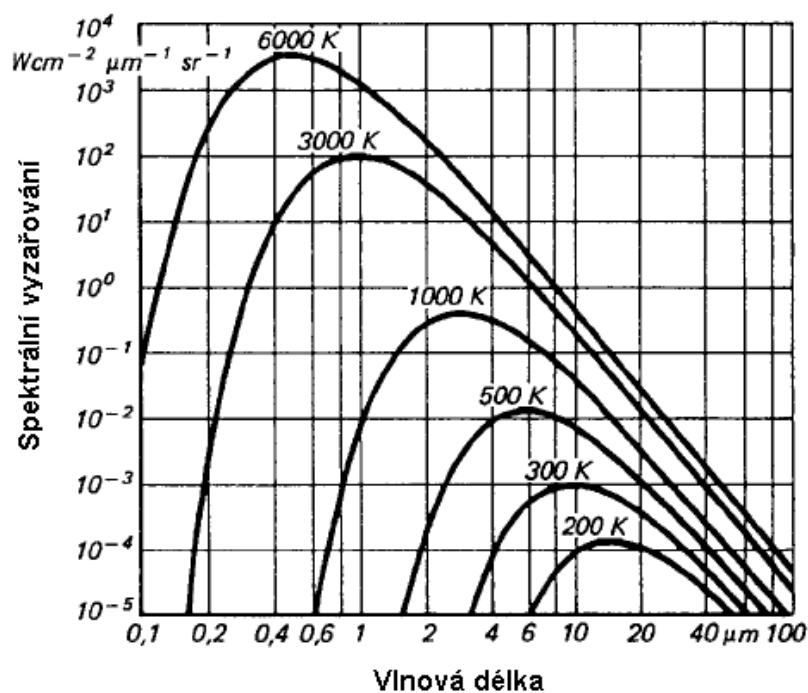
Pod pojmem *absolutně černé těleso* si lze představit jakýsi model, který byl zaveden k tomu, aby popisoval jednotlivé vlastnosti těles. Jedná se tedy o smyšlené těleso, jež je schopno vstřebat do sebe všechno záření, které na něj dopadá. Absolutně černé těleso je možno chápat jako dutou kostku s otvorem malých rozměrů.



*Obr. 4 Realizace absolutně černého tělesa [2]*

V případě, kdy do dutiny s matným a černým vnitřním povrchem projde nepatrným otvorem záření, nastane jeho pohlcení po pár odrazech. Tento otvor malých rozměrů se navenek jeví právě jako absolutně černé těleso, tedy všechno záření projde touto skulinkou dovnitř, ale ven už záření nevyjde.

Teplota černého tělesa se zvětšuje tím více, čím větší množství záření pohltí. Tato skutečnost vede k tomu, že energie z černého tělesa bude vyzařována formou tepelného záření. Z obr. 5 je patrné, že pokud teplota měřeného objektu stoupá, tak dochází k posouvání maxima vyzařování a to ve směru ke stále kratším vlnovým délkám. Navíc nedochází k překrývání křivek jednotlivých těles. V celém vlnovém rozpětí dochází ke vzrůstu energie, která je vyzařována (tomu korespondují plochy, jež se nachází pod jednotlivými křivkami) a to se čtvrtou mocninou teploty (viz Stefan-Boltzmannův zákon). K tomu, abychom mohli jednoznačně určit teplotu, stačí vyzařovaný signál z tělesa. [3] [4]



Obr. 5 Vyzařovací charakteristiky černého tělesa v závislosti na jeho teplotě [4]

V roce 1893 zpozoroval fyzik Wilhelm Wien vliv teploty na záření a tuto vazbu popsal v tzv. Wienově posunovacím zákonu, který zní: *Součin vlnové délky, na kterou připadá maximální intenzita vyzařování černého tělesa při termodynamické teplotě  $T$ , a této teploty je konstantní.* Jeho matematický popis vyjadřuje následující rovnice.

$$\lambda_m \cdot T = b$$

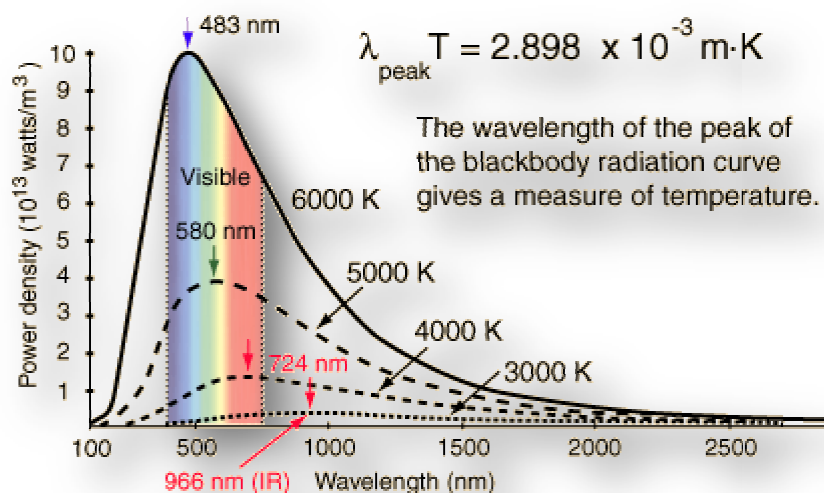
Rovnice 1.2 Wienův posunovací zákon

$T$  - termodynamická teplota černého tělesa (K)

$\lambda_m$  - vlnová délka, pod níž spadá největší intenzita vyzařování při dané teplotě

$b$  - Wienova konstanta  $2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$

V případě, kdy roste teplota, se posunuje  $\lambda_m$  směrem ke konci spektra, jež je krátkovlnné. Jestliže teplota naopak klesá, přísluší největší hodnota vyzařované intenzity větší vlnové délce (obr. 6).



Obr. 6 Znárodnění Wienova posunovacího zákona [5]

Německému fyzikovi, který se jmenoval Max Planck, se podařilo opravit od veškerých nedostatků zákony, které popisovaly vyzařování černého tělesa. Tento fyzik uvedl zjednodušující hypotézu, že takovéto těleso není schopno toho, aby energii pohlcovalo či vyzařovalo v jakémkoli kvantum, nýbrž jen v jistém množství. Tento předpoklad vymyslel pro snadnější odvození vlastností černého tělesa. Zavedl tedy rovnici, ve které přiřadil určitou velikost energie každému kvantu záření, jež je v přímé úměrnosti s frekvencí záření. [3]

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

*Rovnice 1.3 Výpočet energie kvanta záření*

*E - energie kvanta záření*

*f - frekvence kvanta záření*

*$\lambda$  - vlnová délka (m)*

*c - rychlost světla ve vakuu*

*h - Planckova konstanta  $6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s*

Díky tomuto zjednodušení se mu podařilo vytvořit a roku 1900 publikovat rovnici, podle níž lze charakterizovat elektromagnetické vlnění absolutně černého tělesa v jakékoli oblasti spektra. [3]

$$H_{0\lambda} = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 \cdot [\lambda^5 \cdot (e^{(h \cdot c)/(k \cdot \lambda \cdot T)} - 1)]^{-1} = c_1 \cdot \lambda^{-5} (e^{c_2/(\lambda \cdot T)} - 1)^{-1}$$

*Rovnice 1.4 Planckův zákon*

*$H_{0\lambda}$  - spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa pro konkrétní vlnovou délku*

*k - Boltzmannova konstanta  $1,380658 \cdot 10^{-23}$  J.kg<sup>-1</sup>*

*$c_1$  - první vyzařovací konstanta  $c_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 = (3,741\ 774\ 9 \pm 0,000\ 002\ 2) \cdot 10^{-16}$  W.m<sup>-2</sup>*

*$c_2$  - druhá vyzařovací konstanta  $c_2 = h \cdot c/k = (1,438\ 769 \pm 0,000\ 012) \cdot 10^{-16}$  W.m<sup>-2</sup>*

*T - termodynamická teplota černého tělesa (K)*

Dalším zákonem, který se zabývá touto problematikou, je Kirchhoffův zákon, který říká, že poměr intenzity vyzařování  $M$  tepelného zářiče k pohltivosti označované jako  $\alpha$  je závislý pouze na termodynamické teplotě tělesa. Není tedy závislé na chemickém složení tělesa, úpravě jeho povrchu či oxidaci. Zákon popisují následující vztahy.



$$\frac{M}{\alpha} = f(T)$$

*Rovnice 1.5 Kirchhoffův zákon*

$$M = f(T)$$

*Rovnice 1.6 Kirchhoffův zákon pro černé těleso*

Pro spektrální hustoty veličin lze tento zákon uplatit také, ale s tím rozdílem, že bude podíl veličin také navíc funkcí vlnové délky.

$$\frac{M_\lambda}{\alpha_\lambda} = \frac{M_{0\lambda}}{\alpha_{0\lambda}} = M_{0\lambda} = f(T, \lambda)$$

*Rovnice 1.7 Kirchhoffův zákon pro spektrální hustoty*

$M_\lambda$  - spektrální hustota intenzity vyzařování pro danou vlnovou délku

$M_{0\lambda}$  - spektrální hustota vyzařování černého tělesa pro danou vlnovou délku

$\alpha_\lambda$  - spektrální pohltivost pro danou vlnovou délku

$\alpha_{0\lambda}$  - spektrální pohltivost černého tělesa pro danou vlnovou délku

Z Kirchhoffova zákona vyplývá několik závěrů:

- nejvíce těleso pohlcuje takové spektrální složky elektromagnetického vlnění, jenž nejsilněji vyzařuje a opačně
- u černého tělesa je platné, že  $\alpha_0 = 1$  a  $\alpha_{0\lambda} = 1$
- $\varepsilon = f(\lambda, T)$ , ( $\varepsilon$  = emisivita)
- $M = \varepsilon \cdot M_0$  a  $M_\lambda = \varepsilon \cdot M_{0\lambda}$

Jestliže je těleso nepropustné pro záření (propustnost v úhrnném spektru vlnových délek  $\tau = 0$ ), pak dojde k tepelné rovnováze. Při tomto se bude vyzařované záření rovnat dopadajícímu záření a dle Kirchhoffova zákona vstoupí v platnost vztah 1.8. [6]

$$\varepsilon = \alpha \quad \text{respektive} \quad \varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

*Rovnice 1.8 Kirchhoffův zákon pro nepropustné těleso*

Pro černé těleso se dále uplatňuje zákon Lambertův, jenž tvrdí, že v každém směru je u ideálního plošného zdroje tepelného záření jeho zář  $L$  shodná. Mezi zářivostí  $I$  a úhlem  $\varphi$ , kterým jsou komice k rovině zdroje (normála  $\mathbf{n}$ ) a orientace sledování svírány, existuje závislost, kterou tento zákon vytváří. *Kosinové zářiče* jsou taková tělesa, pro která se uplatňuje rovnice (1.9). V omezeném úhlu se Lambertův zákon uplatňuje pro reálná tělesa (viz obr. 8). [6]

$$L_\varphi = \frac{I_n}{\Delta S} = \frac{I_\varphi}{\Delta S \cdot \cos \varphi} = \frac{I_\varphi}{\Delta S_n} = \text{konst.} \quad I_\varphi = I_n \cdot \cos \varphi$$

*Rovnice 1.9 Lambertův zákon*

$L_\varphi$  - zář v definovaném úhlu

$I_n$  - maximální hodnota zářivosti ve směru kolmice

$S$  - plocha ideálního plošného zdroje tepelného záření

$I_\varphi$  - zářivost v definovaném úhlu

$S_n$  - plocha kolmého průmětu k ploše ideálního zdroje

## 1.2 Emisivita

Pod pojmem *emisivita*  $\varepsilon$  rozumíme rozsah schopnosti jistého předmětu vyzařovat infračervenou energii. Tato je navíc nositelem informace o jeho teplotě. Jinak řečeno, je to také poměr veškeré vyzařované energie z povrchu určitého tělesa s danou teplotou k souhrnné vyzařované energii (absolutně) černého tělesa při totožné teplotě. Hodnota emisivity je udávána v poměrných číslech a to z intervalu od 0 do 1, přičemž vycházíme z toho, že (absolutně) černé těleso má emisivitu rovnu 1 a (naprosto) lesklé těleso má emisivitu rovnu 0 (lesklé zrcadlo). Jako šedá tělesa nazýváme předměty, jejichž emisivita

je menší než 1. Určité objekty, které nazýváme ne-šedé jsou pak takové, jejichž emisivita je závislá také na vlnové délce a teplotě. Pro emisivitu je platný vztah 1.10. [6] [7]

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

Rovnice 1.10 Výpočet emisivity

$M_0$  - intenzita vyzařování černého tělesa

$M_{0\lambda}$  - spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa pro danou vlnovou délku

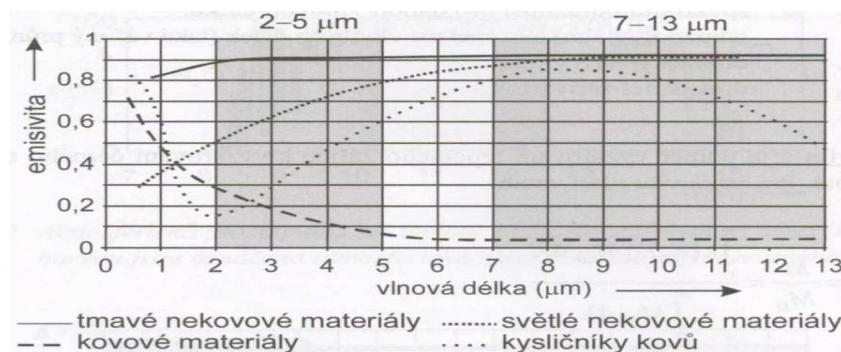
$\varepsilon(\lambda, T)$  - emisivita (je funkcí vlnové délky a teploty)

Zavádíme taktéž pojem *spektrální emisivita*  $\varepsilon_\lambda$ , kterou rozumíme poměr spektrální hustoty intenzity vyzařování tepelného zářiče ke spektrální hustotě vyzařování černého tělesa při stejné teplotě.

$$\varepsilon_\lambda = \frac{M_\lambda}{M_{0\lambda}}$$

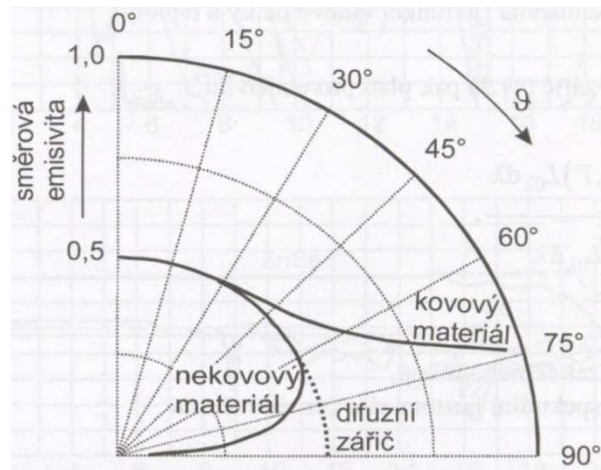
Rovnice 1.11 Výpočet spektrální emisivity

$M_\lambda$  - spektrální hustota intenzity vyzařování tepelného zářiče pro danou vlnovou délku



Obr. 7 Orientační hodnoty spektrální emisivity pro různé materiály (šedou barvou je označeno krátkovlnné a dlouhovlnné pásmo v termovizní technice) [6]

Další veličinou je *směrová (směrová spektrální) emisivita*  $\varepsilon$ , která je rovna poměru hustoty (spektrální hustoty) zářícího objektu ve směrech  $\varphi$  (směrový úhel) a  $\vartheta$  (stranový úhel) k hustotě (spektrální hustotě) záření černého tělesa při totožné teplotě. [6]



Obr. 8 Závislost emisivity materiálů, ideálního difuzního materiálu a černého tělesa na úhlu od normály měřené plochy [6]

Navíc se veškeré množství energie, které je vyzařováno, skládá z emitovaného záření ( $E$ ), procházejícího ( $T$ ) a odraženého ( $R$ ) a jeho hodnota je 1.

$$E + R + T = 1$$

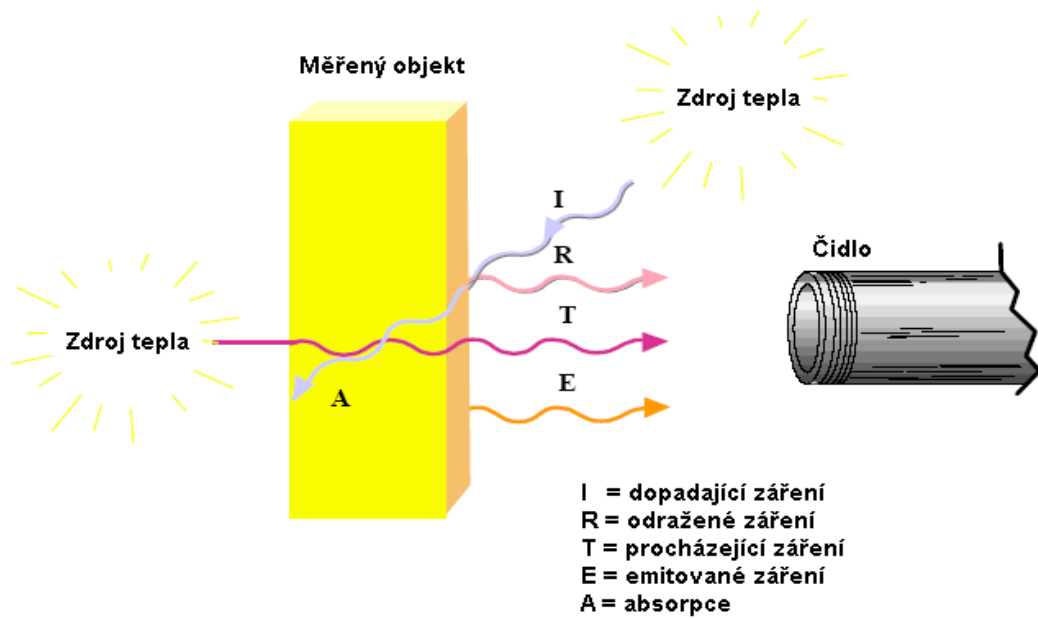
Rovnice 1.12 Množství energie

Záření, které by procházelo infračerveným pásmem, se u pevných těles nevyskytuje. Pak je tedy  $T = 0$  a pro emisi vyhovuje rovnice 1.13.

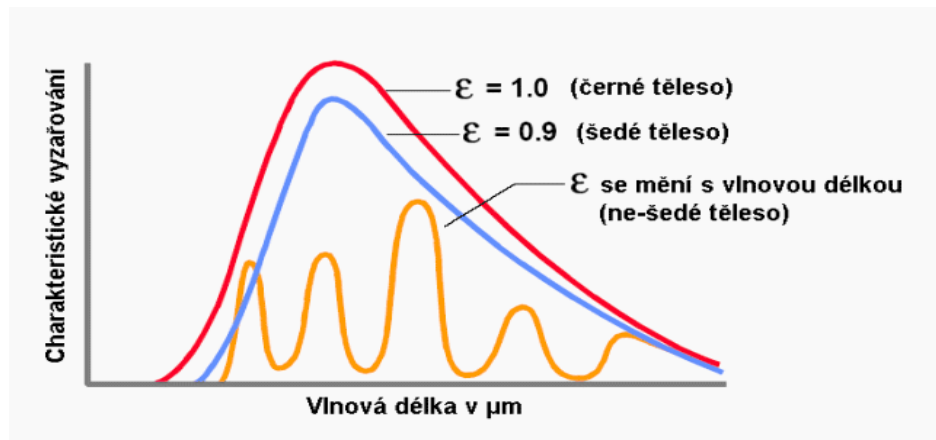
$$E = 1 - R$$

Rovnice 1.13 Emise

Totálně černé těleso disponuje rovněž nulovou odrazivostí, lze tedy rozumět, že  $R = 0$  a současně platí  $E = 1$ . [7]



Obr. 9 Vyzařování reálného objektu [7]



Obr. 10 Charakteristické vyzařování při různých emisivitách [7]

### 1.3 Pohltivost, propustnost, odraznost

➤ **Pohltivost** (absorbance) záření  $\alpha$  určují rovnice: [6]

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda a}}{\Phi_{\lambda d}}; \quad \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_d} = \frac{\int_0^\infty \Phi_{\lambda a} \cdot \alpha_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{\lambda d} d\lambda}$$

Rovnice 1.14 Pohltivost

$\alpha_\lambda$  - spektrální pohltivost pro danou vlnovou délku

$\alpha$  - pohltivost v úhrnném spektru vlnových délek (rovněž vážený průměr  $\alpha_\lambda$ )

$\Phi_a$  - pohlcený zářivý tok

$\Phi_d$  - dopadající zářivý tok

➤ **Propustnost** (transmittance)  $\tau$  určují rovnice: [6]

$$\tau_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda t}}{\Phi_{\lambda d}}; \quad \tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_d} = \frac{\int_0^\infty \Phi_{\lambda t} \cdot t_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{\lambda d} d\lambda}$$

*Rovnice 1.15 Propustnost*

$\tau_\lambda$  - spektrální propustnost pro danou vlnovou délku

$\tau$  - propustnost v úhrnném spektru vlnových délek (rovněž vážený průměr  $\tau_\lambda$ )

$\Phi_t$  - prostupující zářivý tok

$\Phi_d$  - dopadající zářivý tok

➤ **Odraznost** (reflektance) záření  $\rho$  určují rovnice: [6]

$$\rho_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda r}}{\Phi_{\lambda d}}; \quad \rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_d} = \frac{\int_0^\infty \Phi_{\lambda r} \cdot \rho_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{\lambda d} d\lambda}$$

*Rovnice 1.16 Odraznost*

$\rho_\lambda$  - spektrální odraznost pro danou vlnovou délku

$\rho$  - odraznost v úhrnném spektru vlnových délek (rovněž vážený průměr  $\rho_\lambda$ )

$\Phi_r$  - odražený zářivý tok

$\Phi_d$  - dopadající zářivý tok

## 2 DETEKTORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ

Tato část se zabývá konkrétními druhy detektorů infračerveného záření, jako jsou tepelné (termoelektrické, bolometrické, pyroelektrické) a kvantové. Rovněž jsou zde popsány základními parametry těchto detektorů.

### 2.1 Základní parametry detektorů záření

- a) *Integrální citlivost*  $K$ , kterou udává poměr mezi elektrickým napětím  $U$ , jenž je na výstupu detektoru a zářivého toku  $\Phi$  dopadajícího na citlivou plochu detektoru

$$K = \frac{U}{\Phi} \quad (V \cdot W^{-1})$$

*Rovnice 2.1 Integrální citlivost*

- b) *Spektrální citlivost*  $K_\lambda$  udávající závislost citlivosti  $K$  na vlnové délce  $\lambda$

$$K_\lambda = \frac{U}{\Phi_\lambda} \quad (V \cdot W^{-1})$$

*Rovnice 2.2 Spektrální citlivost*

- c) *Relativní spektrální citlivost*  $S_\lambda$  popisuje vztah (2.3)

$$S_\lambda = \frac{K_\lambda}{K_{\lambda max}} \quad (1)$$

*Rovnice 2.3 Relativní spektrální citlivost*

- d) *NEP (Noise Equivalent Power)* (tzv. výkonový ekvivalent) udávající zářivý tok, při němž je výstupní signál  $U$  právě roven efektivní hodnotě spektrální hustoty šumového napětí

$$NEP = \Phi \cdot \frac{\sqrt{u_s^2}}{U} \quad (\text{W} \cdot \text{Hz}^{-1/2})$$

Rovnice 2.4 NEP

$$\sqrt{u_s^2} = \sqrt{\frac{U_s^2}{\Delta f}} - \text{spektrální hustota šumového napětí}$$

$$\sqrt{U_s^2} - \text{efektivní hodnota integrálního šumového napětí}$$

$\Delta f$  - šířka frekvenčního pásma

e) *Detektivita D* (detekční schopnost) odpovídá převrácené hodnotě *NEP*

$$D = \frac{1}{NEP}$$

Rovnice 2.5 Detektivita

f) *Normovaná (specifická) detektivita D\** není závislá na citlivé ploše *S* detektoru záření

$$D^* = D \cdot \sqrt{S} = \frac{\sqrt{S}}{NEP} \quad (\text{W}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{Hz}^{1/2})$$

Rovnice 2.6 Normovaná detektivita

Pokud známe tepelný tok, je možné stanovit poměr signál/šum *S/N*. [6]

$$\frac{S}{N} = \frac{\Phi \cdot D^*}{\sqrt{S \cdot \Delta f}}$$

Rovnice 2.7 Poměr signál/šum



## 2.2 Druhy detektorů

Ke snímání infračerveného záření se používá v zásadě dvou druhů detektorů, jež se od sebe odlišují interakcí fotonů s materiálem. Tyto detektory využívají ke změně IR záření na elektrický signál, který je vhodný pro elektronické zpracování, dvou odlišných metod. [6]

- *tepelné detektory (thermal detectors)* - ke změně využívají některých vlastností materiálu na principu pohlcení energie IR záření; v podstatě vyhodnocují změnu teploty detektoru na základě integrování absorbované zářivé energie
- *kvantové detektory (quantum detectors)* - jejich funkce je založena na přímé přeměně dopadajícího záření na náboj, respektive elektrický proud; excitací volných nosičů náboje tedy reagují na fotony, které jsou absorbované

### 2.2.1 Tepelné detektory infračerveného záření

K vyhodnocení pohlcené energie dochází nepřímo prostřednictvím snímačů teploty a k tomu je využívána u tepelných detektorů absorpce fotonů k oteplení citlivé části detektoru. Další rozdělení tepelných detektorů je: [6]

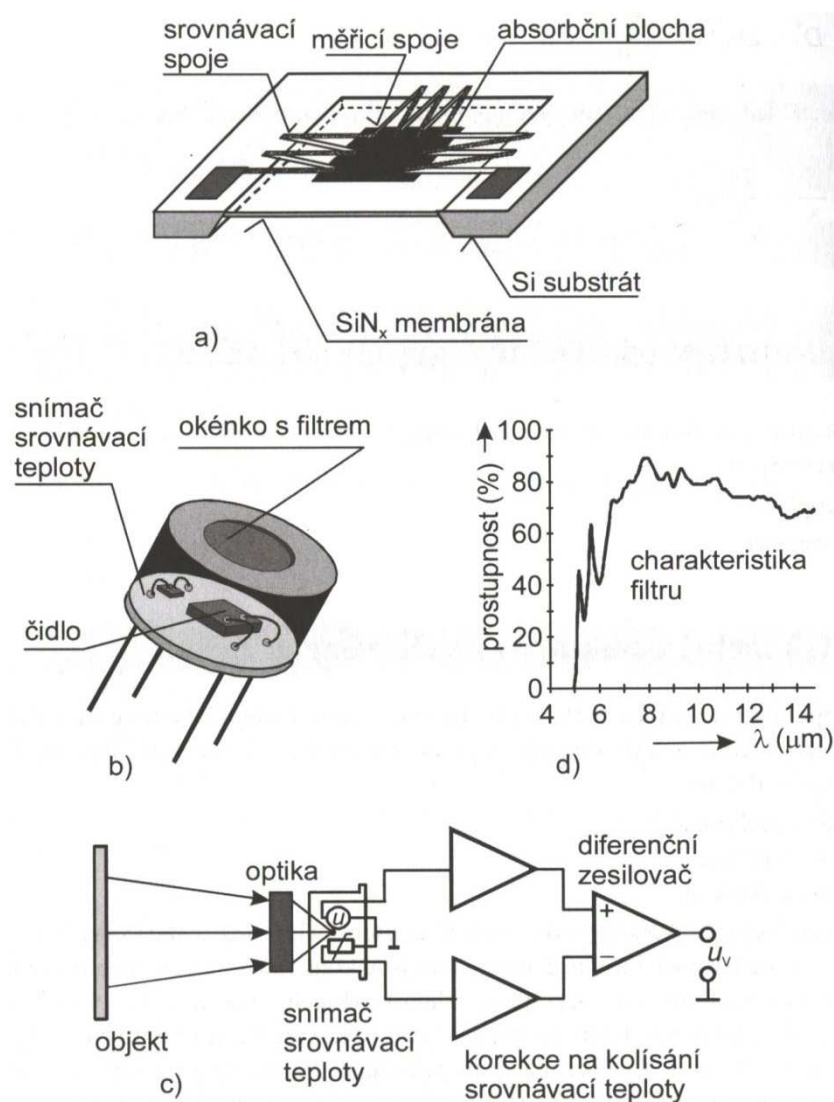
- termoelektrické
- bolometrické
- pyroelektrické

#### 2.2.1.1 Termoelektrické detektory

Tyto detektory záření se taktéž nazývají termoelektrické baterie. Jejich vyobrazení je na obr. 11 a jedná se o termoelektrické články řazené v sérii. Tyto články jsou konstruovány ve formě tenké kovové pásky s tloušťkou cca 0,03 mm nebo jako pásky vyrobené s využitím technologie tenkých vrstev, či křemíkovou technologií. Pod termoelektrické materiály spadají nejen klasické normované typy termoelektrických větví, ale i chemické prvky, jako např. bismut (Bi) a antimon (Sb), jež jsou dopovány selenem (Se) a tellurem (Te), které mají termoelektrický koeficient až  $230 \mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$ . Na obr. 11 je uspořádání využívající kombinace kovů BiSb-NiCr. [6]

Disponuje následujícími technickými parametry:

- 100 termoelektrických spojů
- integrální citlivost  $K = 110 \text{ V} \cdot \text{W}^{-1}$
- normovaná detektivita  $D^* = 2,1 \cdot 10^8 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
- $NEP = 0,35 \text{ nW} \cdot \text{Hz}^{1/2}$
- měřicí odpor Ni 1000
- časová konstanta 40 ms
- rozměr čipu 2 x 2 mm

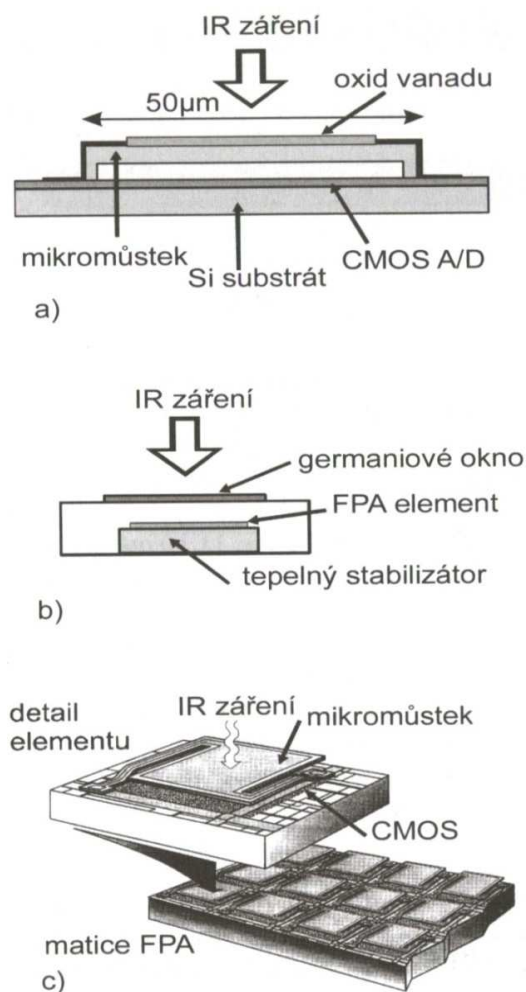


Obr. 11 Termoelektrické detektory (a - termoelektrický detektor realizovaný technologií tenkých vrstev, b - uspořádání čidla v pouzdru včetně snímače srovnávací teploty, c - připojení elektronických obvodů, d - charakteristika filtru) [6]

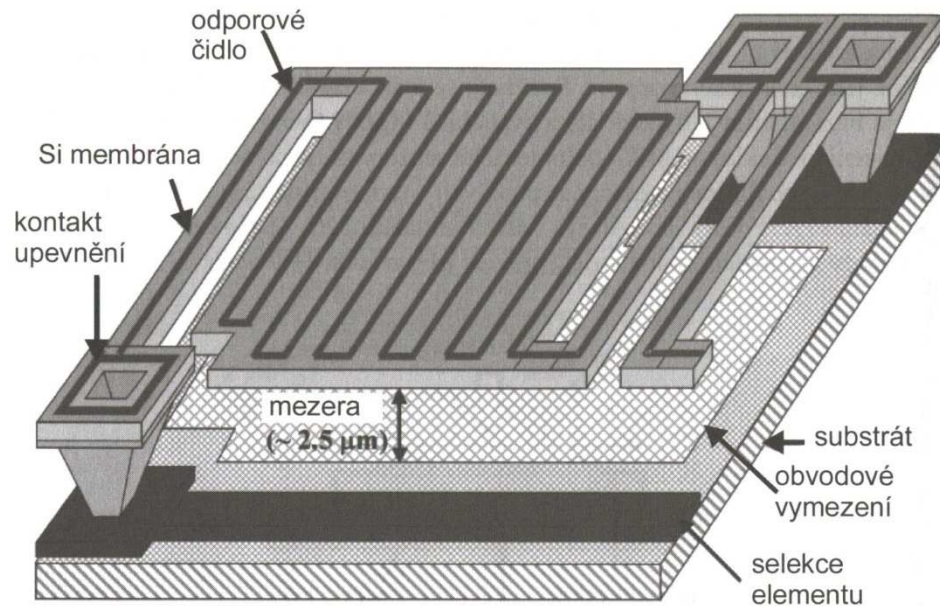
### 2.2.1.2 Bolometrické detektory

U tohoto druhu detektorů je záření snímáno na základě oteplování detektoru odporovým materiálem, který je teplotně závislý. Jinými slovy lze říci, že změna teploty odporového čidla a tím i jeho elektrického odporu je způsobena vlivem pohlceného záření. K jejich provedení jsou používány mikroelektronické technologie, jež jsou vyráběny na základě odporových materiálů z kysličníků MgO, MnO, NiO, TiO<sub>2</sub>, Ti<sub>2</sub>SeAs<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> (chalkogenidové sklo) a jiných.

Jako plošné či řádkové detektory je možno uspořádat mikrobolometrické senzory. V maticovém uspořádání FPA (Focal Plane Array) jsou v termovizních kamerách používány plošné detektory. Tyto matice v sobě pojmají 320 x 240 až 640 x 480 elementů. Na obr. 12 a 13 jsou znázorněny ukázky uspořádání bolometrické matice. [6]



Obr. 12 FPA mikrobolometrická matice (a - detail elementu, b - řez umístění elementu, c - uspořádání matice FPA) [6]



Obr. 13 Mikrobolometrický element matice [6]

Na obr. 12 je tvořena oxidem vanadu odporová vrstva mikrobolometru. Pro oblast infračerveného záření, které disponuje dlouhou vlnou, je tento detektor vyhovující právě díky tomu, že vlnovou délku nižší než  $7,5 \mu\text{m}$  vymezuje germaniové okno, jež plní funkci filtru. U tohoto detektoru nezávisí detektivita na vlnové délce, což je jeho výhodou. Taktéž disponuje poměrně značnou časovou konstantou (kolem 12 ms). Na Peltierově jevu (uvolňování tepla na rozhraní dvou stýkajících se materiálů při průchodu proudu) je založen tepelný stabilizátor a svou funkci vykonává při teplotě blízké okolí. Obr. 13 vystihuje mikrobolometr, jehož odporový meandr je vyroben z oxidu titanu a má teplotní součinitel odporu  $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Membrána obsahuje aktivní část s rozměrem  $49,2 \times 43,6 \text{ mm}$ .

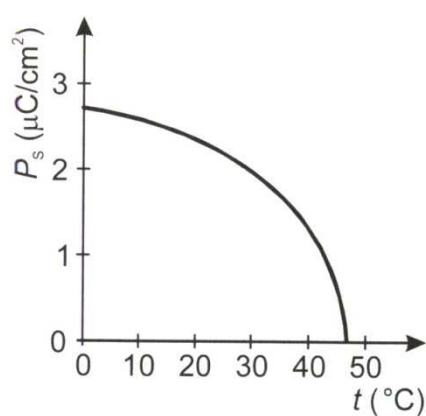
### 2.2.1.3 Pyroelektrické detektory

Princip těchto detektorů záření spočívá na pyroelektrickém jevu, tedy při změně teploty dochází ke změně spontánní polarizace  $P_s$  (obr. 14). Výskyt pyroelektrického jevu lze pozorovat u pyroelektrik, které mají trvalou polarizaci. Vyskytuje se taktéž u některých feroelektrik, jejichž doménová orientace vznikne silným elektrickým polem. Materiály, jež jsou nejvíce využívány, jsou shrnuty v tab. 1 ( $\text{LiTaO}_3$  - tantalát lithia,  $\text{BaTiO}_3$  - titaničitan baria, TGS - triglycin-sulfát - již nepoužívaný, PZT - keramické materiály na bázi

titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého, PVDF - polyvinylfluorid,  $\text{PbTiO}_3$  - titaničitan olova).

Tab. 1 Pyroelektrické koeficienty [6]

materiál	$\text{LiTaO}_3$	$\text{BaTiO}_3$	TGS	PZT	PVDF	$\text{PbTiO}_3$
pyroelektrický koeficient $p$ ( $\text{C.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )	$2.10^{-4}$	$4,0.10^{-4}$	$3,5.10^{-4}$	$4,2.10^{-4}$	$0,4.10^{-4}$	$2,3.10^{-4}$



Obr. 14 Závislost spontánní polarizace na teplotě [6]

Pyroelektrický koeficient  $p$  představuje základní parametr pyroelektrického detektoru záření a je definován vztahem 2.8.

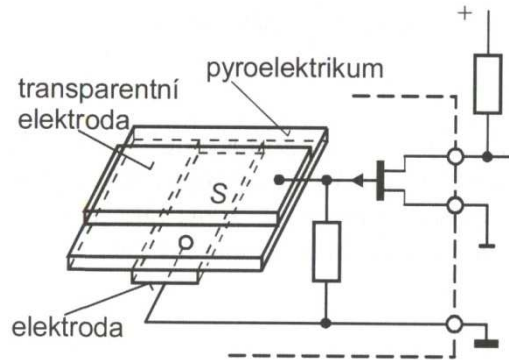
$$p = \left( \frac{\partial P_s}{\partial T} \right)_T \quad (\text{C.m}^{-2}.\text{K}^{-1})$$

Rovnice 2.8 Pyroelektrický koeficient

$P_s$  - spontánní polarizace

$T$  - teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )

Pyroelektrický koeficient  $p$  disponuje hodnotami z rozmezí (0,4 až 4,2) C.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>. Pyroelektrický čip s předzesilovačem vystihuje schéma na obr. 15. Pro potřeby infračerveného záření je nutné, aby pro něj byla čelní elektroda transparentní.

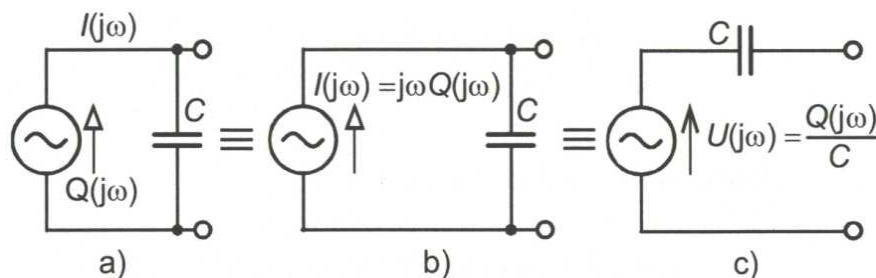


Obr. 15 Pyroelektrický čip s předzesilovačem [6]

Pro představu lze uvést, že detektor odpovídá kondenzátoru (viz obr. 16), na kterém se při změně polarizace naindukuje na jeho elektrodách elektrický náboj. Tento jev popisuje vztah 2.9.

$$dQ = S \left( \frac{\partial P_s}{\partial T} \right)_T dT = S |p(T)| dT$$

Rovnice 2.9 Indukce elektrického náboje na elektrodách



Obr. 16 Náhradní obvody pyroelektrického detektoru (a - se zdrojem náboje, b - se zdrojem proudu, c - se zdrojem napětí) [6]

Přes rezistor  $R$  (určený vstupním odporem zesilovače a svodovým odporem pyroelektrika) dochází k vybíjení náboje na elektrodách. Je zapotřebí, aby záření dopadající na detektor bylo před každým odměřením zacloněno a následně odcloněno, popřípadě je nutno využít časově proměnný zářivý tok. Výstupní napětí  $U_{ef}$  je dáno v případě, kdy se jedná o modulovaný (modulace úhlovým kmitočtem  $\omega$ ) či harmonický dopadající zářivý tok rovnicí 2.10.

$$U_{ef} = \frac{\alpha \cdot \Phi_{ef} \cdot p(T) \cdot R \cdot \omega}{k \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot \tau_t^2} \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot \tau_e^2}}$$

*Rovnice 2.10 Výpočet výstupního napětí*

$U_{ef}$  - výstupní napětí

$\alpha$  - pohltivost

$\Phi_{ef}$  - vysílaný zářivý tok

$p(T)$  - pyroelektrický koeficient závislý na termodynamické teplotě

$R$  - odpor rezistoru

$\omega$  - úhlový kmitočet

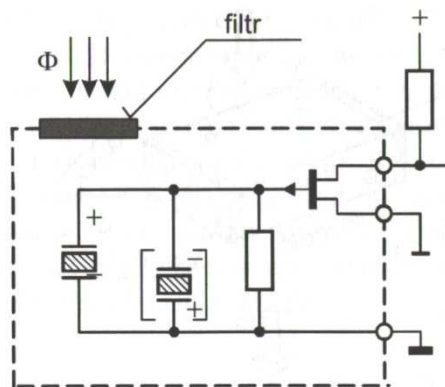
$k$  - Boltzmannova konstanta

$\tau_t$  - teplotní časová konstanta

$\tau_e$  - elektrická časová konstanta

Mimo jevu pyroelektrického se u pyroelektrických materiálů projevuje také jev piezoelektrický, který je zde parazitní. Tento parazitní úkaz je pak zdrojem nejistoty měření při deformaci pyroelektrika, která nastane např. při otřesu. K potlačení tohoto nežádoucího jevu jsou vyráběny detektory, jejichž vylepšení spočívá v kompenzaci s druhým detektorem, jenž je opačně polarizovaný a navíc má odstíněnou detekční plošku. V zabezpečovacích systémech pracují pyroelektrické detektory na stejném principu s tím rozdílem, že nemají zastíněný druhý detektor. V případě, že se v prostoru, kde je tento typ detektoru instalován, pohybuje nějaký živý objekt, vytváří výstupní impulzní signál,

protože zářivý tok je přijímán nejdříve jedním a pak druhým opačně polarizovaným detektorem. [6]



Obr. 17 Kompenzovaný integrovaný pyroelektrický detektor [6]

### 2.2.2 Kvantové detektory infračerveného záření

Funkce kvantových detektorů je založena na fyzikálním jevu, při němž dochází ke vzájemnému působení dopadajících fotonů, které vytvářejí páry elektron - díra. K tomu, aby došlo k uvolnění a následnému přechodu elektronu na vyšší energetickou hladinu je zapotřebí splnit určité předpoklady a to takové, aby byla teplota vyšší než absolutní nula a dále, aby byla splněna podmínka  $W_f \geq W_g$ , kde  $W_f$  odpovídá energii fotonů a  $W_g$  je energie, která udává šířku zakázaného pásu polovodiče. Vztah (2.10) popisuje absorbované fotony z hlediska jejich energie  $W_f$ . [6]

$$W_f = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e} \quad (eV)$$

Rovnice 2.11 Výpočet energie fotonů

$h$  - Planckova konstanta

$c$  - rychlost světla

$\lambda$  - vlnová délka záření

$e$  - náboj elektronu



V energetickém pásovém modelu polovodiče tedy elektron opustí valenční pás a přejde do pásu vodivostního. Prázdné místo, jež se nazývá díra, pak vznikne v elektronovém obalu ionizovaného atomu, které zde zanechá již uvolněný elektron. Chování elementárního kladného náboje pak vykazuje ionizovaný atom. Elektron, jenž byl uvolněn, disponuje možností volného pohybu v rámci polovodiče. V případě, kdy ionizovaný atom převezme do svého elektronového obalu ze sousedního neutrálního atomu chybějící elektron, dochází tak k pohybu děr. Jako dírou a současně i nositelem kladného náboje se pak stává právě takto ionizovaný atom. Jevem, který lze považovat v polovodiči za náhodný, je tepelný pohyb elektronů a děr.

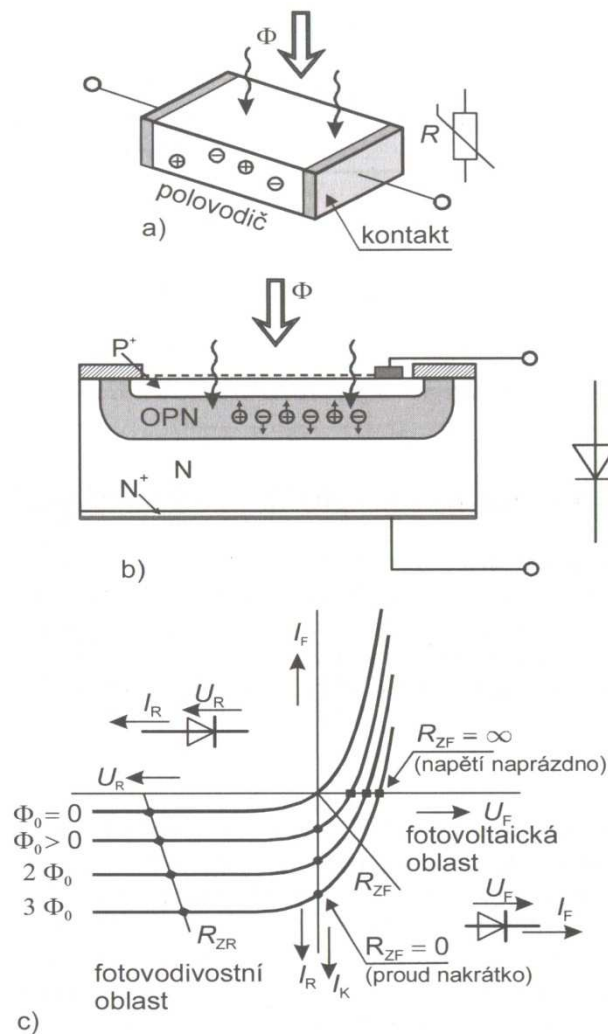
Kvantové detektory spadají do skupiny detektorů, které jsou polovodičové (Si - křemík, Ge - germanium, PbS - sulfid olovnatý, Te - tellur, InSb - antimonid inditý, PbSe - selenid olovnatý, GaAs - arsenid gallitý, CdHgTe - tellurid rtuti-kadmia, PbSnTe - tellurid cínu-olova). Tyto detektory se dělí podle toho, jaký obsahují polovodič a to na intrinsické a extrinsické.

Na výrobu intrinsického detektoru se využívá čistý (tzv. vlastní) polovodič. Detektory, jež spadají do kategorie intrinsických (fotorezistory), využívají faktu, že při dopadu fotonů na polovodičovou vrstvu (obr. 18a) dochází ke změně pohyblivosti nosičů nábojů. Vodivost je pak dána funkcí fotonového toku. Svou činnost tedy detektor vykonává v tzv. fotovodivostním (fotokonduktivním) módu. Proto je zapotřebí přivést na něj elektrické pole s využitím vnějšího napětí. Toto pole vyvolá unášení nosičů náboje, a tudíž pak elektrický proud prochází vnějším obvodem. [6]

Naopak extrinsické (tzv. nevlastní) polovodiče, které mají PN strukturu, jsou východiskem pro extrinsické detektory. Zde určuje koncentrace příměsí hustotu nosičů nábojů. Jako polovodič typu N označujeme atom příměsí, který disponuje nadbytečným valenčním elektronem. Obdobně nese označení typu P polovodič, který je dotovaný, a jeho majoritními nosiči jsou díry. V tomto případě je elektron polovodiče vázán atomem příměsí. Polovodičová destička s PN strukturou je taková, která má oba typy vodivosti, neboli disponuje PN přechodem. S využitím difuze elektronů z oblasti N do oblasti P a děr z oblasti P do oblasti N se snaží na obou stranách PN přechodu dosáhnout nosiče náboje termodynamické rovnováhy a dále toho, aby na obou stranách rozhraní byla koncentrace elektronů a děr vyrovnána. Oblastí prostorového náboje (OPN) nazýváme takovou oblast, kterou je označena elektrická dvojrůžnost nábojů, jenž je výsledkem difuze na přechodu. Volné nosiče se v OPN nacházejí v rovnovážném stavu. Obr. 18b znázorňuje, jak vypadá

realizace fotodiod neboli extrinsických PN detektorů. V případě, kdy je záření absorbováno, nastává v OPN rozdělení párů elektron-díra. Při absorpci difundují elektrony do oblasti N a díry do oblasti P. Na anodě fotodiody bude záporné napětí vůči katodě. Pracovní režim fotodiod je rozdělen na dva primární módy (viz obr. 18c): [6]

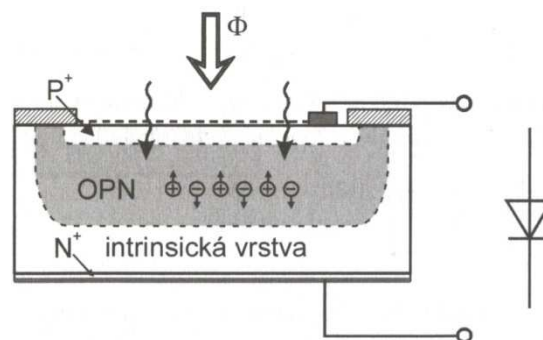
- fotovodivostní
- fotovoltaiický



Obr. 18 Princip kvantových detektorů (a - fotorezistor, b - fotodiodový detektor, c - voltampérová charakteristika fotodiodového detektoru) [6]

Vlastnosti pasivního prvku, u něhož se s rostoucí intenzitou ozáření snižuje elektrický odpor (vodivost roste), vykazuje fotodioda, která se nachází ve fotovodivostním režimu. K polarizaci fotodiody do závěrného směru dojde v případě, kdy je připojena ke

zdroji napětí v sérii s rezistorem  $R_{ZR}$ . Zdrojem proudu, který je řízený intenzitou ozáření, lze nahradit obvod, jenž se skládá z fotodiody, zatěžovacího rezistoru  $R_{ZR}$  a zdroje napětí. Tento fakt vyplývá z voltampérové charakteristiky fotodiodového detektoru. Obdobně jako ve fotovoltaickém režimu dochází ke generaci volných elektronů a děr a to dopadajícími fotony. Jestliže je PN přechod polarizován závěrně, je u tohoto případu vyšší intenzita elektrického pole. Volné generované elektrony mají vyšší rychlost driftu ke kontaktu katody, kdežto díry driftují k anodovému kontaktu a to z důvodu širší oblasti PN přechodu. Ke zvýšení přenosové rychlosti fotodiody dochází s rostoucí rychlostí nosičů (frekvenční šířka pásma, rychlost odezvy). Z tohoto důvodu dochází k výrobě fotodiody PIN (obr. 19), která disponuje ve své středové oblasti takřka vlastní (intrinsickou) vodivostí. Toto vede v oblasti prostorového náboje k jejímu rozšíření. Taktéž je tímto dosaženo elektrického pole o vysoké intenzitě. Šířka pásma se zvětšuje v důsledku tohoto pole a taktéž způsobuje i zvětšení rychlosti nosičů. Zamezení měření signálů s nízkou úrovní způsobuje přídavný šum, jenž s sebou přináší generování proudu za tmy, který je teplotně závislý. [6]

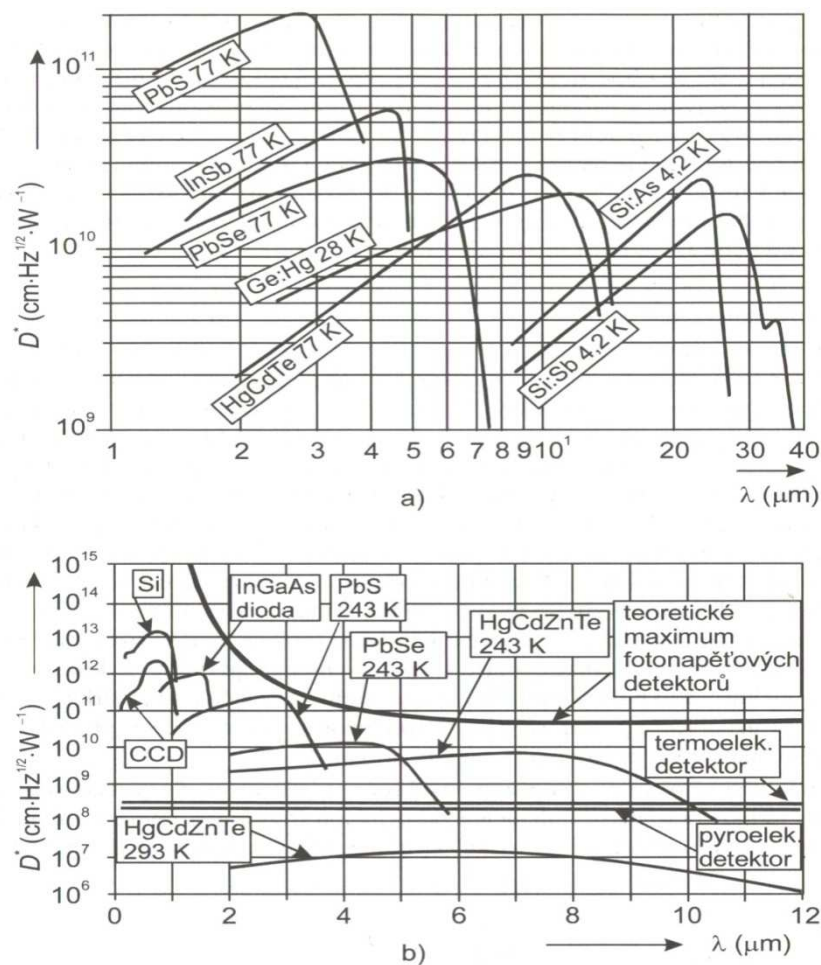


Obr. 19 Fotodioda PIN [6]

V případě, kdy klademe hodně vysoké nároky na odstup signálu od šumu, je zapotřebí, aby byly detektory chlazeny. Chlazení je možno provádět různými způsoby a např. jedno z nich poskytuje využití termoelektrického chladiče pracujícího na principu Peltierova jevu. Fotovoltaické detektory disponují při porovnávání s fotovodivostními většinou nižší citlivostí a taktéž menším odstupem signálu od šumu, ale na druhou stranu mají na rychlé změny toku záření rychlejší odezvu. Fotovodivostní detektory mají sice lepší vlastnosti, ale to jen při vlnové délce záření, které má optimální hodnotu. Z těchto důvodů je zapotřebí, aby byly fotovodivostními detektory chlazeny na velmi nízké teploty. Jako detektory infračerveného záření jsou více využívány fotovoltaické a to právě z příčin

chlazení. Tyto jsou vyráběny např. z polovodičů jako InSb, HgCdTe - tellurid kadmia-rtuť, HgCdZnTe - tellurid zinku-cadmia-rtuť, PbSnTe, InAs - arsenid india, InGaAs - arsenid galia-india, apod.

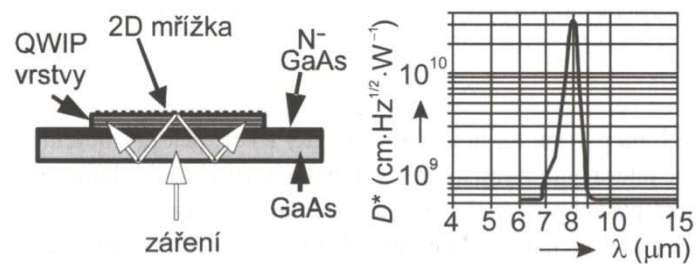
Z tržního hlediska existují detektory typu PN, které disponují difuzní fosforovou vrstvou, jež je umístěna na ozařovaném povrchu vrstvy N. Laserové heterodynní CO<sub>2</sub> (oxido-uhličitě) detektory malých rozměrů jsou vyráběny pro potřebu extrémně krátké doby odezvy. Princip heterodynního detektoru spočívá v heterodynní detekci (demodulaci) elektromagnetického záření a má CO<sub>2</sub> laser. Při demodulaci dochází k tomu, že na polovodičovém prvku s nelineární charakteristikou v důsledku kombinace dvou elektromagnetických záření s rozdílným kmitočtem vznikne signál, jehož kmitočet určuje rozdíl vstupních kmitočtů. Na obr. 20 je znázorněna detektivita některých tepelných a kvantových detektorů. [6]



Obr. 20 Detektivita kvantových detektorů (a - chlazené kvantové detektory, b - nechlazené kvantové a tepelné detektory) [6]

Plošné (FPA) a řádkové detektory se vyrábějí obdobným způsobem jako u bolometrických detektorů. Do této oblasti spadají např. detektory určeny pro pásmo od 3,6 do 5  $\mu\text{m}$ , které pro svou činnost využívají bariéru mezi Si (křemíkem) a PtSi (platinokřemíkem), jenž se nazývá Schottkyho. Elektronů, jež překonají Schottkyho bariéru, vznikají ve vrstvě PtSi a následně pak vyvolají zrod nosičů náboje ve vrstvě Si. Mezi materiál, který je dále rozšířený spadá InSb.

Detektor QWIP (Quantum Infrared Photon Detector) se využívá pro dlouhovlnné pásmo a jeho základ spočívá v substrátu GaAs. Zakázané pásmo je u polovodiče typu arsenidu gallitého 1,35 eV a disponuje pracovní oblastí kolem 0,92  $\mu\text{m}$ , která vyplývá ze vztahu  $h.c/\lambda \geq 1,35$ . Tento detektor tvoří na substrátu GaAs velké množství tenkých vrstev AlGaAs (5 nm) a GaAs (50nm) a to pro posun pásma. Z obr. 21 je pak patrný docílený efekt takového uspořádání. Pro to, aby měl detektor největší citlivost, musí být normála elektrické složky elektromagnetického pole nasměrována ke QWIP vrstvám. Plošné mřížky se využívá z důvodu nesnadného zajištění směřování normály. Na této mřížce se po průchodu tenkou strukturou odrazí tok fotonů, u něhož dojde následně k rozptylu do všech směrů. Ve vrstvách pak dojde k částečnému pohlcení i k částečnému odrazení vektorových složek záření. Tento děj probíhá znovu i pro odraženou část toku. [6]



Obr. 21 Uspořádání a citlivost elementu QWIP FPA matice [6]

### 3 DETEKTORY PRO APLIKACI V BEZPEČNOSTNÍCH SYSTÉMECH

Bezpečnostní detektory představují zařízení, které jsou využívány k tomu, aby ve střeženém prostoru detekovaly jeho narušení. Jedná se tedy o přístroje, jenž vstupní signál převádí na výstupní signál o jiné formě. Nastane-li narušení střeženého prostoru, dojde ke změně vstupního parametru fyzikální veličiny. Tento následně vyvolá podmět k jeho přeměně na výstupní parametr fyzikální veličiny. Po této transformaci je výstupní signál dále zpracováván a vyhodnocován. Detektory se od sebe odlišují podle toho, jaký fyzikální princip využívají ke své činnosti. [8]

Dle hlediska napájení dochází k dělení detektorů:

- A. napájené energií** - je zapotřebí, aby byly zapojeny na zdroj energie
  - I. aktivní* - střežený prostor aktivně ovlivňují (např. produkují elektromagnetického záření)
  - II. pasivní* - na fyzikální změny veličin v okolí reagují pouze pasivně
- B. nezávislé na energii** - není zapotřebí jejich napojení na zdroj energie a jsou tedy schopny samostatné činnosti (např. reakce na změnu magnetického pole)
  - I. destrukční* - poplach detekují pouze jednou (pak je nutná výměna)
  - II. nedestrukční* - po vyhlášení poplachu jsou schopny další činnosti

Podle toho, pro jakou střeženou oblast jsou detektory konstruovány, je jejich určení na zabezpečení ochrany: [8]

- *obvodové (perimetrické)*
- *plášťové*
- *prostorové*
- *předmětové*
- *klíčové*

### 3.1 Pasivní infračervené detektory

Tento typ detektorů bývá hojně označován zkratkou PIR (z anglického *Passive InfraRed Receiver*) a v dnešní době se řadí mezi nejvíce využívané detektory pohybu. Patří mezi prvky poplachových zabezpečovacích a tísňových systémů (PZTS) do kategorie detektorů narušení. Mimo jejich využití pro detekci pohybu v chráněném prostoru jsou taktéž využívány jako spínače různých druhů osvětlení, zejména na chodbách a schodištích ve vícepodlažních budovách.

K jejich kladným vlastnostem patří: velká spolehlivost a taktéž odolnost vůči planým poplachům, jednoduchá montáž a seřízení, možnost instalace více PIR detektorů do jednoho prostoru, malá spotřeba elektrické energie. V případě, kdy potřebujeme střeženou oblast tzv. úplně vykryt, využijeme možnosti montáže více detektorů PIR do této oblasti. Mezi jejich negativní vlastnosti se u starších či levnějších druhů řadí: [10]

- rušení vytvářené světlem → pronikající sluneční záření přes okno v místnosti, světlometry automobilů
- rychlé změny teploty → technická zařízení umístěná v místnosti (topidla, radiátory)
- přístroje pro faxování → padající termopapírový list z faxu
- vybavení v místnosti → vyhřáté hýbající se žaluzie a závěsy od slunečního záření
- zvířectvo → ptáci, hlodavci, kočky, psi
- proudění vzduchu → turbulence studeného či teplého vzduchu (průvan)



Obr. 22 Pasivní infračervený detektor [9]

PIR detektory využívají ke své činnosti toho, že detekují spektrum určitých vlnových délek infračerveného záření. Vlnová délka záření, jež je charakteristická pro člověka s teplotou běžně kolem 36 °C, se pohybuje v rozmezí od 9,3 do 9,4 μm. Na tyto vlnové délky jsou právě PIR detektory nejcitlivější a záření dopadá na *pyroelement*. [10]

### 3.1.1 Pyroelement

Jedná se o polovodičovou součástku, která tvoří hlavní prvek PIR detektoru. Vyrábí se z chemických sloučenin, které obsahují lithium a tantal. Svým charakterem se podobá fototranzistoru, ale svou maximální citlivost má posunutou co nejvíce do oblasti infračerveného záření. Je zapotřebí si ovšem uvědomit, že citlivost pyroelementu se nevztahuje pouze na tyto vlnové délky, je však na ně „pouze“ citlivější.

Pyroelement tedy vykonává funkci měniče s gradientní povahou, tím je myšleno, že nedetekuje takovou úroveň, která je stálá, ale vyhodnocuje pouze změny dopadajícího záření. Jestliže se v zorném poli detektoru pohybuje živý objekt, jenž má jinou teplotu než je teplota pozadí (okolí), dochází v detektoru k zachycení odchylky od běžného stavu pozadí (obr. 23) a to s časovou závislostí. Elektronika detektoru tyto odchylky zesiluje a v případě, že disponují dostatečnou úrovní, nastane aktivace poplachu.

V případě, kdy by PIR detektorem střežený prostor nebyl rozdělen na detekční zóny pomocí Fresnelových čoček nebo zrcadlové optiky, docházelo by k tomu, že se pyroelement stane „přijímačem“ veškerého infračerveného záření z chráněné oblasti. Za této situace vstup člověka do hlídaného prostoru způsobí pouze jednu změnu energie, která je pomalá a není dostačující pro vyvolání poplachu s ohledem na to, že detektor by přijímal energii ze všech těles v tomto prostoru.

V současné době má většina PIR detektorů buďto *dvojitý pyroelement* (sériově zapojený a opačně polarizovaný, sčítání výstupních signálů) nebo *dva dvojitě pyroelementy* (opačně polarizované, porovnávání výstupních signálů). Filozofie je taková, že u nepohyblivého se objektu je nulový celkový součtový signál. Dojde tedy ke vzájemnému vyrušení elektrických signálů z důvodu současného dopadu infračerveného záření na oba pyroelementy a taktéž jejich opačné polarity. [10]

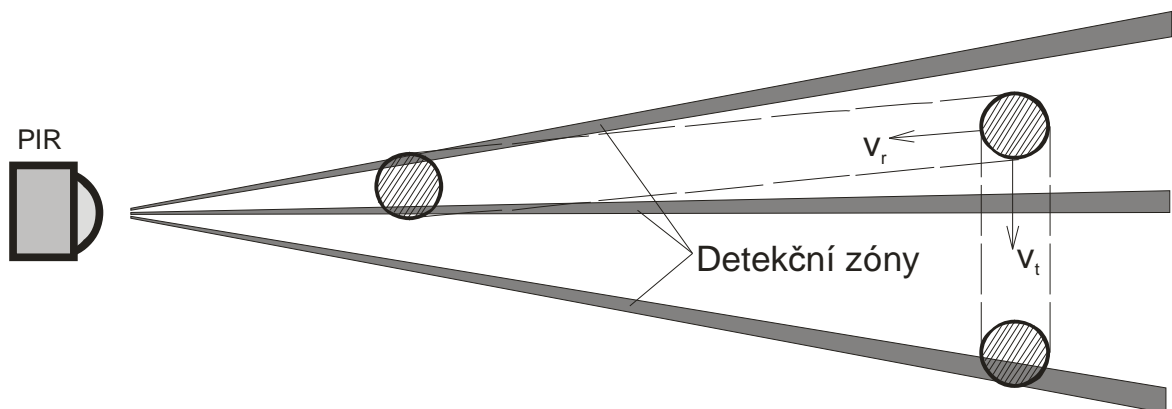


### 3.1.2 Optické prvky pasivních infračervených detektorů

U těchto detektorů má optika za úkol rozčlenit střežený prostor do pomyslných oblastí, které se nazývají detekční zóny. Počet zón, jenž optika vytvoří, je dán u Fresnelových čoček i zrcadel (dva primární optické prvky pro konstrukci PIR detektorů) počtem segmentů (eventuálně geometrickým uspořádáním předsazené mřížky) a ten je stanoven při výrobě.

Pokud je prostor takto rozdělen a pohybuje se jím objekt, který vytváří zdroj infračerveného záření, bude mít za následek jeho vstup do detekční zóny (zvýšení intenzity dopadajícího IR záření) nebo výstup z této zóny (úbytek) to, že na výstupu pyroelementu dojde ke vzniku signálu.

Všechny pasivní infračervené detektory mají svou citlivost závislou na směru pohybu, kterým se daný objekt hýbe. Jejich citlivost vychází z detekční charakteristiky. V pyroelementu dochází ke generaci impulzů. Pohybuje-li se objekt v tangenciálním směru ( $v_t$ ), urazí daleko menší vzdálenost, než kdyby se pohyboval ve směru radiálním ( $v_r$ ). Na pyroelementu dojde ke vzniku shodného množství impulzů. Tuto skutečnost popisuje obr. 23. Tento typ detektorů tedy vykazuje svou největší citlivost při pohybu objektu po tangenti (pohyb detekční zónou kolmo k pyroelementu).



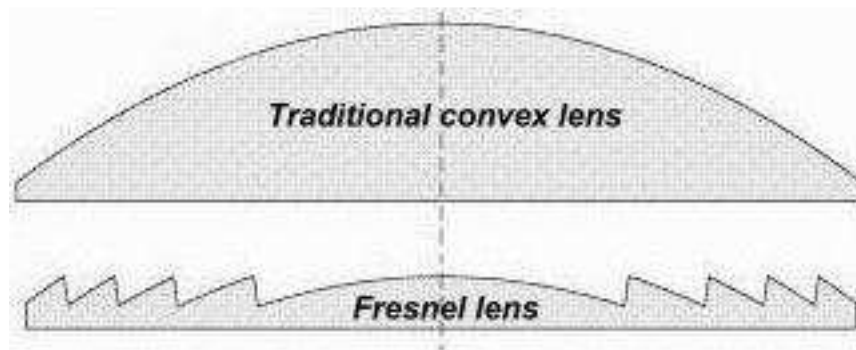
Obr. 23 Zobrazení citlivosti pasivního infračerveného detektoru v závislosti na tangenciálním ( $v_t$ ) a radiálním ( $v_r$ ) směru pohybu [10]

Úkolem optiky u PIR detektorů je tedy to, aby zajistila změnu obrazu pokryté zóny do takového tvaru, který je nejvhodnější pro výstupní signál pyroelementu z hlediska jeho elektrického zpracování. [10]

### 3.1.2.1 Optika na bázi zrcadel

V začátcích se první PIR detektory vybavovaly jen kovovým zrcadlem, které bylo nedělené a vytvářelo odrazný systém. Před nebo za ochrannou fólií byla usazena mřížka, která tvořila součást průhledu okénka detektoru. Technologický vývoj zapříčinil vnik segmentového (děleného) zrcadla, pro jehož výrobu je využíván plast, jenž disponuje odraznou vrstvou vytvořenou z kovu. Pro zajištění, aby došlo k odfiltrování nechtěných složek záření, jsou zrcadla vybavena černou vrstvou. Tato úprava se používá z důvodu zajištění odrazu výhradně infračerveného záření na pyroelement.

Geometrie dílčích segmentů zrcadla detektoru a jejich prostorové uspořádání v jeden celek ovlivňuje, jaká bude ve střeženém prostoru detekční charakteristika. Nevýhoda Fresnelových čoček spočívá v jejich nemožnosti změny ohniskové vzdálenosti segmentů. Naopak u zrcadel tato možnost změny existuje a je vytvářena již při výrobě, což je současně i jejich negativní vlastností, protože neumožňují snadnou změnu detekční charakteristiky PIR detektorů. Zrcadlová optika taktéž disponuje menším počtem typů detekčních charakteristik, což je další nevýhodou. [10]



Obr. 24 Čočka zrcadlové optiky (nahore) a Fresnelova čočka (dole) [11]

### 3.1.2.2 Fresnelovy čočky

Tento druh optiky využívá tzv. refrakce neboli lomu paprsků. Mezi jeho výhody patří kromě malé ceny a snadné výroby hlavně to, že umožňuje jednoduchou přeměnu detekční charakteristiky (vyměněním za jinou čočku). Tyto klady řadí Fresnelovy čočky k nejvíce využívanému druhu optiky u PIR detektorů. Bývají zhotoveny z plastické hmoty

ve formě výlisku, který obsahuje soustavu čoček, jejímž úkolem je rozdělit snímaný prostor na detekční zóny. Vyroběný výlisek plní funkci průhledového okénka detektoru.

Fresnelovy čočky neumožňují precizní zaostření detekčních zón na pyroelement z důvodu jejich nemožnosti poskytnout různou ohniskovou vzdálenost jednotlivým čočkám v systému pro určité snímané vzdálenosti v detektoru. Tato skutečnost má za následek snížení amplitudy signálu, který se zatím nachází ve stadiu před následujícím zpracováním. U některých detektorů může být příčinou planého poplachu např. malý hlodavec, který se pohybuje těsně u detektoru a způsobí tak nepřiměřeně značnou amplitudovou odezvu. Pro zrcadlovou optiku, jež disponuje parabolickým zrcadlem, tento problém neplatí a to z důvodu přesného zaostření detekčních zón na pyroelement.

Pro odstranění tohoto nežádoucího jevu dochází u PIR detektorů využívající Fresnelových čoček k rozdělení střežené oblasti do vertikálních i horizontálních zón. Energie, která přichází od jednotlivých segmentů detekčních zón, je vyhodnocována a na základě její velikosti následně dochází k vyhlášení poplachu. K zaručení postačujícího a typického signálu určeného k dalšímu zpracování, dochází ke konstrukci optiky takovým způsobem, aby zajišťovala detekci objektu, jenž má rozměry podobné člověku a to snímáním 4 až 8 úseky optického systému zároveň.

K vylepšení detekčních vlastností PIR detektorů je využívána kombinace těchto dvou optik, přičemž zrcadla zajišťují pokrytí prostoru pod detektorem, zatím co Fresnelovy čočky vykrývají oblast před ním. [10]

### 3.1.3 Eliminace planých poplachů u pasivních infračervených detektorů

Výskyt planých poplachů byl u nejstarších PIR detektorů, které disponovaly pouze jednoduchým pyrocementem, poměrně častý a to pokud došlo k jejich instalaci v obtížnějších prostorech. Příčinou tohoto nežádoucího jevu bylo např. proudění teplého a studeného vzduchu apod. Pro eliminaci těchto vlivů byla elektronická vyhodnocovací část detektoru dovybavena částí pro počítání impulsů signálů snímacího pyroelementu. K vyhlášení poplachu detektorem dojde až po přijetí definovaného množství impulsů v daném časovém rozmezí, jelikož jsou impulsy počítány s vazbou na čas.

Další možností omezení počtu falešných poplachů je zredukování složek spektra, které nejsou žádoucí (především složky viditelného, tzv. bílého světla) a dopadají na

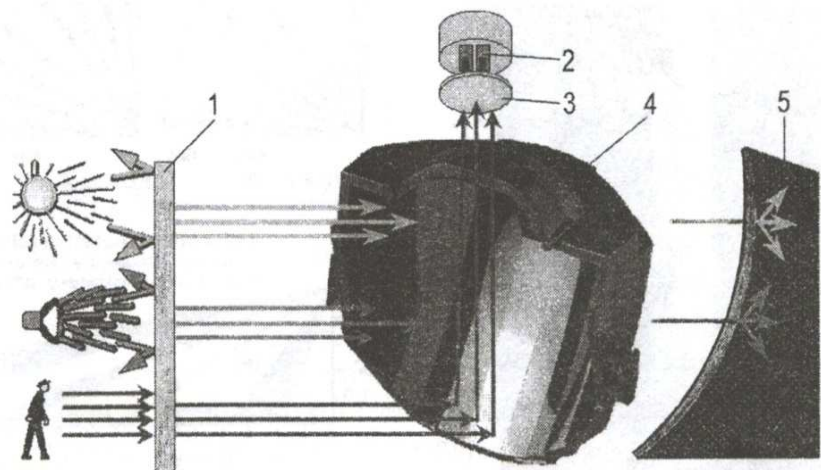
pyroelement přímo nebo odrazem. U Fresnelových čoček došlo s rozvojem nových materiálů k částečnému odfiltrování složek. Pro zrcadlovou optiku to byl materiál krytu průhledového okénka. K zabránění dopadu většiny bílého světla na pyroelement byla vynalezena tzv. opálová čočka.

Následující úsilí jak odfiltrovat zbývající nežádoucí složky vedlo cestou pečlivého pokrytí okénka pyroelementu zvláštní vrstvou. Taktéž bylo vynalezeno tzv. černé zrcadlo disponující povlakem, který je určen pro odrazení infračerveného záření s vlnovou délkou typickou pro lidské tělo. V základním černém materiálu dochází k absorpci ostatních vlnových délek, jež jsou nežádoucí. PIR detektory využívající této technologie obsahují třístupňový filtr bílého světla, u něhož jsou vzájemně zkoordinovány jednotlivé části tak, aby byla zaručena naprostá odolnost vůči vnějším zdrojům světla: [10]

- průhled PIR detektorů s filtrem bílého světla je pro nežádoucí záření, jež produkují zdroje bílého světla, takřka nepropustný
- na černém infračerveném zrcadle dochází pouze k odrazu vlnových délek, jež jsou typické pro lidské tělo
- světelným rozptylem vytvořené části nežádoucího záření jsou odstraněny filtrem pyroelementu

Legenda:

1. filtr bílého světla
2. pyroelement
3. filtr pyroelementu
4. černé infračervené zrcadlo
5. řez černým zrcadlem



Obr. 25 Eliminace nežádoucí části spektra pomocí černého zrcadla u PIR detektorů [10]

Teplotní kompenzace je určujícím prvkem pro kvalitu a podmínky nasazení PIR detektoru. Využívá se k automatickému nastavení výchozích podmínek pro korektní činnost detektoru. Signály z pyroelementu zpracovávají elektrické obvody a k přizpůsobení jejich citlivosti vůči tepelnému pozadí prostoru, v němž se detektor nachází, je využívána právě tato kompenzace. K nastavení jeho citlivosti dochází po zapnutí, kdy se nachází v tzv. době náběhu. Svou citlivost si postupně upravuje v závislosti na okolní teplotní situaci. Nejvyšší kvalitu detektorů jsou vybaveny obvody pro automatickou teplotní kompenzaci (ATC), jež mají na starosti vyrovnání křivky závislosti na okolní teplotě. [10]

## 4 NORMY PRO TESTOVÁNÍ PASIVNÍCH INFRAČERVENÝCH DETEKTORŮ

Požadavky, specifikace a zkoušky, kterým podléhají pasivní infračervené detektory, jsou zakotveny v české technické normě ČSN EN 50131-2-2, jenž nese označení: *Poplachové systémy - Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy - Část 2-2: Detektory narušení - Pasivní infračervené detektory*. Norma byla vydána 1. 12. 2008 a v účinnost vstoupila 1. 1. 2009.

Další části této kapitoly se zabývají normami, ve kterých se specifikují zkoušky a prostředí, v němž jsou detektory testovány.

### 4.1 ČSN EN 50130-5

#### 4.1.1 Obecně o zkouškách vlivu prostředí

Zkoušky vlivu prostředí jsou prováděny z důvodu prokazatelnosti řádné funkce zařízení v jeho provozním prostředí, ve kterém pracuje vhodnou dobu, a jsou realizovány pro zjištění závad, jenž způsobuje provozní prostředí. Z praktického a ekonomického časového hlediska je zapotřebí urychlit změny, které působí při skutečných podmínkách, a to zesílením podmínek (např. zvětšením frekvence či prodloužením doby aplikace nebo nárůstem stupně parametru prostředí). [12]

Zkoušky se rozdělují do dvou skupin:

#### *Provozní zkoušky*

- u těchto zkoušek je vystaven vzorek zkušebními podmínkám odpovídajícím podmínkám provozním
- jejich úkolem je dokázat způsobilost správné funkce a odolnost vzorku v běžném provozním prostředí či imunitu vzorku proti konkrétním vlivům takového prostředí
- vzorek je pozorován a může být v průběhu zkoušek ověřována jeho funkčnost

#### *Odolnostní zkoušky*

- vzorek může být v těchto zkouškách vystaven značně přísnějším podmínkám, než jaké jsou v běžném provozním prostředí a to z důvodu urychlení působení běžného prostředí

- úkolem zkoušek je prokázat způsobilost odolnosti vzorku proti dlouhotrvajícímu vlivu prostředí, ve kterém je v provozu
- jelikož se jedná o zkoušku, u které se sledují dlouhodobé vlivy, není při ní vzorek napájen ani pozorován

V této normě jsou specifikovány metody zkoušek vlivu následujících prostředí:

- a) suché teplo (provozní i odolnostní zkouška)
- b) chlad (provozní zkouška)
- c) změna teploty (provozní zkouška)
- d) vlhké teplo - konstantní (provozní i odolnostní zkouška)
- e) vlhké teplo - cyklické (provozní i odolnostní zkouška)
- f) vniknutí vody (provozní zkouška)
- g) oxid siřičitý SO<sub>2</sub> (odolnostní zkouška)
- h) solná mlha - cyklická (odolnostní zkouška)
- i) úder (provozní zkouška)
- j) ráz (provozní zkouška)
- k) volný pád (provozní zkouška)
- l) vibrace - sinusové (provozní i odolnostní zkouška)
- m) simulované sluneční záření - teplotní nárůst (provozní zkouška)
- n) simulované sluneční záření - povrchová degenerace (odolnostní zkouška)
- o) prachotěsnou (odolnostní zkouška)
- p) elektromagnetická kompatibilita - odolnost (provozní zkouška)

Norma dále specifikuje tři třídy zařízení:

- *pevné* (např. ústředna PZTS či klávesnice připevněna ke zdi)
- *přemístitelné* (např. tlačítko přivolání pomoci umístěné na stole)
- *přenosné* (např. identifikační karta sloužící pro přístup)

## 4.2 ČSN EN 50131-1

Tato norma se zabývá systémovými požadavky na poplachové zabezpečovací a tísňové systémy (PZTS) a jsou v ní definovány čtyři třídy prostředí a čtyři stupně zabezpečení.

Jednotlivé komponenty PZTS musí být použitelné v jedné ze tříd prostředí (jsou vzestupně přísnější) a zařazeny do jednoho ze stupňů zabezpečení, které tato norma stanovuje. Stupeň zabezpečení celého PZTS závisí na komponentu, který je zařazen do nejnižšího stupně zabezpečení. [13]

Tab. 2 Třídy prostředí [13]

<b>Třída prostředí</b>	<b>Rozsah teplot [°C]</b>
I - vnitřní	+5 až +40
II - vnitřní - všeobecné	-10 až +40
III - venkovní - chráněné nebo extrémní vnitřní podmínky	-25 až +50
IV - venkovní - všeobecné	-25 až +60

Norma definuje následující stupně zabezpečení:

- *Stupeň 1:* Nízké riziko
- *Stupeň 2:* Nízké až střední riziko
- *Stupeň 3:* Střední až vysoké riziko
- *Stupeň 4:* Vysoké riziko

V požadavcích na prostředí norma uvádí, že vzhledem k prostředí je zapotřebí, aby byla spolehlivost PZTS na stejné úrovni pro veškeré zabezpečovací stupně. V případě, kdy je PZTS vystaven působení vlivů prostředí uvedených v tab. 2 a taktéž podmínkám EMC, které popisují normy EN 61000-6-3 a EN 50130-4, nesmí být funkce PZTS ovlivněny. Je zakázáno, aby PZTS změnil svůj stav, došlo k poškození komponentů či ke značné změně jeho vlastností. Prvky PZTS je třeba podrobit zkouškám působení vlivu prostředí, jež jsou popsány v normě EN 50130-5. [13]

Mezi stupni zabezpečení a třídami prostředí neexistuje žádný vztah.



## 4.3 ČSN EN 50131-2-2

### 4.3.1 Zkoušení

Zkoušky se provádějí z důvodu prověření specifikací poskytnutých výrobcem z hlediska korektní funkčnosti detektoru. Jestliže požadavky nejsou jiné, je tolerance pro splnění kritérií zkoušek  $\pm 10\%$ .

Norma EN 60068-1 stanovuje atmosférické podmínky, jimiž musí disponovat laboratoř, ve které probíhá testování. Je-li stanoveno, mohou být podmínky v laboratoři i jiné. [14]

Tab. 3 Atmosférické podmínky v laboratoři [14]

teplota	(15 až 35) °C
relativní vlhkost	(25 až 75) %
tlak vzduchu	(86 až 106) kPa

U zkoušek, při nichž se testuje montáž a provoz je nutno nejdříve projít veškerou dokumentací a pokyny, jenž stanovuje výrobce.

Pro vykonání zkoušek je třeba uzavřeného prostoru, v němž nejsou žádné překážky, a taktéž jím neproudí vzduch. Navíc musí prostor dovolovat takové zkoušení, které výrobce garantuje na svém výkresu pokrytí (prostor s dostatečnými rozměry).

Je zapotřebí, aby byl zkušební prostor vybaven takovou podlahou a stěnami, které disponují vyzařováním minimálně 80 % a to přinejmenším za standardním detekčním cílem (SWT) v přímém směru při použití vlnových délek s rozsahem od 8  $\mu\text{m}$  do 14  $\mu\text{m}$ .

Ve zkušebním prostředí musí být teplota na povrchu pozadí, které se nachází přímo za standardním detekčním cílem v rozpětí 15 °C až 25 °C. Navíc je zapotřebí, aby toto prostředí mělo teplotní horizontální stejnosměrnost  $\pm 2^\circ\text{C}$ . U pozadí snímané scény je zapotřebí provést jeho proměření a to v deseti bodech, které jsou v rámci celého výkresu pokrytí detektoru rovnoměrně rozmístěny. Lineární průměr teplot v těchto deseti bodech stanovuje průměrnou teplotu pozadí celé snímané scény. [14]

Jestliže výrobce neurčuje jinak, je výchozí výška pro montáž detektoru dva metry.

#### 4.3.1.1 Standardní detekční cíl (SWT)

Pod pojmem standardní detekční cíl se rozumí osoba, která má výšku mezi 1,6 m a 1,85 m, s váhou ( $70 \pm 10$ ) kg. Osoba musí být oblečena v takovém oblečení, které zajišťuje v mezích vlnových délek 8  $\mu\text{m}$  až 14  $\mu\text{m}$  vyzařování minimálně 80 %.

##### Výpočet průměrného teplotního rozdílu

Pro zjištění konkrétního průměrného teplotního rozdílu  $Dt$  standardního detekčního cíle je třeba využít bezkontaktní měření teploty povrchu těla a pozadí v jeho těsné blízkosti. Rozdíly teplot mezi nimi je potřeba zprůměrovat. K měření musí být využito zařízení (např. bezkontaktní teploměr), které je citlivé pro rozsah vlnových délek 6 až 8  $\mu\text{m}$ , úhel záběru nesmí být větší než  $3^\circ$  a s nastavenou emisivitou na 95 %.

Je zapotřebí změřit povrchovou teplotu těla osoby (SWT), která je nasměrována ve směru kolmém na osu detektoru, na pěti odlišných místech a rozdíly mezi částmi těla a pozadím vyhodnotit, sečíst. Výsledek udává hodnotu  $Dt_r$ .

Tab. 4 Koeficienty pro výpočet teplotního rozdílu [14]

Část těla	Tělo - pozadí: Teplotní rozdíl	Hodnota: Váhový faktor	
hlava	$Dt_{r1}$	$W_1$	2
vrchní část trupu	$Dt_{r2}$	$W_2$	4
ruce a části těla u nich	$Dt_{r3}$	$W_3$	4
nohy u kolenou	$Dt_{r4}$	$W_4$	2
kotníky	$Dt_{r5}$	$W_5$	1

$$Dt_r = \frac{\sum_{k=1}^5 Dt_{rk} \times W_k}{\sum_{k=1}^5 W_k}$$

Rovnice 4.1 Výpočet průměrného teplotního rozdílu

##### Teplotní rozdíly standardního detekčního cíle

Provádění průchozích zkoušek musí být v souladu s průměrným teplotním rozdílem  $Dt_r$  (rozdíly teplot pozadí)  $3,5^\circ\text{C} \pm 20\%$  nebo je přípustný i rozdíl větší než  $3,5^\circ\text{C} + 20\%$  ( $4,2^\circ\text{C}$ ), který je možno nastavit tak, aby se v tomto rozsahu dospělo k analogickému

průměrnému teplotnímu rozdílu  $Dt_e$  (rozdíl teplot standardního detekčního cíle) a to jednou z možných metod.

- zkouška není platná v případě, kdy je  $Dt_r < 3,5 \text{ °C} - 20 \%$  ( $2,8 \text{ °C}$ )
- teploty nemusí být nastaveny v případě, kdy je  $Dt_r$  mezi  $2,8 \text{ °C}$  a  $4,2 \text{ °C}$

#### 4.3.2 Odolnost proti proudění vzduchu

Zkouška probíhá takovým způsobem, že z místa ve vzdálenosti jeden metr pod detektorem je z horkovzdušného topidla směřován skrz čelo detektoru proud vzduchu. Rychlostí  $5 \text{ °C}$  za minutu dochází k růstu teploty vzduchu, jenž proudí před průzorem detektoru, z okolní teploty o  $+ 20 \text{ °C}$ . Rychlost proudění vzduchu měřená u průzoru musí být  $(0,7 \pm 1) \text{ ms}^{-1}$ . Je zakázáno, aby byl průzor detektoru nasměřován na topná tělesa.

Při zkoušce se nechá detektor 4 minuty při teplotě okolí zvětšené o  $+ 20 \text{ °C}$ . Po té je topidlo vypnuto a 1 minutu se ponechá teplota klesat, případně se nechá klesat do doby, než bude dosaženo okolní teploty. Detektor se pak nechá 2 minuty na této teplotě. Cyklus testování je 5 krát opakován. Detektor úspěšně projde tímto testem v případě, že nedojde ke změně jeho stavu.

#### 4.3.3 Funkční požadavky z hlediska klasifikace prostředí a odolnosti vůči vlivům prostředí

Výrobce musí vymežit klasifikaci prostředí a taktéž je popsána v normě EN 50131-1 (systémové požadavky). Tabulky 5 a 6 charakterizují požadavky zkoušek vlivu prostředí. Je nutné, aby tyto požadavky detektory splňovaly. Zkoušky podléhají nezbytnosti provádění dle EN 50130-4 a EN 50130-5.

V případě, že provozní zkoušky nejsou vymezeny jinak, je na detektor kladen požadavek, aby neprodukoval ani jeden nevyžadovaný poplach narušení, sabotáže či poruchy a taktéž zprávy eventuálně signály při míře ozáření vlivů prostředí konkrétního rozsahu.

Na choulostivé části detektoru (LED diody, čočky, optické průzory) je zakázáno vést údery mechanického rázu.

Z hlediska nároků normy EN 50131-2-2, je zapotřebí, aby detektor, jenž prošel odolnostními zkouškami vlivu prostředí s konkrétním rozsahem, i potom této normě vyhovoval.

Při provozních zkouškách jsou detektory vždy napájeny. U zkoušek odolnostních nejsou detektory napájeny.

*Specifické podmínky:*

- při zkouškách se zabezpečí, aby byl PIR detektor odstíněn od náhlých změn povrchové teploty a proudícího vzduchu před průzorem z důvodu zamezení jejich nechtěným vlivům
- k odstínění může být využit materiál, jenž odráží infračervenou energii a je namontován tak, aby zakrýval přijímací průzor detektoru, a zároveň nenarušoval určitou expozici
- ohled musí být brán na vliv zakrytí senzoru a je třeba vybrat vhodnou metodu či materiál

Během zkoušek dochází k monitorování nežádoucích signálů či zpráv a rovněž se v jejich průběhu nevyžadují žádné funkční zkoušky.

Základní detekční zkouška se provádí po zkouškách a aklimatizaci, jež je předepsána normou pro zkoušení vlivů prostředí. Pohledem se pak zjišťuje, zda na detektoru nejsou znaky vnějšího či vnitřního mechanického poškození.

*Tab. 5 Zkoušky vlivu prostředí - provozní [14]*

Zkouška	Klasifikace prostředí			
	Třída I	Třída II	Třída III	Třída IV
suché teplo	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
chlad	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
vlhké teplo (konstantní)	Požadováno	Nepožadováno	Nepožadováno	Nepožadováno
vlhké teplo (cyklické)	Nepožadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
vnik vody	Nepožadováno	Nepožadováno	Požadováno	Požadováno
mechanický úder	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
vibrace	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
ráz	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
EMC	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno

Pro vyhovění zkouškám nesmí v jejich průběhu nastat žádné nežádoucí signály či zprávy. Po provedení zkoušek nesmí být na detektoru znát mechanické poškození.

Detektor musí i nadále vyhovovat požadavkům základní zkoušky detekční funkce a je povoleno, aby generoval poplachový signál nebo zprávu o narušení během zkoušky rázem.

Tab. 6 Zkoušky vlivu prostředí - odolnostní [14]

Zkouška	Klasifikace prostředí			
	Třída I	Třída II	Třída III	Třída IV
vlhké teplo (konstantní)	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
vlhké teplo (cyklické)	Nepožadováno	Nepožadováno	Požadováno	Požadováno
korozí SO <sub>2</sub>	Nepožadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno
vibrace (sinusové)	Požadováno	Požadováno	Požadováno	Požadováno

#### 4.4 Posouzení norem

V normách je definováno, v jakém okolním prostředí má být PIR detektor testován při konkrétní zkoušce, a pro každou z nich jsou určeny konkrétní parametry jako teplota, tlak a vlhkost. Pro vyhovění požadavkům nesmí detektor během zkoušení změnit svůj stav.

Norma ČSN EN 50131-2-2 udává, že teplota snímaného pozadí PIR detektorem za SWT by měla být v rozmezí 15 °C až 25 °C, ale nedefinuje zkoušky pro pozadí, jehož teplota by byla vyšší než 25 °C. Tedy takovou zkoušku, kdy je průzor detektoru namířen na pozadí s vyšší teplotou, než jakou definuje norma. Tento fakt shledávám jako nedostatek norem. Z tohoto důvodu se praktická část práce zabývá testováním PIR detektorů, které jsou vystaveny působení pozadí s teplotou vyšší, než je 25 °C.

I když normy specifikují, že je zakázáno, aby byl průzor detektoru při zkouškách namířen na topná tělesa, dle mého názoru by bylo vhodné, aby alespoň u detektorů, které jsou určeny pro 3. a 4. stupeň zabezpečí, byly prováděny zkoušky jejich odolnosti právě při namíření na tělesa, jež vydávají do prostoru tepelnou energii.

Domnívám se, že v praxi zejména při náročných aplikacích, není vždy možnost instalace detektoru tak, aby nebyl namontován do místa, ze kterého by měl přímý výhled na topná tělesa. Myslím si, že z tohoto hlediska není norma úplná a pro možnost takovéto zkoušky neobsahuje potřebné specifikace a postupy. Na druhou stranu se v praxi mohou pro takováto prostředí využít i detektory pracující na jiných fyzikálních principech. Otázkou tedy zůstává, zda by se v konečné fázi vyplatilo vyrábět PIR detektory odolné

proti tomu, kdy bude jejich průzor nasměřován na těleso, které vydává teplotu vyšší než je 25 °C, nebo by jako levnější řešení bylo nasadit detektory, jež tento problém nemají.

Navíc by mohly PIR detektory, které prošly takovýmto testováním, poskytnout zákazníkům širší přehled o spektru vlastností, které by nadto byly kvalifikovaně posouzeny a ověřeny, což shledávám jako přínosné. Mimo toho by se naskytly i nové možnosti pro výrobce detektorů. Ti by byli schopni své výrobky odborně posoudit na základě odpovídající zkoušky provedené dle příslušných norem kvalifikovanou zkušební laboratoří.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 POZADÍ SNÍMANÉ PASIVNÍM INFRAČERVENÝM DETEKTOREM

Instalační předpisy pro PIR detektory uvádějí, že by po nainstalování neměl směřovat průzor detektoru na objekty, které jsou zdrojem infračerveného záření (topná tělesa apod.) z důvodu možnosti vzniku falešných poplachů.

Praktická část práce se zabývá problematikou nasměrování PIR detektoru na topné těleso konkrétně sálavý panel, který je zdrojem infračerveného neboli tepelného záření. V těchto podmínkách je sledováno chování PIR detektoru.

Pro měření byl použit skleněný sálavý panel a tři různé typy PIR detektorů, z nichž dva využívají optiky na bázi zrcadel a jeden Fresnelových čoček.

### 5.1 Sálavý panel GR 300

Jako zdroje infračerveného záření bylo využito skleněného sálavého panelu GR 300 s bezdrátovou regulací BPT-SP + SP2 vyráběného společností FENIX Trading s.r.o., který vytvářel pozadí snímané scény. Tento panel je vyroben z křemíkového skla a vybaven integrovaným bezdrátovým přijímačem BPT-SP2. Jako regulátor teploty je použit bezdrátový programovatelný termostat BPT-SP. Na termostatu je možno nastavit požadovanou teplotu v místnosti až 40 °C a rovněž se na něm zobrazuje aktuální teplota v místnosti. Jednotka BPT-SP pracuje tak, že pokud zjistí požadovanou teplotu vyšší než je aktuální, vyšle do přijímače BPT-SP2 signál, aby došlo k zapnutí topení. Při pohledu na termostat je symbolem plamínku zobrazeno, zda je topení zapnuto či nikoliv. Panel je vybaven omezovacím termostatem, který je nastaven tak, že teplota povrchu panelu nepřekročí 80 °C. Rozměry panelu jsou 70 x 50 cm.



Obr. 26 Skleněný sálavý panel GR 300, přijímač BPT-SP2 a termostat BPT-SP [15]

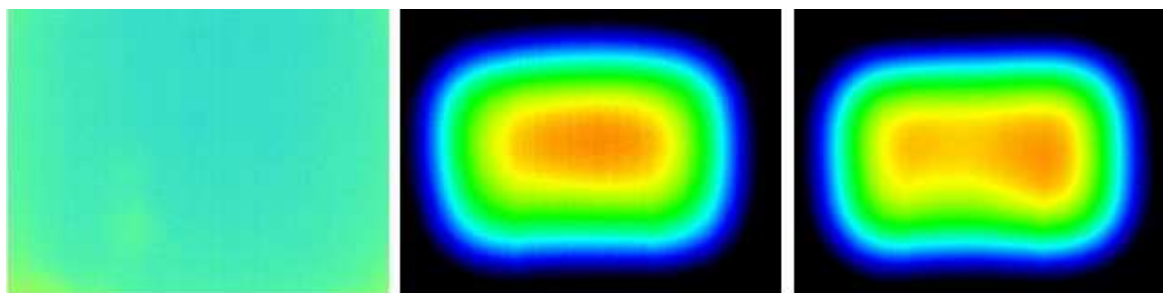


Tab. 7 Specifikace panelu GR 300 [15]

Napájecí napětí:	230 V / 50 Hz
Krytí:	IP 44
Umístění:	možnost instalace na hořlavý podklad C, D
Třída izolace:	II.
Termostat:	omezovací termostat
Příkon:	300 W

## 5.2 Měření tepelných vlastností sálavého panelu GR 300

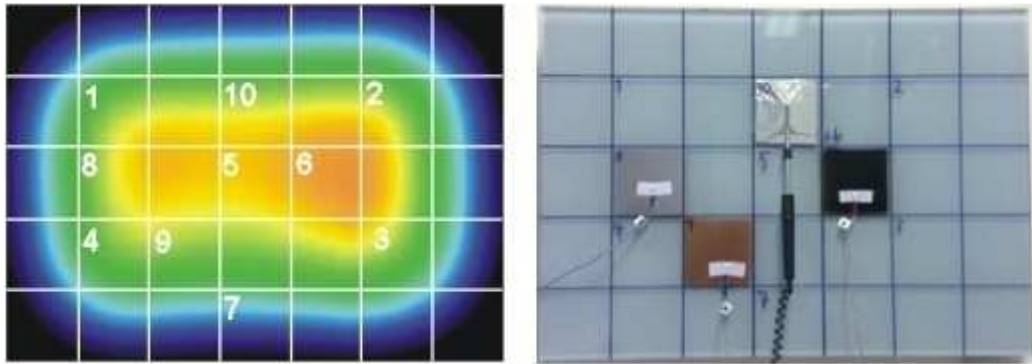
Pro potřeby měření bylo žádoucí zjistit, jaké je u sálavého panelu rozložení vyzařování teploty a zda je ve všech místech konstantní či nikoliv. Pro tento účel byla použita infракamera ThermoPro TP8, na které byl při měření nastaven filtr 1. Tento filtr je určen k měření rozsahu teplot od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . S využitím infракamery bylo zjištěno rozložení vyzařované teploty.



Obr. 27 Snímky průběhu zahřívání panelu pořízené infракamerou (vlevo je panel vypnut, vpravo je dosaženo maximální teploty)

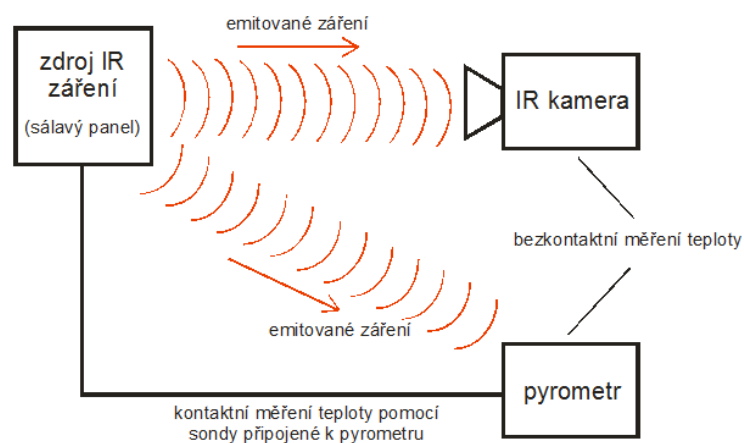
Jak je zřejmé z obr. 27, tak rozložení teploty na panelu není ve všech místech konstantní, ale jsou zde vytvořeny určité oblasti elipsovitého tvaru, na jejichž obvodech je teplota téměř ve všech místech stejná. Dále je z obr. 27 patrné, že teplota se směrem ke středu zvětšuje, nicméně oblast s nejvyšší teplotou se nachází napravo od středu panelu, což je znázorněno naoranžovělou barvou. Velikost teploty v tomto místě stanovila infракamera na  $79,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tato teplota téměř odpovídá teplotě, na kterou je nastaven omezovací termostat panelu.

Pro přehlednější orientaci místa, v němž bylo prováděno měření, byl povrch panelu rozdělen na 35 stejných polí s velikostí pole  $10 \times 10\text{ cm}$ .



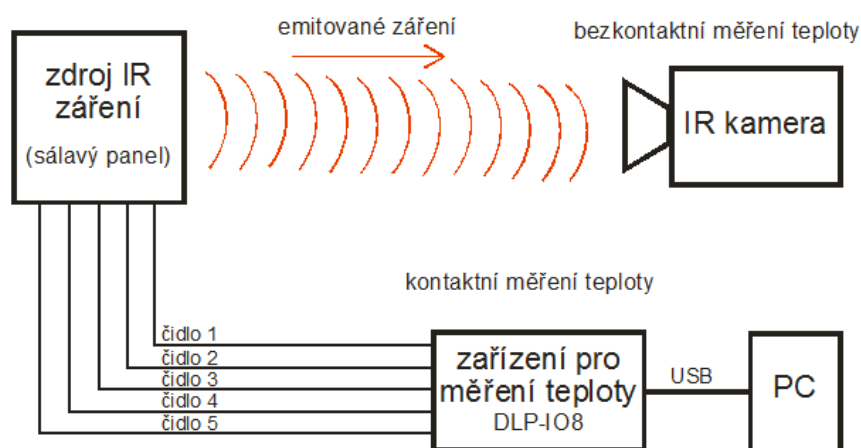
Obr. 28 Rozdělení panelu na jednotlivá pole

Dále bylo rozložení teploty měřeno s využitím pyrometru Agema TPT 64P a infrakamery TP8. K pyrometru je možno připojit sondu pro kontaktní měření teploty (při měření byla rovněž využita). Obě tato zařízení představují bezkontaktní měření teploty. U tohoto druhu měření se vyskytuje problém v podobě emisivity povrchu, jehož teplota je měřena. Před započítím měření je nutno na pyrometru nastavit emisivitu měřeného povrchu. Jelikož je panel vyroben z křemíkového skla, uvádí se v tabulkách hodnota emisivity pro tento materiál  $\varepsilon = 0,93$  při teplotě 21 °C. Při prvních měřeních byla na pyrometru emisivita nastavena na hodnotu 0,85. Naměřené hodnoty teplot dokumentuje příloha P1 a P2. Teplota na poli 5 byla měřena kontaktně sondou pyrometru před a po měření bezkontaktně. V příloze P3 je nastavena emisivita pyrometru na hodnotu 0,95, na kterou bývají nastaveny pyrometry bez možnosti ruční regulace emisivity. Pole 6 bylo opatřeno sondou pyrometru a teplota opět měřena před a po bezkontaktní metodě. Žádaná teplota při tomto měření byla 30 °C.



Obr. 29 Blokové schéma měřicího pracoviště s IR kamerou a pyrometrem

Pro další měření bylo využito USB jednotky DLP-IO8, na níž je možno připojit až 8 čidel, která zajišťují kontaktní měření teploty povrchu, na němž jsou umístěna. Jednalo se o čidla Dallas DS18B20. Pro zobrazení naměřených hodnot touto jednotkou byl využit program RealView 3.0. Současně s kontaktním měřením pomocí čidel byla teplota měřena i pyrometrem, aby bylo možno porovnat teploty získané s využitím kontaktní a bezkontaktní metody. Při tomto měření byla na termostatu PBT-SP nastavena požadovaná teplota na 30 °C. Naměřené hodnoty a graf závislosti teploty panelu na čase jsou umístěny v příloze P4.



Obr. 30 Blokové schéma pracoviště s IR kamerou a jednotkou DLP-IO8



Obr. 31 Jednotka DLP-IO8, rozmístění čidel na panelu a pyrometr Agema TPT 64P

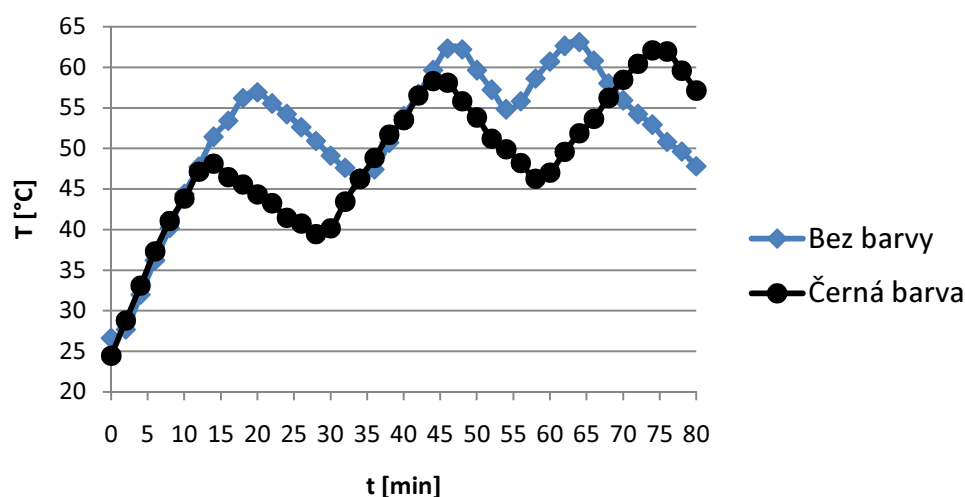
Následovalo měření, kdy byly na některá pole panelu aplikovány různé barvy. Na pole 6 byla nanesena černá barva, na pole 8 chromová, na pole 9 měděná a na pole 10 byla nalepena hliníková lepicí páska. Pole 6, 8 a 9 byla opatřena čidly připojenými k jednotce DLP-IO8. Pole 10 pak kontaktní sondou pyrometru a teplota na tomto poli měřena před

a po metodě bezkontaktní (rozmístění čidel viz obr. 28). Barvy byly naneseny z důvodu simulace pozadí o různé emisivitě a rovněž z důvodu porovnání teploty povrchu panelu před a po aplikaci barvy. Emisivita pyrometru byla při tomto měření nastavena na hodnotu 0,95. Žádaná povrchová teplota panelu tohoto měření činila 30°C. Naměřené hodnoty a graf závislosti teploty povrchu panelu na čase vytvořený z údajů kontaktního měření jednotkou DLP-IO8 se nacházejí v příloze P5. Z grafu je možno vidět, že teplota pole s černou barvou nebyla nejvyšší. Největší teplotu mělo pole opatřené barvou chromovou. Otázkou je, zda by byla teplota nejvyšší, jestliže by bylo opatřeno chromovou barvou pole v jiném místě panelu na obvodu „tepelné“ elipsy.

Pro porovnání teploty před a po nanesení barvy bylo vybráno pole 6 s černou barvou. K porovnání jsou využity hodnoty teplot naměřené jednotkou DLP-IO8 představující kontaktní měření teploty, jelikož u této metody nepřipadají v úvahu problémy s emisivitou povrchu. Hodnoty teplot, které byly porovnávány, zobrazuje tab. 8. Grafické znázornění porovnání představuje graf 1.

Tab. 8 Hodnoty teplot použité pro porovnání

t [min]	DLP-IO8		t [min]	DLP-IO8		t [min]	DLP-IO8	
	6	6 černá		6	6 černá		6	6 černá
	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]
0	26,6	24,5	28	50,9	39,4	56	55,8	48,2
2	27,7	28,8	30	49,1	40,2	58	58,6	46,3
4	32,0	33,1	32	47,6	43,4	60	60,7	47,0
6	36,2	37,3	34	46,3	46,2	62	62,6	49,6
8	40,2	41,1	36	47,4	48,8	64	63,1	51,9
10	44,4	43,8	38	50,7	51,7	66	60,8	53,6
12	47,7	47,1	40	54,0	53,5	68	58,0	56,2
14	51,4	48,1	42	56,7	56,5	70	55,9	58,4
16	53,4	46,5	44	59,6	58,3	72	54,2	60,4
18	56,2	45,6	46	62,3	58,1	74	52,9	62,1
20	56,9	44,3	48	62,2	55,8	76	50,8	61,9
22	55,5	43,3	50	59,6	53,8	78	49,6	59,6
24	54,2	41,4	52	57,2	51,2	80	47,8	57,1
26	52,6	40,8	54	54,8	49,9			



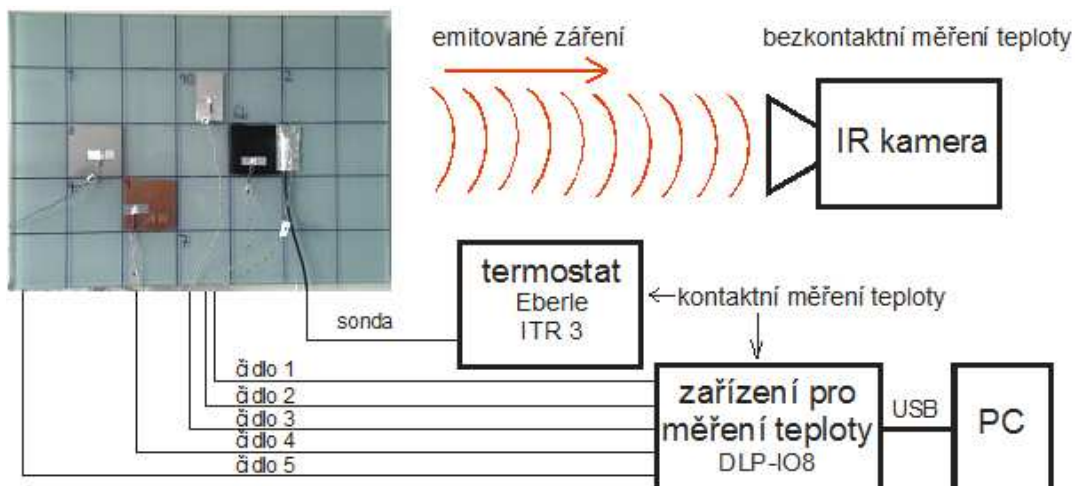
Graf 1 Znárodnění porovnání teplot

Vzhledem k tomu, že nebyly vytvořeny při obou měření totožné podmínky, byla provedena taková korekce, aby byl rozdíl počátečních teplot co nejmenší. Z tohoto důvodu je využitelná „pouze“ oblast odpovídající prvním osmi minutám, kdy u pole opatřeného barvou došlo k mírně strmějšímu nárůstu teploty. Domnívám se, že by u černého pole došlo k jeho pomalejšímu ochlazování oproti poli bez barvy z důvodu jakési „bariéry“, kterou barva vytváří.

Následovala otázka, jak vyřešit regulaci teploty povrchu sálavého panelu pro potřeby měření s PIR detektory. K řešení tohoto problému byl využit průmyslový elektronický analogový termostat Eberle ITR 3 s teplotním rozsahem od 0 °C do 60 °C, k němuž bylo zapojeno čidlo Eberle F 891000 s rozsahem -25 °C až 70 °C.

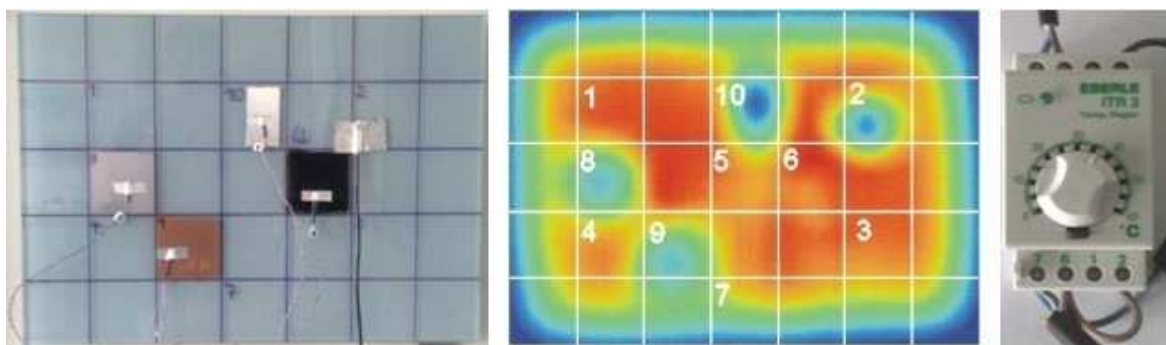
Tab. 9 Specifikace termostatu Eberle ITR 3 [16]

Napájecí napětí	230V / 50Hz
Krytí	IP 40
Spínaný proud	10 A
Prostorové čidlo	Ne
Kabelové čidlo	0 °C až 60 °C
Teplotní útlum	Ne
Kontrolka chodu	Ano
Hystereze	1 K
Vypínač	Ne



*Obr. 32 Blokové schéma pracoviště s IR kamerou, jednotkou DLP-IO 8 a termostatem Eberle ITR3*

Po zapojení termostatu ITR 3 probíhalo měření dále s využitím jednotky DLP-IO8 a infrakamery. Při měření bylo čidlo termostatu připevněno k panelu pomocí hliníkové lepicí pásky a umístěno do levé spodní obvodové části pole 2 (viz obr. 33).



*Obr. 33 Rozmístění čidel na panelu, snímek z infrakamery a termostat Eberle ITR 3*

Teplota na termostatu ITR 3 byla při tomto měření nastavena na hodnotu 36 °C. Údaje zjištěné z měření jsou uvedeny v příloze P6. Příloha P7 znázorňuje graf závislosti teploty na čase vytvořený z údajů kontaktního měření a výstup z programu RealView pro toto měření. Rozdíly mezi těmito dvěma grafy spočívají v tom, že pro vytvoření grafu nebyly použity všechny hodnoty naměřené programem RealView, ale pouze ty údaje, při kterých byla zároveň pořízena fotografie infrakamerou (toto platí i pro následující měření).

Grafické porovnání teplot polí se stejnými barvami pro teploty získané ze záznamu IR kamery a jednotky DLP-IO8 znázorňuje příloha P8.

Při dalším měření bylo jedno čidlo jednotky DLP-IO8 umístěno těsně vedle čidla termostatu ITR 3 z důvodu možnosti sledování, při jaké teplotě dochází ke spínání či rozepínání kontaktu termostatu. Rovněž byla pro toto měření využita infракamera. Teplota nastavená na termostatu ITR 3 činila 36 °C. Naměřené hodnoty se nacházejí v příloze P9. Graf závislosti teploty povrchu panelu na čase vytvořený z hodnot kontaktního měření a odpovídající výstup z programu RealView zobrazuje příloha P10. Grafické porovnání teplot získaných ze záznamu IR kamery a jednotky DLP-IO8 pro pole se stejnou barvou tohoto měření prezentuje příloha P11.

## 6 MĚŘENÍ VLIVU POZADÍ NA PASIVNÍ INFRAČERVENÉ DETEKTORY

Tato kapitola se věnuje zejména popisu postupů při měření a vyhodnocení výsledků, které byly při měření zjištěny. Rovněž se zabývá zkoumáním reakce PIR detektorů při snímání pozadí v podobě sálavého panelu, jehož povrchová teplota se pohybovala kolem 35 °C.

### 6.1 Použité pasivní infračervené detektory

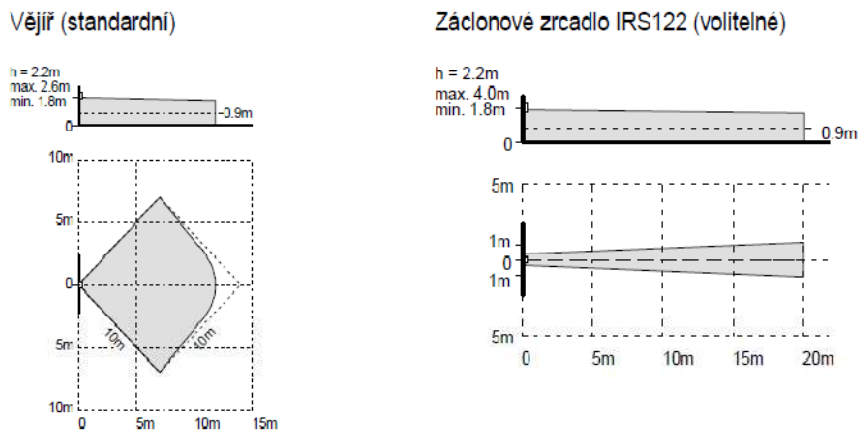
#### IR 120C

Jedná se o PIR detektor od firmy Alarmcom, který jako optiky využívá černé triplexní zrcadlo, jenž zvyšuje odolnost detektoru proti bílému světlu. Zrcadlo rozděluje snímanou plochu na 52 zón. V technické dokumentaci výrobce uvádí, že detektor poskytuje vysokou odolnost proti vlivům prostředí a že je odolný vůči pohybu domácích zvířat do 40 kg. Univerzální pouzdro detektoru umožňuje jeho instalaci na zeď, pod úhlem 45° či montáž do rohu. [17]

Tab. 10 Technické údaje detektoru IR 120C [17]

Napájecí napětí	8 až 16 V DC
Odběr proudu klid / poplach	6 mA / 6 mA
Kontrola napětí	výstraha při < 6,0 ... 8,0 V
Výstup při poplachu:	
Kontakt relé	30 V DC / 100 mA
Sabotážní kontakt	30 V DC / 50 mA
Provozní teplota	-20 °C až +55 °C
Schválení	VdS třída B
Třída prostředí dle VdS	II
Krytí	IP 41





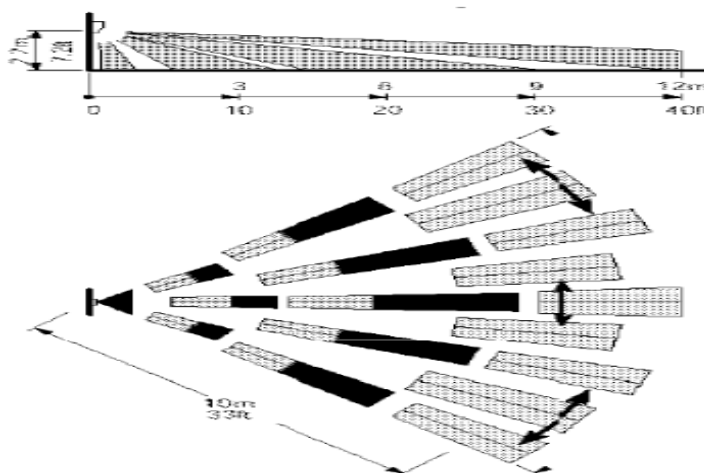
Obr. 34 Detekční charakteristika detektoru IR 120C [17]

### IR 130 PLUS

Tento detektor je taktéž od firmy Alarmcom a rovněž využívá jako optický prvek černé triplexní zrcadlo. Disponuje obdobnými parametry jako detektor IR 120C.

Tab. 11 Technické údaje detektoru IR 130 PLUS [18]

Napájecí napětí	10 až 16 V DC
Proudová spotřeba (při 12 V)	8 mA
Výstup při poplachu:	
Kontakt relé	30 V DC / 100 mA
Sabotážní kontakt	30 V DC / 100 mA
Provozní teplota	-20 až +55 °C
Skladovací teplota	-20 až +60 °C



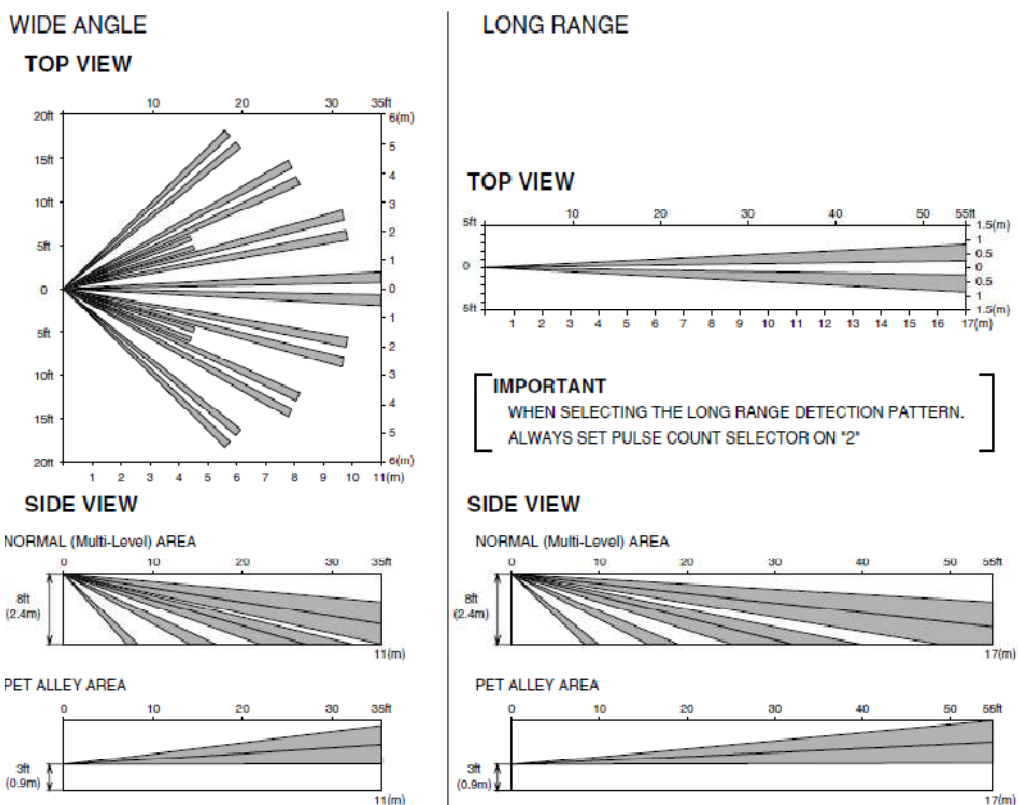
Obr. 35 Detekční charakteristika detektoru IR 130 PLUS [18]

### Wonderex EX-35T

Výrobce tohoto PIR detektoru je firma Optex a jeho optiku tvoří Fresnelovy čočky. Fresnelova čočka může být nainstalována buď pro širokouhlé pokrytí prostoru, nebo pro dlouhý dosah. Detektor umožňuje nastavit počet pulsů na 2 či 4 a rovněž disponuje vypínačem LED diody. Poskytuje možnost instalace pro klasické využití, nebo s funkcí PET ALLEY (odolnost detektoru proti malým domácím zvířatům). Detektor je rovněž vybaven kontaktem Tamper.

Tab. 12 Technické údaje detektoru Wonderex EX-35T [19]

Napájecí napětí	9,5 až 14 V DC
Proudová spotřeba	11 mA max.
Výstup při poplachu	28 V DC / 0,2 A max.
Provozní teplota	-20 až + 50 °C
Počet pulzů	2 / 4



Obr. 36 Detekční charakteristika detektoru Wonderex EX-35T [19]

Pro účely měření byly tyto PIR detektory umístěny na držák a ten připevněn ke stativu, jenž se používá pro videokamery nebo fotoaparáty (viz obr. 36).



Obr. 37 Držák s PIR detektory

## 6.2 Zkoumání reakce PIR detektorů při zahřívání sálavého panelu

### 6.2.1 Úvod

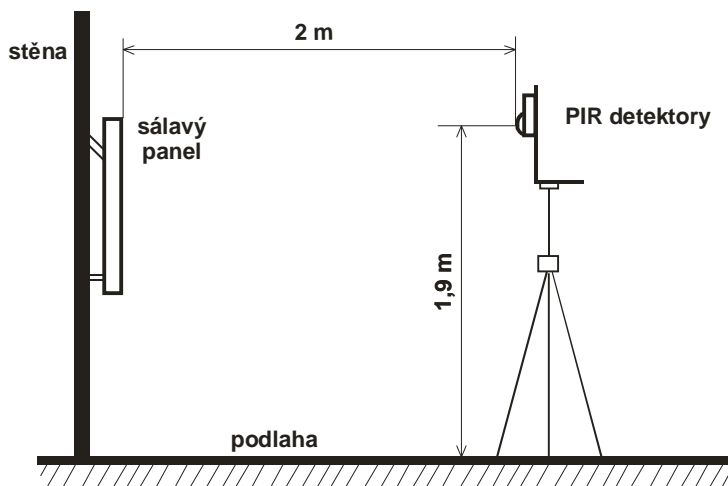
Cílem měření bylo zjistit, zda je sálavý panel schopen vyvinout tak rychlou změnu teploty svého povrchu, aby ji PIR detektory vyhodnotili jako poplach.

Kdyby těleso vyvinulo dostatečně rychlou změnu teploty v prostoru, který je střežen PIR detektory, mohla by takto rychlá změna vyvolat falešný poplach. V těchto prostorech se volí většinou detektory alespoň s digitálním zpracováním signálu, popřípadě detektory duální, z důvodu potlačení falešných poplachů.

Před samotným měřením došlo k očištění panelu od barvy a to kvůli tomu, aby barevná pole neměla vliv na měření. Na panel byly umístěny dvě čidla jednotky DLP-IO8 pro sledování teploty povrchu. Jedno čidlo se nacházelo u senzoru teploty, které bylo připojeno k termostatu Eberle ITR 3 a druhé v místě bývalého pole 4.

### 6.2.2 Postup měření

Při měření byly nejprve PIR detektory umístěny ve vzdálenosti 2 m od sálavého panelu. Průzory detektorů se nacházely ve výšce 1,9 m nad podlahou. Schéma pro toto měření zobrazuje obr. 37. Teplota na termostatu ITR 3 byla nastavena na 50 °C pro obě měření.



Obr. 38 Schéma rozmístění prvků

Nejdříve rozmístíme prvky dle schématu a potom připojíme PIR detektory ke zdroji napájení (jako napájecí zdroj byl použit akumulátor 12 V / 7 Ah). Následně ponecháme detektory po dobu jedné minuty stabilizovat. Pak zapojíme termostat ITR 3 k rozvodné síti 230 V / 50 Hz. Tím dojde k sepnutí jak termostatu, tak i topného panelu a můžeme začít sledovat chování PIR detektorů. Sálavý panel dosáhne požadované teploty 50 °C z výchozí teploty 22 °C přibližně za 15 minut.

Při dalším měření byly detektory umístěny ve vzdálenosti 0,95 m od panelu a celý postup se opakoval s tím rozdílem, že výchozí teplota panelu byla 33 °C. Požadované teploty panel dosáhl zhruba za 10 minut. Tato vzdálenost byla zvolena z důvodu zkoumání, zda dojde ke změně vůči vzdálenosti předchozí.

### 6.2.3 Výsledky měření

Tab. 13 Výsledky měření pro vzdálenost 0,95 m a 2 m

typ detektoru	vzdálenost 0,95 m	vzdálenost 2 m
	poplach	poplach
IR 120C	NE	NE
IR 130 PLUS	NE	NE
EX-35T	NE	NE

### 6.2.4 Závěr

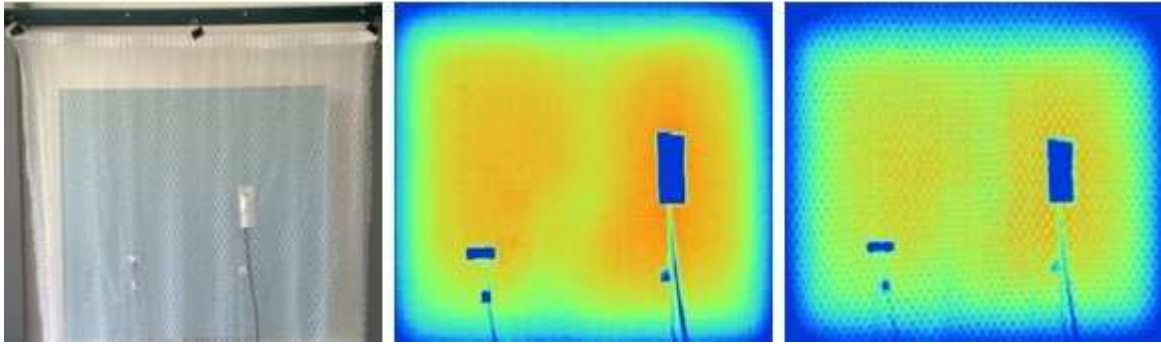
Vzhledem k tomu, že v průběhu zkoumání nevyhlásil ani jeden z testovaných PIR detektorů poplach v žádné ze dvou zvolených vzdáleností, je možné tvrdit, že použitý sálavý panel není schopen vyvinout tak rychlou změnu své povrchové teploty, aby rychlost této změny vyhodnotily PIR detektory jako poplach.

## 6.3 Zkoumání reakce PIR detektorů při zastínění tepelného záření různými materiály

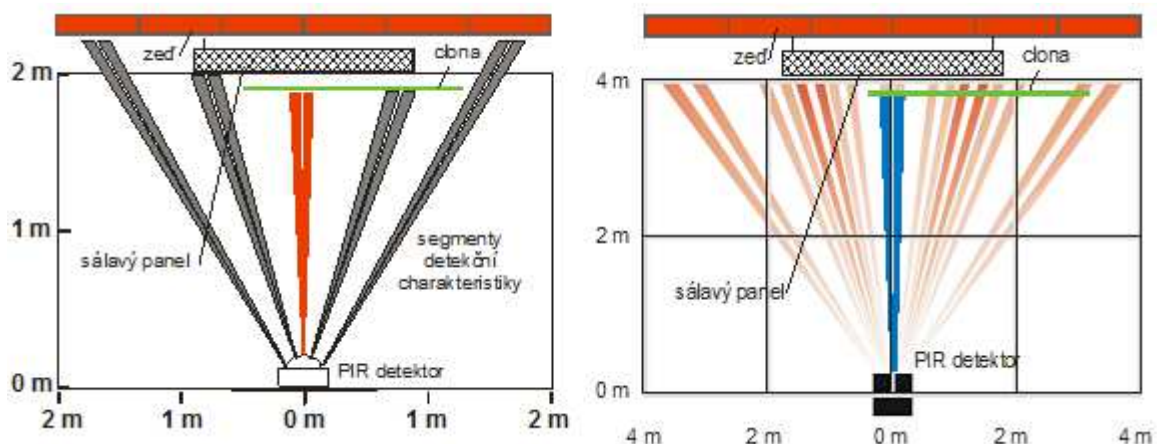
Pro potřeby tohoto měření byl nad sálavý panel nainstalován držák, jenž disponoval kladkami pro posun clony, která byla využita k zastínění tepelného záření vydávaného sálavým panelem (viz obr. 38).



Obr. 39 Držák s kladkami a clonami



Obr. 40 Clona v podobě záclony a snímky panelu z IR kamery bez (uprostřed) a se clonou

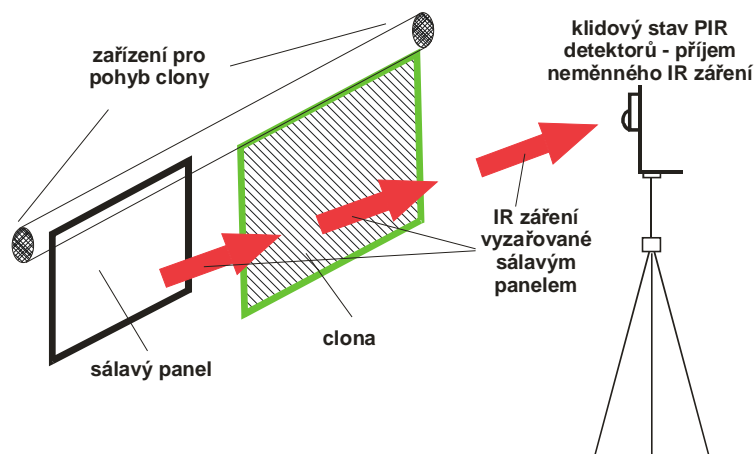


Obr. 41 Detekční charakteristiky detektorů IR 120 C (vlevo) a EX-35T (vpravo)

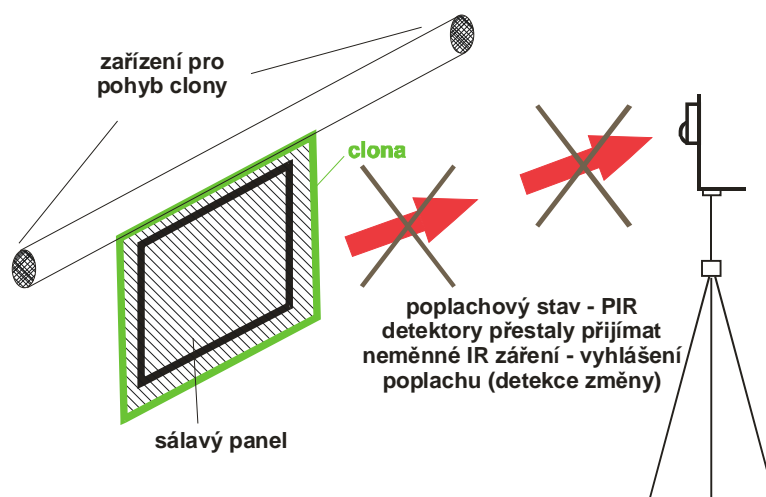
### 6.3.1 Úvod

Toto měření bylo provedeno z důvodu zjištění, jak budou PIR detektory reagovat, jestliže dojde k zastínění tepelného záření, které vydává pozadí s teplotou vyšší než 25 °C.

Vzhledem k tomu, že pokud se případný narušitel bude nějakým způsobem maskovat, PIR detektor ho nemusí zachytit z důvodu, že nevytváří IR záření o vlnových délkách potřebných k vyhlášení poplachu. Určitým řešením je možnost využití tepelně tvarované scény, kdy detektor v klidovém stavu přijímá záření, které vydává pozadí a měl by tedy v případě zastínění tohoto záření vyvolat poplach, jelikož došlo ke změně přijatého IR záření v požadovaných hodnotách. Situaci při klidovém a poplachovém stavu na měřicím pracovišti znázorňují následující dva obrázky.



Obr. 42 Znáznornění situace při klidovém stavu



Obr. 43 Znáznornění situace při poplachovém stavu

### 6.3.2 Postup měření

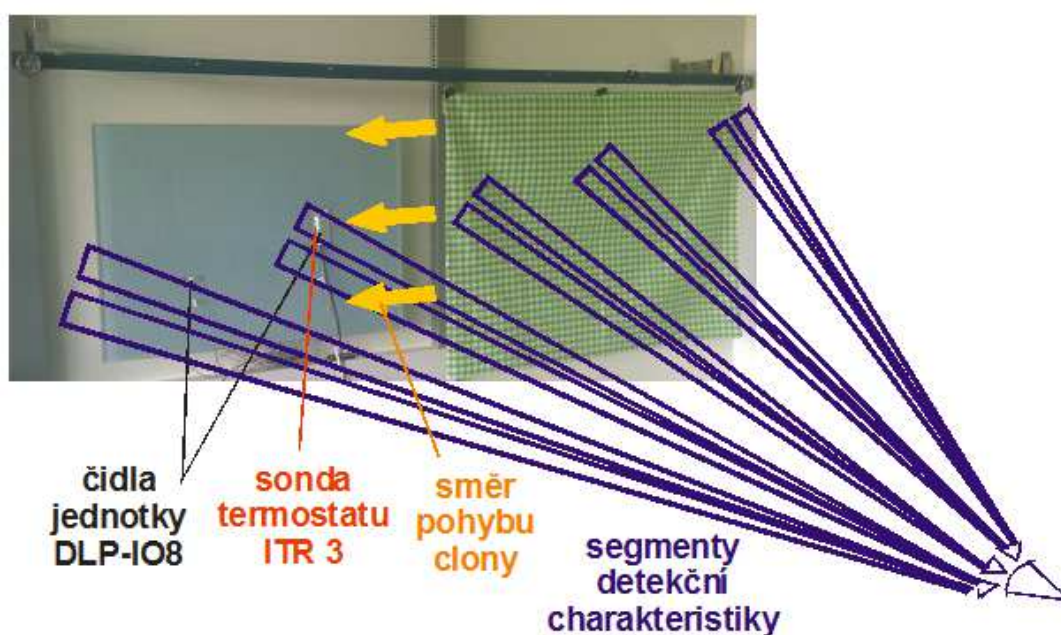
Držák s PIR detektory byl při měření umístěn nejdříve do vzdálenosti 2 m od sálavého panelu a následně do vzdálenosti 4 m. Průzory detektorů se nacházely ve výšce 2,2 m. Teplota panelu měřená jednotkou DLP-IO8 se pohybovala v rozmezí  $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$  při všech měřeních. Vzdálenost mezi panelem a clonou činila 18,5 cm.

Jako clona byla nejprve využita látka o rozměrech 88 x 66 cm, následně lesklý papír, jenž se využívá k výrobě plakátů, s rozměry 70 x 66 cm a nakonec záclona, která měla rozměry 84 x 75 cm. Kladky na držáku spojovalo tenké ocelové lanko, na které se



postupně zavěšovaly clony. Clona se uváděla do pohybu taháním za provázek, jenž byl připevněn k lanku. Vliv pohybu provázku byl při měření zanedbán.

Testování PIR detektorů probíhalo při rychlém (rychlost cca 0,782 m/s) a pomalém (rychlost cca 0,026 m/s) pohybu clony. Při svém pohybu zakryje clona postupně celý sálavý panel, přičemž protne spojnici mezi detektorem a sálavým panelem. Tím přestanou detektory přijímat IR záření a měly by vyhlásit poplach. Situace je nastíněna na následujícím obrázku.



Obr. 44 Znárodnění protnutí segmentů mezi detektorem a sálavým panelem

### 6.3.3 Výsledky měření

Tab. 14 Výsledky měření pro clonu z látky

typ detektoru	vzdálenost 2 m od panelu		vzdálenost 4 m od panelu	
	pohyb	poplach	pohyb	poplach
IR 120C	rychlý	ANO	rychlý	ANO
	pomalý	NE	pomalý	NE
IR 130 PLUS	rychlý	ANO	rychlý	NE
	pomalý	NE	pomalý	NE
EX-35T	rychlý	ANO	rychlý	ANO
	pomalý	ANO	pomalý	NE



Tab. 15 Výsledky měření pro papírovou clonu

typ detektoru	vzdálenost 2 m od panelu		vzdálenost 4 m od panelu	
	pohyb	poplach	pohyb	poplach
IR 120C	rychlý	ANO	rychlý	ANO
	pomalý	NE	pomalý	NE
IR 130 PLUS	rychlý	ANO	rychlý	NE
	pomalý	NE	pomalý	NE
EX-35T	rychlý	ANO	rychlý	ANO
	pomalý	ANO	pomalý	NE

Tab. 16 Výsledky měření pro clonu v podobě záclony

typ detektoru	vzdálenost 2 m od panelu		vzdálenost 4 m od panelu	
	pohyb	poplach	pohyb	poplach
IR 120C	rychlý	NE	rychlý	NE
	pomalý	NE	pomalý	NE
IR 130 PLUS	rychlý	NE	rychlý	NE
	pomalý	NE	pomalý	NE
EX-35T	rychlý	ANO	rychlý	ANO
	pomalý	NE	pomalý	NE

Pro možnost porovnání bylo měření provedeno ještě při teplotě povrchu panelu 31 °C a ve vzdálenosti detektorů 2 m. V této situaci vyhlásil při rychlém pohybu papírové clony poplach pouze detektor EX-35T. Při teplotě panelu 27 °C už poplach nevyhlásil žádný detektor a to ani při rychlém ani při pomalém pohybu clony.

Zajímavostí při měření se clonou v podobě záclony bylo, že ve vzdálenosti 4 m a pro teplotu panelu pohybující se kolem  $(42 \pm 1)$  °C, vyhlásil při rychlém pohybu clony poplach i detektor IR 130 PLUS. Jev mohl být způsoben tím, že při vyšší teplotě vyhodnotil PIR detektor záclonu jako materiál nepropouštějící IR záření.

Při úplném zakrytí panelu clonou z látky, papíru i záclony byl dále simulován pohyb clony pomocí ventilátoru. Tento pokus byl proveden pro možnost ověření, zda vyhřáté vlnící se zavěšené předměty způsobí při závanu větru (využit ventilátor) falešný poplach. Poplach při tomto pokusu detektory nevyvolaly.

Dle mého názoru detektory poplach nevyvolaly z důvodu, že pohybem clony nedošlo k protnutí spojnice mezi panelem a detektorem, jelikož clona i panel měli pro tento pokus malé rozměry. V praxi však může být situace jiná, neboť pohybem např. vyhřátého závěsu s dostatečnými rozměry, který je zahřátý na teplotu blízkou teplotě lidského těla a protne spojnicí, by mohl falešný poplach nastat.

Jako doplňkový byl proveden pokus, při kterém byly PIR detektory osvětleny reflektorem s halogenovou žárovkou o hodnotě 120 W. Po osvětlení vyhlásily poplach všechny použité detektory.

#### **6.3.4 Závěr**

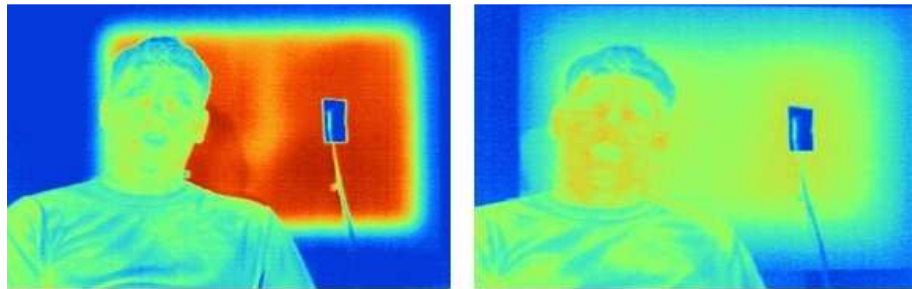
Podle výsledků bych hodnotil pro účely tohoto měření jako nejvýhodnější PIR detektor Wonderex EX-35T a to z důvodu jeho schopnosti detekce i při pomalém pohybu.

Z výsledků je dále patrné, že pokud by pachatel, který se snaží nějakým způsobem maskovat, usiloval o překonání prostoru, ve kterém je instalovaný PIR detektor, jehož průzor směřuje na pozadí s teplotou kolem 35 °C, nemuselo by se mu to podařit, aniž by byl vyhlášen poplach.

Zvláštností této sestavy je navíc fakt, že se už nejedná pouze o systém pasivní, ale o systém aktivní. Dochází tedy k vytváření pole - při měření vyzařuje snímaná scéna IR záření.

## 7 NÁVRH ŘEŠENÍ VYUŽITÍ POZADÍ PRO ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI DETEKCE

Zajímavé by bylo zamyslet se nad situací, kdy by byla celá snímaná plocha, na níž směřuje průzor detektoru, vyhřívána. V případě, kdy bude mít pozadí teplotu blízkou teplotě lidského těla, by nemusel detektor detekovat pohyb narušitele, jelikož nedojde ke změně přijímaného IR záření. V případě vyšší teploty pozadí by již detektor změnu zaznamenat mohl. Tato teorie je v omezené míře nastíněna na následujícím obrázku pořízeném infrakamerou TP8.



*Obr. 45 Vyobrazení teploty lidského těla vůči teplotě pozadí (vlevo teplota pozadí větší, vpravo pak takřka stejná)*

Jelikož v praxi není mnoho aplikací, při kterých by se celý střežený prostor vyhříval na určitou teplotu, připadá v úvahu návrh, že by byla ve střeženém prostoru vyhřívána pouze oblast, u níž se předpokládá, že přes ni pachatel projde při vstupu do objektu (oblast u vstupních či zadních dveří, okna, atd.).

### 7.1 Návrh pozadí v podobě podlahového vytápění

Podlahové vytápění by mohlo dle mého názoru zvýšit spolehlivost detekce PIR detektorů takovým způsobem, kdy by byly určité oblasti podlahy vytápěny na vyšší teplotu, než je teplota lidského těla, tedy např. v rozmezí od 40 °C do 45 °C. Oblasti s vyšší teplotou by se nacházely v místech, kde je předpokládáno místo vniknutí pachatele do objektu. Problémem návrhu je ovšem fakt, že se netopí celý rok a tudíž by tato aplikace

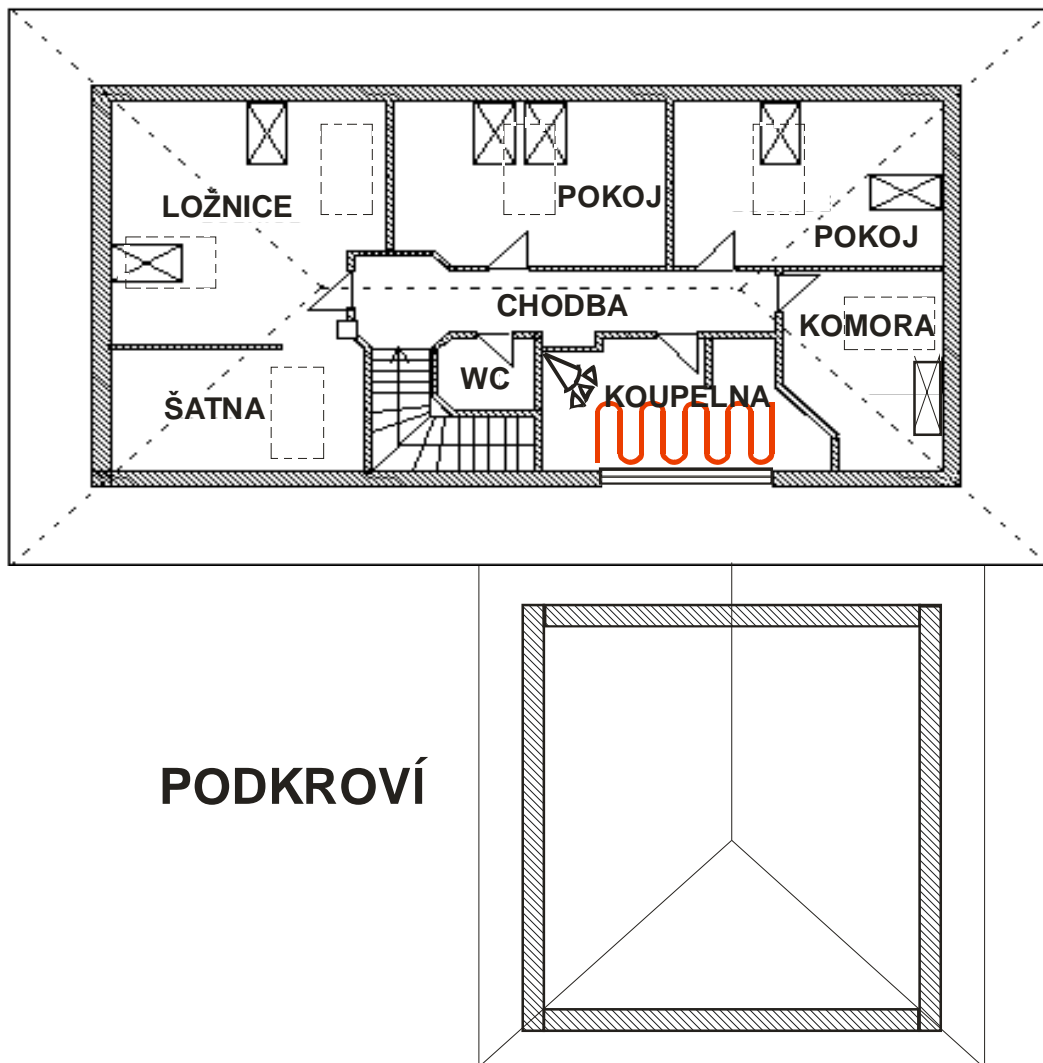
nebyla využitelná celoročně. Dále je zde problém v tom, že se u rodinných domů nemusí využívat podlahové vytápění ve všech místnostech, ale jen v určitých částech (koupelna, předsíň apod.). Tento způsob zvýšení citlivosti detektorů tedy není využitelný ve všech místnostech střeženého objektu, což je problémem návrhu.

V podkroví připadá v úvahu podlahového vytápění pouze v koupelně, neboť je zde předpoklad, že v ostatních místnostech budou na podlaze koberce a využití podlahového vytápění by zde nebylo perspektivní. Na druhou stranu by ale mohlo být podlahové vytápění nainstalováno na chodbě v podkroví rodinného domu.

Další možnost umístění vytápění je na chodbě v přízemí, jelikož se zde nachází okno v místě schodiště, kudy by potencionální pachatel mohl vniknout do objektu.



Obr. 46 Návrh s využitím podlahového vytápění pro přízemí RD, upravil Plášek [20]



Obr. 47 Návrh s využitím podlahového vytápění pro podkroví RD, upravil Plášek [20]

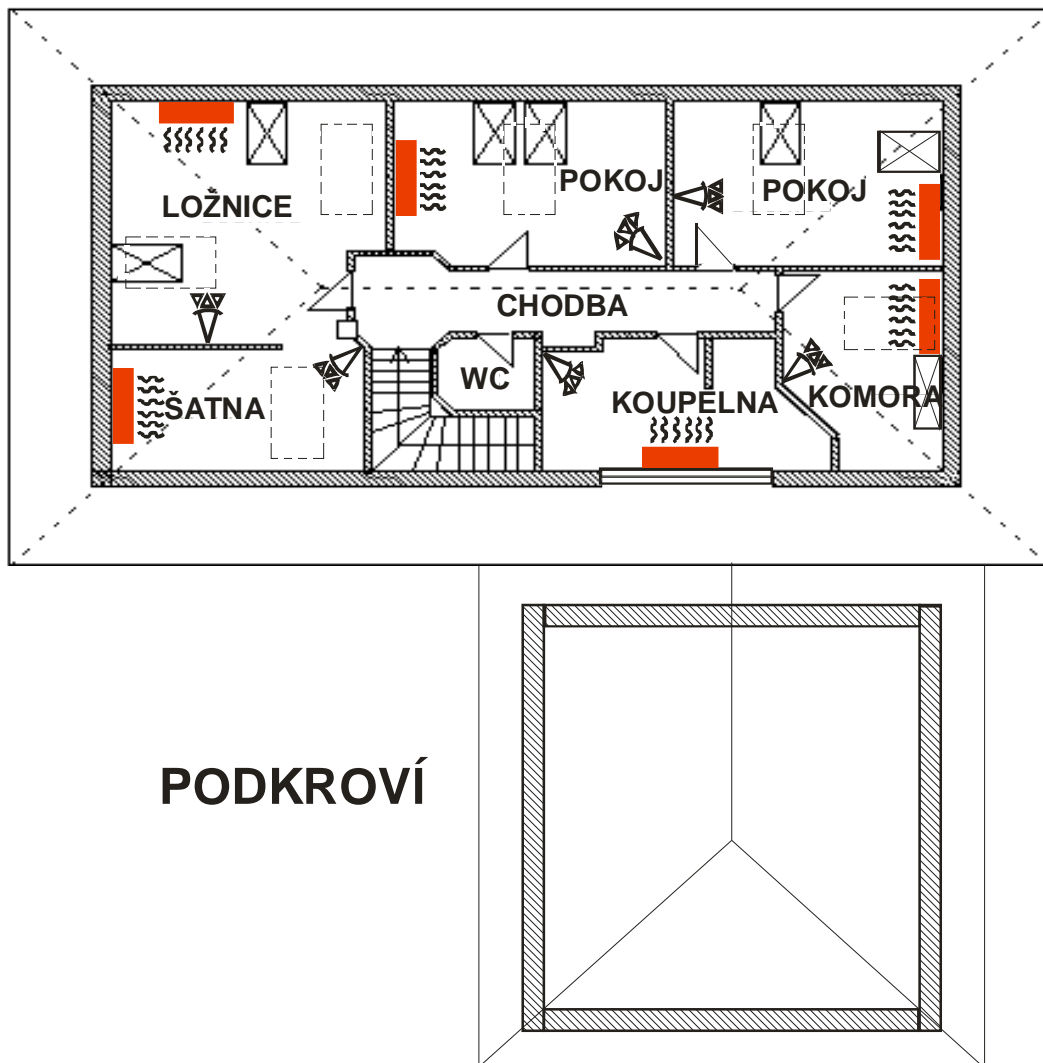
## 7.2 Návrh pozadí s vytápěním sálavými panely

V tomto návrhu jsou pro vytápění použity sálavé panely (může být využit např. výše zmíněný panel GR 300). Výhodou návrhu je možnost využití sálavých panelů k vytápění libovolné místnosti v zabezpečeném objektu. Jako nevýhodné se zde můžou projevit malé rozměry některých panelů (70 x 50 cm). Při tomto řešení by byla instalace a hlavně nastavení detektorů obtížnější, než při návrhu s podlahovým vytápěním, jelikož by musely být PIR detektory nainstalovány tak, aby na sálavý panel směřovalo pokud možno co nejvíce segmentů jeho detekční charakteristiky. Další nevýhodou je zde opět fakt, že se netopí celoročně a že před panel nesmí být umístěny žádné předměty, které by způsobovaly útlum vyzařovaného tepla.

Na rozdíl od podlahového vytápění je systém se sálavými panely více využitelný v podkroví, kde je vytápění zajišťováno pouze těmito panely. V případě využití panelů např. řady GR, mohou být navíc všechny tyto panely ovládány jednotkou BPT-SP, která umožňuje ovládání až 255 spínacích prvků topného systému. Popřípadě může být celý systém součástí nadřazené centrální jednotky PH-CJ37, která slouží k ovládání všech jednotek BPT-SP. Systém lze nakonfigurovat i s využitím programu PocketHome<sup>®</sup>, jenž umožňuje lepší a přehlednější ovládání celé regulace.



Obr. 48 Návrh s využitím sálavých panelů pro přízemí RD, upravil Plášek [20]



Obr. 49 Návrh s využitím sálavých panelů pro podkroví RD, upravil Plášek [20]

### 7.3 Závěr

Vzhledem k tomu, že oba návrhy jsou značně energeticky náročné, přičemž se nejedná jen o pozadí pro zvýšení citlivosti PIR detektorů, ale také o vytápění objektu, které představuje v současnosti největší náklady, připadá v úvahu možnost, kdy by byly na kritická místa instalovány místo podlahového topení např. pouze topné pásy umístěny v potřebné vzdálenosti, které by vytvářely vhodné pozadí a neměly tak velkou energetickou spotřebu. Na současném trhu již existuje mnoho zařízení, které by pro tuto aplikaci byly použitelné. Například se může jednat o některý z topných okruhů či rohoží (tyto zařízení jsou v nabídce společnosti Fenix).

Z hlediska úspory by mohlo být zajímavé, zamyslet se nad vytápěním potřebných ploch s využitím dnes hojně rozšířených solárních kolektorů. Otázkou je, zda-li by tyto kolektory byly schopny zajistit vyhřívání definovaných oblastí na požadovanou teplotu s přijatelnými provozními náklady.



Obr. 50 Návrh na řešení s využitím topných pásů v přízemí RD, upravil Plášek [20]

Pozoruhodností tohoto řešení je fakt, že už se nejedná pouze o pasivní snímání fyzikálních veličin, nýbrž o systém aktivní, jelikož pro svou činnost vytváří pole - vyzářuje infračervené záření.



## 8 ODHAD VÝVOJE PASIVNÍCH INFRAČERVENÝCH DETEKTORŮ

Vzhledem k tomu, že trendem je v současné době nasazovat na místa, které potřebujeme zabezpečit, kamerové systémy, dá se předpokládat, že integrace těchto systémů s PIR detektory bude ve stále větším měřítku. Tento fakt je způsoben stále trvajícím technologickým a technickým výzkumem a pokrokem.

Již dnes existují PIR detektory, které jsou vybaveny fotoaparátem nebo miniaturní kamerou a v případě, kdy je detektorem zaznamenán pohyb, dojde k automatickému vyfotografování či spuštění nahrávání. Po tomto zaznamenání jsou detektory schopny poslat snímek pomocí MMS zprávy přímo na mobilní telefon uživatele, nebo ukládat záznam na paměťovou kartu. Dle mého názoru se bude pokrok v této oblasti ubírat i nadále tímto směrem.

Myslím si, že PIR detektory budou v budoucnu stále více podléhat integraci do sofistikovaných zařízení, jež budou schopny vykonávat nejrůznější funkce. Můžeme se dočkat také například toho, že se v detektoru bude nacházet celý video server včetně potřebného programového vybavení, jenž půjde připojit do sítě s přístupem na Internet a obsahovat daleko více možností, než jaké mají současná zařízení.

Možná, že bude vymyšlen takový PIR detektor, který svou funkcí nahradí klasické požární hlásiče a stane se tak jejich silnou konkurencí. Možností a aplikací jistě existuje nepřehledné množství a záleží tedy pouze na vynalézavosti člověka, jak a k čemu bude toto technické zařízení využívat, popřípadě s jakým dalším zařízením tento prvek propojí.

### 8.1 Detektory s více funkcemi

Tato kapitola popisuje vybrané detektory, které v sobě integrují více funkcí, než je pouhá detekce pohybu. Zaměřuje se na PIR detektory s vestavěnou kamerou, popřípadě dalšími funkcemi.

#### **Barevná kamera JW-750S**

Jedná se o zařízení se skrytou kamerou, jenž disponuje záznamem v PIR detektoru. Nahrávání se spustí při detekci pohybu. Zařízení má vestavěnou paměť pro záznam

s velikostí 32 MB, kterou je možno rozšířit s využitím paměťové karty (SD). Detektor obsahuje 1/3" CCD kameru Sharp, která poskytuje formáty PAL/NTSC se 420 TV řádky. Dále má zabudovaný mikrofon, jenž umožňuje plnit funkci odposlechu. Poskytuje rovněž funkci synchronizace s alarmem. [21]



*Obr. 51 JW-750S [21]*

### **EyeSee**

Tento produkt nabízí společnost Jablocom a představuje bezpečnostní systém s bezdrátovou komunikací. Zařízení poskytuje souhrnné řešení po stránce hardwarového i softwarového vybavení. Pro svou činnost může využívat GSM síť, přes kterou je schopen zasílat zprávy SMS, MMS, volat, data. Umožňuje příjem hovoru a SMS příkazů. Disponuje pěti zabudovanými detektory, které se starají o nepřetržité sledování vnitřních či venkovních prostranství. Při zaznamenání určité události ihned odesílá příslušnou zprávu. Výbavu ve formě detektorů představují: akustický hluk, detekce tříštění skla, pohyb v obraze, náklon a umístění a PIR detektor. Firma nabízí tento produkt ve dvou variantách a to EyeSee EYE-02, kdy se jedná o klasickou GSM kameru a EyeSee EYE-02 3G, která má navíc 3G modul umožňující rychlejší datovou komunikaci. Výrobek je schopen provozu v rozmezí teplot od -20 °C do +55 °C. [22]

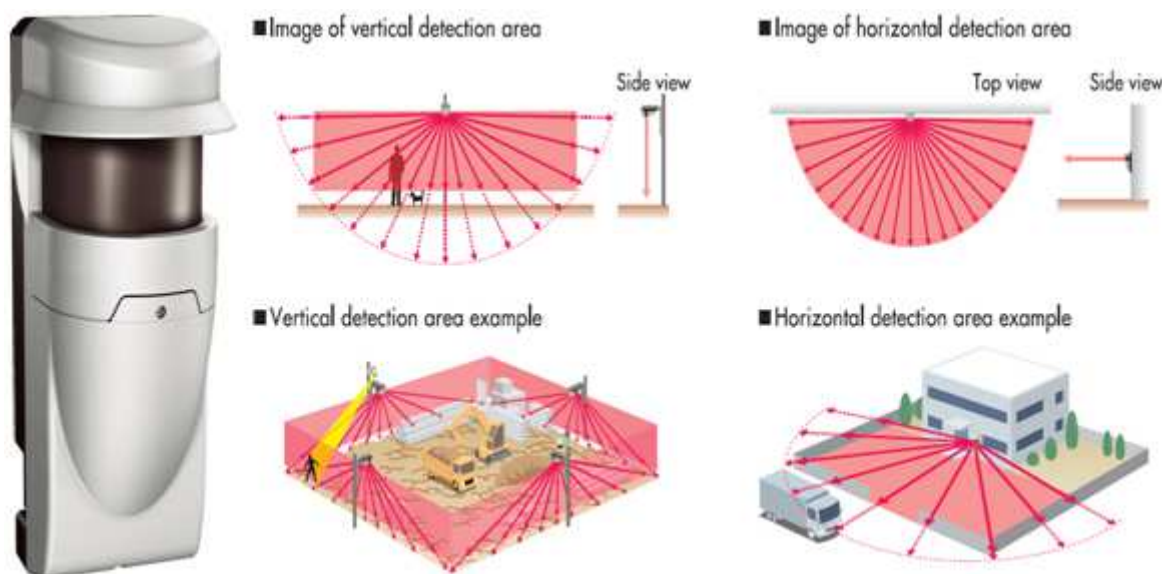


*Obr. 52 EyeSee EYE-02 [22]*

## 8.2 Detektor REDSCAN RLS-3060

Jedná se o laserový skenovací detektor od společnosti REDWALL. Dokáže detekovat pohybující se objekty, rychlost a vzdálenost objektu od detektoru. Registrované informace zpracovává s využitím unikátního algoritmu, což vede k vysoké spolehlivosti detekce osob s minimem falešných poplachů. Instalace detektoru je možná jak v horizontální, tak i vertikální poloze a to v závislosti na aplikaci a místních podmínkách. V případě, kdy je na detektoru nastavena vertikální oblast detekce, vytváří 60metrovou detekční oblast, která funguje jako virtuální zeď. Se čtyřmi výstupy pro vzdálené video aplikace a čtyřmi plně naprogramovatelnými detekčními oblastmi, které jsou spojeny s těmito výstupy, je detektor taktéž vhodný pro ovládání PTZ kamer. Pokud je nastavena horizontální detekční oblast, pokryje detektor prostor o poloměru 30metrů a úhel 190°. Umožňuje automatické či ruční nastavení detekční oblasti. Jestliže je zvolena automatika, dokáže detektor nastavit správnou detekční oblast i v prostorech složitých tvarů. Jedná se tedy o sofistikovaný venkovní detektor, který usnadňuje sledování videa a má nízké instalační náklady. [23]

Disponuje následujícími vlastnostmi: IP připojení, čtyři nezávislé NO výstupy, detekce změny orientace, funkce anti-masking, tamper kontakt, signalizace závady, čtyři nezávisle nastavitelné detekční plochy pro ovládání PTZ kamery.



Obr. 53 Detektor REDSCAN RLS-3060 a jeho detekční charakteristika [23]

Tab. 17 Specifikace detektoru RLS-3060 [23]

metoda detekce		infračervení laserové snímání
třída ochrany laseru		třída 1
pokrytí	vertikální detekce	max. 60 m při 10 % odrazivosti
	horizontální detekce	rádius 30 m, úhel záběru 190° při 10 % odrazivosti
detekce rozlišení		0,25°
komunikační port		Ethernet, RJ-45, 10BASE-T/100BASE-TX
protokol		UDP
napájení		24 V DC nebo 24 V AC
proudový odběr		max. 400 mA (24 V DC), max. 600 mA (24 V AC)
montážní výška	vertikální detekce	max. 15 m
	horizontální detekce	0,7 m (doporučeno)
výstup ovládání kamery		NO 28 V DC, 0,2 A x 4 výstupy
kontakt tamper		NC 28 V DC, max. 0,2 A
provozní teplota		-20 až +60 °C
krytí		IP 66

## ZÁVĚR

V práci jsem se snažil o charakteristiku jednotlivých druhů infračervených detektorů a popsání jejich principu. Následně pak o popis principu činnosti PIR detektorů a také o zhodnocení technických norem pro zkoušení těchto detektorů. Rovněž jsem zde uvedl návrh na další možné testování tohoto technického zařízení.

Praktická část práce se především zabývá pozadím snímané scény PIR detektorem, které by mohlo disponovat vlastnostmi, jež by zvýšily citlivost detekce. Pro potřeby popsání snímaného pozadí v podobě sálavého topného panelu byly provedeny měření, které měly za úkol zjistit, jaké tepelné vlastnosti panel má. Měření ukázalo, že panel disponuje nerovnoměrným rozložením teploty a není schopen vyvinout tak rychlou změnu své povrchové teploty, aby ji PIR detektory vyhodnotily jako poplach.

Pro účely zjištění možnosti překonání PIR detektoru bylo pozadí, jež vyzařovalo IR záření, zakrýváno různými materiály. Toto měření ukázalo, že pokud by byl pachatel maskován určitým materiálem, nemusel by jeho pohyb PIR detektor vždy zaznamenat a to zejména v případě velmi pomalého pohybu (cca 0,026 m/s). Z tohoto důvodu bych doporučoval využití pokud možno moderních detektorů a to i duálních, které disponují nejrůznějšími vyhodnocovacími obvody, jež mají za úkol snížit výskyt falešných poplachů.

Jestliže je ovšem teplota pozadí větší, než teplota lidského těla, přestane detektor v případě zakrytí pozadí s touto vyšší teplotou přijímat konstantní IR záření a vyhlásí poplach. Tento fakt je aplikován pro návrh realizace pozadí v praxi, kdy je v jednom návrhu využito jako pozadí podlahové topení a ve druhém návrhu pak sálavých panelů. Každé z těchto řešení má své klady i zápory, přičemž největším problémem jsou zde náklady na spotřebovanou energii. Rovněž záleží na konkrétních podmínkách a možnostech v zabezpečovaném objektu.

Osobně bych jako vhodnou volbu viděl kombinaci těchto dvou metod vytápění, kdy podlahové by bylo využito např. v koupelně, místech za prosklenou zdí či vstupním prostorem a v ostatních místnostech by pak byly instalovány sálavé topné panely. Z hlediska snížení nákladů za energii připadá v úvahu využití zmíněných topných kabelů, či možnost vytápění pomocí solárních kolektorů.

Dle mého názoru se bude vývoj PIR detektorů ubírat takovým směrem, kdy v jednom zařízení nalezneme kombinaci několika detektorů pracujících na odlišných fyzikálních principech a současně i prvky umělé inteligence. Kamera jako součást detektoru již bude samozřejmostí. V úvahu připadá rovněž využití laserových detektorů pohybu, které jsou ale zatím pro svou vysokou cenu méně využívány.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

In my work I have tried to characterize various types of infrared detectors and describe their principle. Subsequently, a description of the activities PIR detectors and also to evaluate the technical standards for testing these ones.

Here I also wrote a proposal for possible further testing of this technology device. The practical part deals especially with the background of the scene PIR detector that might have properties that would enhance the sensitivity of detection.

For appropriate description of the scanned background in the form of radiant heating panel were done measurements that were supposed to identify the thermal properties of the panel. Measurement showed that the panel has uneven distribution of temperature and is unable to develop a rapid change in its surface temperature to be PIR detectors evaluate as an alarm.

For purposes of determining the possibility of overcoming the PIR detector background, which radiated radiation, covering a variety of materials. This measurement showed that if the offender masked some material might not be its always PIR motion record, especially in the case of very slow motion (about 0,026 m / s). Because of this reason I recommend to use modern detectors and even dual, which have a variety of circuits for evaluation, designed to task reduce the incidence of false alarms.

However, if the background temperature is larger than the temperature of the body, it stops detector for background cover with this higher temperature receive constant IR light and an alarm. This fact is applied to design the implementation of background in practice where a single design is used as the background and floor heating another radiant panels. Each of these solutions has its pros and cons. The biggest problem is the price of consumed energy. It also depends on specific conditions and opportunities in securing the building.

I would like the appropriate choice of seeing a combination of these two methods of heating, hen floor would be used for example in the bathroom, place a glass wall or input space and other rooms would have been installed radiant heating panel. In terms of reducing energy costs applicable use heating cables, or the possibility of heating using solar collectors.

In my opinion, the development will take PIR detectors in such a direction in which one meter device can find a combination of several detectors working on different physical principles and also elements of artificial intelligence. Camera as part of the detector is already commonplace. The account also seems to use laser motion detectors, but they are still a high price for its less used.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Infračervené záření z pohledu fyziky. In: *Topné panely* [online]. [cit. 2012-01-21]. Dostupné z: <http://sun-of-hope-topne-panely.sunofhope.cz/pohled-fyziky.pdf>
- [2] KRYNICKÝ, Martin. Optika: Elektromagnetické záření: Spektrální analýza, záření černého tělesa. *Učebnice fyziky pro gymnázia* [online]. 2. 1. 2012 [cit. 2012-01-22]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika/05%20Optika/04%20Elektromagnetick%C3%A9%20z%C3%A1%20C5%99en%C3%AD/02%20Spektr%C3%A1ln%C3%AD%20anal%C3%BDza,%20z%C3%A1%20C5%99en%C3%AD%20C4%8Dern%C3%A9ho%20t%C4%9Blesa.pdf>
- [3] Záření absolutně černého tělesa. *Projekt SIPVZ* [online]. [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: [http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13\\_act/13\\_act.htm](http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm)
- [4] GRUNER, Klaus-Dieter. Principles of Non-Contact Temperature Measurement. In: *Find it @ Support.Fluke.com* [online]. © 2003 [cit. 2012-01-29]. Dostupné z: [http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR\\_THEORY\\_55514\\_ENG\\_REVB\\_LR.PDF](http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF)
- [5] Blackbody Radiation: Radiated Power from Blackbody. *HyperPhysics* [online]. 2010 [cit. 2012-01-27]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/radfrac.html>
- [6] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005, 240 s. ISBN 80-730-0145-4.
- [7] Princip bezdotykového měření teploty a vysvětlení pojmů. HUŠEK, Miloš. *QTEST* [online]. © 2009 - 2012 [cit. 2012-01-29]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>

- [8] ČANDÍK, Marek. *Objektová bezpečnost II*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004, 100 s. Učební texty vysokých škol UTB FT. ISBN 80-7318-217-3.
- [9] PCS, spol. s r.o. - Divize Security - Produkty - Elektronické zabezpečovací systémy. *PCS* [online]. © 2006 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.pcs.cz/security/produkty-a-sluzby/elektronicke-zabezpecovaci-systemy.ep/>
- [10] UHLÁŘ, Jan. *Technická ochrana objektů II. díl: Elektrické zabezpečovací systémy II*. Vyd. 1. Praha: PA ČR, 2005, 229 s. ISBN 80-7251-189-0.
- [11] Fresnel Lens Polarizer. *3Dlens - Fresnel Lens, Polarizer Fresnel Lens, Polarizer* [online]. ©2001-2011 [cit. 2012-02-12]. Dostupné z: <http://www.3dlens.com/>
- [12] ČSN EN 50130-5. *Poplachové systémy - Část 5: Metody zkoušek vlivu prostředí*. Praha: Český normalizační institut, 2001, 32 s.
- [13] ČSN EN 50131-1. *Poplachové systémy - Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy - Část 1: Systémové požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 40 s.
- [14] ČSN EN 50131-2-2. *Poplachové systémy - Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy - Část 2-2: Detektory narušení - Pasivní infračervené detektory*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 40 s.
- [15] GR Set 300 White | Fenix. *Fenix* [online]. © 2007 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://shop.fenixgroup.cz/z4083-gr-set-300-white>
- [16] Eberle ITR-3 528 800 | Fenix. *Fenix* [online]. © 2007 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://shop.fenixgroup.cz/z1958-eberle-itr-3-528-800>

- [17] Pasivní infračervený detektor IR 120C. In: *Orsec* [online]. 1. 9. 2003 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: [http://www.orsec.cz/user/data/slovník/IR120\\_C/Datasheet\\_IR120C\\_CZ.pdf](http://www.orsec.cz/user/data/slovník/IR120_C/Datasheet_IR120C_CZ.pdf)
- [18] RŮČKA, Ondřej. *PIR detektory a jejich spolehlivost*. Zlín, 7. 6. 2011. Dostupné z: <http://portal.utb.cz/>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Rudolf Drga.
- [19] Optex Inc Security Products - EX-35T/35R. *Optex Inc - Security Solution* [online]. © 2007 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://www.optexamerica.com/productpage.aspx?id=16>
- [20] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Energeticky úsporný rodinný dům v praxi (I). *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 19. 2. 2004 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1828-energeticky-usporny-rodinny-dum-v-praxi-i>
- [21] Barevná kamera JW-750S. *GM electronic - elektronika, kterou znáte...* [online]. © 1990–2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/cz/bezdratovy-pir-detektor-s-kamerou-os-750s-p755-198/#dokumentace>
- [22] EyeSee | Jablocom. *Jablocom* [online]. © 2011 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://www.jablocom.cz/component.php?cocode=catalogue&itid=8&icid=2>
- [23] RLS-3060 | REDWALL. *Quality detection system for video surveillance REDWALL* [online]. [2009] [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.optex.co.jp/e/redwall/products/redscan/index.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ATC	automatická teplotní kompenzace
CCD	Charge-coupled device (elektronická součástka pro snímání obrazu)
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
EMC	electromagnetic compatibility (elektromagnetická kompatibilita)
FPA	focal plane array (ohniskové pole)
GSM	Groupe Spécial Mobile (globální systém pro mobilní komunikaci)
IR	infrared (infračervené)
LED	light-emitting diode (dioda emitující světlo)
MMS	Multimedia Messaging Service (multimediální zprávy)
NEP	noise equivalent power (výkonový ekvivalent)
OPN	oblast prostorového náboje
PIR	Passive Infrared Receiver (pasivní infračervený detektor)
PZTS	poplachové zabezpečovací a tísňové systémy
RD	rodinný dům
SD	Secure Digital (typ paměťové karty)
SMS	Short message service (služba krátkých textových zpráv)
SWT	standard walk test target (standardní detekční cíl)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Objev infračerveného záření .....	11
<i>Obr. 2</i> Rozdělení infračerveného záření 1 .....	12
<i>Obr. 3</i> Rozdělení infračerveného záření 2 .....	12
<i>Obr. 4</i> Realizace absolutně černého tělesa .....	13
<i>Obr. 5</i> Vyzařovací charakteristiky černého tělesa v závislosti na jeho teplotě .....	14
<i>Obr. 6</i> Znázornění Wienova posunovacího zákona .....	15
<i>Obr. 7</i> Orientační hodnoty spektrální emisivity pro různé materiály .....	19
<i>Obr. 8</i> Závislost emisivity materiálů, ideálního difuzního materiálu a černého tělesa na úhlu od normály měřené plochy .....	20
<i>Obr. 9</i> Vyzařování reálného objektu .....	21
<i>Obr. 10</i> Charakteristické vyzařování při různých emisivitách .....	21
<i>Obr. 11</i> Termoelektrické detektory .....	26
<i>Obr. 12</i> FPA mikrobolometrická matice .....	27
<i>Obr. 13</i> Mikrobolometrický element matice .....	28
<i>Obr. 14</i> Závislost spontánní polarizace na teplotě .....	29
<i>Obr. 15</i> Pyroelektrický čip s předzesilovačem .....	30
<i>Obr. 16</i> Náhradní obvody pyroelektrického detektoru .....	30
<i>Obr. 17</i> Kompenzovaný integrovaný pyroelektrický detektor .....	32
<i>Obr. 18</i> Princip kvantových detektorů .....	34
<i>Obr. 19</i> Fotodioda PIN .....	35
<i>Obr. 20</i> Detektivita kvantových detektorů .....	36
<i>Obr. 21</i> Uspořádání a citlivost elementu QWIP FPA matice .....	37
<i>Obr. 22</i> Pasivní infračervený detektor .....	39
<i>Obr. 23</i> Zobrazení citlivosti pasivního infračerveného detektoru v závislosti na tangenciálním ( $v_t$ ) a radiálním ( $v_r$ ) směru pohybu .....	41
<i>Obr. 24</i> Čočka zrcadlové optiky (nahore) a Fresnelova čočka (dole) .....	42
<i>Obr. 25</i> Eliminace nežádoucí části spektra pomocí černého zrcadla u PIR detektorů .....	44
<i>Obr. 26</i> Skleněný sálavý panel GR 300, přijímač BPT-SP2 a termostat BPT-SP .....	56
<i>Obr. 27</i> Snímky průběhu zahřívání panelu pořízené infrakamerou .....	57
<i>Obr. 28</i> Rozdělení panelu na jednotlivá pole .....	58
<i>Obr. 29</i> Blokové schéma měřicího pracoviště s IR kamerou a pyrometrem .....	58
<i>Obr. 30</i> Blokové schéma pracoviště s IR kamerou a jednotkou DLP-IO8 .....	59

<i>Obr. 31</i>	<i>Jednotka DLP-IO8, rozmístění čidel na panelu a pyrometr Agema TPT 64P</i>	59
<i>Obr. 32</i>	<i>Blokové schéma pracoviště s IR kamerou, jednotkou DLP-IO 8 a termostatem Eberle ITR3</i>	62
<i>Obr. 33</i>	<i>Rozmístění čidel na panelu, snímek z infrakamery a termostat Eberle ITR 3</i>	62
<i>Obr. 34</i>	<i>Detekční charakteristika detektoru IR 120C</i>	65
<i>Obr. 35</i>	<i>Detekční charakteristika detektoru IR 130 PLUS</i>	65
<i>Obr. 36</i>	<i>Detekční charakteristika detektoru Wonderex EX-35T</i>	66
<i>Obr. 37</i>	<i>Držák s PIR detektory</i>	67
<i>Obr. 38</i>	<i>Schéma rozmístění prvků</i>	68
<i>Obr. 39</i>	<i>Držák s kladkami a clonami</i>	69
<i>Obr. 40</i>	<i>Clona v podobě záclony a snímky panelu z IR kamery bez a se clonou</i>	70
<i>Obr. 41</i>	<i>Detekční charakteristiky detektorů IR 120 C a EX-35T</i>	70
<i>Obr. 42</i>	<i>Znázornění situace při klidovém stavu</i>	71
<i>Obr. 43</i>	<i>Znázornění situace při poplachovém stavu</i>	71
<i>Obr. 44</i>	<i>Znázornění protnutí segmentů mezi detektorem a sálavým panelem</i>	72
<i>Obr. 45</i>	<i>Vyobrazení teploty lidského těla vůči teplotě pozadí</i>	75
<i>Obr. 46</i>	<i>Návrh s využitím podlahového vytápění pro přízemí RD, upravil Plášek</i>	76
<i>Obr. 47</i>	<i>Návrh s využitím podlahového vytápění pro podkroví RD, upravil Plášek</i>	77
<i>Obr. 48</i>	<i>Návrh s využitím sálavých panelů pro přízemí RD, upravil Plášek</i>	78
<i>Obr. 49</i>	<i>Návrh s využitím sálavých panelů pro podkroví RD, upravil Plášek</i>	79
<i>Obr. 50</i>	<i>Návrh na řešení s využitím topných pásů v přízemí RD, upravil Plášek</i>	80
<i>Obr. 51</i>	<i>JW-750S</i>	82
<i>Obr. 52</i>	<i>EyeSee EYE-02</i>	82
<i>Obr. 53</i>	<i>Detektor REDSCAN RLS-3060 a jeho detekční charakteristika</i>	83

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Pyroelektrické koeficienty.....</i>	29
<i>Tab. 2 Třídy prostředí.....</i>	48
<i>Tab. 3 Atmosférické podmínky v laboratoři.....</i>	49
<i>Tab. 4 Koeficienty pro výpočet teplotního rozdílu.....</i>	50
<i>Tab. 5 Zkoušky vlivu prostředí - provozní.....</i>	52
<i>Tab. 6 Zkoušky vlivu prostředí - odolnostní.....</i>	53
<i>Tab. 7 Specifikace panelu GR 300.....</i>	57
<i>Tab. 8 Hodnoty teplot použité pro porovnání.....</i>	60
<i>Tab. 9 Specifikace termostatu Eberle ITR 3.....</i>	61
<i>Tab. 10 Technické údaje detektoru IR 120C.....</i>	64
<i>Tab. 11 Technické údaje detektoru IR 130 PLUS.....</i>	65
<i>Tab. 12 Technické údaje detektoru Wonderex EX-35T.....</i>	66
<i>Tab. 13 Výsledky měření pro vzdálenost 0,95 m a 2 m.....</i>	69
<i>Tab. 14 Výsledky měření pro clonu z látky.....</i>	72
<i>Tab. 15 Výsledky měření pro papírovou clonu.....</i>	73
<i>Tab. 16 Výsledky měření pro clonu v podobě záclony.....</i>	73
<i>Tab. 17 Specifikace detektoru RLS-3060.....</i>	84

**SEZNAM ROVNIC**

<i>Rovnice 1.1 Stefan-Boltzmannův zákon</i> .....	13
<i>Rovnice 1.2 Wienův posunovací zákon</i> .....	15
<i>Rovnice 1.3 Výpočet energie kvanta záření</i> .....	16
<i>Rovnice 1.4 Planckův zákon</i> .....	16
<i>Rovnice 1.5 Kirchhoffův zákon</i> .....	17
<i>Rovnice 1.6 Kirchhoffův zákon pro černé těleso</i> .....	17
<i>Rovnice 1.7 Kirchhoffův zákon pro spektrální hustoty</i> .....	17
<i>Rovnice 1.8 Kirchhoffův zákon pro nepropustné těleso</i> .....	18
<i>Rovnice 1.9 Lambertův zákon</i> .....	18
<i>Rovnice 1.10 Výpočet emisivity</i> .....	19
<i>Rovnice 1.11 Výpočet spektrální emisivity</i> .....	19
<i>Rovnice 1.12 Množství energie</i> .....	20
<i>Rovnice 1.13 Emise</i> .....	20
<i>Rovnice 1.14 Pohltivost</i> .....	21
<i>Rovnice 1.15 Propustnost</i> .....	22
<i>Rovnice 1.16 Odraznost</i> .....	22
<i>Rovnice 2.1 Integrovaná citlivost</i> .....	23
<i>Rovnice 2.2 Spektrální citlivost</i> .....	23
<i>Rovnice 2.3 Relativní spektrální citlivost</i> .....	23
<i>Rovnice 2.4 NEP</i> .....	24
<i>Rovnice 2.5 Detektivita</i> .....	24
<i>Rovnice 2.6 Normovaná detektivita</i> .....	24
<i>Rovnice 2.7 Poměr signál/šum</i> .....	24
<i>Rovnice 2.8 Pyroelektrický koeficient</i> .....	29
<i>Rovnice 2.9 Indukce elektrického náboje na elektrodách</i> .....	30
<i>Rovnice 2.10 Výpočet výstupního napětí</i> .....	31
<i>Rovnice 2.11 Výpočet energie fotonů</i> .....	32
<i>Rovnice 4.1 Výpočet průměrného teplotního rozdílu</i> .....	50



## SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1</i> Znáznornění porovnání teplot .....	61
--	----

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P1: Hodnoty teplot naměřené při ochlazování panelu z maximální teploty
- Příloha P2: Hodnoty teplot naměřené při zapnutí a následném vypnutí panelu
- Příloha P3: Hodnoty teplot naměřené při zapínání a vypínání panelu
- Příloha P4: Teploty naměřené s využitím USB jednotky DLP-IO8 a pyrometru, graf závislosti teploty na čase získaný z kontaktní metody
- Příloha P5: Teploty naměřené na polích opatřených barvou, graf závislosti teploty na čase vytvořený z hodnot kontaktního měření
- Příloha P6: Údaje z měření na polích opatřených barvou zjištěny ze záznamu IR kamery TP8 a jednotky DLP-IO8 při zapojení 4 čidel
- Příloha P7: Graf závislosti teploty na čase vytvořený z hodnot kontaktního měření, výstup z programu RealView pro toto měření
- Příloha P8: Znázornění porovnání hodnot získaných ze záznamu IR kamery a jednotky DLP-IO8 pro pole se stejnou barvou
- Příloha P9: Teploty naměřené na polích opatřených barvou zjištěny ze záznamu kamery TP8 a jednotky DLP-IO8 při zapojení 5 čidel
- Příloha P10: Graf závislosti teploty na čase vytvořený z údajů jednotky DLP-IO8, výstup z programu RealView pro toto měření
- Příloha P11: Grafické porovnání teplot získaných ze záznamu IR kamery TP8 a jednotky DLP-IO8 pro pole se stejnou barvou

**PŘÍLOHA P I: HODNOTY TEPLOT NAMĚŘENÉ PŘI  
OCHLAZOVÁNÍ PANELU Z MAXIMÁLNÍ TEPLoty**

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu	měření rozložení teploty pyrometrem							teplota zjištěná ze záznamu IR kamery	
		kontakt	emisivita na pyrometru = 0,85					kontakt		
	topí/netopí		bezkontaktně							
	pole ==>	5	1	2	3	4	5	5	průměrná	maximální
		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
10:06	topí	76,4	89,2	89,8	85,8	84,3	88,8	76,7	59,6	79,1
10:08	netopí	75,2	81,9	84,4	81,3	78,3	82,6	74,3	59,8	80,4
10:10	netopí	75,0	81,4	83,0	78,4	75,5	80,2	73,9	56,3	75,4
10:12	netopí	73,9	77,5	80,1	73,9	70,7	76,8	72,8	53,3	71,0
10:14	netopí	71,0	74,1	75,3	70,4	67,9	73,1	69,8	50,5	67,7
10:16	netopí	68,2	69,7	71,0	66,6	62,9	70,1	67,1	48,2	64,3
10:18	netopí	65,5	67,3	67,8	63,3	60,5	66,9	63,9	45,7	61,8
10:20	netopí	63,0	64,2	64,6	59,7	57,4	64,2	62,0	43,9	58,6
10:22	netopí	60,2	60,4	61,1	56,8	53,6	61,2	59,1	42,3	56,1
10:24	netopí	57,8	58,2	58,1	53,5	52,3	58,6	56,9	40,3	53,1
10:26	netopí	55,2	55,3	55,1	51,2	49,5	56,1	54,6	39,4	51,4
10:28	netopí	52,9	52,9	53,0	48,9	47,3	54,1	52,7	38,1	49,0
10:30	netopí	50,7	50,9	50,1	46,6	45,0	51,5	50,2	36,2	46,9
10:32	netopí	48,3	48,0	48,0	44,9	41,3	49,4	48,0	35,1	45,0
10:34	netopí	46,5	46,4	46,3	41,4	40,9	47,7	46,1	34,4	43,9
10:36	netopí	44,8	44,0	44,4	41,0	39,0	45,4	44,5	32,5	41,8
10:38	netopí	43,0	42,8	42,3	38,5	37,2	43,7	42,7	31,8	40,3
10:40	netopí	41,3	41,1	40,3	36,7	36,3	42,4	41,1	30,5	38,9
10:42	netopí	40,2	40,1	39,3	35,6	34,9	41,1	40,0	29,8	38,0
10:44	netopí	38,7	38,6	38,1	34,4	33,8	39,7	38,6	29,4	37,4
10:46	netopí	37,7	37,5	37,5	33,3	32,3	38,8	37,4	28,8	36,5
10:48	netopí	36,8	37,0	36,1	31,9	32,5	38,6	36,8	28,7	35,8

## PŘÍLOHA P2: HODNOTY TEPLOT NAMĚŘENÉ PŘI ZAPNUTÍ A NÁSLEDNÉM VYPNUTÍ PANELU

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu	měření rozložení teploty pyrometrem							teplota zjištěná ze záznamu IR kamery	
		kontakt	emisivita na pyrometru = 0,85					kontakt		
	bezkontaktně									
	topí/netopí pole ==>	5	1	2	3	4	5	5	průměrná	maximální
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
17:16	netopí	21,6	20,6	20,9	20,7	20,5	20,8	21,6	27,2	28,5
17:18	topí	21,7	20,6	21,0	21,0	20,9	21,0	21,9		
17:20	topí	23,8	24,5	25,6	25,9	25,9	24,3	25,2	27,5	30,4
17:22	topí	28,4	31,0	31,8	32,6	32,4	29,5	30,0		
17:24	topí	32,4	36,0	36,8	37,7	37,2	34,0	33,6	32,9	36,4
17:26	topí	36,6	41,1	41,9	43,0	42,1	38,8	37,7	35,8	42,9
17:28	topí	40,3	45,5	46,6	47,6	46,6	42,7	41,2	38,0	46,2
17:30	topí	43,7	49,6	50,7	52,0	50,6	46,5	44,8	40,0	50,2
17:32	topí	47,5	53,9	54,8	56,3	54,7	50,6	48,0	42,1	53,8
17:34	topí	50,4	57,6	58,5	59,7	58,2	53,6	51,4	44,2	56,8
17:36	topí	53,4	61,0	61,9	63,5	61,5	57,1	54,3	46,5	60,5
17:38	topí	56,3	64,2	65,1	66,7	64,5	59,3	57,2	48,4	63,4
17:40	topí	59,0	67,1	68,3	69,5	67,4	63,0	59,9	50,1	66,0
17:42	topí	61,0	69,8	71,0	72,4	69,8	65,4	62,1	51,9	68,6
17:44	topí	63,5	72,4	73,5	74,4	72,4	67,4	64,5	53,7	71,6
17:46	topí	66,0	74,9	76,2	76,6	74,2	69,2	66,1	55,1	73,7
17:48	topí	67,9	77,1	78,3	78,6	76,7	72,7	68,3	56,4	75,5
17:50	topí	69,9	79,1	80,5	80,7	78,1	75,3	70,1	57,6	77,2
17:52	netopí	70,9	80,5	81,2	81,5	78,8	76,1	71,4	57,5	77,2
17:54	netopí	69,6	77,8	78,2	77,7	75,0	74,2	69,4	55,6	74,0
17:56	netopí	68,1	74,0	75,5	73,7	71,4	71,3	67,7	53,5	71,5
17:58	netopí	65,6	71,0	71,7	70,2	68,2	69,0	65,7	52,0	65,5
18:00	netopí	63,7	68,0	68,9	67,1	65,1	66,4	63,5	49,9	62,8
18:02	netopí	61,5	65,2	66,1	64,1	62,2	63,9	61,4	48,0	60,7
18:04	netopí	60,0	62,6	63,8	61,2	59,7	61,7	59,6	46,9	58,8
18:06	netopí	58,2	60,2	61,1	58,8	57,4	59,6	57,7	45,1	56,6
18:08	netopí	56,3	57,7	59,3	56,3	54,9	57,7	56,1	43,6	54,5
18:10	netopí	55,1	56,4	57,0	54,7	53,0	56,2	54,6	42,6	52,9
18:12	netopí	53,4	53,1	55,3	52,2	50,3	54,6	53,0	41,2	51,2
18:14	netopí	51,5	52,3	53,8	50,3	48,6	52,8	51,5	40,3	49,6
18:16	netopí	50,5	50,1	50,9	48,7	47,3	51,0	49,9	39,8	48,3
18:18	netopí	48,5	49,0	50,1	47,0	45,8	49,8	48,9	39,0	47,1
18:20	netopí	47,7	47,3	48,1	45,1	44,2	48,2	47,4	38,0	45,4
18:22	netopí	46,5	45,9	46,7	43,9	42,8	46,9	46,1	37,2	44,3

## PŘÍLOHA P3: HODNOTY TEPLOT NAMĚŘENÉ PŘI ZAPÍNÁNÍ A VYPÍNÁNÍ PANELU

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu		měření rozložení teploty pyrometrem						
	teplota na termostatu [°C]	topí/netopí	kontaktně	emisivita na pyrometru = 0,95					kontaktně
		pole ==>		bezkontaktně					
				6	1	2	3	4	5
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	
9:50	22,5	netopí	22,7	21,5	21,6	21,9	21,7	21,7	22,7
9:52	22,5	netopí	22,7	21,7	21,5	21,7	21,7	21,7	22,7
9:54	22,5	topí	25,1	24,6	25,7	26,2	26,5	24,7	27,1
9:56	22,6	topí	30,3	30,3	30,7	31,6	31,7	28,4	31,8
9:58	23,5	topí	35,6	36,1	36,3	37,7	37,5	33,1	36,8
10:00	25,0	topí	41,1	41,9	41,9	43,3	43,9	38,8	42,7
10:02	26,8	topí	45,0	46,0	45,8	47,7	47,1	42,4	45,7
10:04	28,8	topí	48,9	50,4	50,7	52,1	51,6	47,0	50,1
10:06	30,8	netopí	50,5	52,2	51,9	52,9	52,8	47,4	50,1
10:08	32,9	netopí	48,9	50,4	50,4	51,0	50,0	47,5	48,7
10:10	34,1	netopí	47,8	49,0	49,2	49,6	48,8	46,3	47,4
10:12	33,0	netopí	46,1	47,2	46,9	47,6	47,6	45,0	45,8
10:14	29,0	topí	45,0	45,8	45,2	45,7	46,0	44,0	44,6
10:16	28,9	topí	46,9	48,1	48,2	48,6	48,4	46,2	47,9
10:18	28,9	topí	50,0	51,1	51,7	52,4	51,9	48,8	50,7
10:20	34,2	netopí	51,5	52,8	52,2	53,3	51,8	48,6	50,3
10:22	34,2	netopí	50,2	51,1	50,7	50,4	50,2	49,1	49,7
10:24	35,5	netopí	48,8	49,5	49,2	48,8	48,8	47,5	48,3
10:26	36,1	netopí	47,6	48,0	47,6	47,0	47,0	46,6	46,9
10:28	33,1	netopí	46,0	46,4	46,0	45,3	44,8	45,0	45,7
10:30	30,8	netopí	44,5	45,0	44,5	44,3	43,6	44,3	44,3
10:32	27,8	topí	43,1	43,4	43,4	42,8	42,3	43,2	43,3
10:34	24,7	topí	45,9	46,8	47,0	46,9	46,7	45,6	46,6
10:36	27,0	topí	49,1	50,5	50,6	50,4	49,9	48,1	49,5
10:38	30,4	netopí	52,3	54,2	54,6	54,1	54,1	51,2	53,1
10:40	30,4	netopí	53,8	55,2	54,5	54,0	53,8	52,4	52,8
10:42	34,7	netopí	52,2	53,1	52,3	51,5	52,6	51,0	51,4
10:44	34,7	netopí	50,6	51,5	50,8	50,1	49,9	50,0	50,0
10:46	35,9	netopí	49,2	50,1	49,3	48,5	48,0	48,8	48,7
10:48	36,5	netopí	48,1	48,3	47,7	46,7	46,7	47,6	47,4
10:50	36,8	netopí	46,7	47,1	46,6	45,5	44,8	46,4	46,3
10:52	33,2	netopí	45,1	45,6	45,2	43,8	43,1	45,3	44,9
10:54	33,2	netopí	44,0	44,2	43,5	42,3	42,2	44,0	43,8
10:56	30,5	netopí	42,7	43,0	42,7	40,9	41,4	42,7	42,7
10:58	27,6	topí	44,4	45,3	45,1	44,1	44,1	45,0	45,1

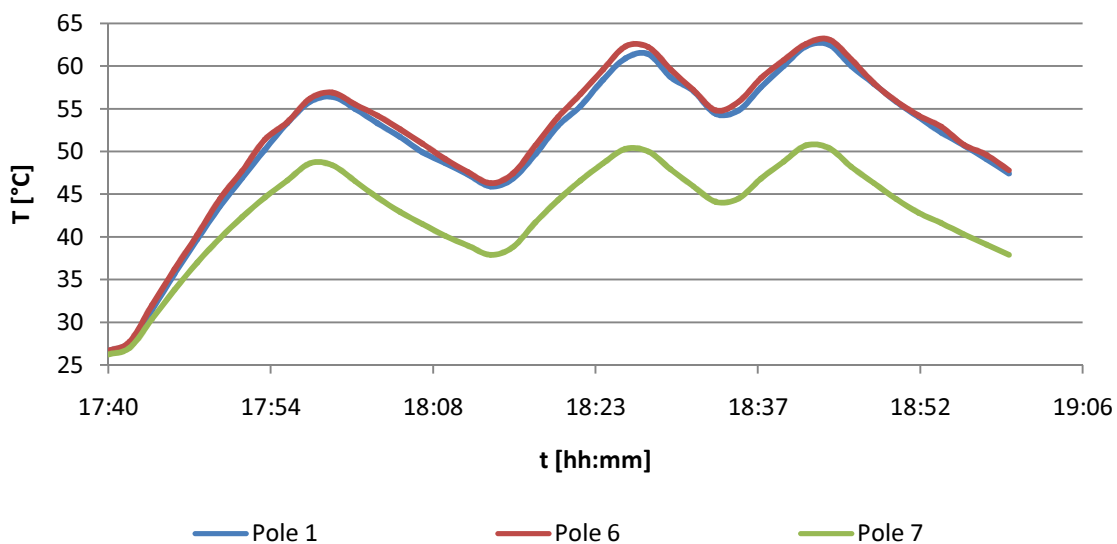
čas měření [hh:mm]	stav IR panelu		měření rozložení teploty pyrometrem						
	teplota na termostatu [°C]	topí/netopí	kontaktně	emisivita na pyrometru = 0,95					kontaktně
		pole ==>		bezkontaktně					
				6	1	2	3	4	5
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	
11:00	28,3	topí	48,2	49,6	49,6	48,5	48,8	48,0	49,0
11:02	31,3	netopí	52,4	55,7	54,4	53,9	53,7	51,8	52,8
11:04	33,7	netopí	52,8	54,2	53,6	51,8	51,2	51,4	51,7
11:06	35,3	netopí	51,1	52,9	52,1	51,1	50,6	51,4	50,9
11:08	36,2	netopí	50,3	51,7	50,5	49,3	49,1	49,9	49,6
11:10	33,3	netopí	48,4	49,4	48,8	47,9	46,8	48,3	48,1
11:12	30,7	netopí	47,3	47,9	47,5	46	46,5	47,4	47
11:14	30,7	netopí	45,9	46,4	46,1	44,1	44,2	46,2	45,8
11:16	27,0	topí	46,7	48,4	48,1	46,9	46,4	47,6	47,7
11:18	24,1	topí	50,3	51,9	51,9	51,1	51,4	50,6	51
11:20	23,5	topí	54,1	56,6	56	55,3	55,5	54	54,2
11:22	26,0	topí	57,3	59,8	60,4	59,7	59,9	57,6	57,8
11:24	32,9	netopí	60,1	63,5	64,5	63,4	63,4	59,7	60,6
11:26	32,9	netopí	60,9	63,9	63,8	63,1	61,8	61,3	60,2
11:28	38,3	netopí	59,1	62,1	60,4	59,8	58,7	58,8	58,2
11:30	41,1	netopí	57,3	60	58,6	57,4	56,4	57,2	56,2

**PŘÍLOHA P4: TEPLoty NAMĚŘENÉ S VYUŽITÍM USB  
JEDNOTKY DLP-IO8 A PYROMETRU, GRAF ZÁVISLOSTI  
TEPLoty NA ČASE ZÍSKANÝ Z KONTAKTNÍ METODY**

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu		měření rozložení teploty pyrometrem					teplota změřená jednotkou DLP-IO8		
	teplota na termostatu [°C]	topí/netopí	emisivita na pyrometru = 0,95					kontaktně		
			bezkontaktně							
		pole ==>	1	2	3	4	5	1	6	7
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	
17:40	24,4	netopí	27,3	27,2	27,7	27,4	26,3	26,6	26,6	26,2
17:42	24,5	topí	28,5	28,5	29,1	29,0	27,6	27,6	27,7	27,0
17:44	24,5	topí	33,0	33,0	34,0	33,5	31,0	31,5	32,0	30,4
17:46	24,3	topí	39,0	39,0	40,3	39,7	36,7	35,7	36,2	33,8
17:48	24,3	topí	43,7	43,5	45,4	44,5	40,6	39,7	40,2	37,0
17:50	24,3	topí	48,5	48,9	50,4	49,3	45,2	43,5	44,4	39,8
17:52	24,3	topí	53,6	53,6	55,1	53,8	49,3	46,9	47,7	42,3
17:54	24,3	topí	58,3	57,1	58,9	57,8	53,0	50,2	51,4	44,6
17:56	25,4	topí	61,4	61,7	62,5	61,5	57,1	53,3	53,4	46,6
17:58	29,3	topí	64,8	64,7	65,9	64,8	61,0	55,8	56,2	48,6
18:00	32,6	netopí	65,4	65,5	65,9	64,5	61,0	56,4	56,9	48,4
18:02	37,1	netopí	62,9	63,2	63,2	61,7	59,3	55,0	55,5	46,5
18:04	38,2	netopí	60,7	60,6	61,1	59,2	57,7	53,3	54,2	44,6
18:06	38,2	netopí	58,7	58,8	58,5	56,9	56,1	51,7	52,6	42,9
18:08	36,4	netopí	56,9	56,3	56,0	54,5	54,6	49,9	50,9	41,5
18:10	33,7	netopí	54,5	54,0	53,8	52,4	52,7	48,6	49,1	40,1
18:12	33,7	netopí	53,3	52,8	52,1	50,7	51,5	47,3	47,6	39,0
18:14	30,3	netopí	51,6	51,3	50,7	49,1	50,1	45,9	46,3	37,9
18:16	24,8	topí	53,8	52,8	53,3	51,9	52,1	46,8	47,4	38,8
18:18	20,9	topí	58,3	57,9	57,7	56,7	55,9	49,7	50,7	41,7
18:20	23,4	topí	61,0	60,6	60,6	59,6	58,4	53,0	54,0	44,3
18:22	26,6	topí	64,0	63,7	63,5	62,4	60,6	55,3	56,7	46,6
18:24	29,9	topí	67,1	67,2	67,3	65,4	63,1	58,4	59,6	48,6
18:26	32,7	netopí	69,9	69,9	70,7	68,7	67,4	60,9	62,3	50,3
18:28	36,1	netopí	70,1	69,3	68,9	67,1	66,5	61,4	62,2	50,0
18:30	33,8	netopí	67,8	67,0	66,3	64,4	64,1	58,7	59,6	47,9
18:32	30,3	netopí	65,3	64,5	63,1	61,7	62,6	57,1	57,2	45,9
18:34	30,3	netopí	63,1	62,2	60,9	59,4	60,7	54,4	54,8	44,1
18:36	27,0	topí	63,4	62,9	62,4	60,4	61,0	54,8	55,8	44,5
18:38	26,5	topí	66,9	66,5	65,7	63,8	64,7	57,5	58,6	46,8
18:40	29,5	topí	69,3	69,9	68,8	66,6	66,5	60,0	60,7	48,8

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu		měření rozložení teploty pyrometrem					teplota změřená jednotkou DLP-IO8		
	teplota na termostatu [°C]	topí/netopí	emisivita na pyrometru = 0,95					kontaktně		
			bezkontaktně							
		pole ==>	1	2	3	4	5	1	6	7
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	
18:42	32,7	netopí	72,4	72,1	71,3	69,8	69,3	62,3	62,6	50,7
18:44	35,6	netopí	72,5	71,7	69,7	67,6	68,6	62,5	63,1	50,4
18:46	35,6	netopí	69,7	69,0	68,1	65,9	66,9	60,0	60,8	48,2
18:48	39,2	netopí	67,0	66,2	64,2	62,4	64,3	57,9	58,0	46,3
18:50	36,2	netopí	64,0	63,0	61,1	59,4	61,9	55,8	55,9	44,4
18:52	34,2	netopí	62,0	61,0	59,0	56,9	60,3	54,0	54,2	42,8
18:54	32,5	netopí	60,1	58,6	56,6	54,5	58,5	52,2	52,9	41,6
18:56	32,5	netopí	58,2	57,1	54,6	53,3	57,0	50,7	50,8	40,3
18:58	30,4	netopí	56,4	54,4	52,7	51,0	54,9	49,1	49,6	39,1
19:00	29,7	netopí	54,4	52,5	50,0	49,3	53,3	47,4	47,8	37,9

**Graf závislosti teploty na čase získaný  
s využitím jednotky DLP-IO8**





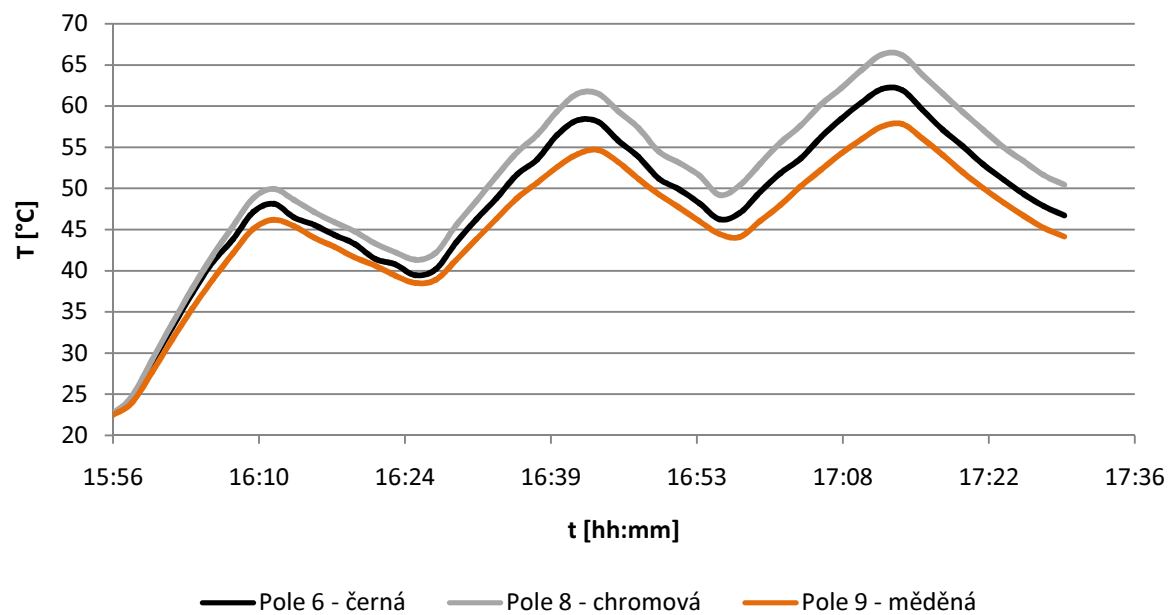
**PŘÍLOHA P5: TEPLoty NAMĚŘENÉ NA POLÍCH OPATŘENÝCH BARVOU, GRAF ZÁVISLOSTI TEPLoty NA ČASE VYTVOŘENÝ Z HODNOT KONTAKTNÍHO MĚŘENÍ**

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu		měření rozložení teploty pyrometrem							teplota změřená jednotkou DLP-IO8 (kontaktní měření)		
	teplota na termostatu [°C]	topí/netopí	kontaktně	emisivita na pyrometru = 0,95					kontaktně			
				bezkontaktně								
		pole ==>	10 hliník	6	3	9	8	10	10 hliník	6 černá	8 chromová	9 měděná
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	
15:56	22,5	netopí	22,3	21,8	22,0	22,1	22,1	22,1	22,3	22,4	22,5	22,4
15:58	22,7	topí	24,1	25,8	26,5	24,4	24,5	25,3	25,1	24,5	24,7	23,9
16:00	23,2	topí	27,7	31,4	32,1	26,9	27,0	28,6	28,8	28,8	29,2	27,7
16:02	24,4	topí	32,0	37,9	38,4	30,2	30,0	32,6	32,8	33,1	33,6	31,7
16:04	25,7	topí	34,8	41,9	42,0	30,7	31,9	35,3	35,4	37,3	37,9	35,4
16:06	25,7	topí	37,9	46,8	46,7	33,5	34,8	39,0	38,4	41,1	41,9	38,9
16:08	27,4	topí	40,8	51,1	50,9	35,9	37,0	41,4	41,3	43,8	45,4	42,1
16:10	29,3	topí	43,2	55,1	54,5	37,0	38,8	43,9	43,8	47,1	48,8	45,1
16:12	33,3	netopí	45,2	56,4	54,7	36,8	39,1	44,6	44,9	48,1	49,9	46,2
16:14	34,7	netopí	45,0	54,5	52,8	37,7	38,1	43,1	44,4	46,5	48,6	45,4
16:16	35,5	netopí	44,1	52,8	51,1	38,3	38,0	42,4	44,0	45,6	47,1	44,0
16:18	35,5	netopí	43,2	51,3	49,4	36,7	36,7	41,2	42,9	44,3	45,9	42,9
16:20	36,0	netopí	43,1	49,6	47,6	35,6	36,0	40,6	42,1	43,3	44,8	41,6
16:22	33,5	netopí	42,1	47,9	46,0	34,9	35,1	39,2	41,3	41,4	43,3	40,6
16:24	30,8	netopí	41,8	46,6	44,6	33,2	35,5	38,2	40,8	40,8	42,3	39,4
16:26	27,3	topí	41,2	45,4	42,8	33,9	33,9	38,1	40,2	39,4	41,3	38,5
16:28	27,3	topí	41,2	47,2	45,4	35,6	35,6	39,5	41,1	40,2	42,2	38,9

16:30	24,7	topí	43,3	51,4	49,5	36,3	37,5	41,7	43,2	43,4	45,5	41,3
16:32	18,8	topí	46,1	55,2	53,6	39,7	40,0	44,1	45,5	46,2	48,4	43,8
16:34	20,0	topí	48,2	58,7	56,9	39,4	41,3	47,9	48,0	48,8	51,5	46,3
16:36	23,7	topí	49,4	62,3	59,7	40,9	43,2	48,8	49,3	51,7	54,4	48,8
16:38	26,9	topí	52,2	65,6	63,2	43,0	45,1	51,1	51,5	53,5	56,5	50,7
16:40	29,3	topí	53,4	69,1	65,7	42,8	46,6	53,0	53,0	56,5	59,4	52,6
16:42	32,5	netopí	56,4	72,1	68,4	46,0	48,0	54,0	55,1	58,3	61,5	54,2
16:44	35,1	netopí	56,3	71,3	67,0	45,0	47,5	54,7	55,4	58,1	61,5	54,7
16:46	38,7	netopí	55,5	68,4	64,0	46,0	46,0	53,0	54,1	55,8	59,4	53,2
16:48	41,6	netopí	53,9	65,9	61,4	43,0	44,5	52,2	52,9	53,8	57,3	51,1
16:50	38,2	netopí	53,0	63,2	58,6	42,1	43,3	51,0	52,2	51,2	54,5	49,3
16:52	38,2	netopí	52,4	60,8	56,6	42,2	42,3	50,5	51,0	49,9	53,1	47,7
16:54	35,2	netopí	50,6	58,4	54,1	41,1	40,9	47,8	49,6	48,2	51,6	46,0
16:56	32,9	netopí	49,8	56,3	52,0	39,3	40,3	47,6	48,7	46,3	49,2	44,5
16:58	26,3	topí	49,9	57,6	53,0	39,0	40,6	47,0	48,7	47,0	50,4	44,1
17:00	23,7	topí	51,7	60,7	57,0	41,5	44,0	50,3	50,9	49,6	53,0	46,1
17:02	20,4	topí	53,3	64,1	59,9	44,6	44,0	51,0	52,1	51,9	55,6	48,0
17:04	20,4	topí	55,2	67,3	62,8	42,7	45,5	53,3	53,6	53,6	57,6	50,3
17:06	22,3	topí	56,8	70,5	65,7	46,9	47,3	55,1	55,0	56,2	60,2	52,3
17:08	25,6	topí	58,1	73,0	67,6	45,6	51,5	58,9	57,5	58,4	62,2	54,3
17:10	28,7	topí	59,0	75,3	70,7	49,9	50,4	59,4	58,8	60,4	64,4	55,9
17:12	31,9	netopí	59,4	77,5	72,5	50,7	51,5	61,0	60,5	62,1	66,3	57,5
17:14	34,1	netopí	65,5	77,2	70,4	49,0	49,8	60,3	59,8	61,9	66,2	57,8
17:16	37,4	netopí	60,0	73,6	67,4	47,7	48,5	57,8	58,8	59,6	63,8	56,1
17:18	34,7	netopí	58,4	70,0	63,9	45,0	47,4	56,6	57,1	57,1	61,5	54,1
17:20	32,9	netopí	57,9	68,0	61,5	44,8	47,3	54,6	56,4	55,1	59,3	51,9
17:22	31,3	netopí	56,4	65,2	58,9	44,9	44,5	54,4	55,4	52,9	57,1	50,0

17:24	30,1	netopí	55,5	62,7	56,7	42,4	45,1	52,4	53,9	51,1	55,0	48,3
17:26	29,2	netopí	55,0	60,5	54,4	39,6	41,8	51,4	52,7	49,3	53,3	46,7
17:28	28,4	netopí	53,0	58,4	52,3	39,0	40,4	48,9	51,6	47,8	51,6	45,2
17:30	27,7	netopí	51,9	56,3	50,2	38,4	39,2	47,4	49,6	46,7	50,4	44,1

**Graf závislosti teploty na čase získaný s využitím jednotky DLP-IO8**

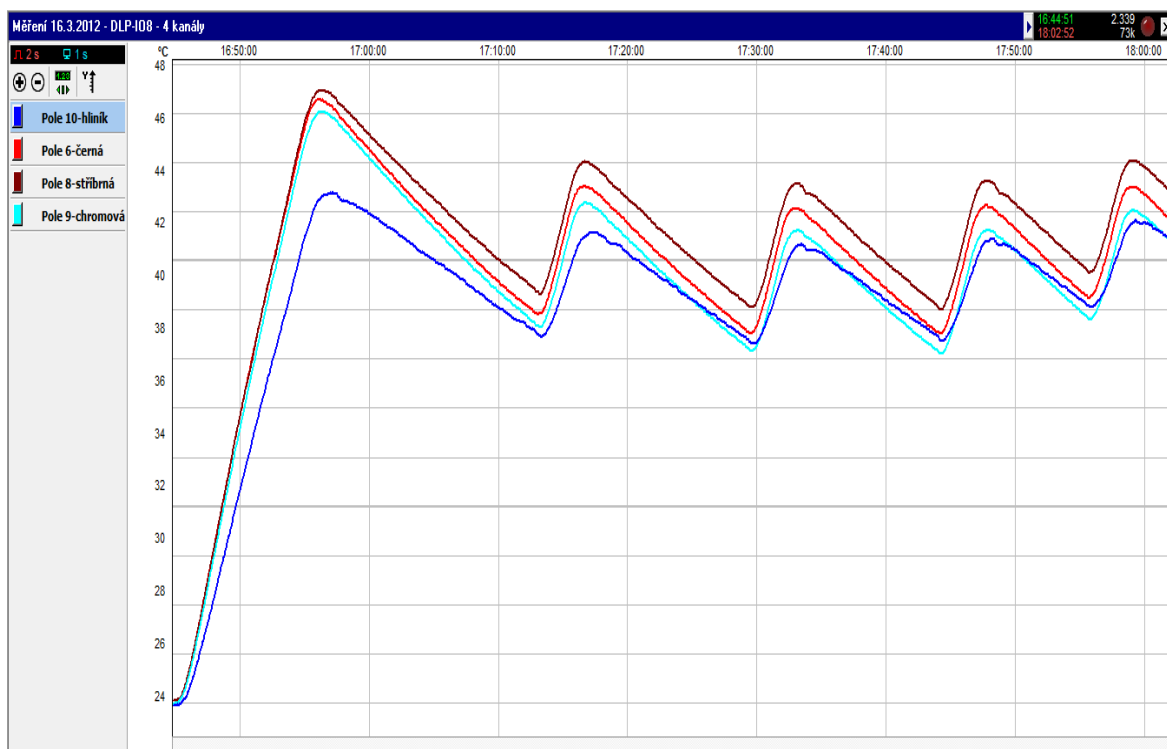
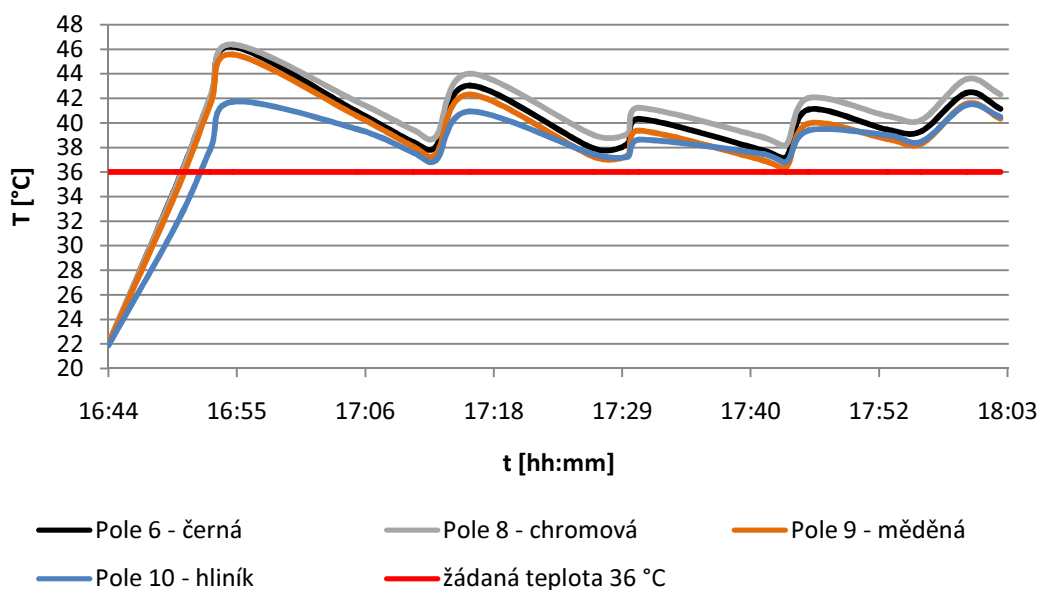


**PŘÍLOHA P6: ÚDAJE Z MĚŘENÍ NA POLÍCH OPATŘENÝCH  
BARVOU ZJIŠTĚNY ZE ZÁZNAMU KAMERY TP8 A JEDNOTKY  
DLP-IO8 PŘI ZAPOJENÍ 4 ČIDEL**

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu	teplota zjištěná ze záznamu IR kamery (bezkontaktní měření)					teplota změřená jednotkou DLP-IO8 (kontaktní měření)			
	vyp/zap	6	8	9	10	max. T	6	8	9	10
	pole ==>	černá	chromová	měděná	hliník					
		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
16:44	vypnuto	25,9	26,1	26,6	24,9	26,7	21,94	22,06	22,00	21,88
16:50	zapnuto	38,2	33,5	33,2	33,0	38,2	34,93	34,88	34,36	31,72
16:53	vypnuto	43,8	38,9	38,2	37,3	44,6	42,01	42,14	41,49	37,84
16:55	vypnuto	44,5	38,7	38,7	38,0	45,3	46,20	46,39	45,58	41,71
17:06	vypnuto	38,6	34,3	33,3	33,4	39,1	40,92	41,75	40,56	39,50
17:11	zapnuto	35,4	32,9	31,9	35,4	35,4	38,44	39,43	38,06	37,56
17:13	vypnuto	38,5	36,1	35,2	34,8	38,5	38,06	38,88	37,44	36,95
17:16	vypnuto	38,7	35,3	34,8	35,6	38,8	43,05	44,00	42,31	40,93
17:27	zapnuto	35,2	32,1	31,4	32,3	35,3	37,91	39,00	37,24	37,44
17:30	vypnuto	37,9	35,1	33,9	34,8	37,9	28,27	39,14	37,37	37,25
17:31	vypnuto	38,5	35,2	34,3	35,0	38,6	40,33	41,23	39,37	38,64
17:42	zapnuto	35,2	32,2	31,1	32,2	35,3	37,74	38,81	36,94	37,46
17:44	vypnuto	39,0	34,5	33,6	34,3	39,8	37,19	38,19	36,37	36,81
17:46	vypnuto	40,1	35,7	34,5	35,6	40,7	41,08	42,02	39,94	39,38
17:53	zapnuto	36,9	32,6	31,7	33,0	37,9	39,44	40,57	38,69	39,00
17:56	vypnuto	38,2	35,1	33,7	35,0	38,2	39,31	40,24	38,30	38,47
18:00	vypnuto	38,5	34,6	33,4	35,2	38,5	42,44	43,56	41,56	41,44
18:03	vypnuto	37,5	33,7	32,8	34,2	37,5	41,13	42,31	40,33	40,50

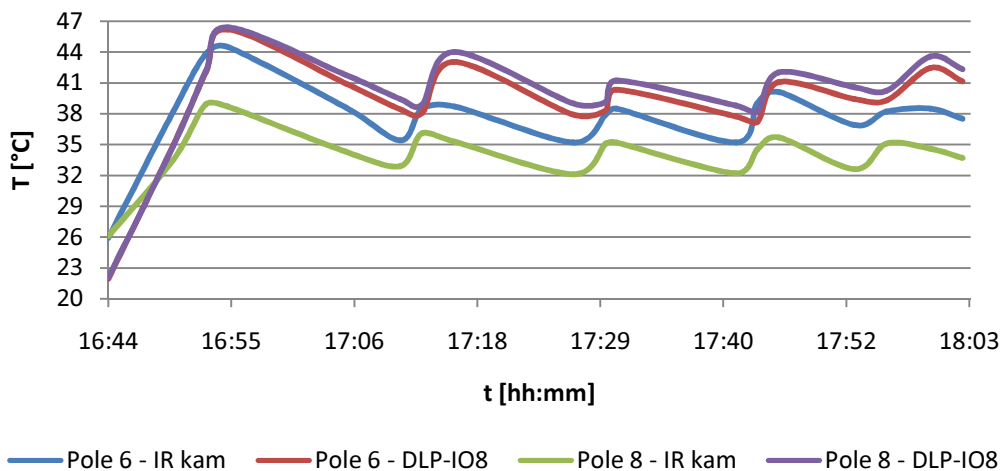
**PŘÍLOHA P7: GRAF ZÁVISLOSTI TEPLoty NA ČASE  
VYTVOŘENÝ Z HODNOT KONTAKTNÍHO MĚŘENÍ, VÝSTUP  
Z PROGRAMU REALVIEW PRO TOTO MĚŘENÍ**

**Graf závislosti teploty na čase získaný z  
hodnot kontaktního měření**

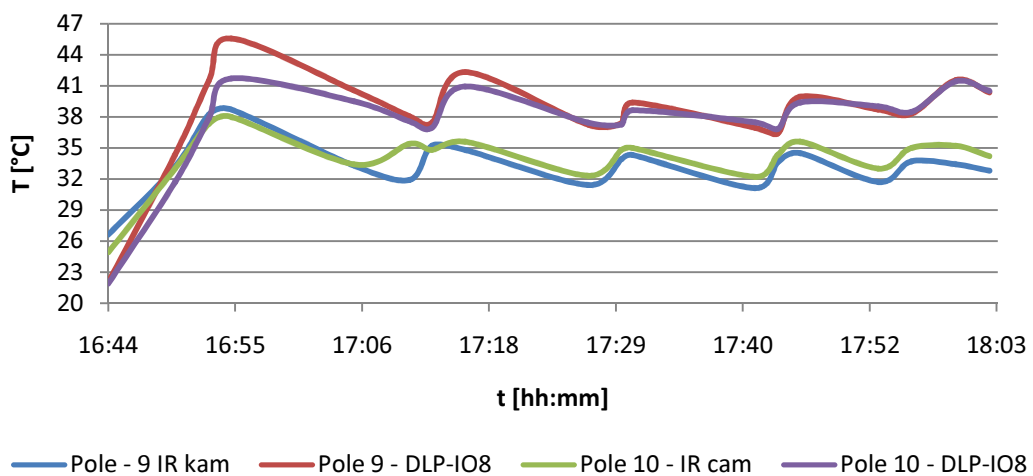


## PŘÍLOHA P8: ZNÁZORNĚNÍ POROVNÁNÍ HODNOT ZÍSKANÝCH ZE ZÁZNAMU IR KAMERY A JEDNOTKY DLP-IO8 PRO POLE SE STEJNOU BARVOU

### Porovnání teplot získaných ze záznamu kamery a jednotky DLP-IO8 pro pole 6 a 8



### Porovnání teplot získaných ze záznamu kamery a jednotky DLP-IO8 pro pole 9 a 10

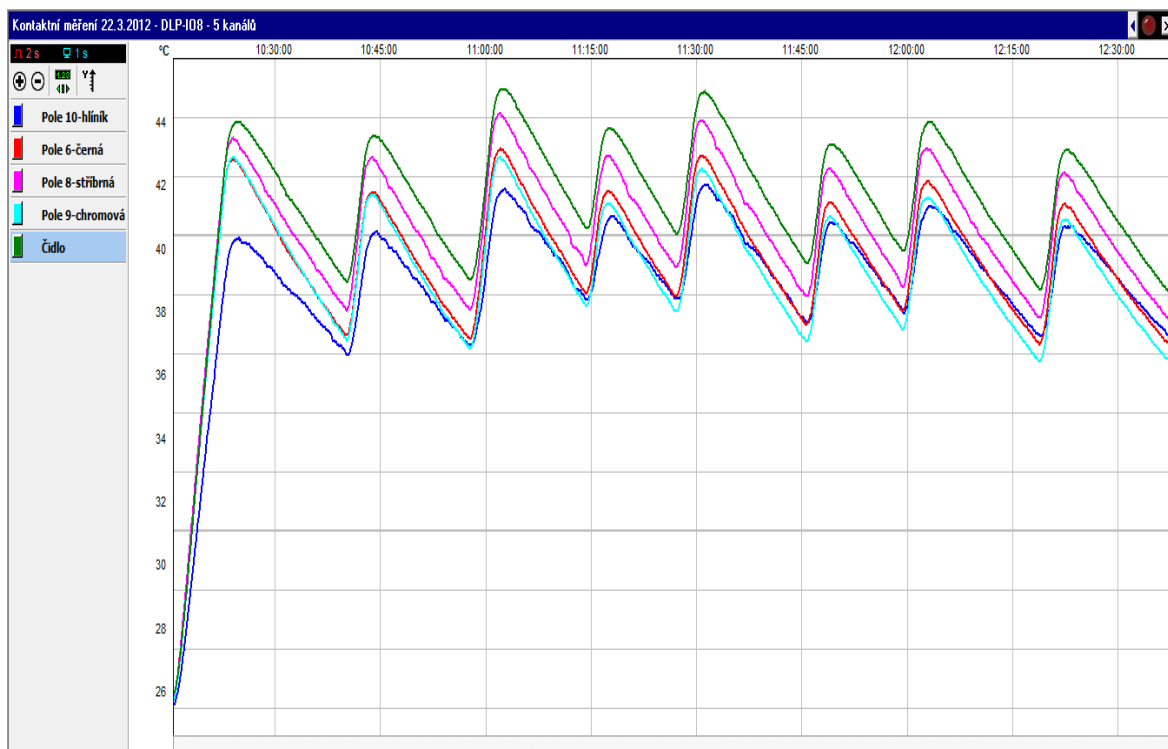
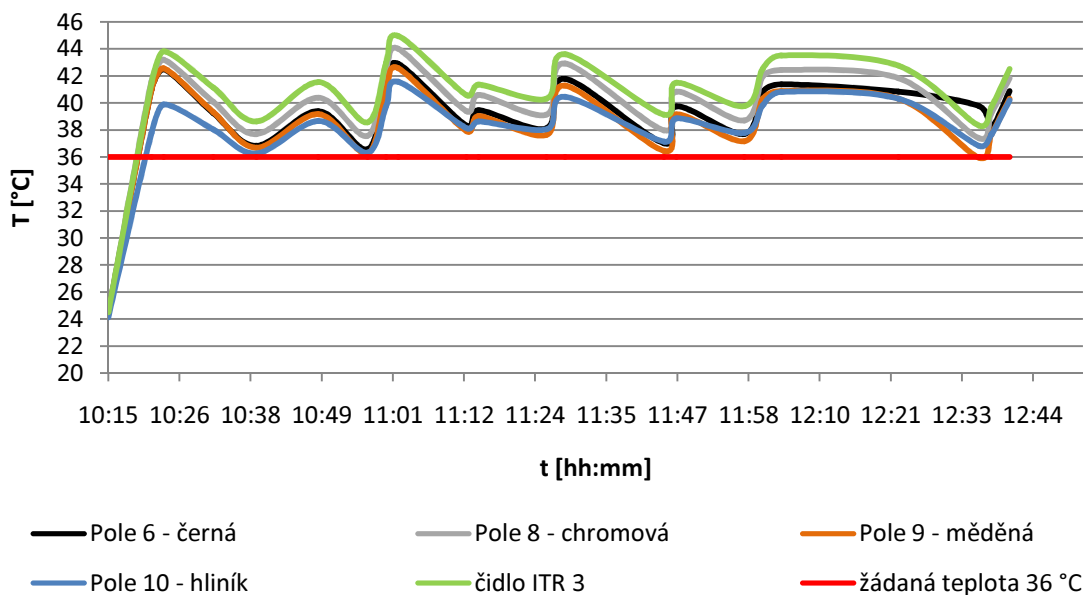


**PŘÍLOHA P9: TEPLoty NAMĚŘENÉ NA POLÍCH OPATŘENÝCH  
BARVOU ZJIŠTĚNY ZE ZÁZNAMU KAMERY TP8 A JEDNOTKY  
DLP-IO8 PŘI ZAPOJENÍ 5 ČIDEL**

čas měření [hh:mm]	stav IR panelu	teplota zjištěná ze záznamu IR kamery (bezkontaktní měření)					teplota změřená jednotkou DLP-IO8 (kontaktní měření)				
	vyp/zap	6	8	9	10	max. T	6	8	9	10	čidlo
	pole ==>	černá	chromová	měděná	hliník						
		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
10:15	zapnuto	24,8	25,5	25,0	24,7	25,7	24,44	24,43	24,31	24,12	24,50
10:22	vypnuto	39,2	38,0	37,5	37,1	39,3	41,00	41,58	40,97	37,78	41,47
10:24	vypnuto	39,7	38,1	37,3	37,2	39,7	42,50	43,19	42,56	39,88	43,81
10:32	vypnuto	37,2	35,5	35,1	34,7	37,3	39,25	40,06	39,31	38,03	41,13
10:39	zapnuto	34,7	32,8	32,4	32,3	34,8	36,81	37,69	36,69	36,25	38,62
10:49	vypnuto	37,4	34,9	34,3	34,9	37,4	39,38	40,38	39,16	38,65	41,54
10:57	zapnuto	34,7	32,6	32,1	32,7	35,0	36,56	37,56	36,25	36,31	38,56
11:00	vypnuto	38,9	36,8	36,0	36,4	38,9	41,35	42,52	41,02	39,74	42,97
11:02	vypnuto	39,0	36,8	36,0	37,2	39,3	42,88	44,00	42,56	41,56	44,94
11:13	zapnuto	35,7	33,4	33,3	33,8	36,3	38,31	39,38	37,91	38,12	40,56
11:15	vypnuto	37,7	35,3	34,3	35,1	37,7	39,46	40,58	39,02	38,62	41,34
11:26	zapnuto	35,6	32,9	32,6	33,8	36,0	38,12	39,13	37,62	38,04	40,31
11:29	vypnuto	38,7	36,5	35,5	36,7	38,8	41,78	42,91	41,27	40,44	43,60
11:45	zapnuto	35,2	32,5	31,6	33,1	35,3	37,00	37,97	36,44	37,12	39,12
11:47	vypnuto	37,7	35,0	34,4	35,5	37,8	39,73	40,83	39,15	38,85	41,48
11:58	zapnuto	35,5	32,8	32,1	33,0	35,5	37,69	38,69	37,16	37,78	39,75
12:01	vypnuto	38,2	35,6	34,9	35,9	38,3	40,83	41,97	40,30	39,84	42,54
12:04	vypnuto	38,5	35,9	35,3	36,4	38,6	41,38	42,44	40,88	40,81	43,50
12:23	vypnuto	38,4	36,0	35,6	36,6	38,7	40,83	41,83	40,31	40,31	42,75
12:36	zapnuto	34,8	32,9	33,2	33,0	35,2	39,75	37,38	35,94	36,81	38,31
12:38	vypnuto	38,0	35,9	35,2	35,3	38,0	38,23	39,21	37,64	37,65	39,68
12:41	vypnuto	38,3	37,3	36,0	36,3	38,7	40,87	41,83	40,31	40,19	42,50

**PŘÍLOHA P10: GRAF ZÁVISLOSTI TEPLOTY NA ČASE  
VYTVOŘENÝ Z ÚDAJŮ JEDNOTKY DLP-IO8, VÝSTUP  
Z PROGRAMU REALVIEW PRO TOTO MĚŘENÍ**

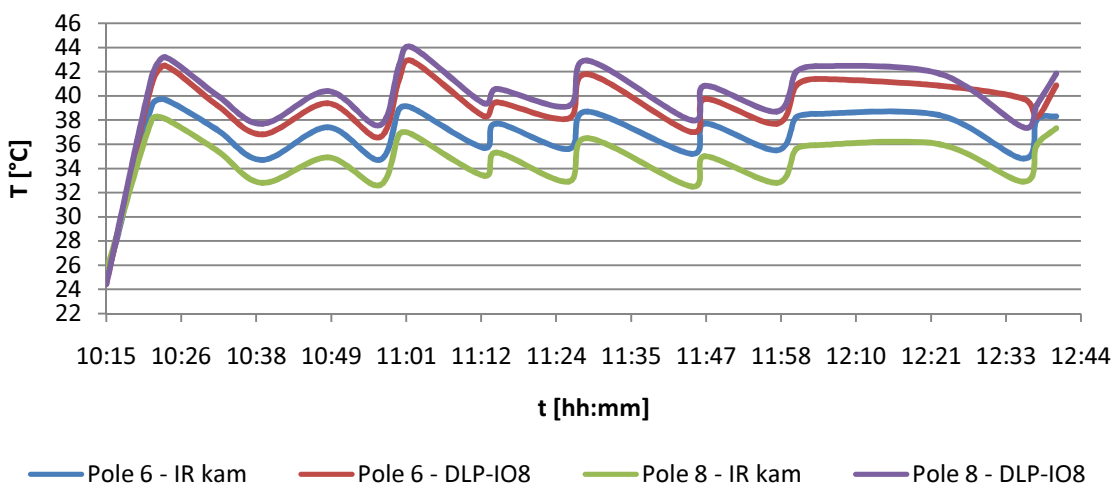
**Graf závislosti teploty na čase získaný z údajů  
jednotky DLP-IO8**





# PŘÍLOHA P11: GRAFICKÉ POROVNÁNÍ TEPLŮT ZÍSKANÝCH ZE ZÁZNAMU IR KAMERY TP8 A JEDNOTKY DLP-IO8 PRO POLE SE STEJNOU BARVOU

## Porovnání teplot získaných ze záznamu kamery a jednotky DLP-IO8 pro pole 6 a 8



## Porovnání teplot získaných ze záznamu kamery a jednotky DLP-IO8 pro pole 9 a 10

