

# **Univerzita Palackého v Olomouci**

## **Přírodovědecká fakulta**



### **Dosah vidění nechlazeného termovizního systému s křemíkovým mikrobolometrem x-50 v pásmu od 7-14 $\mu$ m**

Bakalářská práce

Vypracovala : Dita Vořechovská

Studijní obor : Přístrojová optika

Datum odevzdání : 30.7.2010

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem práci napsala samostatně s použitím uvedené literatury a za pomoci vedoucího této bakalářské práce RNDr. Vladimíra Chlupa.

V Olomouci dne

.....

Ráda bych vyjádřila poděkování společnosti Pramacom, spol. s.r.o., za to, že mi umožnila realizovat ve své laboratoři měření na nově zakoupeném a v tu dobu ještě oživovaném přístroji „Infračervený referenční zdroj DCN 1000“.

## **Obsah**

<b>1. Úvod</b>	<b>6</b>
<b>2. Termovizní systémy</b>	<b>7</b>
2.1. Elektromagnetické záření a elektromagnetické spektrum	7
2.2. Termovizní systémy	7
2.3. Členění termovize podle fyzikálního principu detekce tepelného záření	8
2.4. Geometrické dělení podle struktury detektoru	9
<b>3. Zákony tepelného vyzařování</b>	<b>10</b>
3.1. Zákony záření	10
3.2. Šedé těleso	12
3.3. Realizace absolutně černého tělesa	15
3.4. Jiný typ realizace absolutně černého tělesa	15
3.5. Řídící jednotka firmy HGH SYSTÉMES INFRAROUGES absolutně černého tělesa	16
<b>4. Kvalitativní parametry termovizních systémů</b>	<b>18</b>
4.1. Výkonové parametry termovizních systémů	18
<b>5. Termovizní kamera x-50</b>	<b>22</b>
5.1. Ostření pro záběry na blízkou vzdálenost	23
5.2. Dopočítané parametry, které literatura neuvádí	24
<b>6. Normy</b>	<b>25</b>
6.1. Měření rozlišitelného teplotního rozdílu MTRD u infračervených kamer	25

<b>7. Vlastní měření kamery X-50</b>	<b>29</b>
7.1. Měření s černým tělesem DCN 1000 W4	29
7.1.1. Snímky absolutně černého tělesa	36-37
7.2. Měření s tepelným čárovým testem	38
7.2.1. Výroba tepelného testu	38
7.2.2. Postup měření	38
7.2.3. Výsledky měření	39
7.2.4. Fotografie tepelných testů	41-42
<b>Závěr</b>	<b>43</b>
<b>Použitá literatura</b>	<b>45</b>
<b>Příloha</b>	<b>46</b>

## 1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je zjistit dosah vidění nechlazeného termovizního systému s křemíkovým mikrobolometrem x-50 v pásmu 7-14  $\mu\text{m}$ . Objasnění významu termovizních systémů jejich kvalitativních parametrů a uvedení norem podle kterých musíme postupovat.

Dále uvedeme popis a funkci absolutně černého tělesa, funkci a sestavení tepelného čárového testu a jejich využití. Objasníme co vše měření přináší a jaké jsou výsledky měření.

V praktické části této bakalářské práce jsme proměřili termovizní kameru X-50 nejprve s absolutně černým tělesem, kde jsme zjistili do jaké vzdálenosti jsme ještě schopni rozlišit teplotní rozdíly (kladný nebo záporný) na čtyřčárovém testu, který je připevněný na absolutně černém tělese.

Jako další jsme zkonstruovali prototyp tepelného čárového testu, který nám bude sloužit jako test typu člověk. Pravá i levá část tepelného testu byla nastavena na jinou teplotu a našim cílem bylo zjistit na jaké vzdálenosti při různých teplotách jsme schopni rozlišit teplotní rozdíl mezi pravou a levou stranou testu. Druhá část měření s tepelným čárovým testem nám určuje do jaké vzdálenosti jsme schopni rozlišit celý test a ne jen teplotní rozdíl mezi pravou a levou stranou.

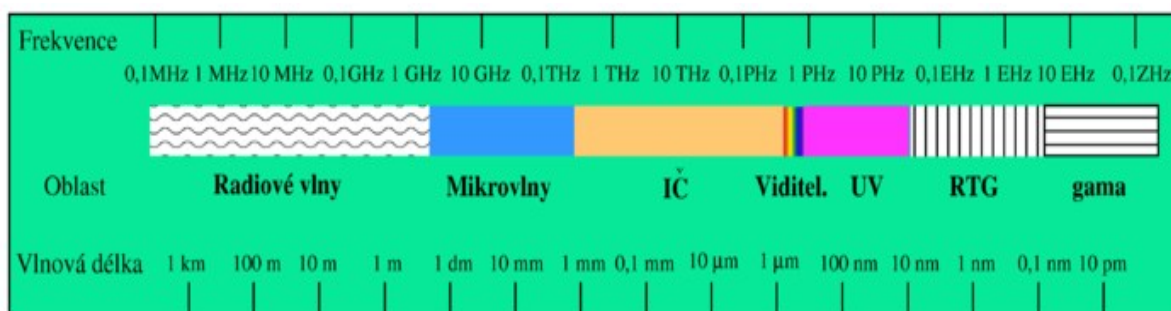
## 2. Termovizní systémy

### 2.1. Elektromagnetické záření a elektromagnetické spektrum

Tato kapitola popisuje do jaké části spektra vlastně infračervené záření patří a co to vlastně elektromagnetické spektrum je.

Elektromagnetické spektrum zahrnuje veškeré elektromagnetické záření všech vlnových délek od rádiových vln, mikrovln po infračervené záření přes viditelnou část spektra dále ultrafialové záření, rentgenové záření a záření gama.

Samotné elektromagnetické záření je kombinace příčného postupného vlnění magnetického a elektrického pole tedy elektromagnetické pole. Infračerveným zářením, viditelnou částí spektra a ultrafialovým zářením se zabývá optika.[7,8]



Obr.č. 1 Elektromagnetické spektrum[7]

Termovizní systémy o kterých bude v této kapitole řeč zviditelňují infračervené záření, které je pro lidské oko neviditelné a pohybuje se v rozmezí vlnových délek od 1 μm do 20 μm.

### 2.2. Termovizní systémy

Termografie se používá už více jak 30 let a to pro vědecké účely, průmyslové, lékařské, ale také pro vojenské aplikace. Teprve ale deset let v souvislosti s použitím nechlazených mikrobolometrických detektorů v termovizních kamerách podstatně rozšiřují spektrum aplikací a to téměř do všech oblastí lidských činností a využití.[11]

Termovizní systémy (termovizní kamery) vytváří termovizní obraz. Jejich hlavní část tvoří infradetektory. Tyto systémy jsou dokonale pasivní a proto nepotřebují žádné osvětlení jinými zdroji světla jako například Sluncem, žárovkou a jinými umělými zdroji. Termovizní systémy mnohem rychleji zaznamenají teplotní rozdíly objektů než měření kontaktní. Při rozboru teplotního pole měřeného objektu je možné posoudit v jakém stavu zařízení je.

Rozložení teplot je na termovizi odlišeno různou intenzitou. Výstupem termovizních systémů je analogový nebo digitální obraz teplotního pole. Jednou z důležitých částí termovizních systémů jsou také programové a technické prostředky pro digitalizaci, zpracování a transformaci obrazu teplotního pole. [9,10,11]

### **2.3. Členění termovize podle fyzikálního principu-Detekce tepelného záření**

**1. Bolometr** – jsou to senzory pro bezdotykové měření teploty, tyto přístroje pracují na principu změny elektrického odporu v závislosti na změně teploty čidla bolometru v důsledku absorpce IČ záření.

**2. Termočlánek** – teplota změny vyvolává napětí -principem je Seebeckův jev materiálu termočlánek [13]

**3. Pyroelektrické detektory** – Změnou teploty dochází ke změně elektrostatické polarizace

Nejčastěji používané materiály jsou :

TGS – triglicerine sulfát

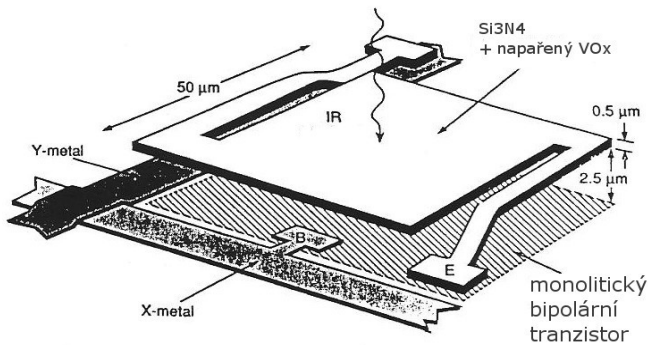
LiTaO<sub>3</sub>

PZT – Pb, Zn, Ti

Ba<sub>1-x</sub> Sr<sub>x</sub> TiO<sub>3</sub> – poměrem Ba/Sr je možnost adjustance na teplotu, je použitelné při pokojové teplotě [13]



## Schéma mikrobolometru -



Obr.č.2 Schéma mikrobolometru[13]

**Mikrobolometr** - od bolometru se liší jen počtem odporových plošek na jednom senzoru. Je vyroben jako monolitický křemíkový obvod. [9]

### 2.4. Geometrické dělení podle struktury detektoru-

- a) termovizní systémy s opticko – mechanickým rozkladem obrazu (skenovací)
- b) termovizní systémy s maticovým detektorem (mozaikové)

a) Opticko – mechanickým rozkladem obrazu je realizováno snímání jednotlivých bodů objektu řízenou skenovací optickou osou. Okamžité zorné pole termovize se postupně zaměřuje na každý bod (plošku) měřeného objektu. Dráha rozkladu se provádí pohybovými optickými částmi kamery (otočné hranoly nebo zrcadla) [4].

b) Termovizní systémy s maticovým detektorem – systémy bez rozkladu vstupní informace

V dnešní době se pro termovizní kamery používají chlazené a nechlazené maticové mikrobolometrické a kvantové (QWIP) FPA detektory. (1D – řádkový a 2D plošné) [4]

Pro termovize se používají dvě hlavní pásma vlnových délek a to [4]:

- a) krátkovlnné (2 µm až 5 µm)
- b) dlouhovlnné (7 µm až 13 µm)

### 3. Zákony tepelného vyzařování

#### 3.1. Zákony záření :

##### Kirchhoffův zákon:

Zákon uvádí, že poměr intenzity vyzařování  $M$  tepelného zářiče k pohltivosti  $\alpha$  závisí jen na termodynamické teplotě tělesa a nezávisí tedy na jeho chemickém složení, úpravě povrchu a oxidaci. Zákon lze vyjádřit pro zář rovnicí [4]:

$$\frac{M}{\alpha} = f(T) \text{ resp. } \frac{L}{\alpha} = f(T) \quad (1)$$

pro černé těleso platí zákon ve tvaru:

$$M = f(T) \text{ resp. } L = f(T) \quad (2)$$

intenzita vyzařování a zář absolutně černého tělesa závisí pouze na termodynamické teplotě.

Kirchhoffův zákon nám tedy říká, že

- těleso pohlcuje nejsilněji právě ty spektrální složky elektromagnetického vlnění, které samo nejsilněji vyzařuje a to samé platí i naopak,[4]
- pro černé těleso tedy platí:  $\alpha_0 = 1, \alpha_{0\lambda} = 1,$  (3)
- $\varepsilon = f(\lambda, T),$  (4)
- $M = \varepsilon M_0, M_\lambda = M_{0\lambda}, L = \varepsilon L_0, L_\lambda = \varepsilon L_{0\lambda}.$  (5)

Pokud bude těleso pro záření nepropustné ( $\tau = 0$ ), nastane tepelná rovnováha, při které se bude dopadající záření rovnat vyzařovanému záření a podle Kirchhoffova zákona bude platit [4]:

$$\varepsilon = \alpha \text{ resp. } \varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda. \quad (6)$$

### Planckův zákon:

$$M_{0\lambda} = 2\pi hc^2 \lambda^{-5} \left( \frac{hc}{e^{\lambda kT} - 1} \right)^{-1} = c_1 \lambda^{-5} \left( \frac{c_2}{e^{\lambda T} - 1} \right)^{-1} \quad (7)$$

resp. pro kosinový zářič

$$L_{0\lambda} = \frac{1}{\Omega_0 \pi} 2\pi hc^2 \lambda^{-5} \left( \frac{hc}{e^{\lambda kT} - 1} \right)^{-1} = \frac{1}{\Omega_0 \pi} c_1 \lambda^{-5} \left( \frac{c_2}{e^{\lambda T} - 1} \right)^{-1} \quad (8)$$

kde	$M_{0\lambda}$	je	spektrální hustota vyzařování černého tělesa,
	$L_{0\lambda}$		spektrální hustota záře černého tělesa,
	$c$		rychlost světla ( $c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$ ),
	$k$		Boltzmannova konstanta ( $k = 1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ J.kg}^{-1}$ ),
	$h$		Planckova konstanta ( $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ ),
	$c_1$		první vyzařovací konstanta
			$c_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 = (3,7417749 \pm 0,0000022) \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^{-2}$ ,
	$c_2$		druhá vyzařovací konstanta
			$c_2 = h \cdot c / k = (1,438769 \pm 0,000012) \cdot 10^{-2} \text{ m.K}$ ,
	$\lambda$		vlnová délka záření (m),
	$T$		termodynamická teplota černého tělesa (K)
	$\Omega_0$		$\Omega_0 = 1 \text{ sr}$

### Stefan- Boltzmannův zákon:

Stefan- Boltzmannův zákon nám udává intenzitu vyzařování pro danou teplotu v celém rozsahu vlnových délek.[4]

$$M_0 = \int M_0 d\sigma = \sigma T^4 \quad (9)$$

pro kosinový zářič

$$L_0 = \frac{1}{\Omega_0 \pi} \sigma T^4, \quad (10)$$

kde  $\sigma = (5,67051 \pm 0,00019) \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ,  
 $\Omega_0 = 1 \text{ sr}$ .

### Wienův zákon posunu:

Vrcholy křivek na obr. 2 leží na části rovnoosé hyperboly. To svědčí o tom, že vlnová délka  $\lambda_{\max}$  odpovídající záření s největší intenzitou je nepřímo úměrná termodynamické teplotě černého tělesa. S tohoto zákona vyplývá, že se maximum spektrální hustoty intenzity vyzařování s rostoucí teplotou posouvá ke kratším vlnovým délkám. Tuto závislost objevil na konci 19. století rakouský fyzik W. Wien (1864 - 1928) a nazýváme ji

**Wienův posunovací zákon** (Wienův zákon posunu) [2]:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad \text{kde } b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK je konstanta.} \quad (11)$$

### 3.2. Šedé těleso

je těleso, pro které platí  $\alpha < \alpha_0$  a  $\alpha =$  konstanta nezávisle na vlnové délce.

Ze zákona o zachování energie vyplývá [4]

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad \text{resp.} \quad \varepsilon + \tau + \rho = 1 \quad (12)$$

$$\alpha_\lambda + \tau_\lambda + \rho_\lambda = 1 \quad \text{resp.} \quad \varepsilon_\lambda + \tau_\lambda + \rho_\lambda = 1. \quad (13)$$

**Pohltivost** –  $\alpha$  (absorbance) je dána vztahy [4]:

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda a}}{\Phi_{\lambda d}}, \quad \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_d} = \frac{\int_0^\infty \Phi_{\lambda a} \alpha_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{\lambda d} d\lambda} \quad (14)$$

kde:  $\alpha_\lambda$  – je spektrální pohltivost pro danou vlnovou délku

$\alpha$  – pohltivost v úhrnném spektru vlnových délek

$\Phi_a$  – pohlcený zářivý tok

$\Phi_d$  – dopadající zářivý tok

**Propustnost** – (transmittance)  $\tau$  záření je dána vztahy [4]:

$$\tau_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda t}}{\Phi_{\lambda d}}, \quad \tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_d} = \frac{\int_0^\infty \Phi_{\lambda t} \tau_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{\lambda d} d\lambda} \quad (15)$$

kde:  $\tau_\lambda$  – je spektrální propustnost pro danou vlnovou délku

$\tau$  – propustnost v úhrnném spektru vlnových délek (také zářivý průměr  $\tau_\lambda$ )

$\Phi_t$  – prostupující zářivý tok

$\Phi_d$  – dopadající zářivý tok

**Odraznost** - (reflektance)  $\rho$  záření je dána vztahy[4] :

$$\rho_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda r}}{\Phi_{\lambda d}}, \quad \rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_d} = \frac{\int_0^\infty \Phi_{\lambda r} \rho_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{\lambda d} d\lambda} \quad (16)$$

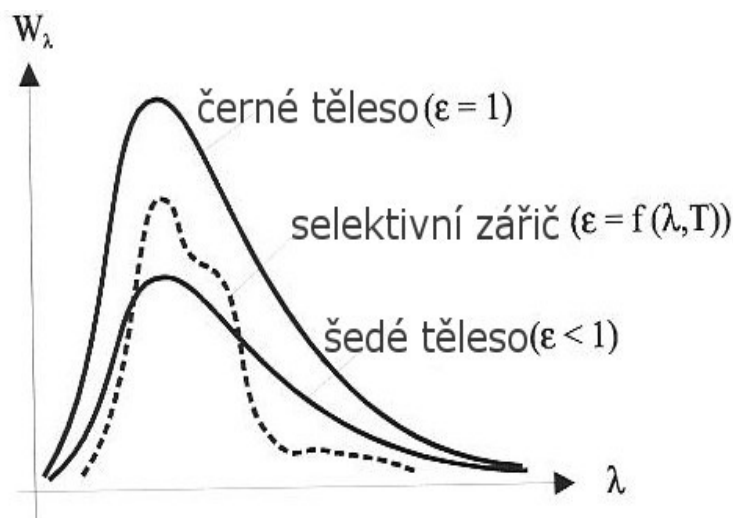
kde:  $\rho_\lambda$  - je spektrální odraznost pro danou vlnovou délku  
 $\rho$  - odraznost v úhrnném spektru vlnových délek (také vážený průměr  $\rho_\lambda$  )  
 $\Phi_r$  - odražený zářivý tok  
 $\Phi_d$  - dopadající zářivý tok

**Emisivita** -  $\varepsilon$  je poměr vyzařování tepelného zářiče k vyzařování černého tělesa při stejné teplotě. Pro emisivitu platí vztah [4]:

$$\varepsilon = \frac{M}{M_0} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon(\lambda, T) M_{0\lambda} d\lambda}{\int_0^\infty M_{0\lambda} d\lambda} \quad (17)$$

kde:  $M_0$  - je intenzita vyzařování černého tělesa

$M_{0\lambda}$  - spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa  
 $\varepsilon(\lambda, T)$  - emisivita ( je funkcí vlnové délky a teploty)



Obr.č.3 Graf emivity těles[12]

**Pro kosinový zářič pak platí pro emisivitu [4]:**

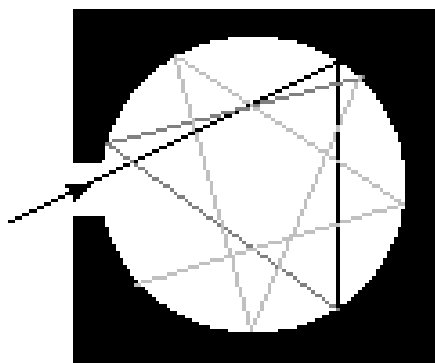
$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda, T) L_{0\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} L_{0\lambda} d\lambda} \quad (18)$$

kde:  $L_0$  - je zář černého tělesa

$L_{0\lambda}$  - spektrální hustota záře černého tělesa

### 3.3. Realizace absolutně černého tělesa

Tento typ realizace je dobrým modelem absolutně černého tělesa, jehož vnitřní plochu tvoří černá matná plocha na kterou dopadá elektromagnetické záření malým otvorem a při opakovaných odrazech od stěn dutiny se veškerá energie záření pohltí. Otvor se nám potom jeví jako černé těleso.



*Obr.č.4 absolutně černé těleso]2]*

### 3.4. Jiný typ realizace absolutně černého tělesa

Tento typ absolutně černého tělesa jsme měli k dispozici k měření a jeho řídicí jednotkou je jednotka firmy HGH systémes infrarouges, který je popsany níže. Plocha toho tělesa je vyrobená z vhodného materiálu a má vysokou emisivitu  $\epsilon$ .



*Obr.č.5 absolutně černé těleso*

### 3.5. Řídicí jednotka firmy **HGH SYSTEMES INFRAROUGES** absolutně černého tělesa :

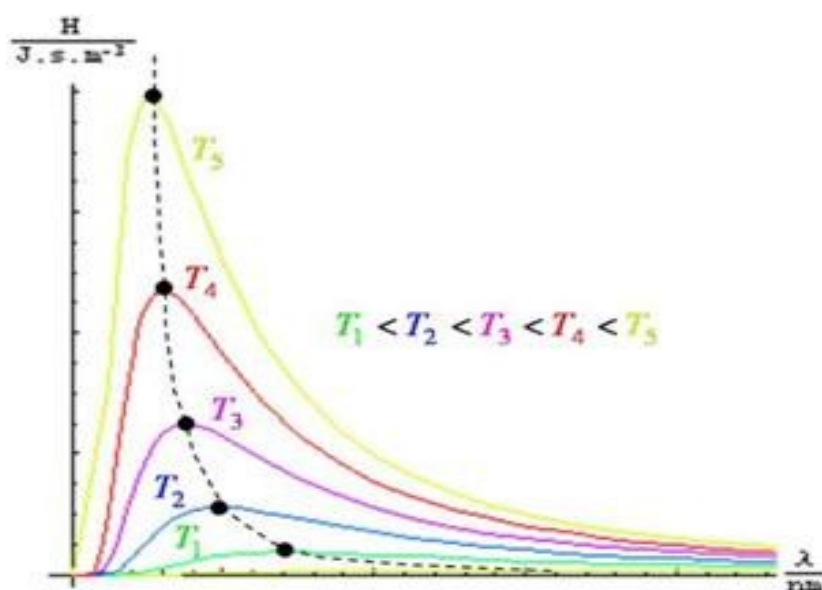


*Obr.č.6 Řídicí jednotka absolutně černého tělesa*

#### **Tato jednotka umožňuje :**

- nastavit teplotu absolutně černého tělesa
- nastavit teplotní diferenci mezi černým tělesem a okolím
- Výhodou je, že se dá ovládat i přes specializovaný program v počítači a měření je tím usnadněno





Obr.č.7 Teplotní graf [2]

Při dané teplotě  $T$  vyzařuje černé těleso do okolí elektromagnetické záření různých vlnových délek. Každé vlnění má jinou intenzitu. Obr. 7 znázorňuje graf funkce  $H = f(\lambda, T)$ , kde je vidět různá intenzita elektromagnetického záření v závislosti na vlnové délce. [2]

Veličinu  $H$  nazýváme **spektrální hustota intenzity vyzařování** a určuje jaká část celkové energie vyzařené zdrojem přísluší záření o vlnové délce  $\lambda$  při teplotě zdroje  $T$ .

Při určité teplotě těleso vyzařuje záření **všech** vlnových délek, přitom záření s různou vlnovou délkou mají různou intenzitu. [2]

Na grafu můžeme vidět že celková vyzařená energie je větší při vyšších teplotách, to znamená, že se zvětšuje plocha omezená grafem  $H = f(\lambda, T)$ , přičemž největší hodnota  $H$  se posouvá ke kratším vlnovým délkám. Vlnová délka  $\lambda_{\max}$  odpovídá záření, které má při dané teplotě největší intenzitu. [2]

Díky tomu můžeme říct, že při nižších teplotách (asi  $600^{\circ}\text{C}$ ) se zahřáté těleso jeví jako červené, při vyšších teplotách asi kolem ( $1300^{\circ}\text{C}$ ) se jeví jako bílé a při ještě vyšších teplotách se těleso jeví jako modrobílé. Bílá barva tělesa je dána tím, že jsou v záření zastoupeny všechny vlnové délky viditelného spektra ve správném poměru.

**Proto můžeme mluvit o teplotě barvy. [2]**

## 4. Kvalitativní parametry termovizních systémů

### 4.1. Výkonové parametry termovizních systémů:

- 1) **Citlivost** – můžeme ji vyjádřit poměrem velikosti výstupního signálu z detektoru k velikosti zářivého toku dopadajícího na detektor

$$R = \frac{V_s}{P_e} \quad [\text{V/W}] \text{ nebo } [\text{A/W}] \quad (19)$$

- 2) **Šumový ekvivalent výkonu** - je zářivý výkon, který po dopadu na pixel vybudí signál velikosti  $V_N$ , který je roven střední hodnotě šumu v pásmu systému.

$$NEP = \frac{V_N}{R} \quad [\text{W}] \quad (20)$$

- 3) **Detekční schopnost** -

$$D = \frac{1}{NEP} \quad [\text{W}^{-1}] \quad (21)$$

- 4) **Detektivita** – Detektivita je poměr S/N, který vznikne, když na detektor o ploše 1 cm<sup>2</sup> dopadne zářivý výkon 1 W a měření se uskuteční v pásmu 1 Hz.

$$D^* = D \sqrt{A_d \Delta f} = \frac{\sqrt{A_d \Delta f}}{NEP} \quad [\text{cm W}^{-1} \text{ Hz}^{1/2}] \quad (22)$$

Fotonové detektory :  $D^*(\lambda)$  nebo  $D^*(T)$

Tepelné detektory  $D^*(T)$

[13]

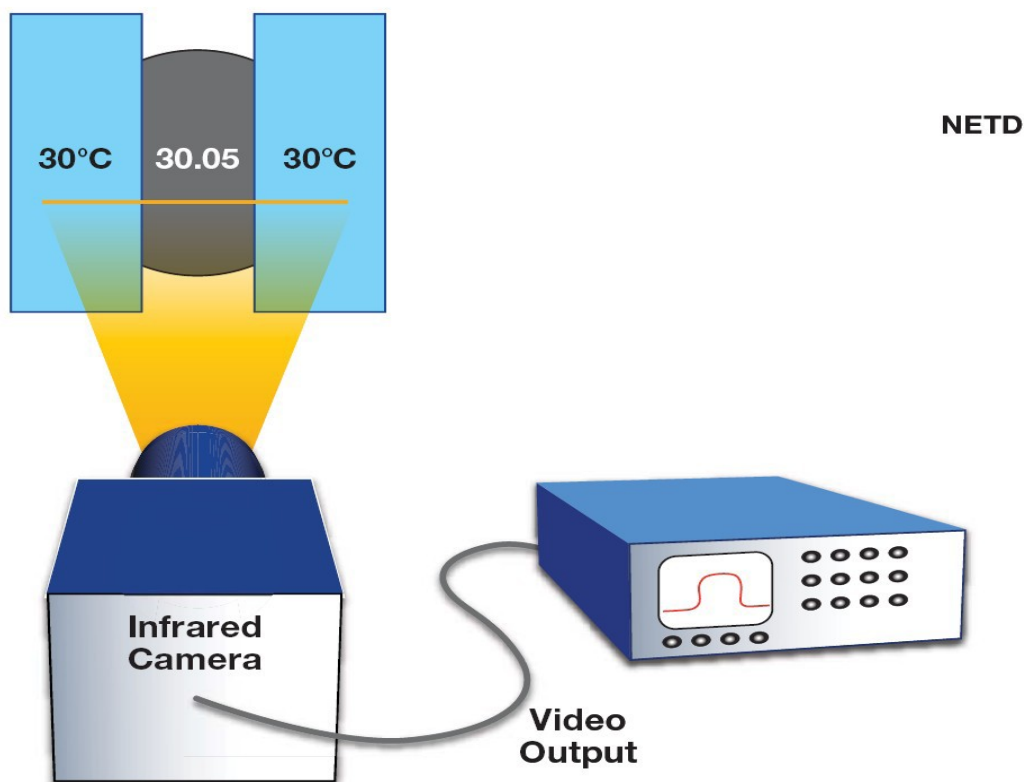
**5) NETD-** je měřítko teplotní citlivosti

a) NETD je to změna teploty nekonečně velkého černého tělesa, která při pozorování termovizním zobrazovacím systémem vyvolá jednotkovou změnu v poměru S/N v elektronickém výstupu.

b) NETD je to tepelný rozdíl mezi dvěma vedle sebe umístěnými černými tělesy velkých rozměrů, který v elektronickém výstupu pozorovacího systému způsobí vznik jednotkového rozdílu.

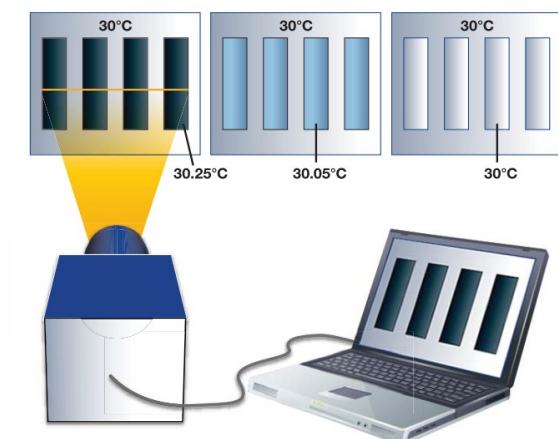
[13]

**NETD - Teplotní rozdíl odpovídající šumu**



*Obr.č.8 NETD[13]*

## MRTD - minimálně rozlišitelná teplotní diference



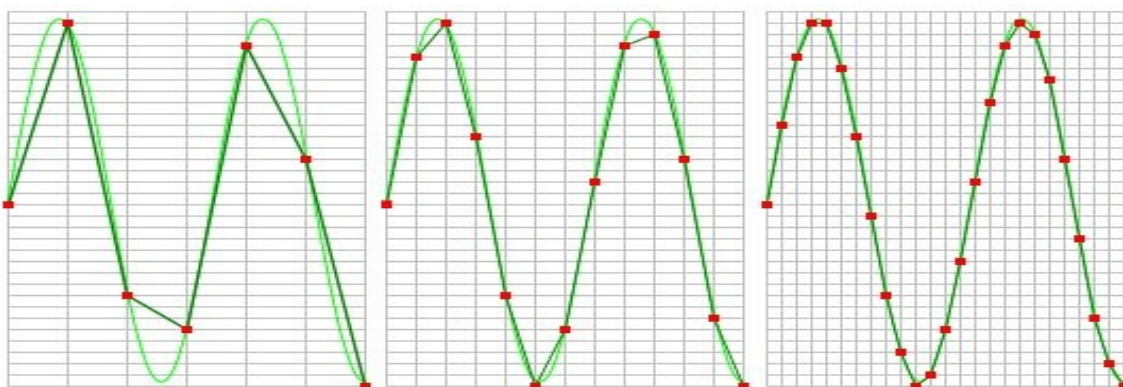
Obr.č.9 MRTD[13]

Další kvalitativní parametry termovizních systémů patří -

- Zorné pole – je to část prostoru, který je oko nebo optický přístroj schopen zachytit a ze kterého do něj přicházejí světelné paprsky
- Dosah systému a s ní související ohnisková vzdálenost
- Počet pixelů – určuje Nyquistovu frekvenci. [13]

### Co je to vzorkovací frekvence

**a) vzorkovací frekvence :** je to rychlost z níž jsou odebrány vzorky ze signálu a vyjadřuje se číslem udávající počet vzorků za sekundu. Vyšší vzorkovací frekvence odpovídají kratším intervalům mezi vzorky.

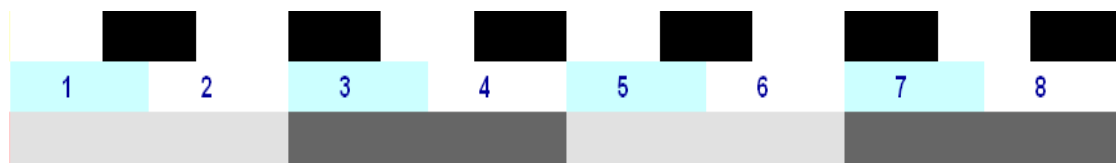


Obr. č. 10 vzorkovací frekvence [6]

S tohoto obrázku lze vidět, že čím vyšší je vzorkovací frekvence signálu, tím přesněji lze rekonstruovat původní signál.[6]

b) Nyquistova prostorová frekvence  $f_N$  - je dána velikostí pixelů a je to nejvyšší možná prostorová frekvence, kterou je systém ještě schopen zobrazit.[14]

Na tomto obrázku je prostorová frekvence zobrazované čárové struktury a ta je  $1.5 f_N$



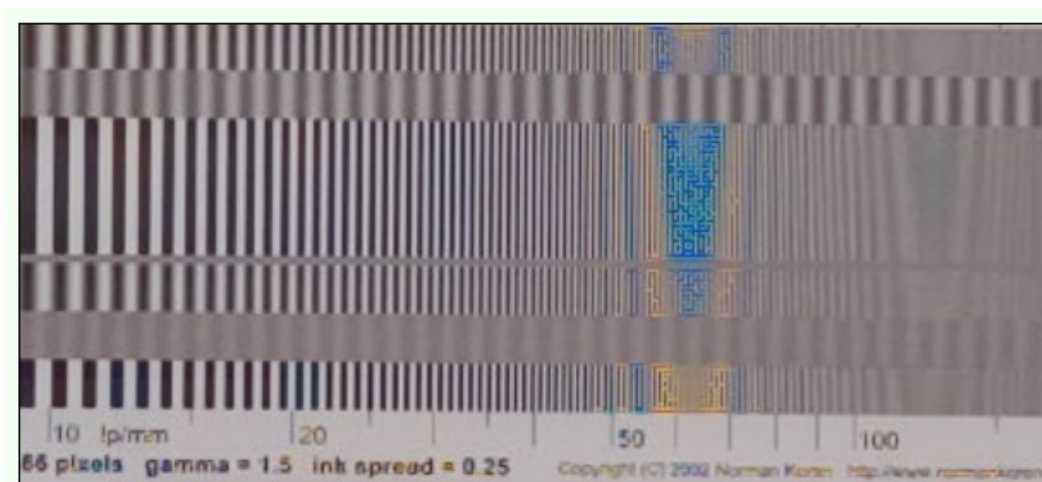
Obr.č.11 Prostorová frekvence[14]

- První řádek je prostorová frekvence obrazu
- Na druhém řádku je frekvence pixelů – Nyquistova frekvence  $f_N$
- Třetí řádek nám určuje nesprávné frekvence (tzv. falešné prostorová frekvence, aliasing)

[14]

Výsledná prostorová frekvence, kterou pozorujeme je  $2 f_N$ .

Příklad Nyquistovi frekvence a falešná frekvence



Obr.č. 12 Nyquistova frekvence a falešné frekvence[14]

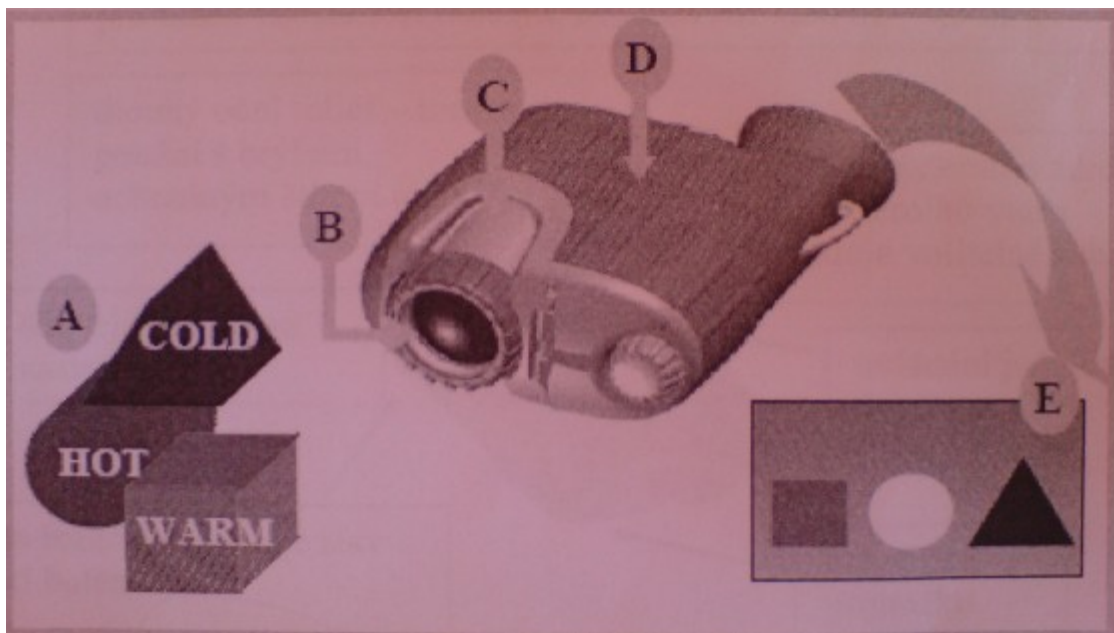
## **5. Termovizní kamera X-50 s křemíkovým mikrobolometrem**

Úvodem bych chtěla říct, že tato kamera je majetkem Katedry optiky a cílem mé bakalářské práce bylo prověřit její kvalitativní parametry.

Přístroj X-50 je testovaný a odpovídá omezením Třídy B pro digitální přístroje, Část 15 pravidel FCC. Omezení, které jsem uvedla se zavedla proto, aby byla poskytnuta ochrana proti škodlivému rušení domácích spotřebičů. Termovizní kamera X-50 totiž vytváří, využívá a také může vyzařovat radiofrekvenční energii. Může se však stát, že u některého spotřebiče se toto rušení objeví i přes dodržování pokynů.[3]

Termovizní kamera X-50 je vyráběná hlavně pro vojenské účely a je založena na infračervené termovizní technologii. L-3 Infrared Products (IP) je už dlouhou dobu na špičce ve výrobě a vývoji těchto přístrojů.

Přístroj X-50 dokáže rozeznat různou intenzitu vlnové délky infračerveného záření, které přichází z různých oblastí a mění ho na příslušnou intenzitu viditelného světla na displeji. Tímto způsobem lze vidět i ve tmě a získávat informace o teplotě předmětů a jejich rozdílu v jakýchkoliv světelných podmínkách.[3]



Obr.č. 13[3]

Infračervená energie je vyzařována úměrně teplotě předmětu A. Čím teplejší je předmět, tím více energie vyzařuje. Infračervená energie z předmětů přechází z optiky B na infračervený detektor C. Informace z infračerveného detektoru je předána elektronice D, kde je obraz zpracován. Obvod pro zpracování signálu převádí infračervené údaje z detektoru na obraz E, který je možno sledovat na vestavěném video monitoru.[3]

### **5.1. Ostření pro záběry na blízkou vzdálenost[3]:**

S kamerou X-50 lze pozorovat od 1 m až po nekonečno. Pomocí dvou poloh lze určovat kam budeme zaostřovat. V poloze Far Focus bude zaostřeno na předměty od 1 m až po nekonečno a při otáčení objektivem do polohy Near Focus je možno zaostřit na předměty, které leží ve vzdálenosti okolo 1 m.[3]

Údaje uváděné v dokumentaci dodávané k přístroji

#### **Parametry termovizní kamery X-50 dle dokumentace [3]:**

Spektrální citlivost	7-14 mikronů
Kontrast/úroveň	automaticky (Electronic Image Control)
Mechanická clona	automatická
Polarita	bílá- teplá , černá- chladná
Dosah	305 metrů
Ostření manuální	1,2 metru až nekonečno
Počet pixelů	100 x 80
Teplotní citlivost	$\leq 0,15$ K

#### **Optika**

Zorné pole	11° x 8°
f'	16 mm
Výstupní formát	PAL
Display hledáčku	LCD 320 x 240 pixel

**Zdroj** 2 AA baterie (2 hodiny výdrž)

#### **Fyzikální vlastnosti**

Velikost	13,4 x 11,4 x 5,1 (cm)
Okulár	integrováný do kamery, oční reliéf: 5,1 cm



Obr.č. 14 Termovizní kamera X-50

## 5.2. Dupočítané parametry, které literatura neuvádí:

- vzorkovací frekvence: 20 čar /mm (tento výsledek získáme z velikosti pixelu)

Nyquistova frekvence 
$$F_N = \frac{1}{2 \times 0.025} \quad (23)$$

- vzhledem k malému počtu pixelů je mezní prostorová frekvence, kterou ještě můžeme pozorovat jen 10 čar/mm v rovině detektoru
- úhlově je pak vzorkovací frekvence 0,1 čar/minutu a mezní frekvence 0,05 čar/minutu
- z toho lze vypočítat mezní vzdálenost pro pozorování čtyřčárrového testu s šířkou

dvojčáry 20 mm 
$$L_{mezní} = \frac{20}{2 \cdot \tan(10')} = 3,2 \text{ m} \quad (24)$$

- pozorujeme -li z větší vzdálenosti v mém případě z 3,5 m pak jsme mimo vzorkovací frekvenci a pozorujeme falešné frekvence (aliasing)
- Kdyby mezní frekvence byla dvojnásobkem vzorkovací frekvence, pak test typu člověk můžeme pozorovat ze vzdálenosti 97 metrů (1 čára/mm – odhalení)

48 metrů ( 3 čáry/ mm– rozpoznání)

24 metrů ( 6 čar / mm – identifikace)



## 6. Normy

Z této normy uvádím body, které jsem využila při svém měření.

### 6.1. MĚŘENÍ ROZLIŠITELNÉHO TEPLOTNÍHO ROZDÍLU (MRTD) U INFRAČERVENÝCH KAMER

Tato norma je obdobou normy NATO STANAG.

Kapitola přesněji specifikuje měření kvalitativních parametrů MRTD, které jsem uvedla v kapitole 4.

1. Předmětem tohoto standardu je, že tyto normy jsou nezbytné pro měření s termovizní kamerou. Při měření s termovizní kamerou musíme dodržovat určité standardy, abychom mohli měřit jejich minimální rozlišitelný rozdíl (MRTD) při dané teplotě a ve středu zorného pole.[5]
2. Postup měření, který používáme platí pouze pro infračervené kamery, které mají definovanou koncepci (MRTD), to znamená s rozkladem obrazu. Při našem měření používáme spektrální rozsah od 7– 14  $\mu\text{m}$ , ale lze používat spektrální rozsahy od 3 – 5  $\mu\text{m}$  nebo jen části rozsahů.[5]
3. Co vlastně MRTD je:

MRTD

-je minimální teplotní rozdíl, který umožňuje pozorovateli rozeznat detaily na infračerveném obraze objektu. K jeho stanovení používáme zkušební obrazce podle daného kritéria [5]

- je funkcí prostorové frekvence zkušební obrazce

- závisí na dvou parametrech : - na teplotě zkušební obrazce

- a může záviset na orientaci zkušební obrazce [5]

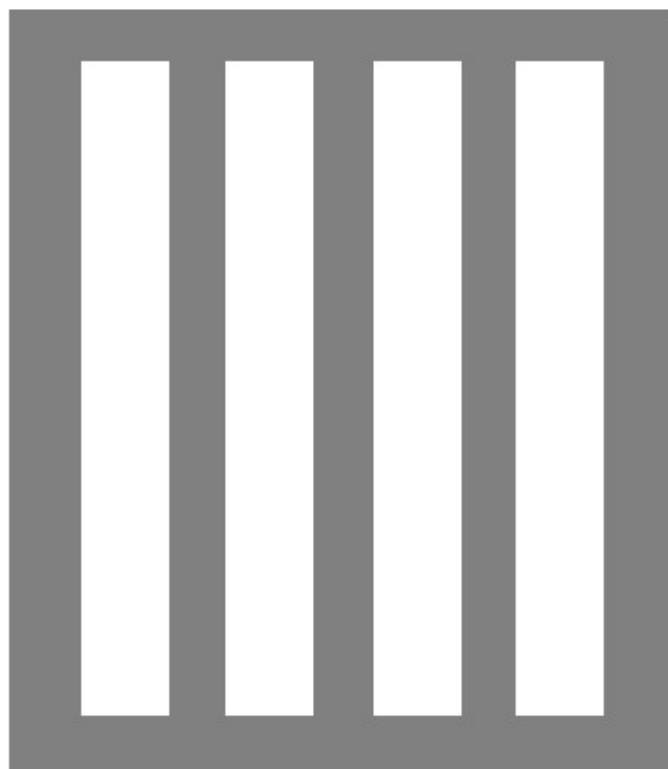
4. Existují určité podmínky, které se musí dodržovat

**a)** Pozorovatel, který pomocí termovizní kamery sleduje cíl (zkušební obrazec) musí mít bezvadný zrak (při používání korekční pomůcky – brýle, musí být přesnost korekce zraku lepší než  $\pm 0,25$  dioptrií), normální barvocit.[5]

**b)** Používáme zkušební obrazec ve tvaru desky na kterém jsou čtyři plné pásy, které můžeme mít buď vertikálně nebo horizontálně.

Zkušební obrazec umísťujeme před absolutně černé těleso, na kterém nastavujeme teplotu.

[5]



OBRÁZEK č. Zkušební obrazec

*Obr.č.15 čtyřčárový test*

**c)** Prostorová frekvence každého měřicího testu musí být v rozsahu  $\pm 5\%$  jmenovité hodnoty [5]

**d)** Emisivita čtyřčárového testu nebo jiného zkušebního obrazce a černého tělesa musí být minimálně 0,95.

**e)** Absolutně černé těleso musí umožňovat dosažení teplotních rozdílů  $\pm 10^\circ\text{C}$ . Přesnost nastavení musí být 0,5 % a  $0,01^\circ\text{C}$  pro  $\Delta T_s$  mezi  $0^\circ\text{C}$  a  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

f) Různé nerovnoměrnosti rozložení teploty v užitečných oblastech zkušební obrazce musí být menší než lze detekovat.

g) Teplotu, kterou naměříme je teplota zkušební obrazce, která by měla být  $(20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$ . pokud není specifikováno jinak.

h) Ztráty zářivého toku mezi zkušebním obrazcem a zkoušeným systémem i emisivita zkušební obrazce a černého tělesa musí být známé a musí se brát v úvahu při výpočtech.

[5]

5. Samotné měření provádíme tehdy když je zkušební obrazec ještě nerozlišitelný to znamená, že teplota černého tělesa i zkušební obrazce je stejná (nulová). Metoda je založena na stanovení teplotního rozdílu (+ nebo -), potřebného k tomu abychom zkušební obrazec rozlišili.[5]

#### **Postup pro stanovení MRTD :**

a) Začínáme tím, že teplota zkušební obrazce a černého tělesa jsou téměř stejné a termokamerou by jsme neměli vidět žádný rozdíl. Teplotu černého tělesa se musí zvyšovat tak dlouho dokud se zkušební obrazec neobjeví v pozitivním kontrastu (horké proužky). Poté až jsme schopni zkušební obrazec rozlišit si zaznamenáme teplotní rozdíl  $\Delta T_+$ . [5]

b) Poté se musí provést to samé, ale pro minusové teploty. Teplotu černého tělesa budeme postupně snižovat, což způsobí, že zkušební obrazec zmizí a poté se nám opět objeví tentokrát s negativním kontrastem (studené proužky). Až lze zkušební obrazec rozlišit opět si zaznamenáme hodnotu teplotní rozdíl tentokrát minusový  $\Delta T_-$ . [5]

Obě měření je nutno provádět v co nejkratším době, aby se omezilo ochlazení obrazce. Proto se navrhuje, aby se teplota absolutně černého tělesa měnila po určitých krocích dle této tabulky[5]:

Tabulka č.1.  
Tabulka teplotních kroků:

$\Delta T$	Navrhovaný krok	$\Delta T$	Navrhovaný krok
$< 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$	$2,0 \text{ } ^\circ\text{C} - 4,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$
$0,5 \text{ } ^\circ\text{C} - 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,02 \text{ } ^\circ\text{C}$	$4,0 \text{ } ^\circ\text{C} - 8,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,20 \text{ } ^\circ\text{C}$
$1,0 \text{ } ^\circ\text{C} - 2,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,05 \text{ } ^\circ\text{C}$	$> 8,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,40 \text{ } ^\circ\text{C}$

Kritérium pro rozlišení zkušební obrazce (proužků) je stav kdy jsme schopni vidět všechny čtyři proužky (ne jen nějaké změny). Pro měření MRTD je dobré měnit orientaci proužků (horizontálně a vertikálně).[5]

Měření musíme provádět minimálně při čtyřech prostorových frekvencích rozmístěných přibližně rovnoměrně v určitém rozsahu kamery.[5]

6. Výsledek měření stanoví pozitivní a negativní kontrast a to tak, že po dosažení  $\Delta T_+$  (teplotního rozdílu plusového) a  $\Delta T_-$  (teplotního rozdílu minusového) a po jejich vzájemném odečtení a následném vydělení dvěma dostaneme námi požadované MRTD:

$$MRTD = \frac{\Delta T_+ - \Delta T_-}{2} \quad (25)$$

## **7. Vlastní měření kamery X-50**

### **7.1. Měření s černým tělesem DCN 1000 W4**

Měření s černým tělesem je první měřením na nově zakoupeném přístroji, který ještě neměl k dispozici všechny funkce (např. měření FPK)

#### **Popis absolutně černého tělesa:**

Absolutně černé těleso nebo černé těleso je ideální těleso, které pohlcuje veškeré záření všech vlnových délek dopadající na jeho povrch, dobrým modelem absolutně černého tělesa je dutina, jejíž vnitřní povrch tvoří matná černá plocha. Zároveň je absolutně černé těleso ideálním zářičem, které veškerou pohlcenou energii vyzařuje. Veškeré množství energie, které se vyzáří z povrchu absolutně černého tělesa za jednotku času a rozložení intenzity záření podle vlnových délek závisí jen na jeho teplotě. Záření Slunce se blíží vyzařování černého tělesa s teplotou přibližně 5800 Kelvinů. Tento fyzikální pojem zavedl v roce 1862 Gustav Kirchhoff.[1]

Měření s absolutně černým tělesem jsem prováděla v laboratoři Firmy Pramacom, spol. s.r.o. Hodnoty v tabulkách jsou naměřené pro různé vzdálenosti kamery X-50 od černého tělesa a při různých teplotních rozdílech okolí a tělesa.

Fotografie jsou pořízené pomocí počítače a specializovaného programu firmy HGH systémes infarouges. Funkce je taková, že kamera je připojena přímo na počítač, takže se obraz zobrazuje přímo na monitoru. Nastavování teplotního rozdílu se realizuje také pomocí počítače a stejného programu firmy HGH. Díky tomu jen měníme hodnoty v programu a pozorujeme změny teplot na čtyřčárovém testu, který je umístěn ve dvou polohách na absolutně černém tělese, nejprve horizontálně a poté vertikálně.

Tabulka č.2

**Tabulka naměřených hodnot s absolutně černým tělesem:****Hodnoty pro 1 metr, termovizní kamerou X-50, při okolní teplotě 22,15 °C**

<b>1m</b>	
$\Delta T_+$	$\Delta T_-$
0 nerozlišeno	0 nerozlišeno
0,01 nerozlišeno	-0,01 nerozlišeno
0,02 nerozlišeno	-0,02 nerozlišeno
0,03 nerozlišeno	-0,03 nerozlišeno
0,04 nerozlišeno	-0,04 nerozlišeno
0,05 nerozlišeno	-0,05 nerozlišeno
0,06 nerozlišeno	-0,06 nerozlišeno
0,07 nerozlišeno	-0,07 nerozlišeno
0,08 nerozlišeno	-0,08 vůbec nic
0,09 nerozlišeno	-0,09 nerozlišeno
0,1 nerozlišeno	-0,1 nerozlišeno
0,11 nerozlišeno	-0,11 nerozlišeno
0,12 nerozlišeno	-0,12 nerozlišeno
0,13 nerozlišeno	-0,13 nerozlišeno
0,14 nerozlišeno	-0,14 nerozlišeno
0,15 nerozlišeno	-0,15 vůbec nic
0,16 nerozlišeno	-0,16 vůbec nic
0,17 nerozlišeno	-0,17 vůbec nic
0,18 ROZLIŠENO	-0,18 nerozlišeno
	-0,19 nerozlišeno
	-0,2 nerozlišeno
	-0,21 nerozlišeno
	-0,22 nerozlišeno
	-0,23 nerozlišeno
	-0,24 nerozlišeno
	-0,25 nerozlišeno
	-0,26 nerozlišeno
	-0,27 nerozlišeno
	-0,28 nerozlišeno

	-0,29 nerozlišeno
	-0,3 nerozlišeno
	-0,31 nerozlišeno
	-0,32 nerozlišeno
	-0,33 nerozlišeno
	-0,34 nerozlišeno
	-0,35 ROZLIŠENO

Pro stanovení pozitivního a negativního kontrastu zkušební obrazce je hodnota MRTD:

$$MRTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{2} \quad (26)$$

$$MRTD = \frac{0,18 - (-0,35)}{2}$$

$$MRTD = 0,27$$

Tabulka č.3

**Tabulka naměřených hodnot s absolutně černým tělesem:**

**Hodnoty pro 2 metry, termovizní kamerou X-50, při okolní teplotě 22,15 °C**

2m	
$\Delta T_+$	$\Delta T_-$
0 nerozlišeno	0 nerozlišeno
0,01 nerozlišeno	-0,01 nerozlišeno
0,02 nerozlišeno	-0,02 nerozlišeno
0,03 nerozlišeno	-0,03 nerozlišeno
0,04 nerozlišeno	-0,04 nerozlišeno
0,05 nerozlišeno	-0,05 nerozlišeno
0,06 nerozlišeno	-0,06 nerozlišeno
0,07 nerozlišeno	-0,07 nerozlišeno
0,08 nerozlišeno	-0,08 vůbec nic
0,09 nerozlišeno	-0,09 nerozlišeno
0,1 nerozlišeno	-0,1 nerozlišeno
0,11 nerozlišeno	-0,11 nerozlišeno
0,12 nerozlišeno	-0,12 nerozlišeno
0,13 nerozlišeno	-0,13 nerozlišeno
0,14 nerozlišeno	-0,14 nerozlišeno

0,15 nerozlišeno	-0,15 nerozlišeno
0,16 nerozlišeno	-0,16 nerozlišeno
0,17 nerozlišeno	-0,17 nerozlišeno
0,18 nerozlišeno	-0,18 nerozlišeno
0,19 nerozlišeno	-0,19 nerozlišeno
0,2 nerozlišeno	-0,2 nerozlišeno
0,21 nerozlišeno	-0,21 nerozlišeno
0,22 nerozlišeno	-0,22 nerozlišeno
0,23 nerozlišeno	-0,23 nerozlišeno
0,24 nerozlišeno	-0,24 nerozlišeno
0,25 nerozlišeno	-0,25 nerozlišeno
0,26 nerozlišeno	-0,26 nerozlišeno
0,27 nerozlišeno	-0,27 nerozlišeno
0,28 nerozlišeno	-0,28 nerozlišeno
0,29 ROZLIŠENO	-0,29 nerozlišeno
	-0,3 nerozlišeno
	-0,31 nerozlišeno
	-0,32 nerozlišeno
	-0,33 nerozlišeno
	-0,34 nerozlišeno
	-0,35 nerozlišeno
	-0,36 nerozlišeno
	-0,37 nerozlišeno
	-0,38 nerozlišeno
	-0,39 nerozlišeno
	-0,4 nerozlišeno
	-0,41 nerozlišeno
	-0,42 nerozlišeno
	-0,43 ROZLIŠENO

Pro stanovení pozitivního a negativního kontrastu zkušební obrazce je hodnota MRTD:

$$MRTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{2} \quad (27)$$

$$MRTD = \frac{0,29 - (-0,43)}{2}$$

$$MRTD = 0,36$$



Tabulka č.4  
**Tabulka vypočítaných a naměřených hodnot :**

	$\alpha$	$\Delta T_+$	$\Delta T_-$	MRTD
<b>1m</b>	68,8'	0,18	-0,35	0,27
<b>2m</b>	34,4'	0,29	-0,43	0,36
<b>4m</b>	17,16'	0,44	-0,39	0,41
<b>4,6m</b>	14,7'	0,48	-2	1,24

**Úhel  $\alpha$  pro 1 metr:**

$$\tan(\alpha) = \frac{20 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} = 0,02 \quad (28)$$

$$\alpha = \arctan(0,02) = 1,146^\circ \cdot 60 = \alpha = 68,8'$$

**Úhel  $\alpha$  pro 2 metry:**

$$\tan(\alpha) = \frac{20 \text{ mm}}{2000 \text{ mm}} = 0,01 \quad (29)$$

$$\alpha = \arctan(0,01) = 0,573^\circ \cdot 60 = \alpha = 34,4'$$

**Úhel  $\alpha$  pro 4 metry:**

$$\tan(\alpha) = \frac{20 \text{ mm}}{4000 \text{ mm}} = 0,005 \quad (30)$$

$$\alpha = \arctan(0,005) = 0,287^\circ \cdot 60 = \alpha = 17,16'$$

**Úhel  $\alpha$  pro 4,6 metru:**

$$\tan(\alpha) = \frac{20 \text{ mm}}{4600 \text{ mm}} = 0,0043 \quad (31)$$

$$\alpha = \arctan(0,0043) = 0,24^\circ \cdot 60 = \alpha = 14,7'$$

## Dopočty pro Johnsonovy testy

Jelikož jsme neměli k našemu měření Johnsonovy testy typu identifikace a rozpoznání a námi zkonstruovaný test typu odhalení neumožňuje nastavit jemné teplotní diference, museli jsme si pomoci následujícími úvahami:

V tabulce č. 4 je uvedeno, že při pozorování čtyřčárového testu ze vzdálenosti 1m jsme rozlišili teplotní diferenci 0,27 K. Přitom jednu dvojčáru (její šířka je 10+10 = 20mm) pozorujeme pod úhlem 68,8 minut.

Úkolem bylo zjistit, jak by musel být čtyřčárový test vzdálený, abychom jednu čáru pozorovali pod úhlem 68,8', při předpokladu, že čárový Johnsonův test má šířku 60cm a je na něm 6 dvojčar, kde 1 dvojčára má tedy pro identifikaci šířku 60/6 = 10 cm.

Z toho nám plyne, že  $p = 10$  cm. Když víme tyto hodnoty, tak je můžeme použít ve vzorečku, který nám udává právě námi zjišťovaný dosah:

$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{10}{\tan(68,8')} = 5 \text{ m} \quad (32)$$

Z toho vyplývá, že při pozorování Johnsonova testu typu identifikace se bude jedna dvojčára jevit jako jedna dvojčára čtyřčárového testu na našem černém tělese ve vzdálenosti 1 m.

Při dalších výpočtech pro Johnsonův test typu rozpoznání má test opět šířku 60 cm a jsou na něm 3 dvojčáry, kde jedna dvojčára má potom pro rozpoznání šířku 60/3 = 20 cm.

Tedy  $p = 20$ cm

$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{20}{\tan(68,8')} = 10 \text{ m} \quad (33)$$

Posledním výpočtem je Johnsonův předpokládaný test pro odhalení, který má opět šířku testu 60 cm a je na něm pouze 1 dvojčára. Přičemž 1 dvojčára má tedy pro odhalení šířku 60/1 = 60 cm. Tedy  $p = 60$  cm.

$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{60}{\tan(68,8')} = 30 \text{ m} \quad (34)$$

Obdobným způsobem jen pro teplotní diferenci 0,36 K naměřenou pro 2 metry dostaneme opět 3 hodnoty Johnsonových testů pro identifikaci, rozpoznání a odhalení, jen s tím rozdílem, že se to bude počítat pro úhel 34,4 minut.

$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{10}{\tan(34,4')} = 10 \text{ m} \quad , \text{kde } p = 10 \text{ cm} \quad (35)$$

$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{20}{\tan(34,4')} = 20 \text{ m} \quad , \text{kde } p = 20 \text{ cm} \quad (36)$$

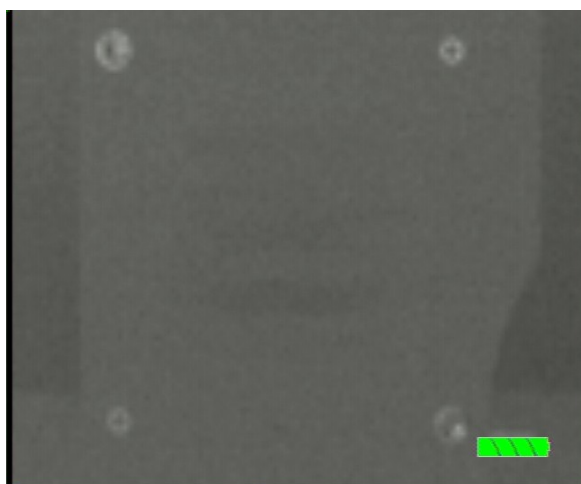
$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{60}{\tan(34,4')} = 60 \text{ m} \quad , \text{kde } p = 60 \text{ cm} \quad (37)$$

$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{60}{\tan(17,14')} = 120 \text{ m} \quad , \text{kde } p = 60 \text{ cm} \quad (38)$$

$$L = \frac{p}{\tan(\alpha)} = \frac{60}{\tan(14,7')} = 140 \text{ m} \quad , \text{kde } p = 60 \text{ cm} \quad (39)$$

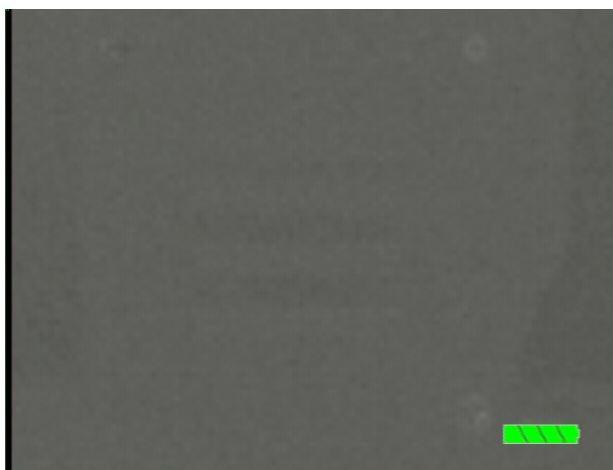
### 7.1.1. Snímky absolutně černého tělesa při různých teplotách:

Teplota okolí 23,76°C a teplotní diference 0°C

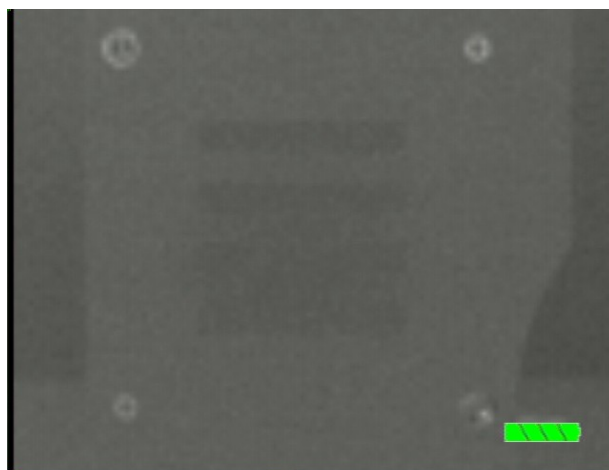


*Obr.č.16*

Teplota okolí je 23,76°C a teplotní diference 0,2°C

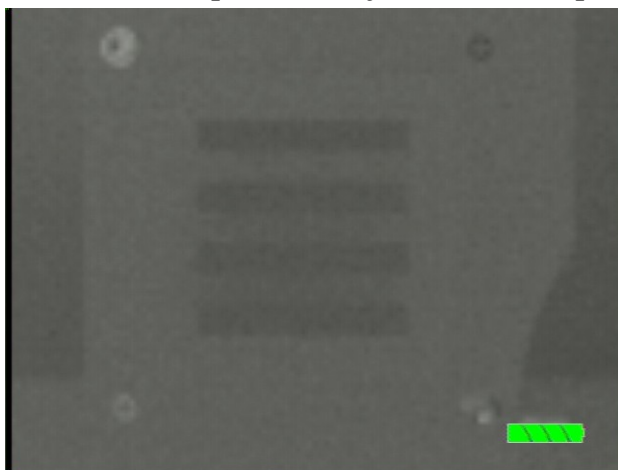


*Obr.č.17*

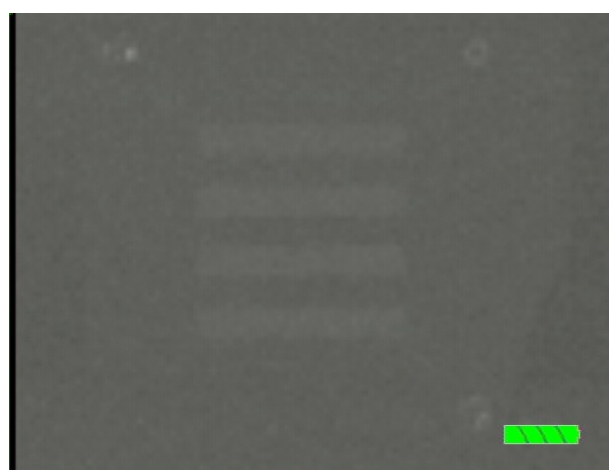


*Obr.č.18*

Teplota okolí je 23,76°C a teplotní diference 0,4°C

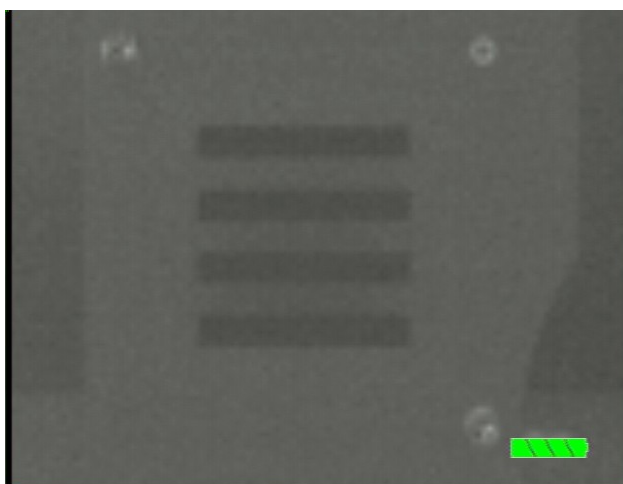


*Obr.č.19*

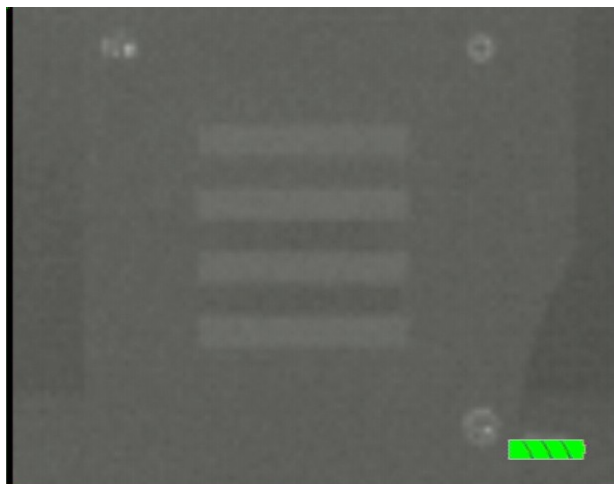


*Obr.č.20*

Teplota okolí je 23,76°C a teplotní diference je 0,6°C



*Obr.č.21*



*Obr.č.22*

## **7.2. Měření s tepelným čárovým testem:**



*Obr.č.23 Tepelný čárový test*

### **7.2.1. Výroba tepelného testu**

Tento test je vyrobený přímo pro účely měření s termovizní kamerou a slouží jako test typu člověk. Test je vyrobený ze železné konstrukce, na kterou jsou přidělaný 4 tepelné testy, každý z nich má svoji redukci teploty.

### **7.2.2. Postup měření**

Tepelný čárový test jsme pozorovali pomocí termovizní kamery X-50 a celé měření probíhalo venku. Test byl přidělaný tak, aby byl ve vertikální poloze.

Měření probíhalo nejprve, když bylo zataženo a pak při slunném počasí.

**A)** Prává i levá strana testu byla nastavena pokaždé na jinou teplotu a cílem bylo zjistit do jaké vzdálenosti jsme ještě schopni rozlišit teplotní rozdíl mezi nimi. Pro různé teploty nám vyšli různé vzdálenosti.

**B)** Jako poslední jsme měli za úkol určit vzdálenost, na kterou jsme ještě schopni rozlišit celý tepelný čárový test a ne jen teplotní rozdíl mezi pravou a levou stranou.

### 7.2.3. Výsledky měření

#### 1) Teplota testu nastavena na:

25 ° C	38° C
25°C	38°C

Teplotní rozdíl mezi pravou a levou stranou je :  $\Delta T 13^{\circ} C$

1. **Vzdálenost** : 18 m – test je rozlišitelný
2. **Vzdálenost** : 20 m – test je nerozlišitelný

#### 2) Teplota testu nastavena na:

20 ° C	38° C
20°C	38°C

Teplotní rozdíl mezi pravou a levou stranou je:  $\Delta T 18^{\circ} C$

1. **Vzdálenost**: 40 m – test je rozlišitelný
2. **Vzdálenost**: 53 m – test je rozlišitelný – hranice rozdílu v saturaci ( pouze jedna stana)
3. **Vzdálenost**: 72 m – test je nerozlišitelný

**3) Teplota testu po osvětlu a ohřevu sluncem:**

<b>28 ° C</b>	<b>38° C</b>
<b>28°C</b>	<b>38°C</b>

Teplotní rozdíl mezi pravou a levou stranou je:  $\Delta T$  10 °C

- 1. Vzdálenost:** 40 m – test je rozlišitelný

**4) Teplota testu je nastavena na:**

<b>25° C</b>	<b>38° C</b>
<b>25°C</b>	<b>38°C</b>

- 1.Vzdálenost:** 285 m - test je rozlišitelný, ale pouze jako celý povrch, nejsme schopni rozlišit teplotní rozdíl mezi pravou a levou stranou

- 2.Vzdálenost:** 326 m - test je nerozlišitelný



## 7.2.4. Fotografie tepelných testů

Fotografie pořízená při měření tepelných čárových testů pro menší vzdálenost:



*Obr.č.24*

**Fotografie pořízená při měření tepelných testů pro větší vzdálenost:**



*Obr.č.25*

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit dosah vidění nechlazeného termovizního systému X-50 s křemíkovým mikrobolometrem v pásmu od 7-14 $\mu$ m . Výrobce této kamery je americká společnost L-3, která kameru dodává také pod označením Thermal-Eye X-50. V technické dokumentaci výrobce je k dosahu kamery pro uživatele uveden jediný blíže nespecifikovaný údaj: „Detekce aktivity člověka větší než 305m“.

Mým cílem bylo zjistit přesnější údaje o dosahu, zejména s ohledem na význam slova „dosah“. Tento pojem se obvykle používá pro tři úrovně kvality zobrazení, které mají umožnit buď odhalení, rozpoznání, nebo identifikaci konkrétního objektu.

Ke svým měřením jsem mohla využít infračervený referenční zdroj francouzské společnosti HGH vybavený čtyřčárovým testem, který vlastní společnost Pramacom-HT, s.r.o . a nově konstruovaný Johnsonův tepelný čárový test typu odhalení.

Dosažené výsledky uvedené v textu lze shrnout do dvou tabulek.

V první tabulce uvádím dosahy vidění kamerou, které jsem dopočetla z laboratorního měření pro různé typy Johnsonových testů:

Tabulka č. 5

MRTD	Odhalení	Rozpoznání	Identifikace
0,27 K	30 m	10 m	5 m
0,36 K	60 m	20 m	10 m
0,41 K	120*)	*)	*)
1,24 K	140 *)	*)	*)

Přičemž nízká hodnota vzorkovací frekvence kamery daná malým počtem pixelů, již neumožňuje pro poslední dvě měření uvést vzdálenosti pro rozpoznání a identifikaci. Je zde však možné uvést údaj o odhalení, což je vzdálenost, která nám umožňuje zaregistrovat objekt teplotně odlišný od pozadí o 0.41 K nebo 1,24 K. Měření která se museli provádět pro delší vzdálenosti nebyla ale již v laboratoři prováděna. Lze předpokládat, že pro vyšší tepelné rozdíly bylo možno objekt odhalit i na větší vzdálenosti.

Měření prováděná v terénu se zkráceným Johnsonovým teplotním testem byla prováděna během dne. Kolísáním teploty vzduchu a zejména občas vznikajícím osvětlení testu Sluncem a jeho následné zahřívání, neumožňovalo udržet časově stabilní podmínky nastavení teplotního rozdílu mezi sledovanými plochami. Velký vliv měla také automatika kamery, která při výraznějších změnách pozorované scény aktivuje své nové nastavení. V tomto smyslu je také nutno posuzovat uvedené hodnoty, které odpovídají měření při teplotě chladnější strany testu v rozsahu 20 °C až 28 °C.

Tabulka č.6

$\Delta T$	dosah rozlišení testu typu odhalení
13 K	18 m
10 K	40 m
18 K	53 m
18 K	285 m*)
18 K	test ze vzdálenosti 326 m již nelze rozlišit

Uvedená měření dávají objektivnější představu o možnostech kamery X-50.

Domnívám se, že získané zkušenosti s měřením dosahu termovizní kamery X-50 mohou být v budoucnosti dále využity ke zpřesnění měření a také při porovnání úrovně kvality různých termovizních kamer.

## Použitá literatura

- [1] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Absolutn%C4%9B\\_%C4%8Dem%C3%A9\\_t%C4%9Bleso](http://cs.wikipedia.org/wiki/Absolutn%C4%9B_%C4%8Dem%C3%A9_t%C4%9Bleso)
  - [2] <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=538>
  - [3] Thermal-eye X-50 (technické dokumenty)
  - [4] M. Kreidl: Měření teploty - senzory a měřicí obvody, BEN -technická literatura, 1 vyd. Praha 2005, 1.
  - [5] Český obranný standard – 1. vydání ČOS 585502, Měření minimálního rozlišitelného teplotního rozdílu (MRTD) u infračervených kamer
  - [6] <http://www.bohemiae.com/cz/praxis/osc-acquisition-p3.html>
  - [7] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické\\_spektrum](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické_spektrum)
  - [8] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické\\_zářen%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické_zářen%C3%AD)
  - [9] [http://www.termokamera.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4&Itemid=9](http://www.termokamera.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=9)
  - [10] <http://www.infrared.cz/Technologie/Termovize/>
  - [11] Termomechanika technologických procesů, Nové technologie-výzkumné centrum , Západočeská univerzita v Plzni
  - [12] PNV07 <https://intra.optol.cz/wiki>
  - [13] PNV08 <https://intra.optol.cz/wiki>
  - [14] PNV03 <https://intra.optol.cz/wiki>
- Dereniak, E.L., Boreman: Infrared Detectors and Systemes, John Wiley and Sons, Inc.1996
- Uživatelský manuál: Infrared reference source: DCN 1000. HGH 2009
- Fuka, J., Havelka, B., I. OPTIKA Fyzikální Kompendium, 1 vyd. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 1961.

## **Příloha**

Jako přílohu dokládám graf, který jsme naměřili pomocí počítačového programu firmy HGH systémes infrarouges, pro absolutně černé těleso při postupném oddalování termovizní kamery po půl metrech a to od 1m až po 3,5 metrů.

Do programu jsme si nastavili teplotní limit plusový i minusový a potřebné vzdálenosti, na které budeme proměřovat dosah termovizní kamery a teplotní kroky podle kterých se bude teplotní difference snižovat nebo zvyšovat. Při průběhu měření se musí čtyřčárový test, který je připevněný na absolutně černém tělese nastavovat nejprve do horizontální polohy a pak se celé měření opakuje pro vertikální směr testu. Smínky jsou zobrazeny přímo na počítači a hodnoty jako MRTD si program sám dopočítá s naměřených teplotních diferencí.

Grafem nám vyjdou tři různé křivky, které nám udávají MRTD pro horizontální a vertikální polohu testu.