

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Bakalářská práce

Porovnání systémů termovize a noktovize

Ondřej Juráček

© 2020 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Juráček

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Porovnání systémů termovize a noktovize

Název anglicky

Comparison of thermovision and noctovision systems

Cíle práce

Hlavním cílem je provést rozbor a přehled termovizí, noktovizí a jejich užití v praxi. Dále bude vytvořeno finanční zhodnocení vybraných systémů.

Metodika

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na porovnání systémů termovize a noktovize.

Metodika řešené problematiky bakalářské práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů.

V bakalářské práci budou porovnány systémy noktovize a termovize. Dále bude definováno jejich využití v praxi a následně bude provedeno finanční zhodnocení těchto systémů. Na základě rozboru teoretických poznatků budou formulovány závěry bakalářské práce.

Práce bude zpracována dle osnovy:

- 1 Úvod
- 2 Cíl práce
- 3 Přehled řešené problematiky
- 4 Praktická část práce
- 5 Závěr
- 6 Seznam použitých zdrojů
- 7 Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran včetně grafů, obrázků a tabulek

Klíčová slova

termovize, noktovize, finanční zhodnocení, bezpečnost

Doporučené zdroje informací

Aplikační možnosti termovize v elektrotechnice, Strmeň Milan, <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/11810> *** Pracoviště termovize, Zeman Martin, <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/8285>
Brýle pro noční vidění pro bojové vrtulníky, Kaucký Stanislav, <http://www.vrtulnik.cz/avionic/nvg.htm> ***
Invisible Light, Andy Finney, <http://www.atsf.co.uk/ilight/tech/noctovision.html> ***
<http://noktovizor.cz/pruvodce.php>
GARDNER, J. W. – AWADELKARIM, O. O. – VARADAN, V. K. *Microsensors, MEMS, and smart devices*. Chichester: Wiley, 2001. ISBN 0-471-86109-.
Makin, D.A. , Jenkins, G., Gaffney, M. Civilizing Surveillance Practices: The Pullman Police Department Public Safety Camera Monitoring Internship Program. *Journal of Applied Security Research*. ISSN: 19361610
Mehta, Y. , Pai, M.M.M. , Mallisery, S. , Singh, S. Cloud enabled air quality detection, analysis and prediction – A smart city application for smart health. 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City, ICBDS 2016. ISBN: 978-150901365-4
RASCH, D. *Mathematische Statistik : eine Einführung für Studenten der Mathematik, Statistik, Biometrie und Naturwissenschaften*. HEIDELBERG: BARTH, 1995. ISBN 3-335-00370-5.
ŘÍHA, Z. – MATYÁŠ, V. – RAK, R. *Biometrie a identita člověka ve forezních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2365-5.
Saponara, S., Pilato, L., Fanucci, L. Exploiting CCTV camera system for advanced passenger services on-board trains. 2nd IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2016. ISBN: 978-150901845-1 Sidhu, R.S. , Sharad, M. Smart surveillance system for detecting interpersonal crime. 2016 International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2016. ISBN: 978-150900396-9
ZACH, J. – DRÁPELA, K. *Biometrie, biostatistika : vybrané části*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1996. ISBN 80-7157-234-9.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 21. 1. 2019

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2020

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Porovnání systémů termovize a noktovize vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, 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, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 31. 03. 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí práce, Veronice Hartové, za skvělou spolupráci, mnoho užitečných rad a propůjčení termokamery FLIR E5 WiFi na praktickou část této bakalářské práce. Dále děkuji své partnerce a rodině za pomoc při korekci, upozorněních při psaní a za podporu, kterou jsem od vás celou dobu měl.

Porovnání systému termovize a noktovize

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá porovnáním systému termovize a noktovize. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část práce obsahuje dvě dílčí části: termografie a noktovize. Každý z těchto systémů je odděleně popsán. Teoretická část je zaměřena na detailnější popis stavby zařízení, jejich fyzikální principy a historii.

V praktické části práce bylo termokamerou FLIR E5 WiFi zjišťováno, jaký dopad má styl jízdy při určité trase na zahřívání brzdových kotoučů. Metody byly zvoleny dvě: brzda-plyn a běžná jízda. Za pomoci noktovizního zařízení Yukon Sentinel 3x60 byla pozorována zvěř na poli z posedu a v lese. Na noční pozorování zvěře a případný lov je vhodné mít s sebou i termovizní kameru. Kdyby nebylo na nebi dostatek hvězd a větší část měsíce, bez infračerveného přisvícení by s nočním viděním nebylo nic vidět.

V závěru jsou formulovány výsledky termovizního měření a porovnání naměřených výsledků. Taktéž v závěru jsou formulovány poznatky z pozorování nočním viděním. Na závěr je vytvořeno finanční zhodnocení jednotlivých systémů.

Klíčová slova: termovize, noktovize, finanční zhodnocení, bezpečnost

Comparison of thermovision and noctovision systems

Abstract

The thesis deals with comparison of thermovision and noctovision systems. The thesis is divided to theoretical and practical part. The theoretical part of this thesis consist of two individual parts: thermography and noctovision. Each of these systems is separately described. The theoretical part is focused on more detailed description of the construction, history and physical principles of these systems.

In the practical part of the thesis, the thermal camera FLIR E5 WiFi was used to find out what impact the driving style on a certain route has on heating the brake discs. Two methods were chosen: brake-gas and normal driving. With the help of the Yukon Sentinel 3x60 night vision equipment, wild animals were observed in the field from the sitting position and in the forest. It is advisable to have a thermovision camera with you for night observing or hunting wild animals. If there were not enough stars in the sky and atleast part of the moon, nothing would be seen with night vision without the infrared light.

In the conclusion are formulated the results of thermovision measurement and comparison of measured results. Also in the conclusion are formulated findings from night vision observation. Finally, financial evaluation of individual systems is created.

Klíčová slova: thermovision, noctovision, financial evaluation, safety

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod | 1 |
| 2 Cíl práce | 2 |
| 3 Přehled řešené problematiky | 3 |
| 3.1 Termografie | 3 |
| 3.1.1 Historie | 4 |
| 3.1.2 Tepelné záření..... | 4 |
| 3.1.3 Stefan-Boltzmannův zákon..... | 5 |
| 3.1.4 Wienův posunovací zákon..... | 5 |
| 3.1.5 Planckův vyzařovací zákon..... | 6 |
| 3.1.6 Emisivita | 7 |
| 3.1.7 Termokamera | 7 |
| 3.1.8 Optický systém | 7 |
| 3.1.9 Detektor záření | 8 |
| 3.1.10 Spektrální citlivost..... | 9 |
| 3.1.11 Důležité prvky termokamery | 10 |
| 3.1.12 FLIR PathFindIR II | 12 |
| 3.2 Noktovize | 15 |
| 3.2.1 Historie noktovize | 15 |
| 3.2.2 Princip fungování noktovize | 17 |
| 3.2.3 Vývoj noktovize..... | 18 |
| 3.2.4 Typy noktovizních zařízení | 20 |
| 3.2.5 Česká značka Night Pearl | 20 |
| 4 Praktická část práce | 22 |
| 4.1 Měření zahřívání brzdových kotoučů termokamerou | 22 |
| 4.2 Využití noktovizního zařízení při pozorování zvěře..... | 25 |
| 5 Závěr | 29 |
| 6 Seznam použitých zdrojů | 31 |

1 Úvod

Termovizní a noktovizní zařízení jsou známa již několik desítek let, nicméně v povědomí veřejnosti se dostaly až během posledních tří desetiletí. Noktovize neboli noční vidění, je oproti termovizi mladší disciplínou a bylo využíváno už za 2. světové války. O tom, jak je známa dnes, si mohly tehdejší vojenské služby nechat pouze zdát. Dnešní noktovizní zařízení pracují se zbytkovým světlem, jež v noci vydávají měsíc nebo hvězdy. Použití nočního vidění je k vidění už řadu let ať už ve filmech či počítačových hrách, nicméně ne vždy je tento systém popisován dostatečně či správně. Termovize pracuje na principu snímání tepelného bodu. Její využití je oproti noktovizi mnohem větší. Lze využívat při hledání úniků tepla na rodinných domech, měření v průmyslových objektech či pro lov, aby na tmavém pozadí bíle zvýraznila teplokrevnou zvěř.

V teoretické části této práci budou detailně popsány principy fungování jednotlivých systémů. Popsána bude rovněž stavba těchto systémů, jejich rozdělení a historie. Svou cestu si termovize společně s noktovizí našla i do automobilového průmyslu, kde se v posledních letech využívají tyto systémy jako pomocné pro řidiče. Je schopen díky nim vidět na delší vzdálenost a zvýšit tak pravděpodobnost vyhnutí se případné kolizi. Termovize a noktovize je popisována na základě zanalyzované odborné literatury.

V praktické části, jež je rozdělena na dvě části, budou popisována měření s termokamerou a noktovizorem. Termokamerou budou na předem stanovené trase měřena zahřátí brzdových kotoučů ve dvou definovaných stylech jízdy (brzda-plyn a běžný styl). Využito bude osobního automobilu Škoda Octavia II. Měření bude probíhat za ideálních podmínek, tedy přes den, za sucha a bezvětří. Noktovizorem bude v noci sledována zvěř z posedu a v lese.

2 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je získání reálných výsledků a výstupů z termovizních a noktovizních měření. Získané výsledky z termovizního měření budou vhodným porovnávacím materiálem, zda opravdu má na zahřátí brzdových kotoučů vliv styl jízdy či nikoliv. Získaný výstup z noktovizního pozorování nám pomůže osvětlit pohyb zvířat v nočním prostředí a jak sčítat zvěř v určité oblasti. Aby mohlo být těchto cílů dosaženo, je důležité dbát na správný přístup k měření a následné správné zpracování.

3 Přehled řešené problematiky

Tato část se zabývá teoretickým popisem jednotlivých systémů. Systémy termovize a noktovize jsou popsány každý samostatně. Teoretické poznatky jsou formulovány po analýze odborných textů a jsou následně použity při zpracování praktické části práce.

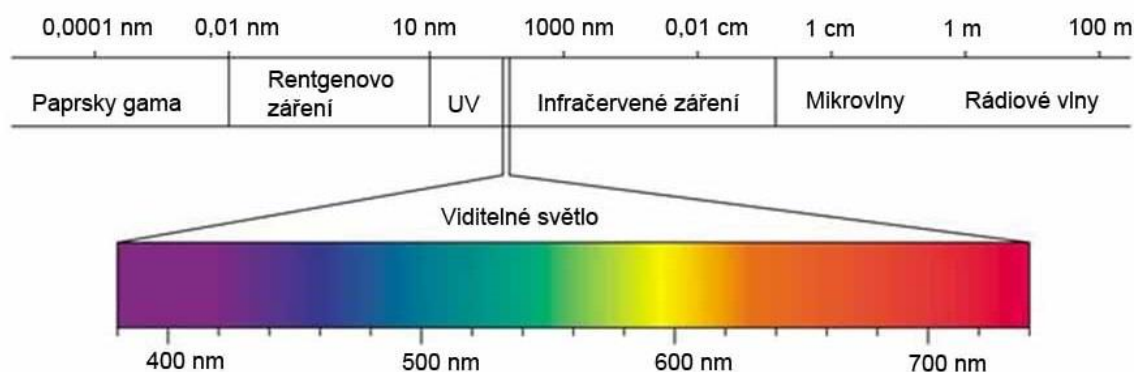
3.1 Termografie

Přesněji tedy infračervená termografie, se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa. Teplotní data jsou získávána bezkontaktním měřením termokamerami.

Běžné kamery potřebují ke své funkčnosti světlo. U termokamer to ale neplatí. Nazývají se „kamery“, jde však spíše o senzory. [1]

Termokamery jako takové vytváří obraz z tepla, nikoli ze světelného spektra. Teplo (jinak také infračervená nebo tepelná energie) a světlo je částí elektromagnetického spektra (Obrázek 1). Kamera, která dokáže detekovat světlo, nebude schopna detekovat teplo a naopak. [2] [3]

Obrázek 1 - Elektromagnetické spektrum



Zdroj: www.e-myslivost.cz

Všechno, s čím se je v každodenním životě setkáno, vyzařuje tepelnou energii. Dokonce i led. Čím teplejší těleso je, tím více emituje tepelnou energii. Tato emitovaná energie se nazývá „tepelná stopa“.

Za pomoci termokamer může být měřeno nejen teplo, ale i minimální tepelné rozdíly mezi měřenými tělesy a následně je lze vyobrazit na displeji jako odstíny šedé nebo, v případě barevné termokamery, jiných barevných odstínů.

Tepelná energie vzniká kombinací tepelných zdrojů, tedy výměnou tepelné energie jednoho tělesa s tělesem dalším. Záleží tedy, co je sledováno a v jaký čas. Například teplokrevní živočichové, stroje, generátory vytváří vlastní teplo, ať už biologicky nebo mechanicky. Ostatní tělesa, například kameny, mohou přes den absorbovat teplo ze slunečního záření a vyzařovat jej v noci.

3.1.1 Historie

Před rokem 1800 nebyla lidem známa existence infračervené části elektromagnetického spektra. Roku 1800 Sir William Herschel, při hledání nového optického materiálu, objevil, že různé vzorky barevného skla propustí různé množství slunečního záření a měřil teplotu za hranicí viditelného červeného spektra. Díky tomuto objevu dedukoval, že musí existovat nějaká neviditelná složka světla za viditelným spektrem.

Na přelomu 19. a 20. století přišel fyzik Max Planck na to, že existuje souvislost mezi vyzařujícím infračerveným zářením tělesa a jeho teplotou. [1]

První „termokamera“, přesněji tedy televizní kamera s infračervenou citlivostí, byla vytvořena ke konci 30. let minulého století Maďarem Kálmánem Tihanyiem sloužící k obraně britského vzdušného prostoru. Později, v 50. letech, se přidali Američané, kteří sestrojili termokamerou schopnou produkovat 1 snímek za hodinu. Až po roce 1965 se díky švédské firmě AGA Infrared Systems rozšířila termografická technika mimo vojenský sektor. [2] [3]

3.1.2 Tepelné záření

Lze měřit jakékoliv těleso, vyzařující elektromagnetické, resp. tepelné, záření, jehož teplota je vyšší než absolutní nula (tzn. vyšší než $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$).

Intenzita elektromagnetického záření závisí na povrchové teplotě objektu, který toto záření vydává. Změřením intenzity záření pak lze určit povrchovou teplotu objektu. A přesně na tomto principu funguje bezdotykové měření teploty, na němž funguje i měření termokamerou. [9]

3.1.3 Stefan-Boltzmannův zákon

Za předpokladu, že je známa emisivita tělesa, jež je zdrojem záření a je známa také teplota tělesa v Kelvinech a velikost povrchu v m², lze vypočítat vyzářený výkon [W] (3.1.3). V tabulce 1 jsou uvedeny příklady hodnot intenzity záření pro některé teploty. [6]

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3.1.3)$$

kde:

- I = celková intenzita záření (podíl výkonu a plochy) [W.m⁻²]
- σ = Stefan-Boltzmannova konstanta = 5,670400.10⁻⁸ [W.m⁻².K⁻⁴]
- ε = emisivita povrchu tělesa
- T = termodynamická teplota [K]

Tabulka 1 - Příklady hodnot intenzity záření pro některé teploty

| Teplota [°C] | Teplota [K] | Intenzita [W·m ⁻²] | Poznámka |
|--------------|-------------|--------------------------------|-------------------|
| 0 | 273,15 | 315,6 | teplota tání ledu |
| 100 | 373,15 | 1100 | teplota varu vody |
| 5507 | 5780 | 6,33×10 ⁷ | povrch Slunce |

Zdroj: www.wikipedia.cz

3.1.4 Wienův posunovací zákon

Wienův posunovací zákon (3.1.4) je formulován tak, že společně s rostoucí teplotou se maximální intenzita vyzařování posouvá ke kratším vlnovým délkám. [10]

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} [\mu m] \quad (3.1.4)$$

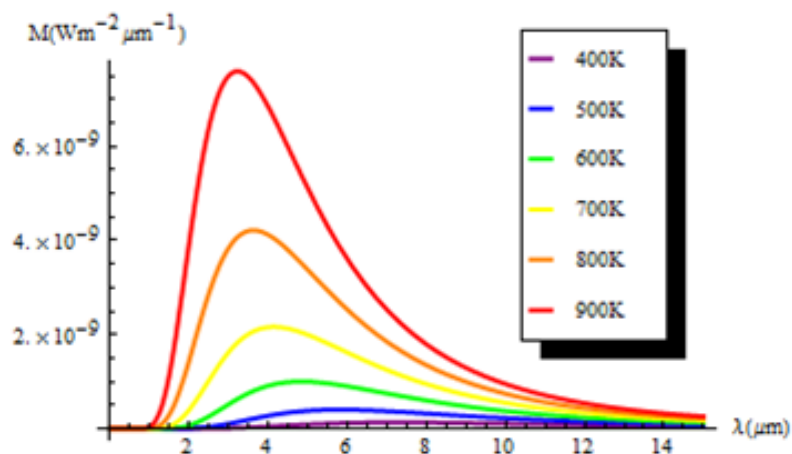
kde:

- λ_{\max} = vlnová délka maxima spektrální hustoty vyzařování [μm]
- b = Wienova konstanta = 2,898 [mm.K]
- T = termodynamická teplota [K]

3.1.5 Planckův vyzařovací zákon

Maxem Planckem byla popsána spektrální hustota elektromagnetického záření vyzařovaného černým tělesem v tepelné rovnováze při dané teplotě T (3.1.5), když mezi tělem a jeho prostředím neexistuje žádný čistý tok hmoty nebo energie (Obrázek 2).

Obrázek 2 - Grafické znázornění Planckova vyzařovacího zákona



Zdroj: www.termokamera.cz

$$W_{\lambda b} = \frac{2 \pi h c^3}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1 \right)} \cdot 10^{-6} \left[\frac{W}{m^2 \cdot \mu m} \right] \quad (3.1.5)$$

kde:

- $W_{\lambda b}$ = spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa při vlnové délce λ [$W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$]
- k = Boltzmannova konstanta = $1,4 \cdot 10^{-23}$ [$J \cdot K^{-1}$]
- c = rychlost světla ve vakuu $\approx 3 \cdot 10^8$ [$m \cdot s^{-1}$]
- h = Planckova konstanta = $6,626 \cdot 10^{-34}$ [$J \cdot s$]
- λ = vlnová délka [μm]

- T = absolutní teplota černého tělesa [K]

3.1.6 Emisivita

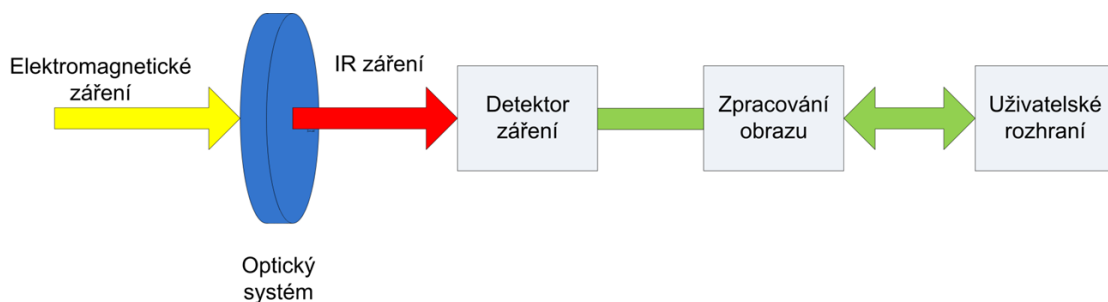
Je chápána jako efektivita vyzařování. Nejvyšší emisivitu, tzn. $\varepsilon = 1$, má tzv. absolutně černé těleso. Jde o těleso pohlcující veškeré záření. V praxi bylo potvrzeno, že jakékoliv těleso bude mít nižší emisivitu než absolutně černé těleso, tedy $\varepsilon < 1$.

Velikost emisivity může nezanedbatelným způsobem ovlivnit výsledek měření termokamerou, pakliže byla nesprávně nastavena. Zároveň je také důležité vědět, že emisivita závisí na chemických a fyzikálních vlastnostech daného materiálu, vlnové délce, směru vyzařování a případné polarizaci vyzařovaného světla. [12]

3.1.7 Termokamera

Jak již bylo zmíněno, termokamery vytvářejí obraz z tepelného zdroje. Schéma konstrukce termokamery (Obrázek 3), kterým je zjednodušeně prezentován průběh od vstupních (naměřených) dat až po výstup ve formě termogramu, bude popsáno v následující kapitole.

Obrázek 3 - Schéma konstrukce termokamery



Zdroj: www.termokamera.cz

3.1.8 Optický systém

Optický systém u termokamer je skoro identický s optickým systémem běžných kamer. Jediným a vcelku podstatným rozdílem je materiál čočky, která je tvořena z germaniového skla. Čočka je dále ošetřena antireflexní vrstvou, která má za úkol zabránit odrazu infračerveného záření z povrchu čočky. Takto dochází ke zvýšení propustnosti infračerveného záření.

Ze schématu je taktéž patrné, že optický systém funguje také jako filtr. Vstupované elektromagnetické záření je zredukováno pouze na infračervené. [9]

3.1.9 Detektor záření

Detektor infračerveného záření mění dopadající infračervené záření na elektrický signál, který je následně digitalizován ve výsledný termogram, který uživatel termokamery uvidí jako výstup na obrazovce (výsledek měření). [9]

Rozlišovány jsou dva typy detektorů:

- tepelné detektory
- fotonové detektory

a. Tepelný detektor

Mění elektrické vlastnosti v závislosti na intenzitě dopadajícího infračerveného záření. Nejčastěji je používáno mikrobolometrické pole, tedy ve 2D poli rozmístěné velké množství mikrobolometrů (Obrázek 4). Tepelný detektor není závislý na vlnové délce dopadajícího záření a není jen třeba chladit. [4]

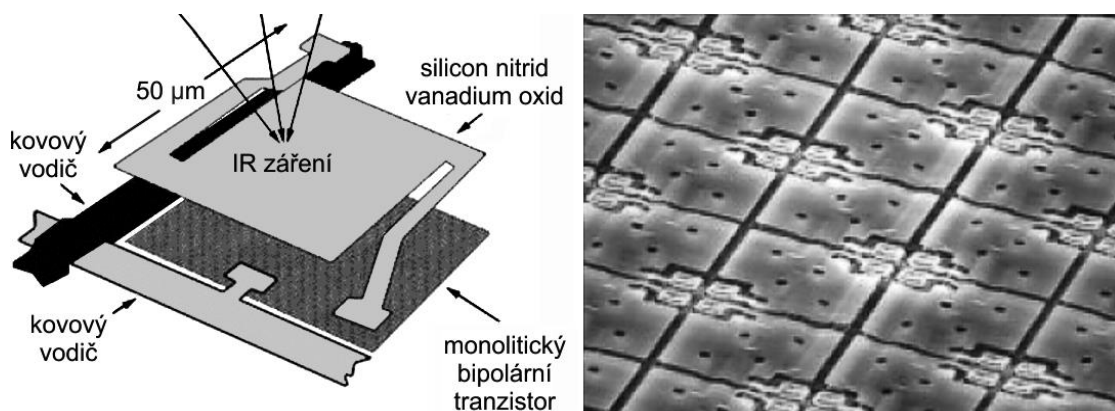
b. Fotonový detektor

Absorbovaným zářením jsou způsobeny elektronové přechody, při nichž vznikají volné nosiče náboje. Tyto volné nosiče se pohybují v elektrickém poli, čímž vytvářejí elektrický proud. Signál výstupu je měněn v závislosti na vlnové délce dopadajícího záření. Oproti tepelnému detektoru je fotonový detektor výrazně citlivější, nicméně vyžaduje chlazení. S tím se samozřejmě pojí i cena a váha detektoru, díky čemuž se fotonové detektory vyskytují minimálně v komerčním použití. [4]

c. Mikrobolometrické pole

Bolometrem se rozumí senzor pro bezdotykové měření teploty, měnící svůj elektrický odpor v závislosti na teplotě. Mikrobolometrická pole jsou složena z matic malých bolometrických detektorů (Obrázek 4), citlivých především na vlnové délky 7 až 14 μm infračerveného záření. Jakmile infračervená energie dopadne na mikrobolometr, změní tak elektrický odpor. Změřením této změny odporu a následným převedením na teplotní hodnoty lze zobrazit výstup v termogramu. [5]

Obrázek 4 - Mikrobolometr (vlevo), snímek z elektronového mikroskopu zachycující rozmístění bolometrů do mikrobolometrického pole (vpravo)

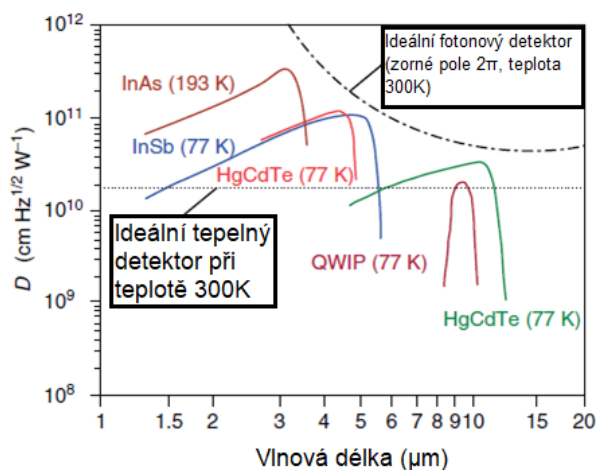


Zdroj: www.stemmer-imaging.com

3.1.10 Spektrální citlivost

U detektorů infračerveného záření je spektrální citlivost závislá na typu detektoru. Tepelné detektory jsou širokopásmové (v grafu přerušovaná čára), fotonové detektory jsou úzkopásmové a pásmo citlivosti je odlišné v závislosti na jejich typu. V grafu (Obrázek 5) je vyobrazeno pár vybraných detektorů, InAs, InSb, QWIP a HgCdTe, a průběh jejich spektrální citlivosti. V grafu je pozorováno, že v poměrně úzkém pásmu vlnových délek jsou fotonové detektory citlivější než tepelné. V tabulce 2 je shrnuto několik základních diferencí mezi tepelnými a fotonovými detektory.[6]

Obrázek 5 - Spektrální citlivost detektorů



Zdroj: www.termokamera.cz

kde:

- D = detektivita, jenž udává citlivost detektoru zahrnující jeho vlastní šum

Tabulka 2 - Shrnutí základních diferencí mezi tepelnými a fotonovými detektory

| vlastnost | fotonový detektor | tepelný detektor |
|----------------------|----------------------------|------------------------|
| spektrální citlivost | omezená | široká |
| citlivost | vysoká | nízká |
| časová konstanta | velmi krátká (cca μ s) | střední (cca ms) |
| nejčastější typ | PtSi a InSb, QWIP | mikrobolometr |
| pracovní teplota | nízká (nutné chlazení) | pokožová (lze chladit) |
| cena | vysoká | nízká |

Zdroj: www.termokamera.cz

3.1.11 Důležité prvky termokamery

U termokamer je důležité kontrolovat alespoň základní parametry, které budou svědčit o vhodném výběru termokamery. Níže je vypsáno několik základních parametrů, na které by se mělo dbát při výběru.

a. Teplotní rozsah

Každá termokamera pracuje s vlastním teplotním rozsahem. Největší výrobce termokamer v USA, firma FLIR, standardně ve svých produktech pracuje s rozsahem od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. U některých modelů, např. u modelu FLIR E95, je možné volit ze tří rozsahů teplot objektu ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $120\text{ }^{\circ}\text{C}$; $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $650\text{ }^{\circ}\text{C}$; $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pokud bude rozsah špatně nastaven, data nebudou relevantní a měření bude třeba opakovat se správným nastavením rozsahu. Výrobce se zavazuje např. u termokamery FLIR E95 počítat s odchylkou $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ v celém svém teplotním rozsahu. Výjimkou tvoří teplota prostředí $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota objektu nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde je počítáno s odchylkou $\pm 2\%$. Naměřená data se zpracovávají ve výsledný termogram, který je viděn na displeji. Na pravé hraně displeje bývá zobrazen tepelný rozsah měřeného záběru, v levém horním rohu je viděna teplota v námi vybraném bodě. [13]

Obrázek 6 - Termokamera FLIR E95 (vlevo), FLIR T1020 (vpravo)



Zdroj: FLIR

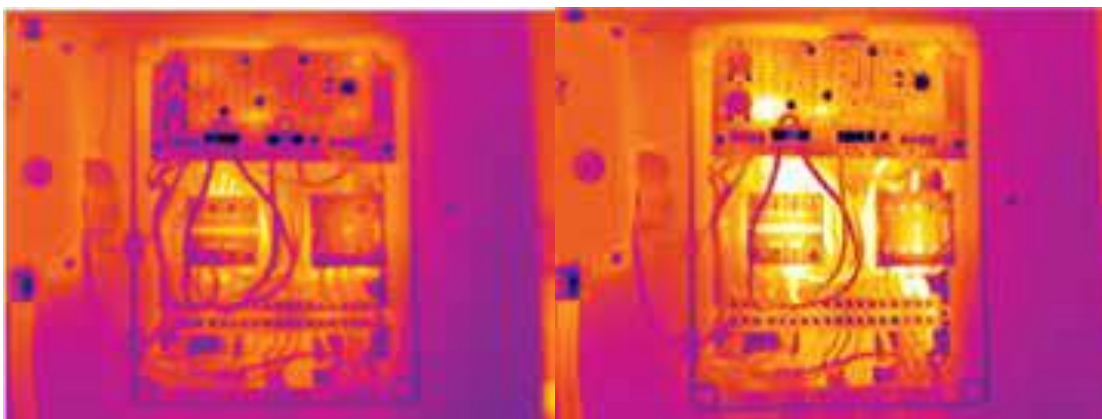
b. Teplotní citlivost

Teplotní citlivostí se rozumí, jakou diferenci teplot je možné zachytit termokamerou. Lepší teplotní citlivostí je termokameře umožněno zaznamenat a zobrazit nižší teplotní rozdíl, čímž bude výsledný termogram o to přesnější. U běžně dostupných termokamer se teplotní citlivost pohybuje okolo 100 mK (tzn. 0,1 °C), u průmyslových termokamer se lze dostat až k hodnotě 30 mK (tzn. 0,03 °C). [14]

c. Rozlišení detektoru

Rozlišením je míněna kvalita obrazu. Na níže vyobrazené komparaci (Obrázek 7) je možno vidět rozdíly mezi rozlišením termogramu 320x240 pixelů a 640x480 pixelů. Dvojnásobným zvýšením rozlišení je dosaženo čtyřnásobného nárůstu měřících bodů. Aby bylo možné dosáhnout stejné kvality s rozlišením 320x240 pixelů, bylo by nutné udělat čtyři snímky z poloviční vzdálenosti, oproti jednomu snímku z předem definované vzdálenosti při rozlišení 640x480 pixelů. [13]

Obrázek 7 - Termogram, rozlišení 320x240 pixelů (vlevo), rozlišení 640x480 pixelů (vpravo)



Zdroj: FLIR

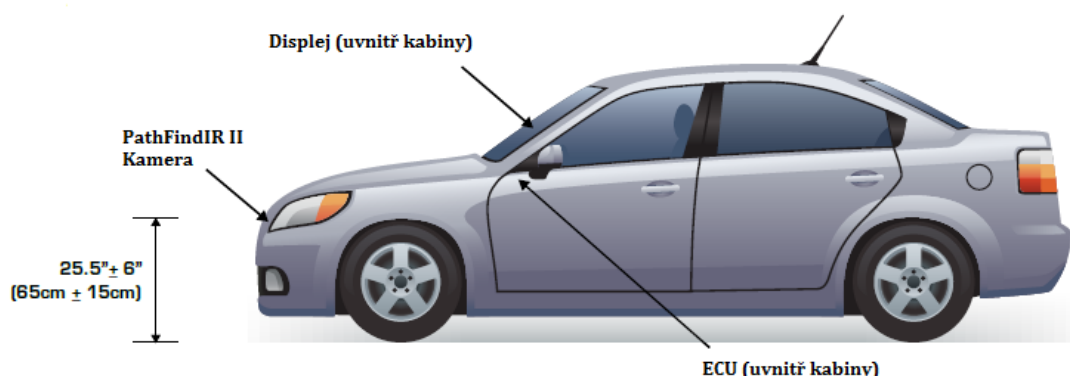
d. Snímkovací frekvence

Známo též pod zkratkou FPS (frames per second = počet snímků za 1 sekundu), je důležitým faktorem termokamer. Čím více snímků je za 1 sekundu termokamera schopna vytvořit, tím se obraz zdá plynulejší. Ideální, pro přesnější měření s termokamerami, je 30 FPS a vyšší. S termokamerami je nejčastěji pracováno bez stabilizace, proto je větší množství FPS důležité, aby na termogramu nedocházelo k příliš velkým odchýlkám, které by mohly být způsobeny nízkými FPS. [14]

3.1.12 FLIR PathFindIR II

Americká společnost FLIR přišla na trh s produktem PathFindIR II, jenž je používán v automobilovém průmyslu jako kamera kombinující termovizní a noktovizní prvky. Jedná se o systém propojující kameru v přední části vozidla, ECU (Electronic Control Unit = vestavěný počítač řídící automobilové systémy) a displej uvnitř vozidla (Obrázek 8).

Obrázek 8 - uložení kamery PathFindIR II a jejího příslušenství



Zdroj: FLIR

Kamera je instalována do předního nárazníku ve výšce 65 cm (+- 15 cm dle typu vozidla a nárazníku). Běžné světlomety mohou osvětlit až 450 stop (až 137,16 metrů, 1 stopa = 30,48 cm) prostoru přímo před sebou. Kamera PathFindIR II detekuje teplo bez potřeby světla, což umožňuje vidět až na vzdálenost 4x vyšší čili maximálně 1800 stop (až 548,64 metrů). Kamera detekuje osoby a zvířata, která zobrazuje jako světlejší objekty na tmavém pozadí. Ostatní objekty (vozidla, stromy...) jsou detekována samozřejmě také, nicméně nejsou tak zesvětlena, jako tepelné objekty. Osoby a zvířata jsou na displeji v kabině žlutě orámována (Obrázek 9), čímž je řidič upozorněn na přítomnost zvířat a osob. Díky tomu dostává řidič více času na reakci, aby se vyhnul případné kolizi.

Obrázek 9 - řidičův pohled z vozidla (vlevo), obraz snímáný kamerou FLIR PathFindIR II (vpravo)

Řidičův pohled z vozidla



FLIR PathFindIR II



Zdroj: FLIR

Kamera (Obrázek 10) je konstruována s ochranou IP69, která zajišťuje ochranu proti vodě, prachu a chladnému počasí. Proniká prachem, mlhou nebo kouřem díky čemuž je možno jasně vidět blízka vozidla na komunikaci, osoby a zvířata. S rozlišením kamery 320x240 pixelů a obnovovací frekvencí 30 Hz (30 FPS) je možné vcelku detailně vidět vše před sebou. Displej na palubní desce má rozměry zhruba velikosti navigace v novějších vozidlech.

Obrázek 10 - Kamera FLIR PathFindIR II



Zdroj: FLIR

Celý tento systém je propojen následovně: Kamera je vložena do speciálního nástavce, který je poté montován do nárazníku. Kamera je propojena s ECU kabelem. ECU je následně propojeno video/napájecím kabelem s displejem v kabině, který je uchycen na nástavci. [15] [16]

3.2 Noktovize

Bez ohledu na to, jaká se nám může kolem zdát tma, vždy je v ní obsažené i světlo. V podstatě je téměř nemožné odstranit z prostoru veškeré světlo. Problémem je, že ne všechny druhy světla jsou viditelné lidským okem, a právě z tohoto důvodu se nám zdají noci bez měsíčního svitu tak temné. Ačkoli UV a infračervené světlo patří do pro nás neviditelného světelného spektra, zajímavé je, že v podstatě fungují stejně jako světlo pro nás viditelné, rovněž se odrážejí od objektů. Problémem zůstává fakt, že jsou pro nás pouhým okem neviditelné, a to z důvodu, že lidské tělo samo o sobě toto záření vydává. Kdyby tomu tak nebylo, samotné oko by vlastním infračerveným zářením oslnilo samo sebe, a tedy by nic nevidělo. Někteří plazi ovšem mají receptory infračerveného světla, což jim umožňuje vidět ve tmě. Abychom i člověku umožnili vidět ve tmě, došlo k vynalezení přístroje pro noční vidění, který dokáže zesílit a převést pro nás neviditelná světelná spektra do podoby, kterou oko rozezná.

3.2.1 Historie noktovize

Noktovizor je názvem pro přístroj určený k usnadnění nočního vidění za temných nocí. Nejširše se využívá pro armádní účely a také k lovu. Za roky vývoje prošla noktovize výrazným zlepšením, a to především z hlediska vykreslení detailu s ohledem na vzdálenost objektu a samotného zesvětlení sledovaného obrazu.

V roce 1929 byla vynalezena maďarským vysokoškolsky vzdělaným fyzikem Kálmánem Tihanyiem první infračervená kamera, a to na základě zakázky Velké Británie pro účely letecké obrany země. Šlo se o první vynález tohoto typu vůbec.

V historii armády neválčili v noci z důvodu zmatení, nedostatečného přehledu na bojišti a složité komunikaci. K prvnímu využití zařízení pro noční vidění došlo v období 2. světové války, kde pomohlo zmírnit dopady nedostatku viditelnosti na boj v noci. K širšímu užití došlo v období války ve Vietnamu, kde jej vojáci využili v mnohem vyšší míře a americká armáda tak získala výhodu, která jim pomohla částečně snížit nevýhodu způsobenou okolním prostředím. Od té doby tato technologie ušla dlouhou cestu a vyvinula se z 0. generace (dále jako Gen 0) až do podoby dnešní 4. generace (dále jako Gen 4).

První přístroj pro noční vidění, tedy Gen 0, byl představen německou armádou již v roce 1939, jehož samotný vývoj započala německá společnost AEG v roce 1935.

Nejprve bylo nové zařízení umístěno na bitevních tancích Panter. Než skončila 2. světová válka, německá armáda byla vybavena nemalým počtem těchto tanků s možností nočního vidění. Samotní vojáci měli k dispozici systém Vampir, který byl použit až ke konci války rotami, které se výmluvně jmenovali Nachtjäger (v překladu Noční lovec). Jednalo se o přenosný systém nočního vidění vážící 2,25 kilogramu, který byl umístěn na útočnou pušku StG 44 a voják nesl na zádech zdrojovou jednotku ukrytou v dřevěném obalu vážícím 13,5 kilogramu, jež systém udržovala v chodu.

Obrázek 11 - Systém pro noční vidění Vampir



Zdroj: military-medicine.com

Zároveň s vývojem v Německu se i Spojené státy Americké snažili o vývoj této technologie. Američané byli ve svém vývoji také úspěšní a vyvinuli přístroje pro noční vidění M1 a M3, jež v omezené míře pomáhaly odstřelovačům ve válce s Korejí. Tyto dva aktivní systémy využívaly velkého zdroje infračerveného záření, kterými osvětlovaly cíle. Jako materiál zesilovače obrazu byly používány anody a fotokatody vyrobených převážně z cesia, kyslíku a stříbra.

První generace (dále jako Gen 1) přístrojů pro noční vidění byla představena během války ve Vietnamu. Jednalo se o první pasivní infračervený systém, protože předchozí generace patřila k aktivním systémům, což znamená, že cíl musel být osvětlen infračerveným světlem, aby byl řádně viditelný. Samotný patent, který vznikl jako adaptace dřívější Gen 0, patřil americké armádě a závisel na okolním světle místo dřívějšího infračerveného světelného zdroje. K zesílení, respektive zesvětlení, obrazu, byla použita fotokatoda S-20 a napomohla zhruba tisíci násobnému zesílení sledovaného obrazu, bohužel se stále jednalo o rozměrnější část výstroje vojáků.

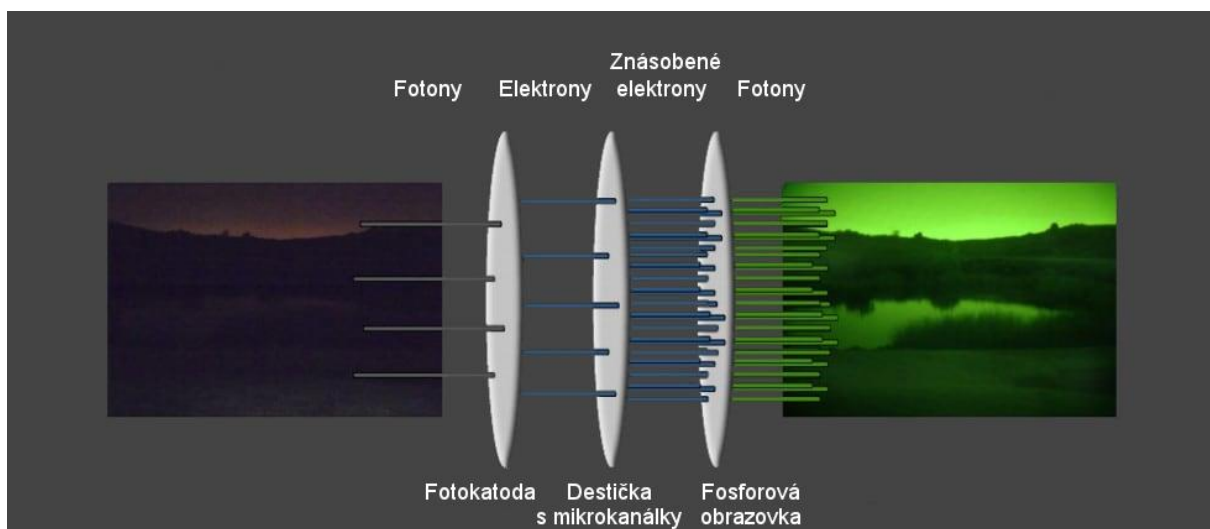
Přístroje 2. generace (dále jako Gen 2) již obsahovaly vylepšený zesilovač obrazu. [17]

3.2.2 Princip fungování noktovize

Infračervené světlo je ve skutečnosti elektromagnetickou radiací podobně jako rádiové nebo světelné vlny. Do určité úrovně bývá produkováno každým objektem, jehož teplota je vyšší než absolutní nula, tedy vyšší než $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Čím teplejší je objekt, tím více infračerveného světla vydává. Slunce například je vynikajícím infračerveným radiátorem.

Zařízení pro noční vidění využívá trubice fotonásobiče, které zesilují světlo jimi procházející. Světlo jako takové se umocnit nedá, ale elektrické signály fungují úplně jinak, proto je základním principem fungování samotná konverze světla do elektrického signálu, který je potom možno zesílit. Tedy trubice fotonásobiče převedou přijaté světlo, svazek fotonů, na elektrony, respektive elektrické signály, které se dále pomocí elektrochemického procesu znásobí. V dalším kroku dochází k jejich usměrnění cestou k fosforové obrazovce, která přemění zmnožené elektrony na viditelné světlo. V této podobě je již viděn jasně čitelný černozeleň obraz.

Obrázek 12 - Schéma přeměny infračerveného světla na viditelné světlo



Zdroj: nightvisionhome.com

3.2.3 Vývoj noktovize

Za posledních více než 40 let se noktovizní přístroje zlepšily z Gen 0 na Gen 4. V této kapitole jsou vysvětleny rozdíly mezi jednotlivými generacemi a následně jsou graficky porovnány na jednom sledovaném objektu (Obrázek 13).

a. Gen 0

Gen 0 využívala aktivního infračerveného záření, tzn. infračervené svítidla (také zvaná IR iluminátor), je připojena k zařízení pro noční vidění (Obrázek 11). Využívá spojení anody s katodou pro urychlení elektronů vedlo k tomu, že zrychlením elektronů byl zkreslen výsledný obraz a tím byla i výrazně snížena životnost trubice. Gen 0 se podařilo velmi rychle duplikovat ostatními nepřátelskými národy, čímž bylo možné za použití nočního vidění pozorovat paprsek z IR iluminátoru promítaného zařízením nepřítele.

b. Gen 1

U Gen 1 došlo k výrazné změně, kterouž je vzdání se od aktivního IR iluminátoru a jeho nahrazení pasivním IR iluminátorem. Zdrojem pasivního infračerveného záření je infračervené záření odražené od hvězd a měsíce. Není již tedy vyžadován umělý zdroj infračerveného světla. Problém nastává u nocí, kdy není vidět měsíc, případně když je oblačno. Stejně tak jako u Gen 0 používá Gen 1 anodu a katodu pro zrychlení elektronů, s čímž souvisí i stejné problémy (snížená životnost

trubice a zkreslený výsledný obraz). Životnost zařízení se pohybuje zhruba kolem 1 500 hodin provozu.

c. Gen 2

Oproti Gen 1 bylo dosaženo u Gen 2 vylepšení v obrazovkách zesilovačů. Nabízí vylepšené rozlišení a přístroje jsou mnohem spolehlivější. Díky přidání destičky s mikrokanálky do trubice zesilovače obrazu je schopna Gen 2 „vidět“ i za extrémně nízkých světelných podmínek, např. noc bez měsíce. Tato destička také oproti původnímu zrychlování elektronů u Gen 0 a Gen 1 zvyšuje počet elektronů, čímž je dosaženo výrazně méně zkresleného a jasnějšího obrazu. Maximální použitelný dosah je kolem 200 yardů (182,88 m). Očekávaná životnost zařízení je zhruba 5 000 hodin provozu.

d. Gen 3

Gen 3 je aktuálně používána americkou armádou. Oproti Gen 2 nedochází k příliš velkým změnám. Nicméně noční vidění třetí generace má vylepšené rozlišení a citlivost. Fotokatoda je vyrobena z arzenidu galia, což je velmi efektivní při přeměně vstupujících fotonů na elektrony. Destička s mikrokanálky je potažena iontovou bariérou, která zásadním způsobem zvyšuje životnost trubice. Oproti předchozím generacím je Gen 3 schopna velmi dobře pracovat i zcela pasivně při velmi malém zbytkovém světle. Maximální dosah je zhruba 300 yardů (274,32 m) a očekávaná životnost přístroje je 10 000 hodin a více.

e. Gen 4

V komparaci s třetí generací proběhlo u Gen 4 odstranění iontové bariéry z destičky s mikrokanálky, čímž byl snížen šum v pozadí a zvýšen poměr signálu k šumu. Odstraněním iontové bariéry bylo umožněno více elektronům dosáhnout fáze zesílení, což vyústilo k jasnějšímu a méně zkreslenému obrazu. Byl přidán automatický napájecí systém, který je schopen prakticky okamžitě reagovat na změnu okolních světelných podmínek. Systém je konstruován tak, aby umožnil měnit napětí fotokatody. Uživatel nočního vidění je pak schopen v prostředí s vysokým světlem velmi rychle přejít na nízké světlo nebo naopak bez nutného zastavení zařízení.

Obrázek 13 - porovnání jednotlivých generací (čistost, jasnost a ostrost sledovaného objektu)



Zdroj: www.binocularsguru.com

3.2.4 Typy noktovizních zařízení

Existuje 5 kategorií, do kterých lze noktovizní přístroje rozdělit dle jejich použití:

- *Monokuláry* – dalekohled pro pozorování jedním okem, vhodný pro pozorovatele, který je společně se střelcem na jednom místě a udává mu polohu lovné zvěře nebo cíle
- *Binokuláry* – běžný dalekohled, akorát s nočním viděním
- *Puškohledy* – využívány k lovu a k armádním účelům, lze kombinovat obyčejný puškohled s noktovizním přístrojem nebo použít rovnou puškohled s noktovizí
- *Kamery* – ve většině případů jsou kamery využívány k zabezpečení ať už uvnitř objektu nebo venku před objektem
- *Brýle* – standardizovaný pojem pro párové noční vidění připevněné na hlavě (helmě) a hojně užívaný typ zařízení pro noční vidění armádními složkami USA [18][19]

3.2.5 Česká značka Night Pearl

Roku 2000 byla založena majitelem Miroslavem Rudelou a jeho synem Jakubem Rudelou firma Záhoří Trade, s.r.o. Začínali výrobou doplňků pro myslivost, nyní se specializují na prodej a výrobu noktovizních a termovizních přístrojů a doplňků pro lov. Během roku 2008 byli osloveni americkou firmou ATN, zda by nechtěli prodávat jejich pozorovací přístroje a noktovizní přístroje. Hotové přístroje začali dovážet z USA. Postupně ale jejich zákazníci chtěli zařízení s kvalitnějším obrazem, což bohužel nebylo možné dovážet kvůli legislativě (z USA lze exportovat pouze destičky s mikrokanálky do citlivosti 350 $\mu\text{m}/\text{lm}$). Začalo tedy dovážení jednotlivých komponent, které byly následně kompletovány na území České republiky.

Aktuálně je značka Night Pearl jediným českým výrobcem noktovizních a termovizních zařízení, která na domácím trhu konkuruje firmám jako Pulsar, ATN nebo FLIR. Ve své prodejní nabídce mají dvě produkční řady – termovizi a noční vidění, jež obsahují velmi podobné produkty, jako monokuláry, binokuláry, zaměřovače, puškohledy a předsádky. Vlajkovou lodí jsou pro firmu jednoznačně předsádky (ať už termovizní nebo noktovizní). Jde o konstrukci monokuláru, která je nasazena před puškohled a nemá žádnou vlastní záměrnou osnovu. Díky tomu střela letí vždy tam, kam má. Cenově se u Night Pearl předsádky pohybují od 50 tisíc Kč a výše, nicméně jde o precizně zpracovaná zařízení, která jsou velmi rychlá a jednoduchá na výměnu. [20]

4 Praktická část práce

V dnešní době lze termovizní a noktovizní přístroje využít v širokém spektru. V praktické části této bakalářské práce bylo měřeno termovizní kamerou zahřívání brzdových kotoučů na vozidle při různých intenzitách brždění. Za použití noktovize bylo testováno pozorování a lovení zvěře v noci. Rovněž je v praktické části uvedeno ekonomické zhodnocení termokamery a noktovize používaných při výzkumu.

4.1 Měření zahřívání brzdových kotoučů termokamerou

Pro praktickou část termovizního měření byla využita termokamera FLIR E5 WiFi (Obrázek 14) vypůjčená z katedry vozidel a pozemní dopravy TF ČZU. Testovacím vozidlem byla Škoda Octavia II, která je osazena na přední i zadní nápravě brzdovými kotouči. Testovací vozidlo bylo posazeno na 16" hliníkových discích se zimními pneumatikami Continental a rok starými brzdami (zhruba 10 000 km najeto běžnou jízdou). V době testování se ve vozidle nacházel pouze řidič, tzn. hmotnost celého testovacího subjektu (vůz + řidič) je odhadnuta na 1 500 kg.

Obrázek 14 - Termokamera FLIR E5 WiFi



Zdroj: vlastní foto

Termokamera pracuje s teplotním rozsahem $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$. V rámci měření je počítáno s odchylkou $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pakliže je měřena teplota pod bodem mrazu či v rozpětí 10 až $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, je počítáno s odchylkou $\pm 2\text{ }%$. Aktuální pořizovací cena v ČR se pohybuje kolem $35\ 000\text{ Kč}$ s DPH, což se jeví jako dobrá cena za kvalitu, která je v této kameře obsažena.

Zvolena byla zhruba 200 km dlouhá trasa (100 km tam, 100 km zpět) z Prahy směrem na sever, kde větší část z trasy byly pozemní komunikace II. a III. třídy s ostrými zatáčkami. Během jedné trasy byly provedeny 3 měření – po 20 km, po 60 km a v cíli. První trasa byla provedena stylem řízení brzda-plyn, druhá s mírnějším bržděním a využíváním převodových stupňů k brždění motoru. Venkovní teplota po celou dobu měření se pohybovala kolem 16 °C. Vozidlo bylo před druhou jízdou dochlazeno tak, aby měření byla co nejrelevantnější a ukazovala skutečný stav zahřátí kotoučů.

Veškeré měření probíhalo za dne, bez deště a sněhu, na suché vozovce.

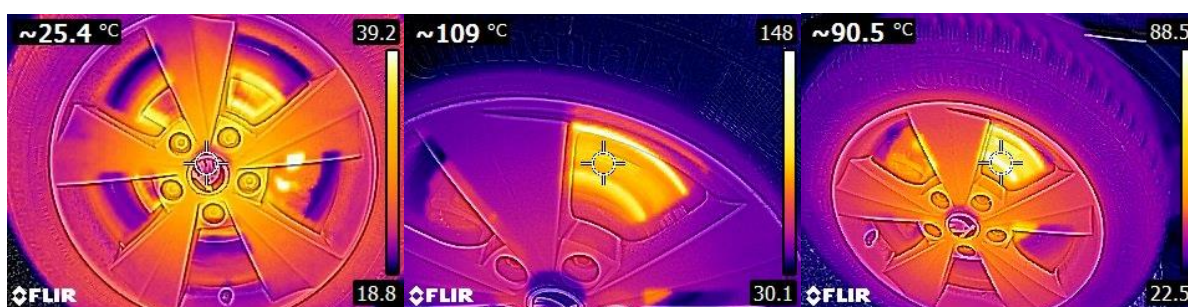
Testování stylem řízení brzda-plyn

První část trasy, tedy 20 km, z větší části probíhala na rychlostní silnici. Provoz v danou dobu nebyl jinak výrazný, tudíž styl řízení brzda-plyn byl použit pouze v případech, kdy bylo nutné předjet jiné vozidlo a následně zpomalit na maximální povolenou rychlost. Průměrná hodnota zahřátí kotoučů dosáhla přes 25,4 °C (Obrázek 15, vlevo), maximální zahřátí kotouče se pohybovalo lehce pod 40 °C.

Druhá část trasy (40 km) probíhala na komunikacích II. a III. třídy s velkým počtem ostrých zatáček a nemalým počtem obcí. Rovněž doprava oproti první části trasy razantně zesílila, obzvláště přibyla nákladní vozidla. V tomto úseku bylo maximálně využito stylu řízení brzda-plyn, což se výrazným způsobem projevilo na zahřátí brzdových kotoučů. Průměrně se každý kotouč zahřál na 109 °C, maximální teplotu bylo možno naměřit na krajích kotoučů, která dosahovala bezmála 150 °C (Obrázek 15, uprostřed).

V poslední části trasy (40 km) ubylo ostrých zatáček, přibily delší rovné úseky komunikace, a i množství obcí v úseku se zvýšilo. Nutno podotknout, že značná část tohoto posledního úseku byla do kopce, čímž byla potřeba použití brzd lehce snížena. To se také projevilo na výsledcích měření. Na konci této 100 km trasy se průměrná teplota na kotoučích pohybovala kolem 90,5 °C (Obrázek 15, vpravo).

Obrázek 15 - zahřátí kotoučů (brzda-plyn) – 1. část (vlevo), 2. část (uprostřed), 3. část (vpravo)



Zdroj: vlastní měření

Kompletní výsledky lze vidět v tabulce 3.

Tabulka 3 - hodnoty teplotního měření (brzda-plyn)

| 1. trasa brzda-plyn | 1. část (po 20 km) | 2. část část (po 60 km) | 3. část část (po 100 km) |
|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| max. teplota | 39,2 °C | 148 °C | 88,5 °C |
| prům. teplota | 25,4 °C | 109 °C | 90,5 °C |
| min. teplota | 18,8 °C | 30,1 °C | 22,5 °C |

Zdroj: vlastní měření

Testování běžným stylem řízení

Před druhou částí testování se nechalo vozidlo řádně vychladit na okolní teplotu (16 °C). V rámci běžného stylu řízení bylo více využíváno motoru a převodových stupňů k brždění než samotných brzd.

První část trasy (40 km, srovnatelná s 3. částí při testu brzda-plyn) proběhla za zvýšeného provozu. Značná část tohoto úseku se nacházel z kopce, tudíž při správném podržování bylo možno omezit používání brzdového pedálu ve většině případů na lehké sešlápnutí brzdy. Po 40 km průměrná hodnota teploty kotouče dosáhla 42,2 °C (Obrázek 16, vlevo).

V druhé části (40 km, srovnatelná s 2. částí při testu brzda-plyn) zůstal provoz beze změny. S občasným předjížděním a občasným bržděním kvůli bezpečnosti bylo možno oproti stylu brzda-plyn snížit zahřátí kotoučů v průměru o 44 °C na průměrnou hodnotu 63,8 °C (Obrázek 16, uprostřed). Nutno podotknout, že tento úsek byl oproti měření brzda-plyn o 20 km delší, tudíž mohlo dojít k většímu chlazení kotoučů při delší jízdě.

V třetí části (20 km, srovnatelná s 1. částí při testu brzda-plyn) opět většina jízdy probíhala na rychlostní silnici za zvýšeného, ale neomezujícího provozu. Po skončení jízdy byly naposledy termokamerou změřeny teploty zahřátých kotoučů, které se pohybovaly v průměru 62,7 °C (Obrázek 16, vpravo). Kompletní výsledky lze vidět v tabulce 4.

Obrázek 16 - zahřátí kotoučů (běžný styl) – 1. část (vlevo), 2. část (uprostřed), 3. část (vpravo)



Zdroj: vlastní měření

Tabulka 4 - hodnoty teplotního měření (běžný styl)

| 2. trasa běžný styl | 1. část (po 40 km) | 2. část část (po 80 km) | 3. část část (po 100 km) |
|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| max. teplota | 56,3 °C | 111 °C | 88,3 °C |
| prům. teplota | 42,2 °C | 63,8 °C | 62,7 °C |
| min. teplota | 22,4 °C | 35,2 °C | 26,4 °C |

Zdroj: vlastní měření

4.2 Využití noktovizního zařízení při pozorování zvěře

V rámci nočního pozorování zvěře bylo využito nočního vidění Yukon Sentinel 3x60, model 26016T (Obrázek 17). Jedná se o noční vidění Gen 1 s maximální detekční vzdáleností +/- 170 metrů (standardizovaný objekt 1,7x0,5 m při běžných nočních podmínkách – 0,05 lux, .čtvrt měsíc). Zařízení bylo využito hlavně jako puškohled, částečně však také jako monokulár pro sledování zvěře.

Obrázek 17 - Sentinel 3x60, model 26016T

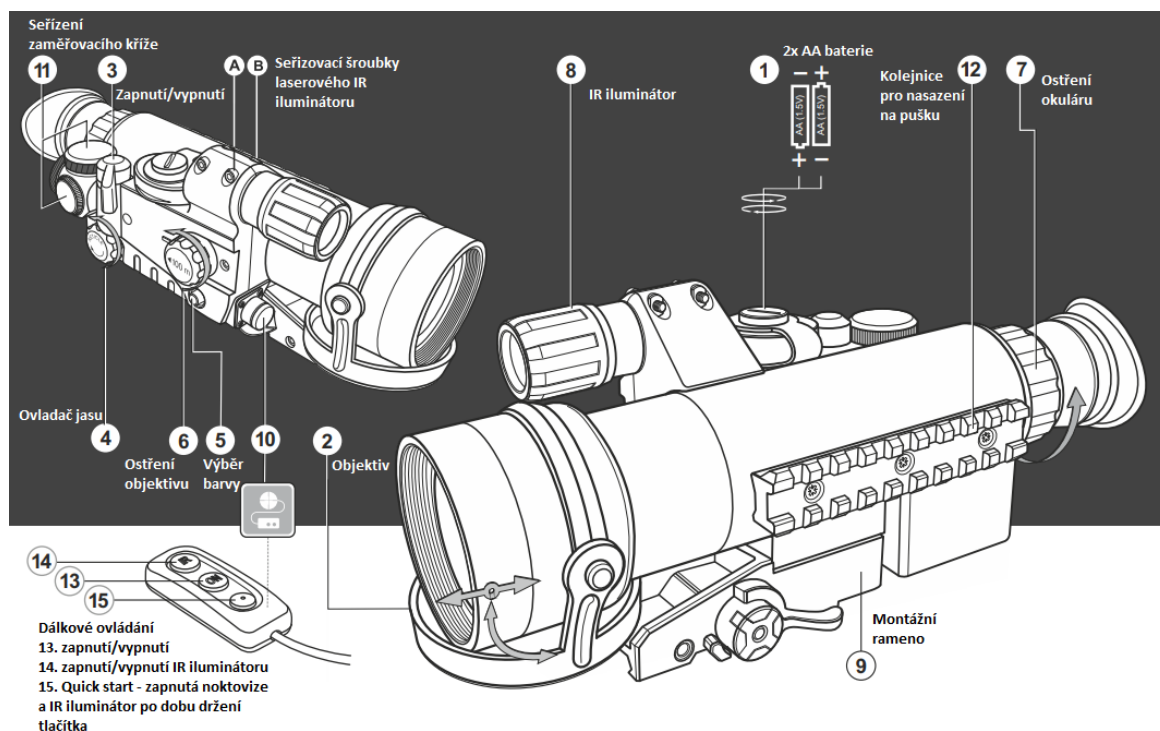


Zdroj: yukonopticsglobal.com

Při pozorování a lovu zvěře je velmi důležité, aby, ať už loví člověk sám nebo s pozorovatelem, bylo zvoleno vhodné místo, ze kterého bude dobrý rozhled (ideálně posed). Dále je třeba dbát na vhodnou obuv a oblečení, čímž je zaručen co možná nejtišší pohyb.

Sentinel 3x60 disponuje titanovým tělem, díky čemuž váží necelý 1 kilogram, dálkovým ovládáním, ochranným krytem objektivu, systémem vnitřního ostření a zaměřovacím křížkem typu green-on-green (zelený křížek na zeleném poli) nebo red-on-green (červený křížek na zeleném poli). Konstrukce (Obrázek 18) snese velké otřesy, tělo přístroje je osazeno dodatečnou montážní lištou, kam lze namontovat příslušenství (přídavnou IR svítilnu či směrový mikrofon).

Obrázek 18 - Schéma přístroje Sentinel 3x60



Zdroj: yukonopticsglobal.com

Společně se zvětšením 2,5x až 3x, dobrým rozlišením a vysokou kvalitou obrazu je možno pozorovat nebo lovit zvěř na vzdálenost přes 100 metrů a stále bude jasně viditelná. Toto noční vidění má možnost pořizovat fotografie (Obrázek 19) nebo video, což může být užitečné při sčítání zvěře v lese nebo při mapování terénu, kde se zvířata pohybují. [21]

Obrázek 19 - Pohled skrz puškohled



Zdroj: Yukon Sentinel 3x60

Aktuální cena tohoto noktovizního zařízení je kolem 15 000 Kč. Pro běžné pozorování je dostačující, nicméně existují už i jiné novější modely, které budou parametrově lepší s podobnou cenou. Taktéž se při lovu stále častěji začíná používat termovize, která je v oboru infračerveného záření mladší, jelikož není třeba rozeznávat případné splývající objekty (zvěř) s okolními stromy, keři, vysokou trávou apod. Termovizní kamery krásně zobrazují teplokrevná zvířata oproti okolnímu prostředí. Noktovizní sledovací zařízení se skvěle doplňují s termovizními, obzvláště je-li pozorován např. jelen. Termovizní kamera zachytí tepelný bod, tzn. celé tělo, ale není vždy schopna rozeznat paroží. Jelikož jde o kost, tak nevyzařuje tak velký tepelný bod, jako zbytek těla. Pakliže si lovec není jist, zda jde o jelena, může využít noktovizního monokuláru, kterým rychle zkontroluje pozici zvířete a zjistí (kontrolou paroží), zda o jelena jde či nikoliv.

5 Závěr

Bakalářská práce informuje o systémech termovize a noktovize, o tom, jak fungují, z čeho jsou sestaveny, k čemu se využívají a jak se za dobu své existence vyvinuly. Díky analýze odborných textů a publikací byly informace předány v maximální možné míře a srozumitelně.

V praktické části byly cíle dva, a to termovizní měření zahřívání kotoučových brzd a noktovizní sledování zvěře v noci. Níže jsou formulovány výsledky.

Termokamerou FLIR E5 WiFi byla úspěšně provedena měření zahřívání brzdových kotoučů po určité ujeté vzdálenosti při dvou stylech jízdy. Z provedených měření lze usuzovat, že při stylu jízdy brzda-plyn došlo k výrazně vyššímu zahřátí brzdových kotoučů než při běžné jízdě. Průměrné naměřené teploty u stylu brzda-plyn (20 km; 60 km; 100 km) jsou následující: 25,4 °C; 109 °C; 90,5 °C. U běžného stylu jízdy (40 km; 80 km; 100 km) byly naměřeny tyto hodnoty: 42,2 °C; 63,8 °C; 62,7 °C. Z výsledků je patrné, že styl jízdy má velký vliv na zahřátí brzdových kotoučů. Měřené vzdálenosti a úseky byly sice stejné, nicméně zvolená trasa nebyla rovná (1. trasa více do kopce, 2. trasa více z kopce) což ovlivnilo naměřené výsledky, hlavně tedy první naměřenou hodnotu u běžného stylu jízdy. I s tímto ovlivněním ale lze tvrdit, že běžný styl řízení je šetrnější k brzdám jako takovým a brzdové kotouče dosahují řádově nižších teplot při stejné ujeté vzdálenosti.

S noktovizorem Yukon Sentinel 3x60 a dobrými testovými podmínkami (čisté nebe) bylo možno dohlédnout i na 200 metrů vzdálenou zvěř a ve většině případů bez sebemenších problémů zvěř rozeznat. V zbylých pár případech byl s sebou na posed vzat i termovizní monokulár, který dostatečně přesně dokázal identifikovat případné nesrovnalosti při použití noktovizoru.

Termokamera FLIR E5 WiFi použitá při praktické části se aktuálně pohybuje při koupi úplně nové kamery kolem 35 000 Kč. Díky tomu, že FLIR je výborným výrobcem ať už termovizní nebo noktovizní techniky, tak si myslím, že tato cena za profesionální průmyslovou termokameru je naprosto odpovídající. Noktovizor Yukon Sentinel 3x60 se v době psaní této práce již běžně neprodával, ale dal se na pár internetových stránkách najít s prodejní cenou kolem 15 000 Kč. Jelikož jde o noktovizi Gen 1, tak za podobnou cenu, 16 300 Kč, je možné pořídit např. noktovizor s puškohledem ATN X-SIGHT II HD 3-14X, jenž je několikrát lepší. Jelikož jdou technologie stále

dopředu, tak lze očekávat v řádech jednotek až desítek let další velké posuny v oblasti termovize a noktovize.

6 Seznam použitých zdrojů

1. elovec, Termovize, [online], [cit. 01. 10. 2019], Dostupné z: <https://www.elovec.cz/optika-svitilny/termovize>
2. Wikipedia, Thermographic camera, [online], [pub. 24. 02. 2020] [cit. 01. 03. 2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic_camera
3. Paul W. Kruse, Uncooled Infrared Imaging Arrays, Systems and Applications, Bellingham, Washington, USA: SPIE Press, 2001, ISBN 9780819480484
4. doc. Ing. E. Belas, doc. RNDr. P. Moravec, Fotonové detektory záření, [online], [pub. 10. 06. 2017] [cit. 11. 08. 2019], Dostupné z: <http://semiconductors.mff.cuni.cz/>
5. K. Kadlec, Bezdotykové měření teploty, [online], [pub. 03. 12. 2009], [cit. 12. 08. 2019], Dostupné z: <https://docplayer.cz/4622871-Bezdotykovye-mereni-teploty.html>
6. FLIR, ThermaCam™ E 45 – User's manual, [online], [pub. 28. 02. 2006], [cit. 14. 08. 2019], Dostupné z: <https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Documents/E45-en.pdf>
7. Wikipedia, Stefan-Boltzmann law, [online], [pub. 25. 02. 2020], [cit. 28. 02. 2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann_law
8. Admin e-myslivost.cz, Termovize, Termokamera, Infračervená kamera – přístroj pro detekci tepla, [online], [cit. 17. 12. 2019], Dostupné z: <https://www.e-myslivost.cz/cs/termovize-termokamera-infracervena-kamera-pristroj-pro-detekci-tepla.html>
9. Termokamera.cz, Termokamera, [online], [cit. 10. 09. 2019], Dostupné z: <http://www.termokamera.cz>

10. Wikipedia, Wien's displacement law, [online], [pub. 17. 02. 2020], [cit. 20. 02. 2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wien%27s_displacement_law
11. Stemmer Imaging, Let's see the invisible; SWIR and LWIR camera technology, [online], [pub. 06. 2013], [cit. 04. 01. 2020], Dostupné z: <https://docplayer.net/26744012-Swir-and-lwir-camera-technology-let-s-see-the-invisible.html>
12. ZČU v Plzni, Emisivita, [online], [cit. 02. 01. 2020], Dostupné z: <https://ttp.zcu.cz/cz/laboratore/opticke-vlastnosti/opticke-vlastnosti/emisivita>
13. FLIR, [online], [cit. 05. 01. 2020], Dostupné z: <https://www.flir.com>
14. FLIR, Využití termografie v průmyslu, [online], [pub. 2012] [cit. 12. 02. 2020], Dostupné z: <https://www.blue-panther.cz/vyuziti-termografie-v-prumyslu>
15. FLIR, PathFindIR™ II, [online], [pub. 09. 30. 2016], [cit. 10. 02. 2020], Dostupné z: <https://www.flir.com/products/pathfindir-ii/>
16. Wikipedia, Electronic Control Unit, [online], [pub. 04. 10. 2017], [cit. 10. 02. 2020], Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Electronic_Control_Unit
17. F. M. Jakobs, J. Frischmuth, U. Kreutzmann, A. Werner, Flying with Night Vision Devices, [online], [pub. 01. 12. 2016], [cit. 11. 02. 2020], Dostupné z: <https://military-medicine.com/article/3185-flying-with-night-vision-devices.html>
18. Jeff Tyson, How Night Vision Works, [online], [pub. 27. 04. 2001], [cit. 08. 02. 2020], Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/nightvision.htm>
19. Kalman, Types of Night Vision Devices: You Will Get Overwhelmed!, [online], [pub. 10. 02. 2020], [cit. 22. 02. 2020], Dostupné z: <https://expertnightvision.com/types-of-night-vision-devices/>

20. Jiří Kasina, Časopis Myslivost - Noktovize, termovize, ... a do budoucna vize?, [online], [pub. 10. 2019], [cit: 15. 02. 2020], Dostupné z: <https://www.myslivost.cz/Casopis-Myslivost/MYSLIVOST-Straz-myslivosti/2019/Rijen-2019/Noktovize-termovize-%E2%80%A6-a-do-budoucna-vize>
21. Yukon Advanced Optics, Instructions – Sentinel Night Vision Riflescope, [online], [cit. 01. 03. 2020], Dostupné z: http://ykonopticsglobal.com/upload/medialibrary/9a8/manual_sentinel_l_night_vision_riflescopes.pdf

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 - Elektromagnetické spektrum | 3 |
| Obrázek 2 - Grafické znázornění Planckova vyzařovacího zákona..... | 6 |
| Obrázek 3 - Schéma konstrukce termokamery | 7 |
| Obrázek 4 - Mikrobolometr (vlevo), snímek z elektronového mikroskopu zachycující rozmístění bolometrů do mikrobolometrického pole (vpravo)..... | 9 |
| Obrázek 5 - Spektrální citlivost detektorů | 9 |
| Obrázek 6 - Termokamera FLIR E95 (vlevo), FLIR T1020 (vpravo)..... | 11 |
| Obrázek 7 - Termogram, rozlišení 320x240 pixelů (vlevo), rozlišení 640x480 pixelů (vpravo) | 12 |
| Obrázek 8 - uložení kamery PathFindIR II a jejího příslušenství | 13 |
| Obrázek 9 - řidičův pohled z vozidla (vlevo), obraz snímáný kamerou FLIR PathFindIR II (vpravo) | 13 |
| Obrázek 10 - Kamera FLIR PathFindIR II | 14 |
| Obrázek 11 - Systém pro noční vidění Vampir | 16 |
| Obrázek 12 - Schéma přeměny infračerveného světla na viditelné světlo | 18 |
| Obrázek 13 - porovnání jednotlivých generací (čistost, jasnost a ostrost sledovaného objektu) | 20 |
| Obrázek 14 - Termokamera FLIR E5 WiFi | 22 |
| Obrázek 15 - zahřátí kotoučů (brzda-plyn) – 1. část (vlevo), 2. část (uprostřed), 3. část (vpravo) | 24 |
| Obrázek 16 - zahřátí kotoučů (běžný styl) – 1. část (vlevo), 2. část (uprostřed), 3. část (vpravo) | 25 |
| Obrázek 17 - Sentinel 3x60, model 26016T | 26 |
| Obrázek 18 - Schéma přístroje Sentinel 3x60 | 27 |
| Obrázek 19 - Pohled skrz puškohled..... | 27 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 - Příklady hodnot intenzity záření pro některé teploty | 5 |
| Tabulka 2 - Shrnutí základních diferencí mezi tepelnými a fotonovými detektory | 10 |
| Tabulka 3 - hodnoty teplotního měření (brzda-plyn) | 24 |
| Tabulka 4 - hodnoty teplotního měření (běžný styl)..... | 25 |

Seznam rovnic

| | |
|--|---|
| Rovnice 3.1.13 - Stefan-Boltzmannův zákon | 5 |
| Rovnice 3.1.14 - Wienův posunovací zákon | 5 |
| Rovnice 3.1.15 - Planckův vyzařovací zákon | 6 |