



PŘEDNÁŠKA KURZU MROZ

Speciální aplikace počítačového vidění

P. Petyovský (email: petyovsky@feec.vutbr.cz)

I. Kalová (email: kalova@feec.vutbr.cz)

www.uamt.feec.vutbr.cz/~petyovsky/vyuka/mroz/live



Computer Vision Group

Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

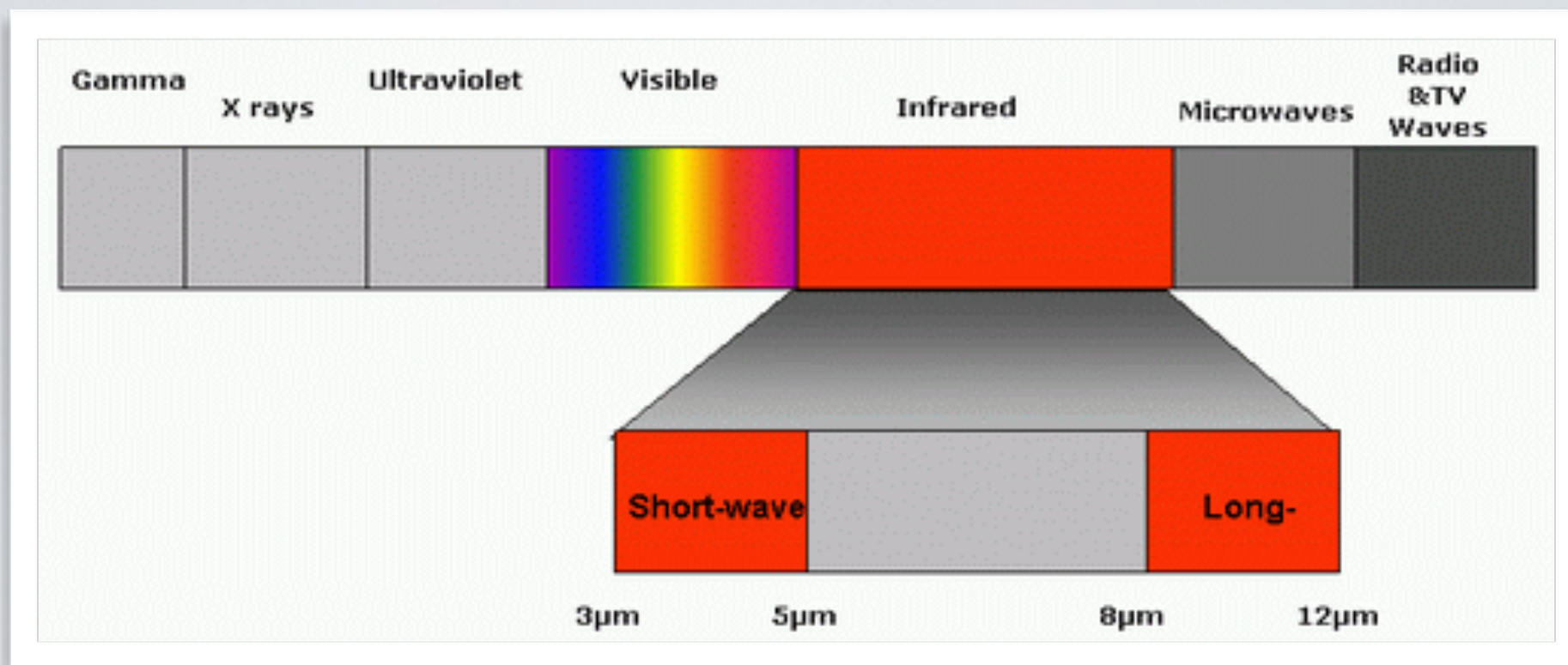
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

Infračervené záření
Bezkontaktní měření teploty
Pyrometrie, termovize
Termovizní kamery
 Základní rozdělení
 Popis komponent
 Optika
 Detektor
 Bolometr, mikrobolometr
Termografie - Aplikace
Zařízení pro zesílení jasu obrazu
Virtualizovaná realita
Rozšířená realita
Teleprezence
Dotazy, úkoly
Literatura, použité zdroje

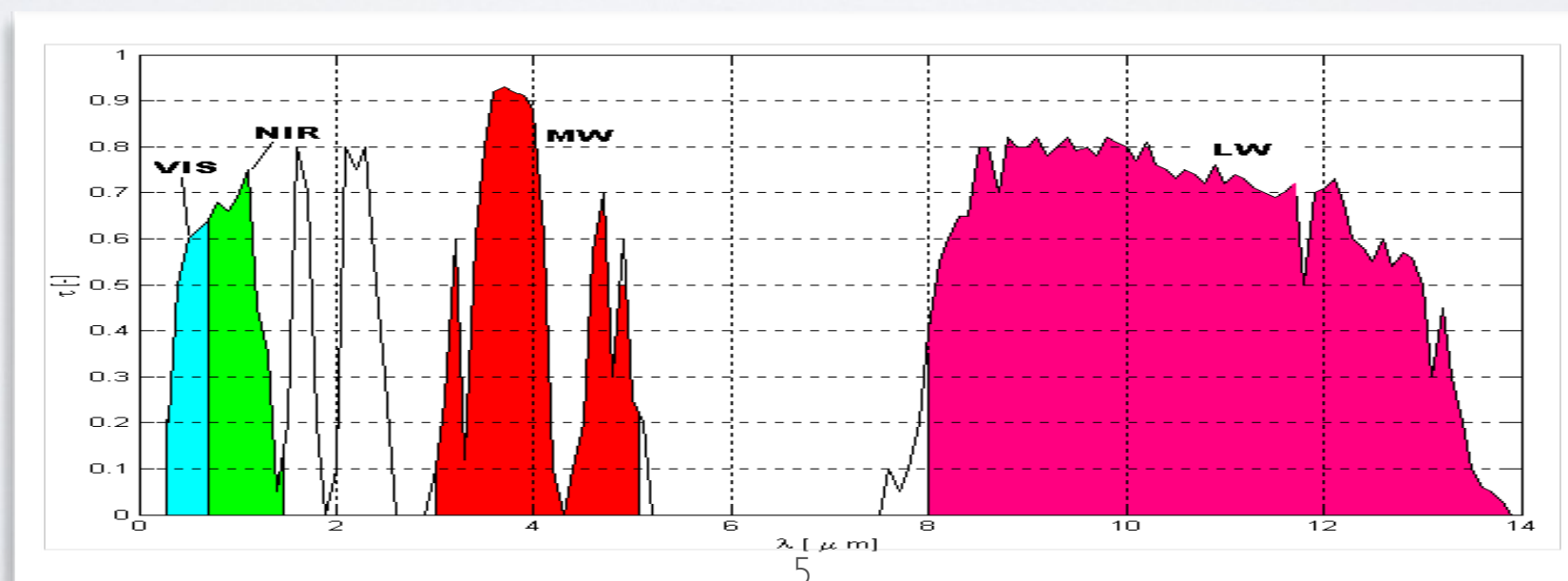
INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ

Infračervená oblast záření leží za červenou barvou spektra viditelného světla na vlnových délkách v rozmezí 0.75 až přibližně 1000 μm .

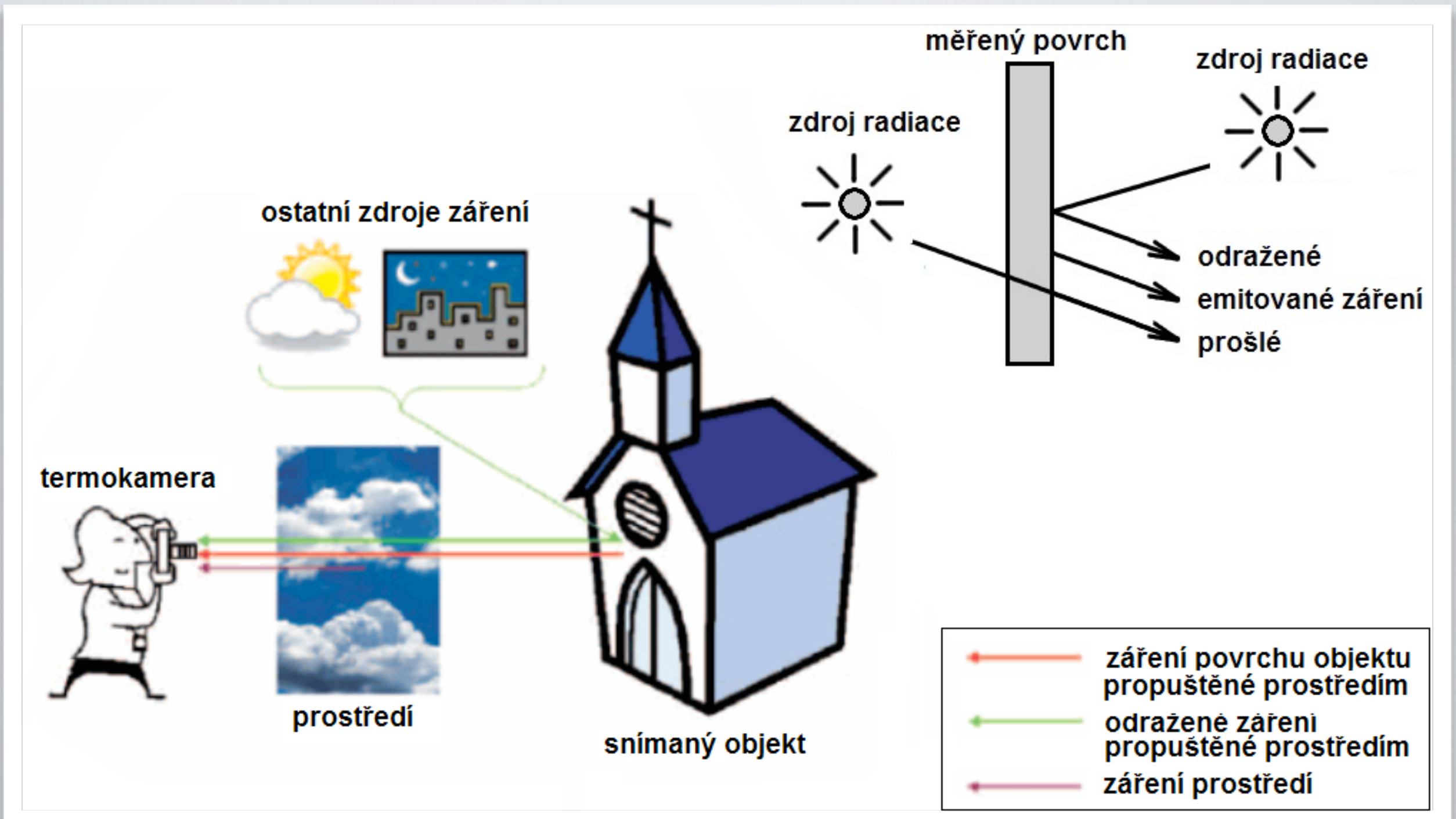
- **Near-infrared (NIR, IR-A DIN):** 0.75-1.4 μm - nepropustnost H_2O , propustnost SiO_2 - telekomunikace, night vision
- **Short-wavelength infrared (SWIR, IR-B DIN):** 1.4-3 μm - max. nepropustnost H_2O , prop. SiO_2 - telekomunikace, optické datové trasy
- **Mid-wavelength infrared (MWIR, IR-C DIN, IIR):** 3-8 μm - propustnost H_2O - tepelná signatura, navádění, vojenská technika
- **Long-wavelength infrared (LWIR, IR-C DIN):** 8–15 μm - propustnost H_2O - hlavní oblast termovize, termokamery
- **Far infrared (FIR):** 15 - 1000 μm - chemie, spektroskopie, astrofyzika



Na přenos infračerveného záření mají pak vliv i další absorpce v atmosféře, což ve výsledku znamená, že pro měření v oblasti běžných teplot se využívá pásem 3 až 5 μm nebo 8 až 14 μm – tzv. atmosferická okna.



Tepelné infračervené záření měřeného povrchu pochází ze tří zdrojů a to: záření ze snímaného povrchu (emitované), záření odražené snímaným povrchem a záření prostředí okolí objektu.



BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLOTY

Každý objekt jehož teplota je nad hodnotou absolutní nuly (tj. 0 K = -273.15 °C) emituje záření v infračervené oblasti. Rozložení záření z pohledu vlnových délek (frekvencí) pro absolutně černé těleso (těleso s maximální emisivitou 1.0) je vyjádřena podle **Planckova vyzařovacího zákona**.

$$E_{0\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1}$$

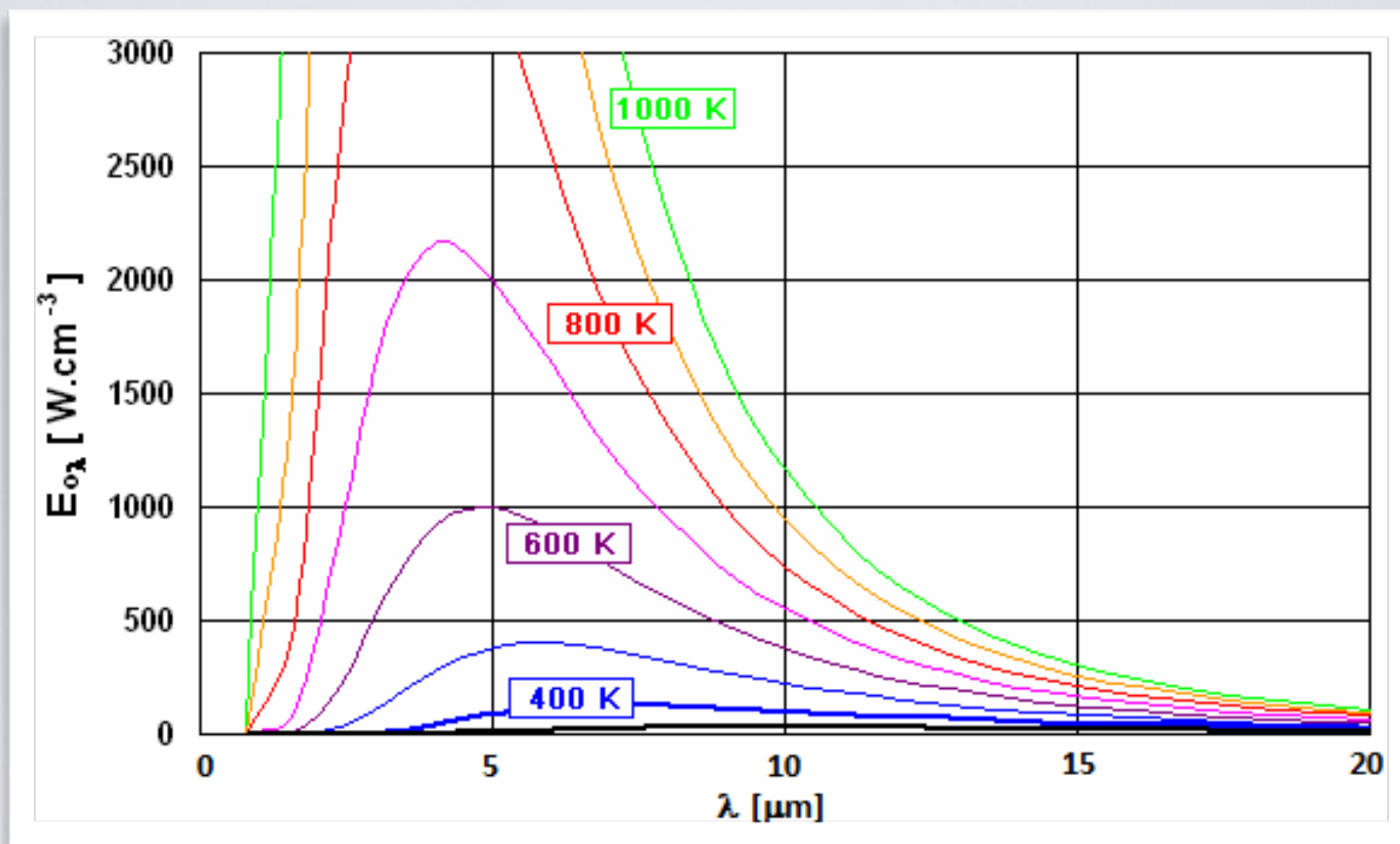
T [K] ... teplota objektu

λ [m] ... vlnová délka záření

$c_1 = 3.74 \cdot 10^{-16}$ W.m⁻² ... konstanta

$c_2 = 1.44 \cdot 10^{-2}$ K.m ... konstanta

$E_{0\lambda}$ [W.m⁻³] ... spektrální hustota zářivého toku černého tělesa



Na těchto křivkách je možné najít takovou vlnovou délku, na které dochází k maximální intenzitě vyzařování v závislosti na aktuální teplotě tělesa. Příjem infračerveného záření a určení jeho vlnové délky, tak umožňuje bezdotykové měření teploty libovolného objektu.

V praxi se však k bezkontaktnímu měření teploty využívá spíše měření celkové energie vyzářené sledovaným objektem v určitém intervalu. Celková vyzářená energie je integrálem plochy pod Planckovou křivkou a je definována **Stefan-Boltzmannovým zákonem**,

$$E_0 = \sigma T^4 \quad \text{Černé těleso}$$

$$E_0 = \varepsilon \sigma T^4 \quad \text{Šedé těleso (reálné)}$$

kde: $\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8}$ je Boltzmannova konstanta, ε je emisivita povrchu tělesa.

Pro praktické měření tepelného obrazu tělesa musíme vzít v úvahu tyto dva hlavní faktory:

- Absolutní teplota objektu - určuje vlnovou délku, na které dochází k maximu vyzařování. Ovlivňuje celkové množství záření.
- Emisivita objektu - definuje množství emitovaného záření.

Emisivita je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa se stejnou teplotou. Určuje tak schopnost tělesa vyzařovat teplo. Je bezrozměrná.

Materiál	Emisivita	Materiál	Emisivita	Materiál	Emisivita
Asfalt, dlažba (vozovka)	0,93	Lak - černý	0,96	Kůže - hladká	0,94
Beton - drsný	0,94	Lak - čirý na hliníkové fólii	0,08	Cín - nezoxidovaný	0,04
Beton - taška, bez příměsí	0,62	Lak - čirý na matné mědi	0,64	Pocínované železo, lesklé	0,05
Břidlice	0,67 - 0,80	Lak - červený na hliníkové fólii	0,61	Hliník - nezoxidovaný	0,02
Cihla - červená, surová	0,93	Nátěry - dle barvy	0,90 - 0,96	Hliník - zoxidovaný	0,11
Cihla - šamotová	0,75	Nátěr - bronzový, pryskyřic. lak	0,53	Oxid měďný	0,87
Kamenné zdivo	0,93	Nátěr - hliníkový 26 % Al	0,3	Měď - černá zoxidovaná	0,78
Bílá keramika, glazovaná	0,9	Dřevo - bukové, hoblované	0,94	Měď - vysoce leštěná	0,02
Kamenina, neglazovaná	0,93	Dřevo - smrkové, smirkované	0,89	Měď - válcovaná	0,64
Porcelán	0,92	Bavlněná látka	0,77	Nikl - leštěný	0,05
Mramor - bílý	0,95	Hedvábná látka	0,78	Nikl - zoxidovaný	0,31
Mramor - leštěný šedý	0,75	Voda	0,67	Rtuť	0,1
Mramor - hladký bílý	0,56	Zemina - povrchová	0,38	Stříbro - leštěné	0,01
Písek	0,76	Zemina - černá hlína	0,66	Zlato - leštěné	0,02
Štěrk	0,28	Žula	0,45	Železo - červená rez	0,7
Pryž - tvrdá	0,94	Papír	0,93	Železo - zoxidované	0,74
Pryž - měkká, šedá	0,86	Plast	0,91	Železo - svářková ocel, matná	0,94

PYROMETRIE, TERMOVIZE

Pyrometrie je nauka o bezkontaktním měření teploty daného tělesa pomocí měření jeho vlastních emisí elektromagnetického záření a určení hodnoty emisivity jeho povrchu. Tak lze pomocí Stefan-Boltzmannova zákona určit povrchovou teplotu daného tělesa, zatímco se měří jím vyzařované elektromagnetické záření.

Pyrometr je přístroj obsahující bezkontaktní detektor teploty pracující na principu pyrometrie, tzn. měření celkového vyzářeného tepelného výkonu prostřednictvím infračerveného záření.

Termovize (termografie) je obor věnující se získáváním a analýzou informací o rozložení teplot na povrchu tělesa (tzv. teplotní pole).

Termovizní kamery - základní rozdělení

Dle způsobu zobrazení teplotního pole na senzor:

- kamery s rozkladem obrazu – skenery
- bez rozkladu obrazu – s maticovými detektory

Dle principu měření:

- tepelné detektory
- kvantové detektory

Dle způsobu chlazení:

- kamery s nechlazeným detektorem - levnější
- kamery s chlazeným detektorem - přesnější

Dle spektrální citlivosti:

- blízké infra – v této oblasti jsou “částečně” citlivé i běžné optické senzory
- krátkovlnné – oblast 3-5 μm
- dlouhovlnné – oblast 8-14 μm

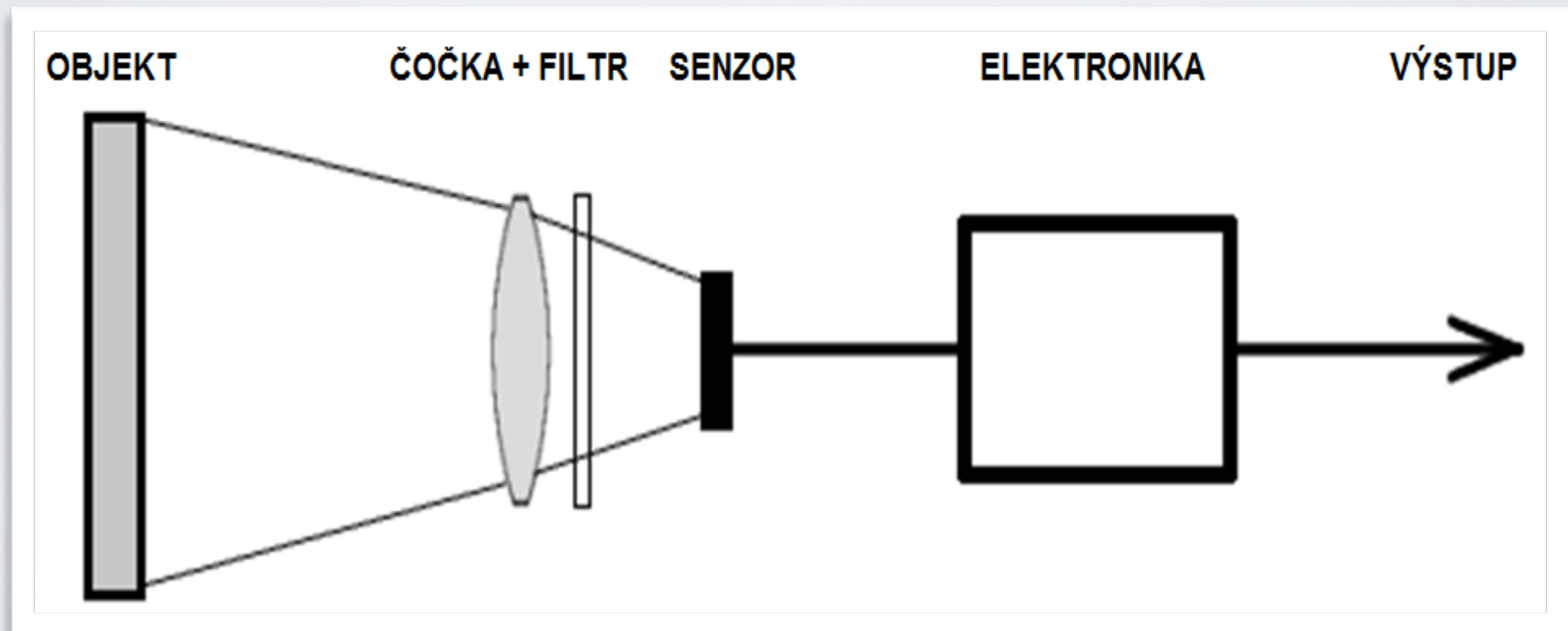
Termovizní kamery - komponenty

Optika – fokusuje svazek energie z povrchu objektu na senzor.

Filtr – omezuje šířku pásma procházející energie na $3-5 \mu\text{m}$ resp. $8-14 \mu\text{m}$.

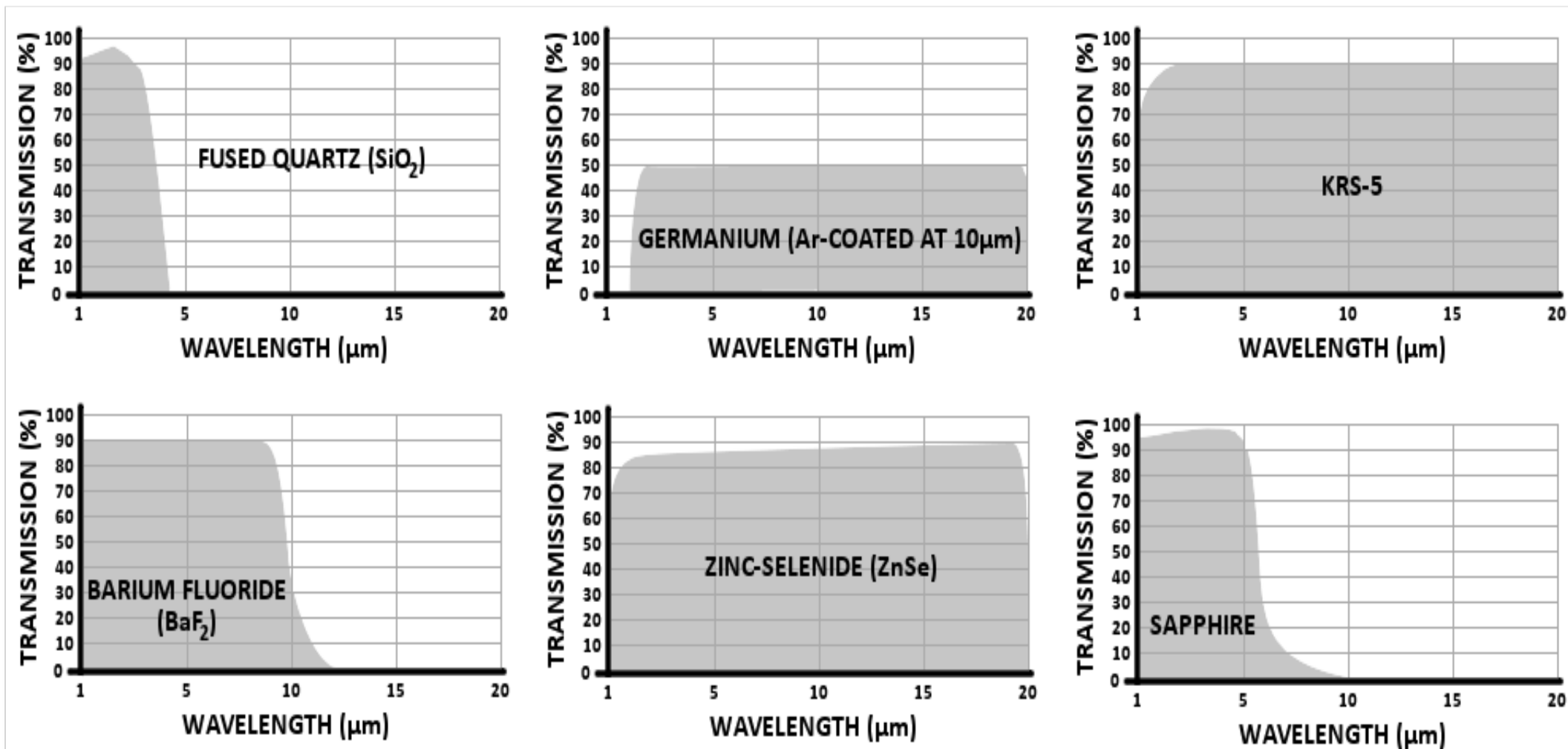
Senzor (detektor) – přeměňuje infračervené záření na měřenou elektrickou veličinu (odpor, proud, napětí).

Vnitřní elektronika – zesiluje a zpracovává signál na výstup.



Termovizní kamery - Optika

Vkládá se mezi zdroj záření a senzor, tudíž i u ní stejně jako u atmosféry záleží na propustnosti (transmisivitě). Běžné sklo (SiO_2) propouští pouze krátké vlnové délky, což odpovídá pouze vyšším teplotám. Pro pokrytí všech vlnových délek se používají jiné materiály např. Ge. Transmisivita různých materiálů viz. obr.



Termovizní kamery - Principy detekce

Tepelné detektory (Thermal Detectors) - využívají změny některé el. vlastnosti materiálu na základě absorpce energie IR záření.

- **Termokonduktivní jev** - absorbované dopadající IR záření mění teplotu a změna teploty mění elektrický odpor měřený na elektrodách.
- **Pyroelektrický jev** - absorbované dopadající IR záření mění teplotu a změna teploty se pyroelektrickým efektem mění na změnu množství náboje (a následně napětí) na elektrodách.

Jednoduché, relativně levné, nevyžadují chlazení, nižší citlivost.

Termovizní kamery - Principy detekce

Kvantové detektory (Quantum Detectors) - využívají přímé přeměny dopadajícího záření na elektrický náboj a následně el. napětí.

- Polovodičové systémy - dopadající záření přímo excituje nosiče elektrického náboje. Jejich počet a tedy i velikost výstupního elektrického signálu je úměrná intenzitě záření.
- Nejčastější materiál je telurid rtuťnokademnatý HgCdTe (označovaný i jako CMT - Cadmium Mercury Telluride).
- Protože šum polovodiče je závislý na teplotě, je nutné jej eliminovat chlazením detektorů na velmi nízké teploty (pro detekční pásmo 3 - 5 μm na: -80°C a pro pásmo 8 až 14 μm na: -193°C !!!).
- Lepší citlivost a rychlejší odezva, dražší než tepelné detektory.

Termovizní kamery - Detektor

Pyroelektrický vidikon PEV (Pyro-Electric Vidicon)

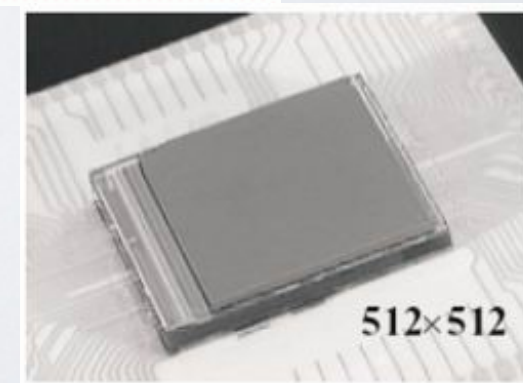
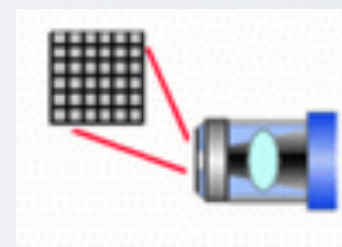
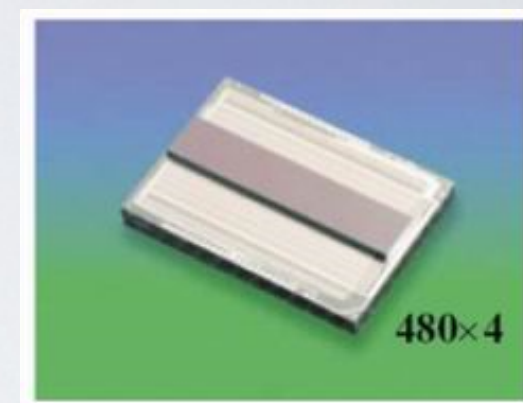
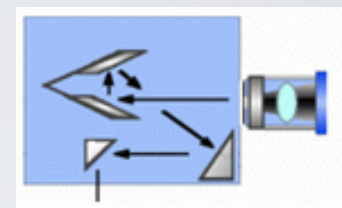
Modifikace konvenční vidikonové kamerové trubice (elektronka) využívané v začátcích televizní techniky.

Skenovací systém (Scanning System)

Plocha obrazu je snímána postupně po řádcích a sloupcích pomocí pohybující se optické soustavy. Využíván v minulosti, kdy nebylo možné vyrábět detektory s dostatečným počtem snímacích elementů. Dnes využíváno pro termovizní systémy vyžadující neobvykle velké rozlišení (např. vojenská technika).

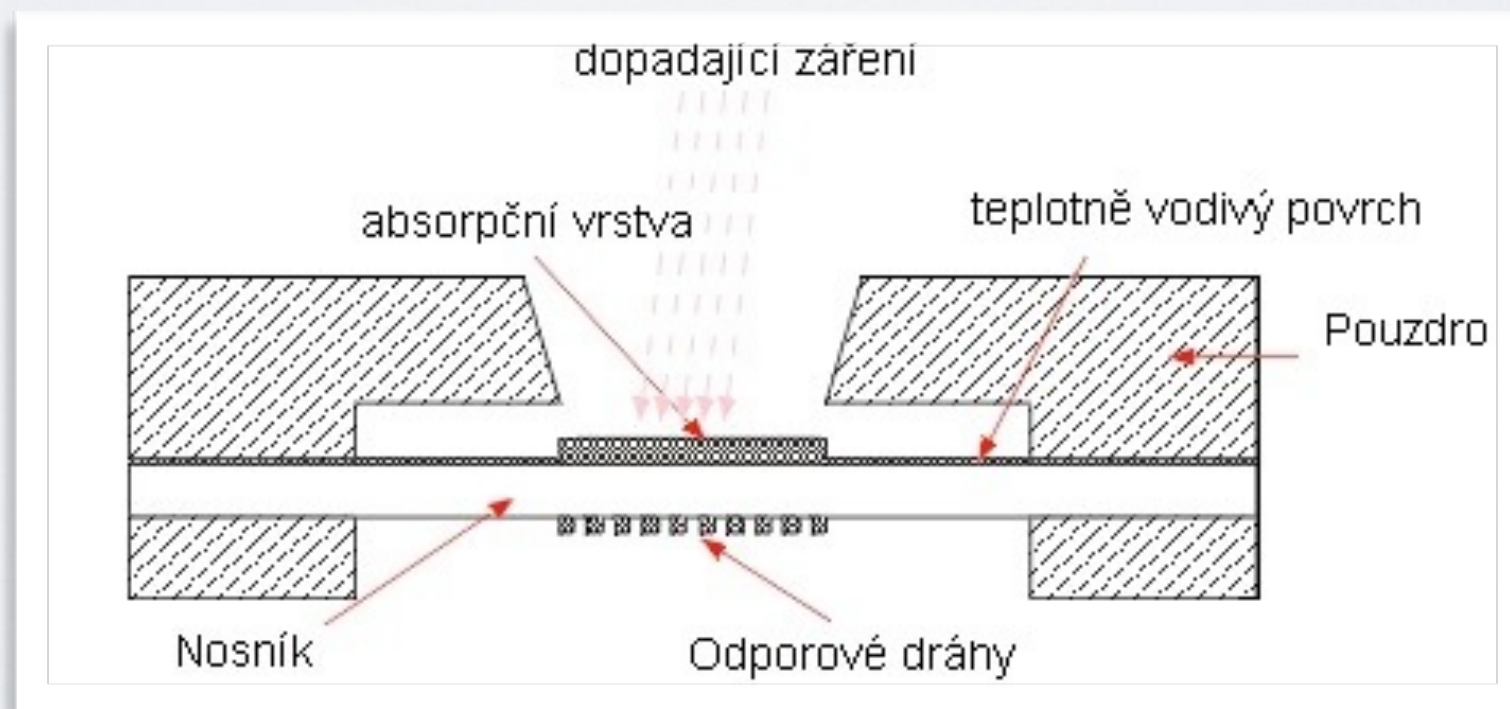
Maticový senzor FPA (Focal-Plane-Array)

Matice jednotlivých detekčních plošek (pixelů). Dnes nejrozšířenější způsob v komerčních termokamerách. Typické rozlišení 140x140, 160x120, 320x240, 384x288, dnes i 512x512 nebo 640x480.



Termovizní kamery - Bolometr princip detekce

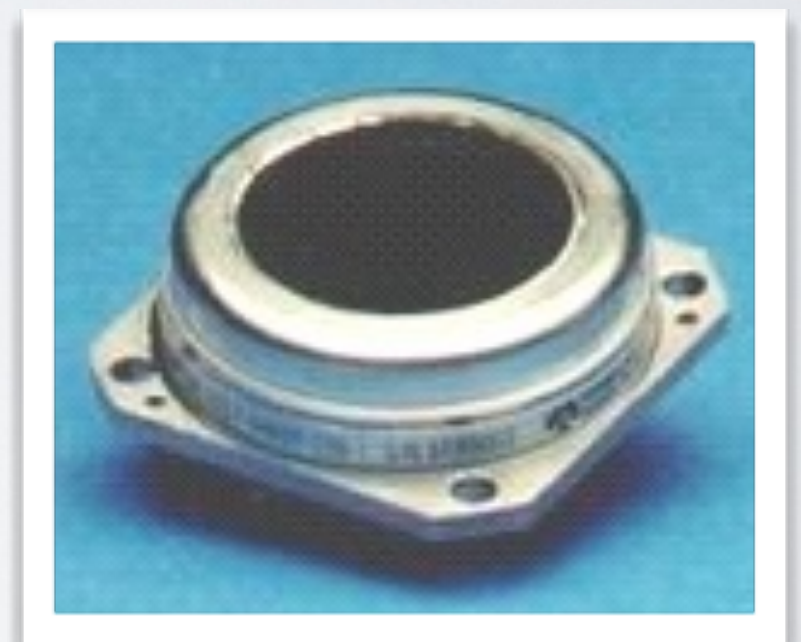
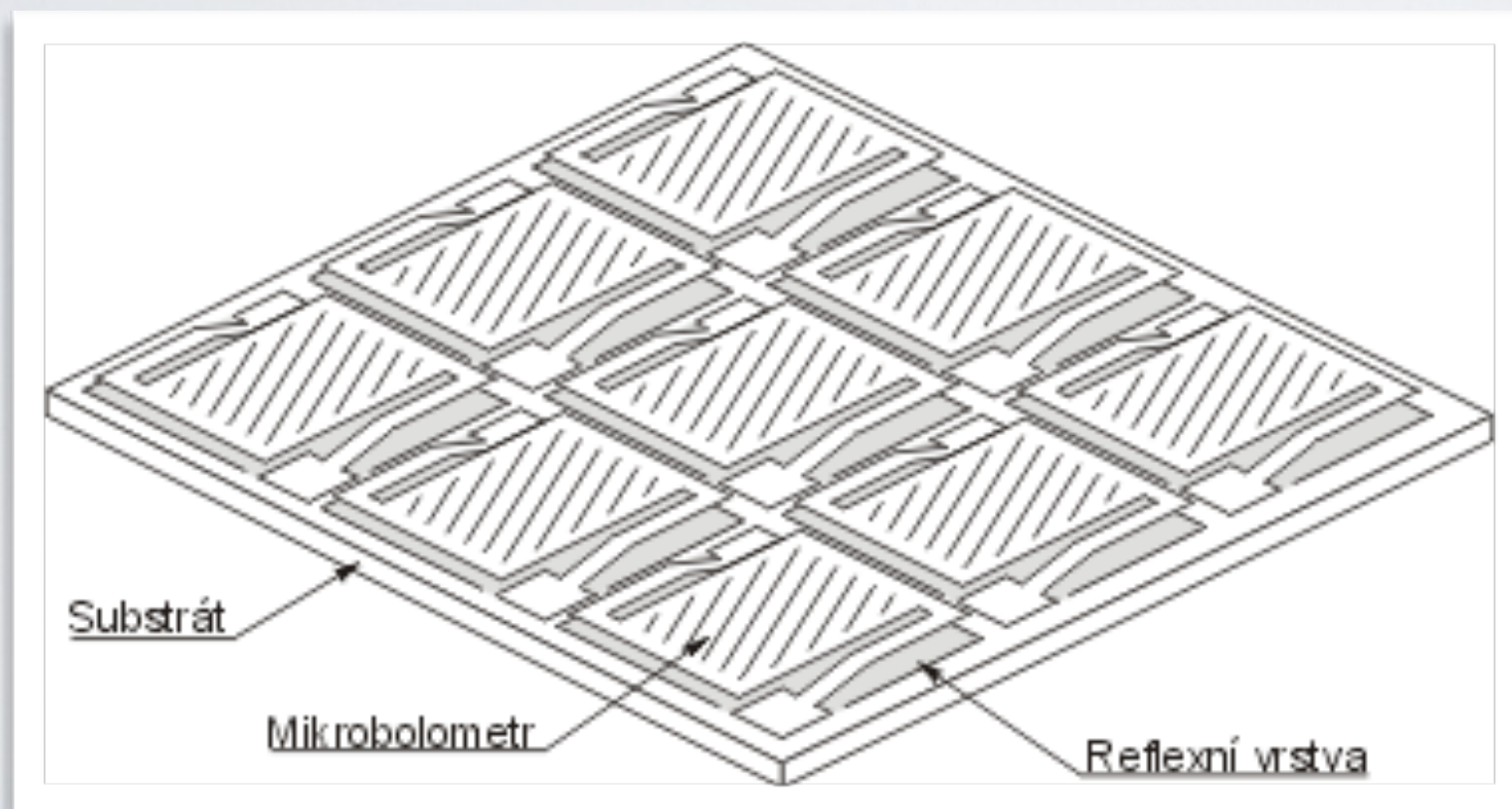
Bolometr (z řeckého bole = paprsek) senzor pro bezkontaktní měření teploty využívá termokonduktivní jev. Absorbované dopadající infračervené záření se na bolometru projevuje změnou teploty, resp. změnou odporu. Záření dopadá na absorpční vrstvu tvořenou zlatou folií, ta ohřívá teplotně vodivý povrch i nosník. Na spodní straně nosníku je napařený meandr odporové dráhy, jejíž odpor se mění s teplotou.

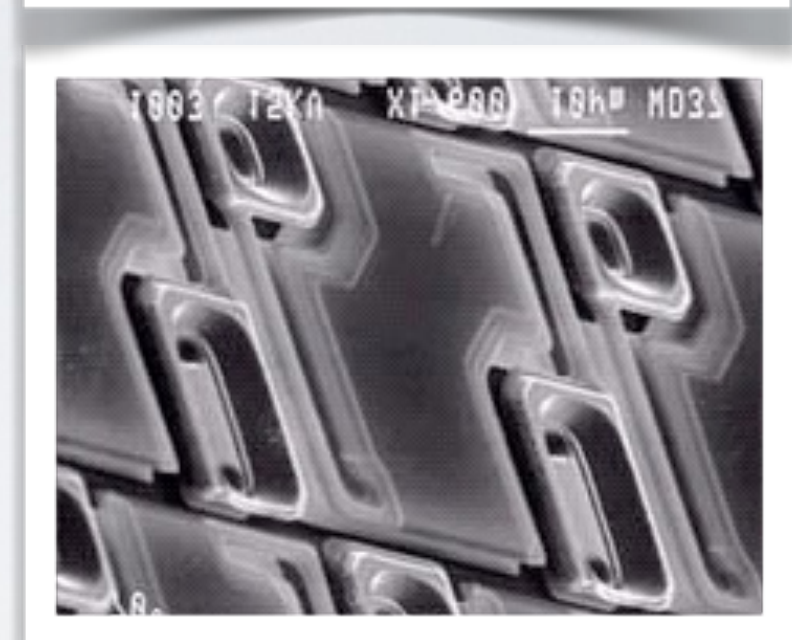
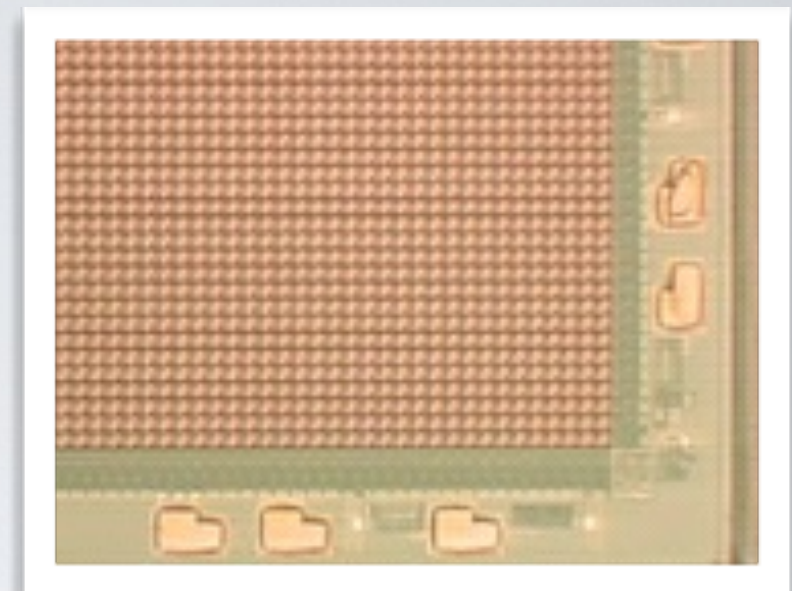
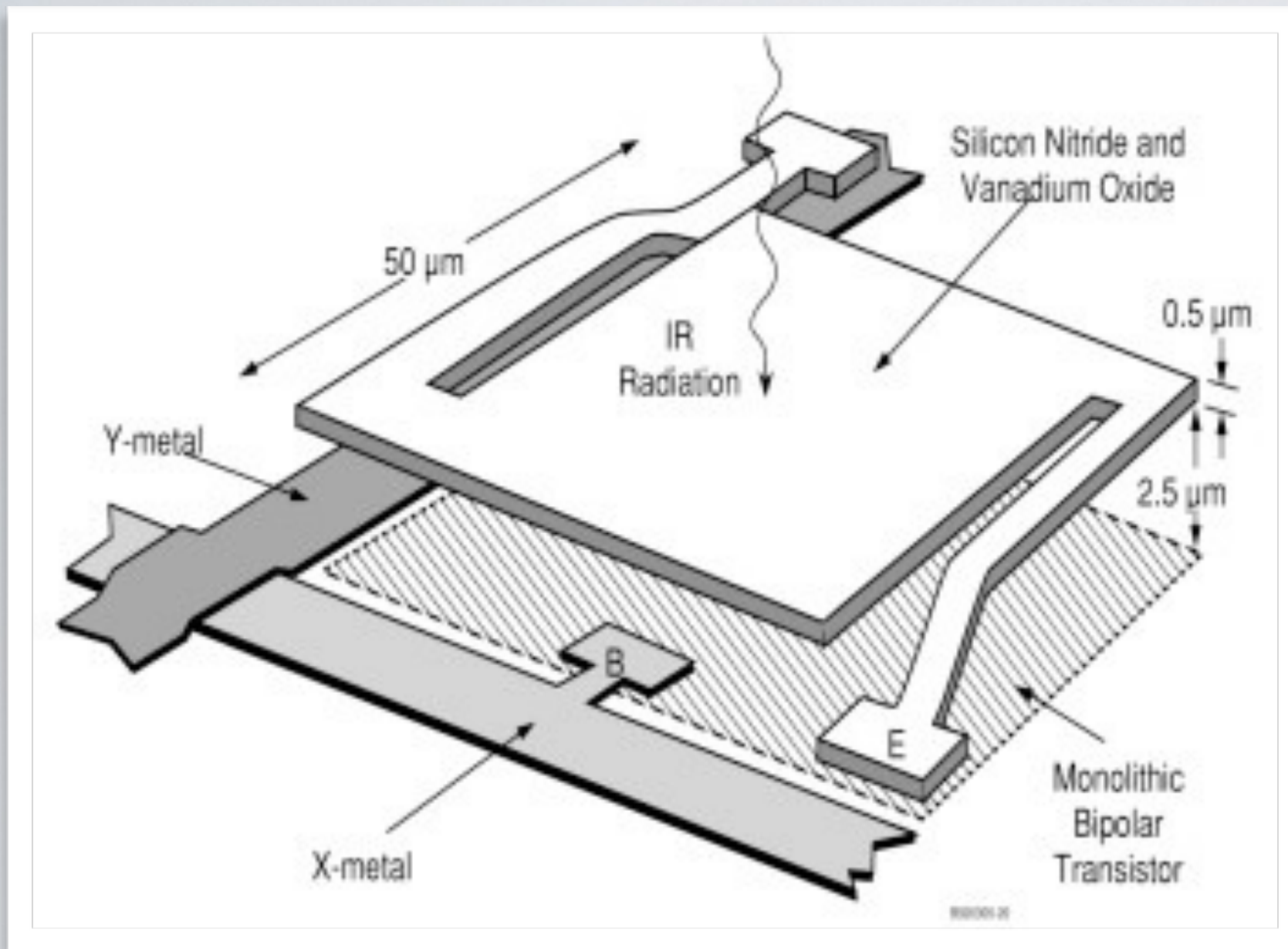


Termovizní kamery - Mikrobolometr

Nejčastěji realizován jako sada mikrobolometrů umístěných na jednom čipu. Celý senzor je vyroben jako monolitický křemíkový obvod s řadou odporových plošek (teplotně citlivý materiál).

Plošky mají plošné rozměry řádově desítky μm a tloušťku řádově desetiny μm .





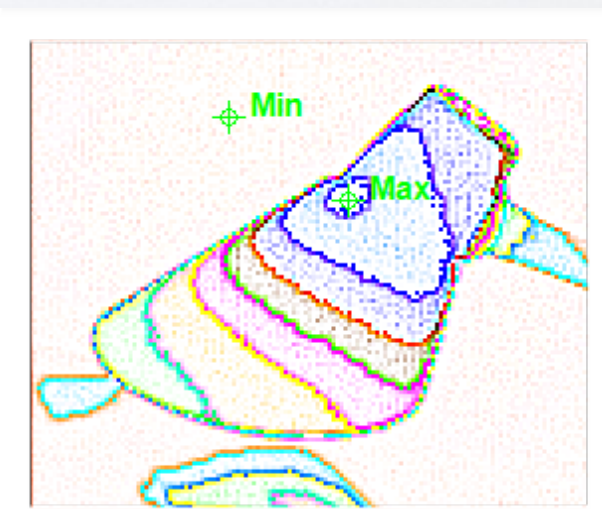
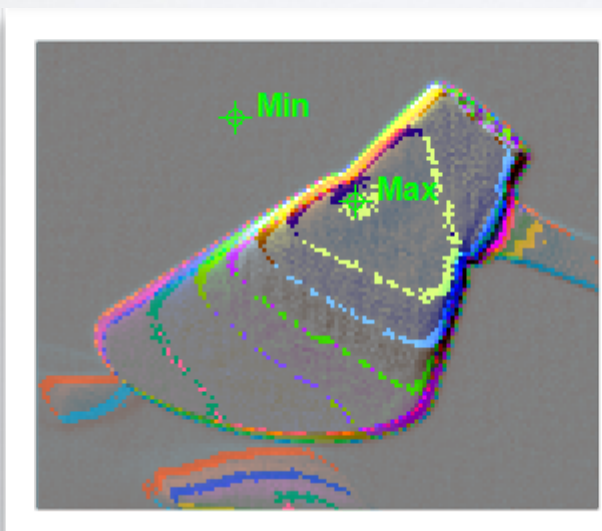
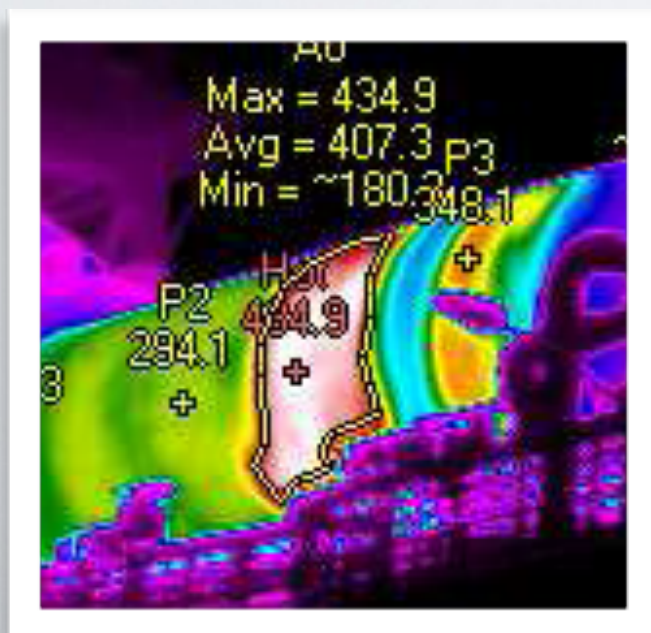
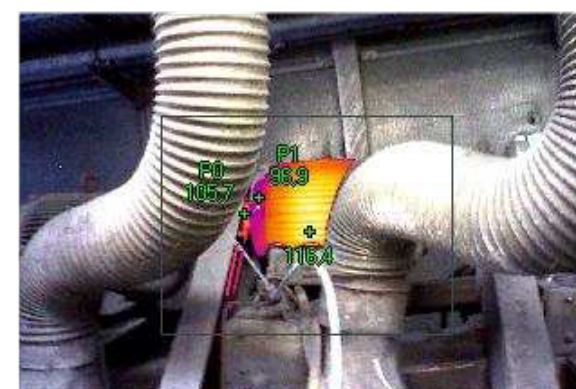
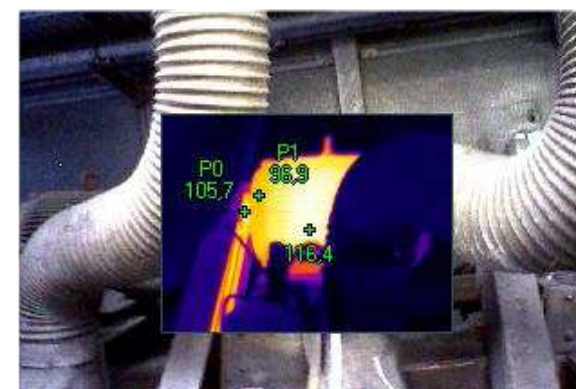
Ploška je z důvodu tepelné izolace od křemíkového substrátu vyvýšena o $2,5 \mu\text{m}$ pomocí “nožiček”, které zároveň tvoří i přívodní kontakty. Jednotlivé mikrobolometry jsou propojeny sítí vodičů X, Y a pod každým je dále spínací tranzistor pro jeho adresování.

Termovizní kamery - komerční výrobky



Termovizní kamery - Doplnkové funkce

- volba barevné palety – chroma, red, B&W,
- **IR fusion** – prolínání IR snímku s viditelným
- min / max / průměr oblasti, centrální bod / oblast, pohyblivé body / oblasti, izotermy, profily, detekce horkého a studeného bodu
- barevný / zvukový alarm nad a pod teplotní úrovní
- uživatelský PC software – online ovládání kamery, video transfer do PC, vyhodnocení



Termografie - Aplikace

Stavebnictví:

- měření úniku tepla, kontrola tepelných poměrů v systémech, výzkum vlastností materiálů

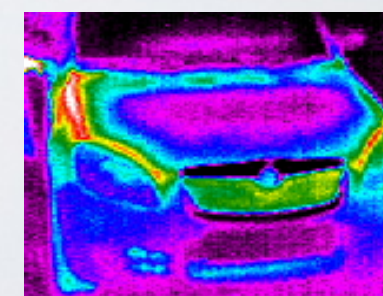
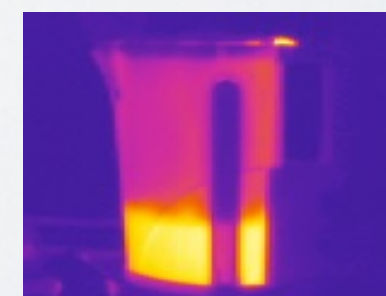
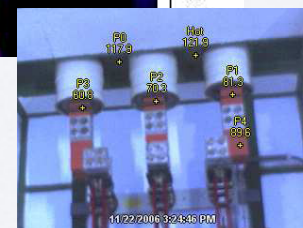
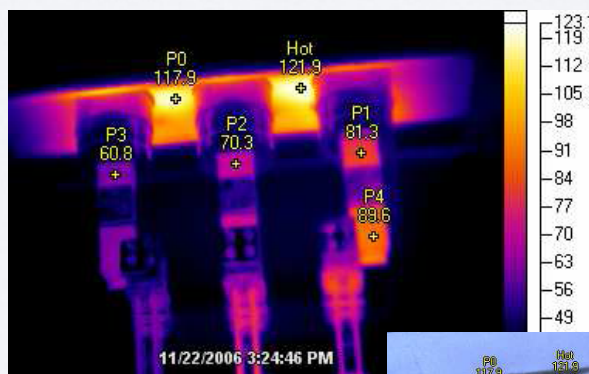
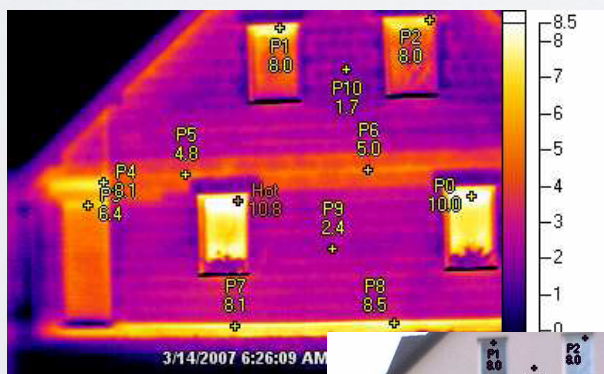
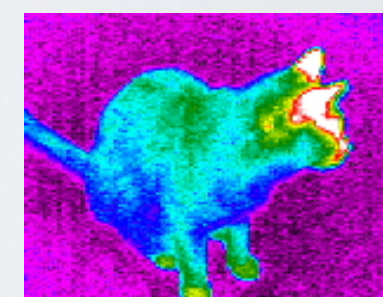
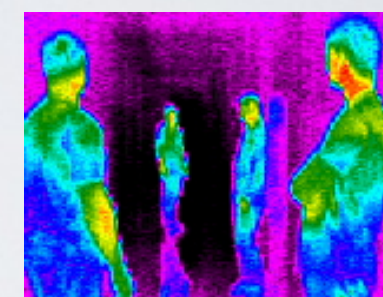
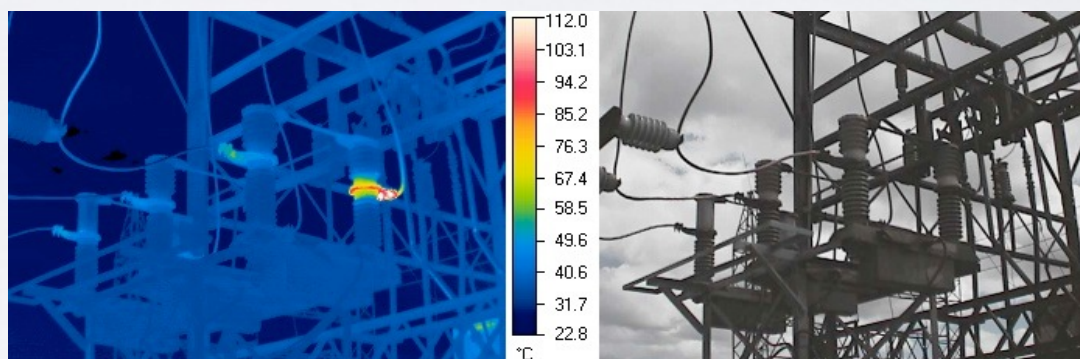
Průmysl:

- odhalování skrytých vad, kontrola výroby, údržba, výzkum vlastností materiálu, kontrola tepelných poměrů v systémech, hledání míst úniku plynů

Vojenská technika

Bezpečnostní aplikace

Medicína a výzkum

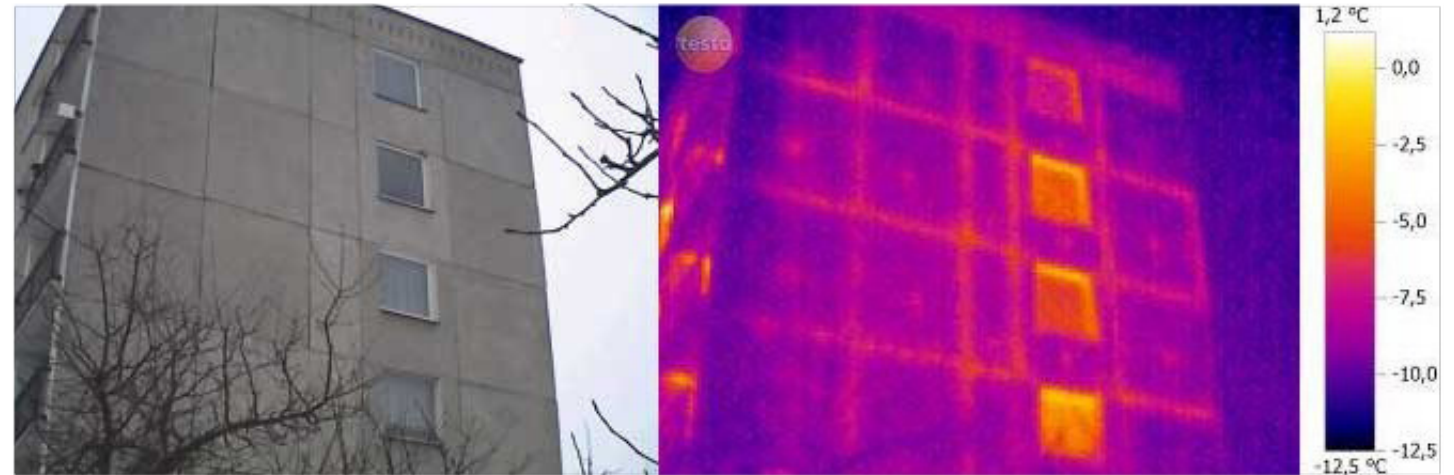


Termografie - Aplikace - Stavebnictví

Termografie nabízí rychlé a bezkontaktní prověření distribuce tepla na povrchu budovy.

Používá se pro odhalení míst, kde dochází k únikům tepla vlivem tepelným mostů, špatné izolaci či nesprávně řešeným spojům.

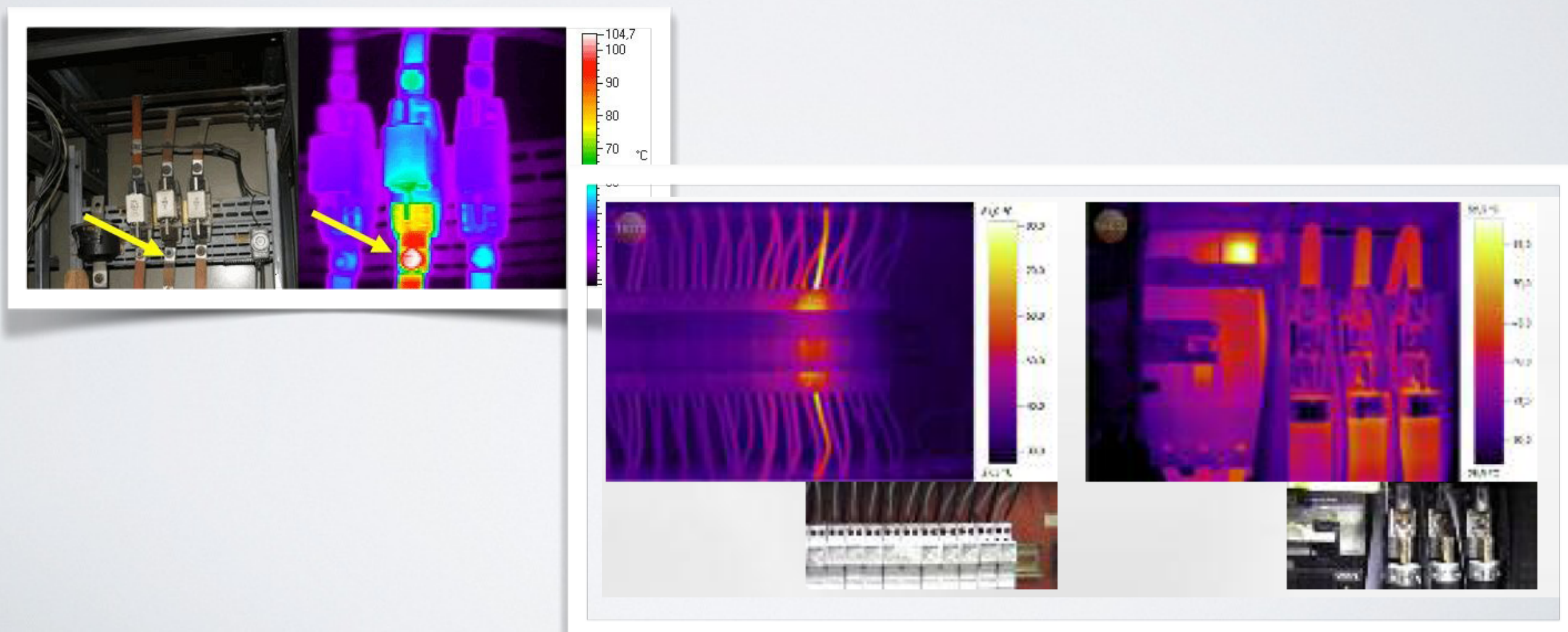
- a) špatné spoje panelů
- b) chybné zateplení
- c) unik tepla v interiéru



Termografie - Aplikace - Profylaxe el. zařízení

Termovizní kamery umožňují vyhodnocení stavu nízko, středně i vysokonapěťových systémů.

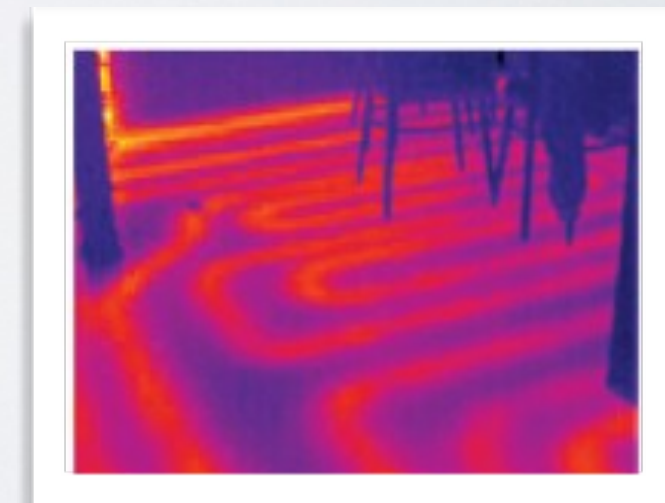
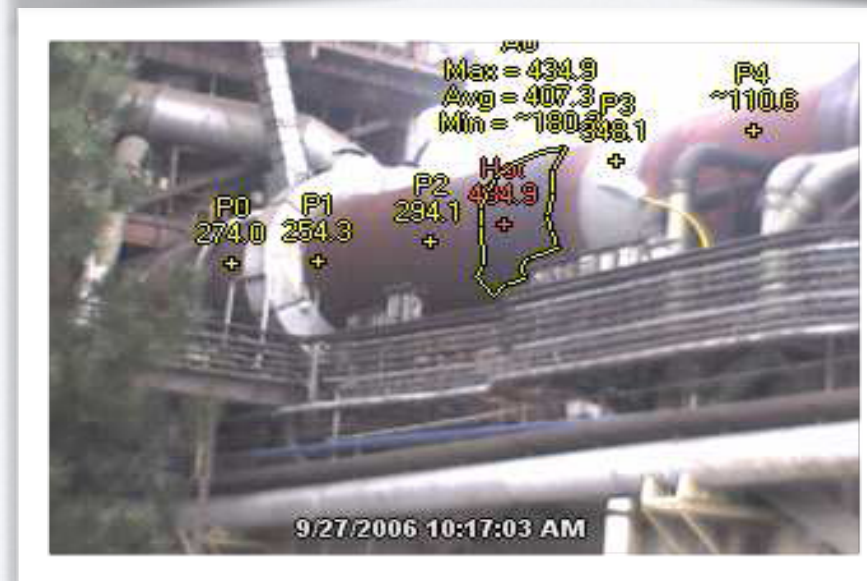
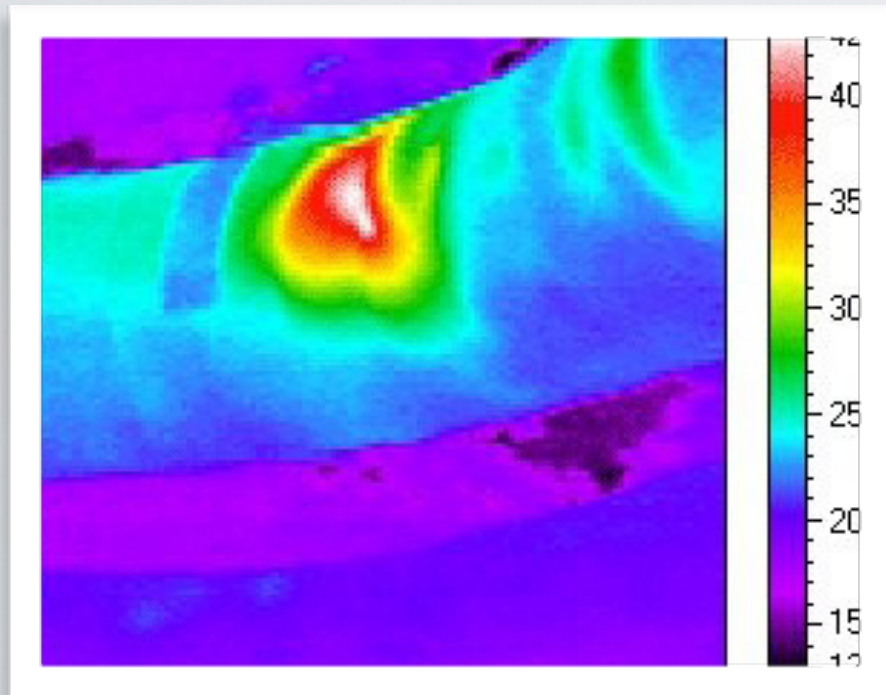
Často se začne vada projevovat dlouho dopředu zvýšenou produkcí tepla, proto termosnímký umožňuje včasné rozpoznání vadných součástek nebo spojení. Profylaxe el. zařízení, zabránění požáru.



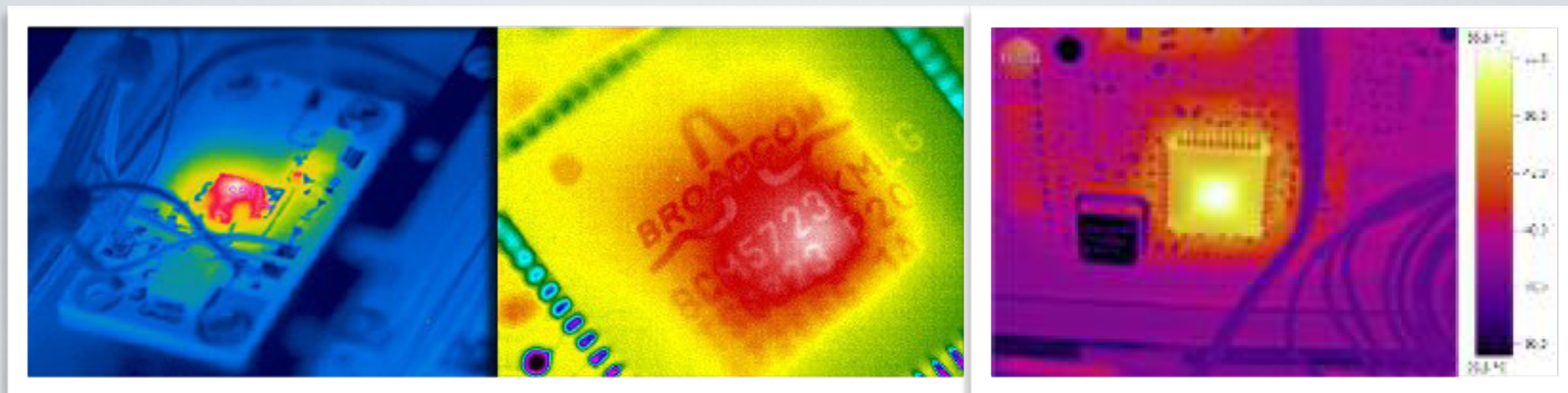
Termografie - Aplikace - Kontrola produktovodů

Kontrola distribuce tepla, vody, elektřiny

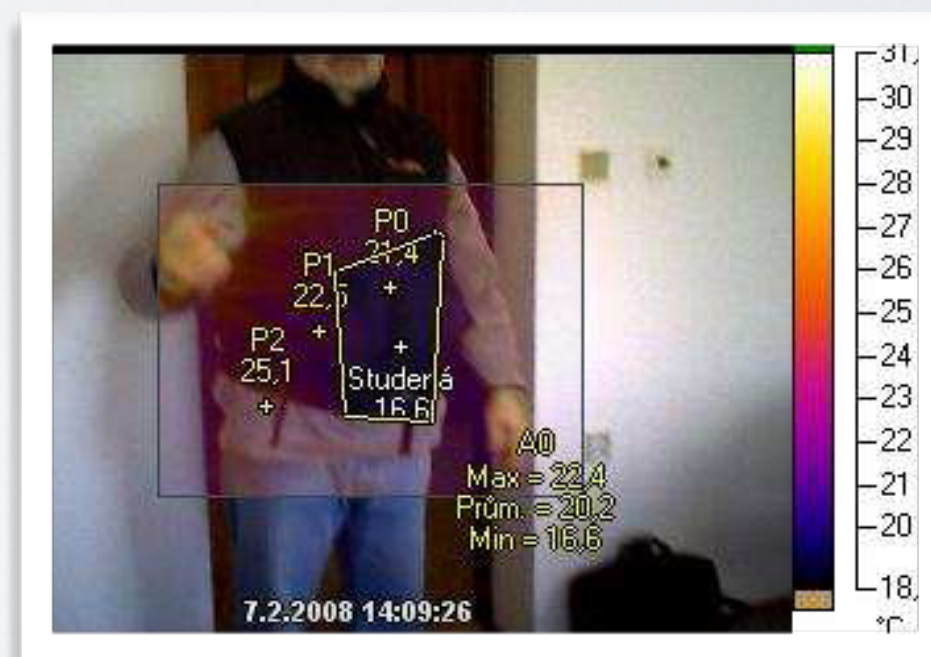
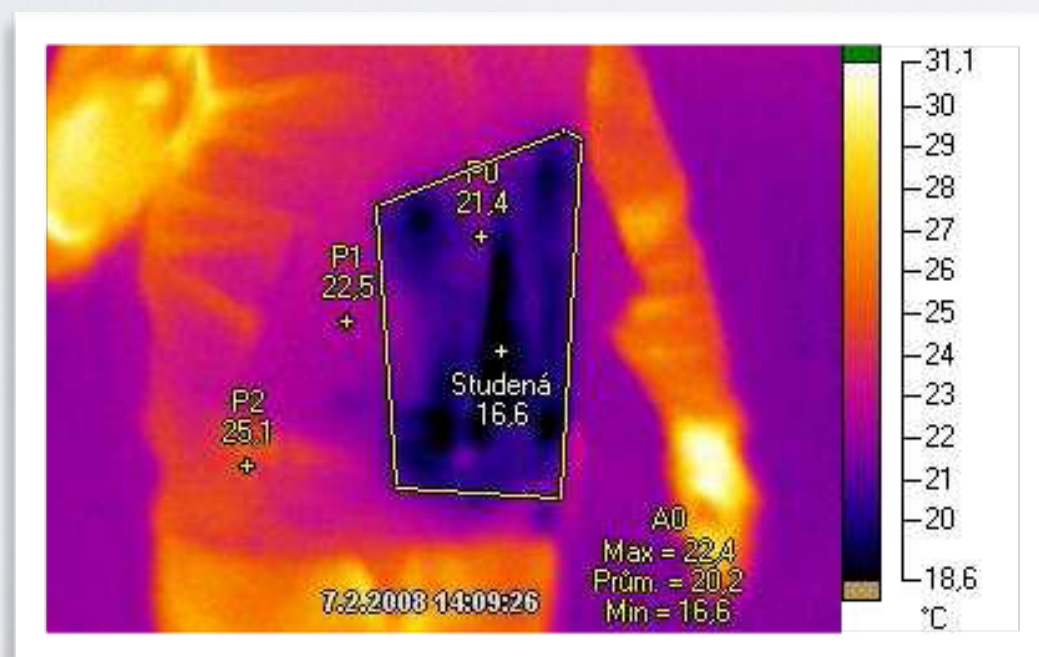
Mechanické poškození, např. přehřátí ložisek strojů



Termografie - Aplikace - Diagnostika poruch



Kontrola distribuce tepla při osazování DPS

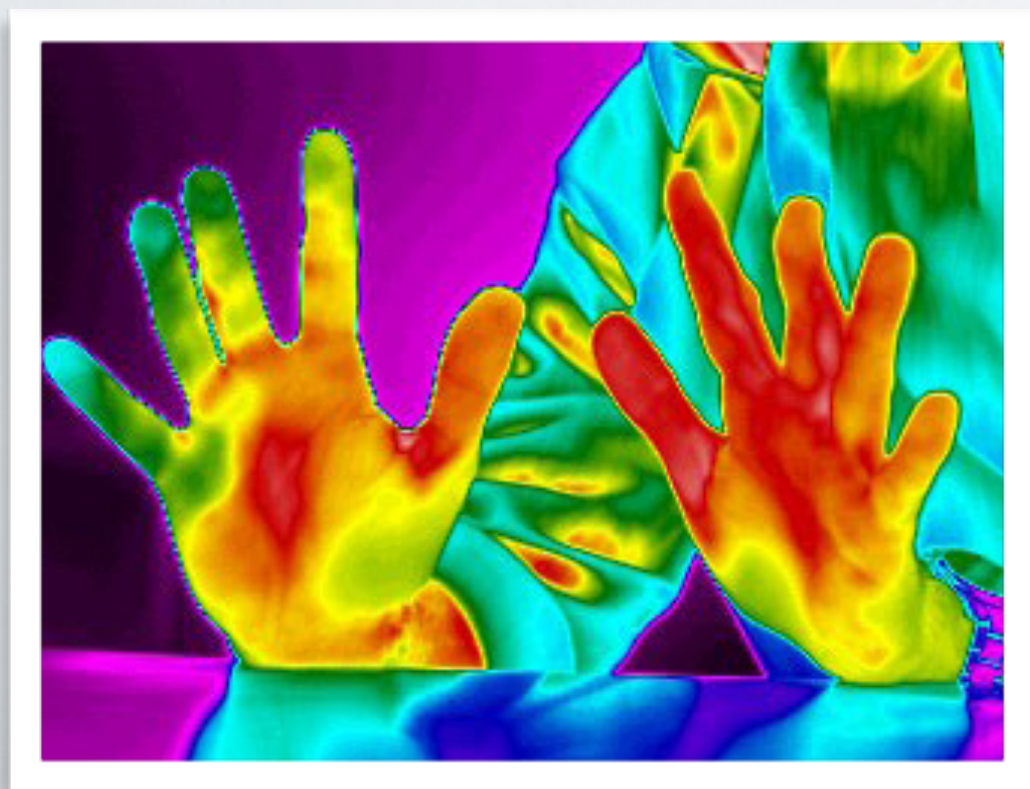
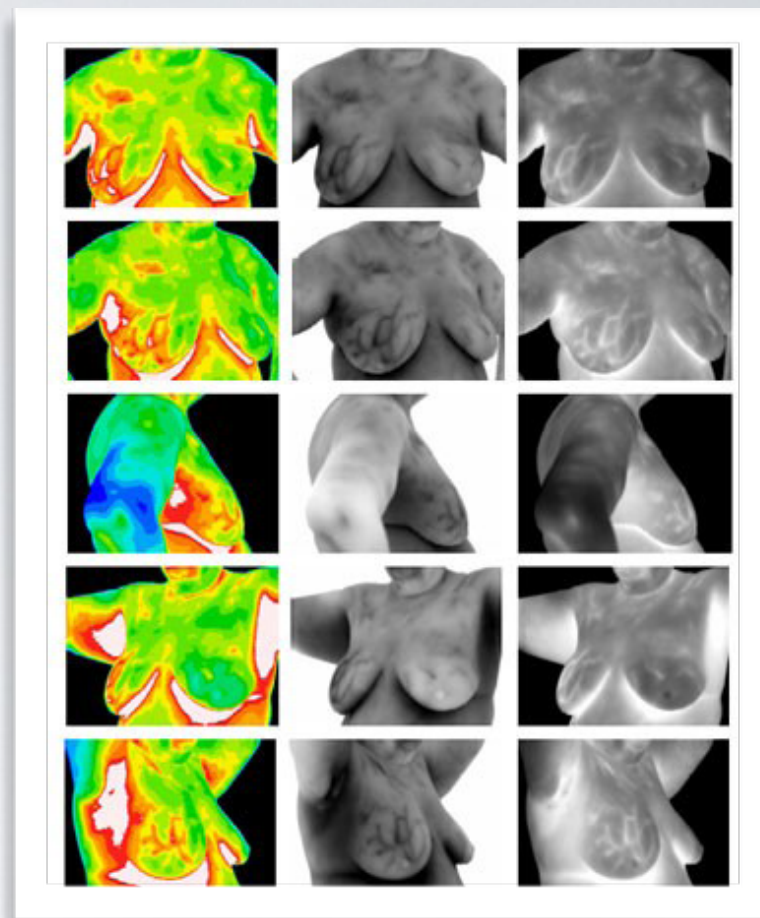


Mrazírenství, objekt pod oděvem

Termografie - Aplikace - Lékařství

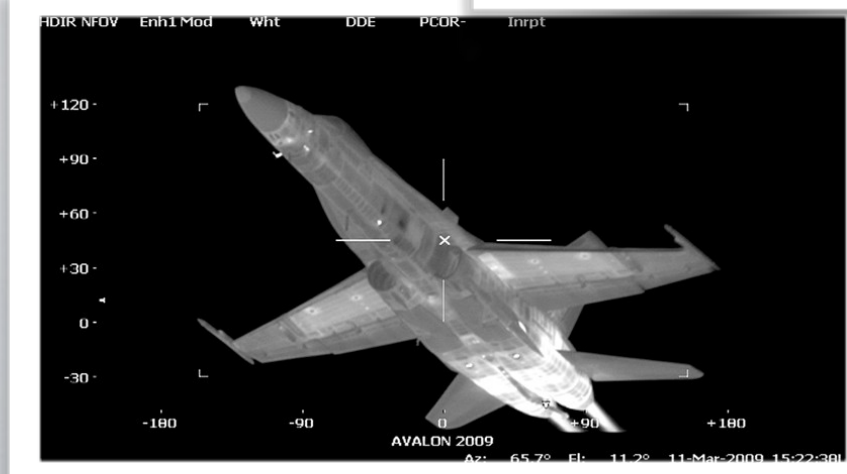
Termografie v medicíně se používá především pro snadnější rozpoznání symptomů např. roztroušené sklerózy, rakoviny, trombózy žil, bolesti hlavy, infekce zubů či virových infekcí. Uplatnění má i při veterinárních chirurgických zákrocích.

(Mamografické vyšetření, roztroušená skleróza, letištní kontrola - ptačí chřipka).



Termografie - Aplikace - Vojsko, záchrana života

- rychlé pátrání po zmizelých / ztracených osobách
- detekce dopravních prostředků (teplých částí)
- detekce elektronického zařízení
- detekce střel
- detekce požárů, vyhledání skrytých ohnisek požáru k hašení, lepší orientaci v zakouřených prostorech a kontrola místa po požáru



Termografie - Aplikace - asistenční systém řidiče

Celosvětové statistiky ukazují, že v 55% všech závažných dopravních nehod je na vině špatná viditelnost za deště, sněhu, mlhy a v noci.



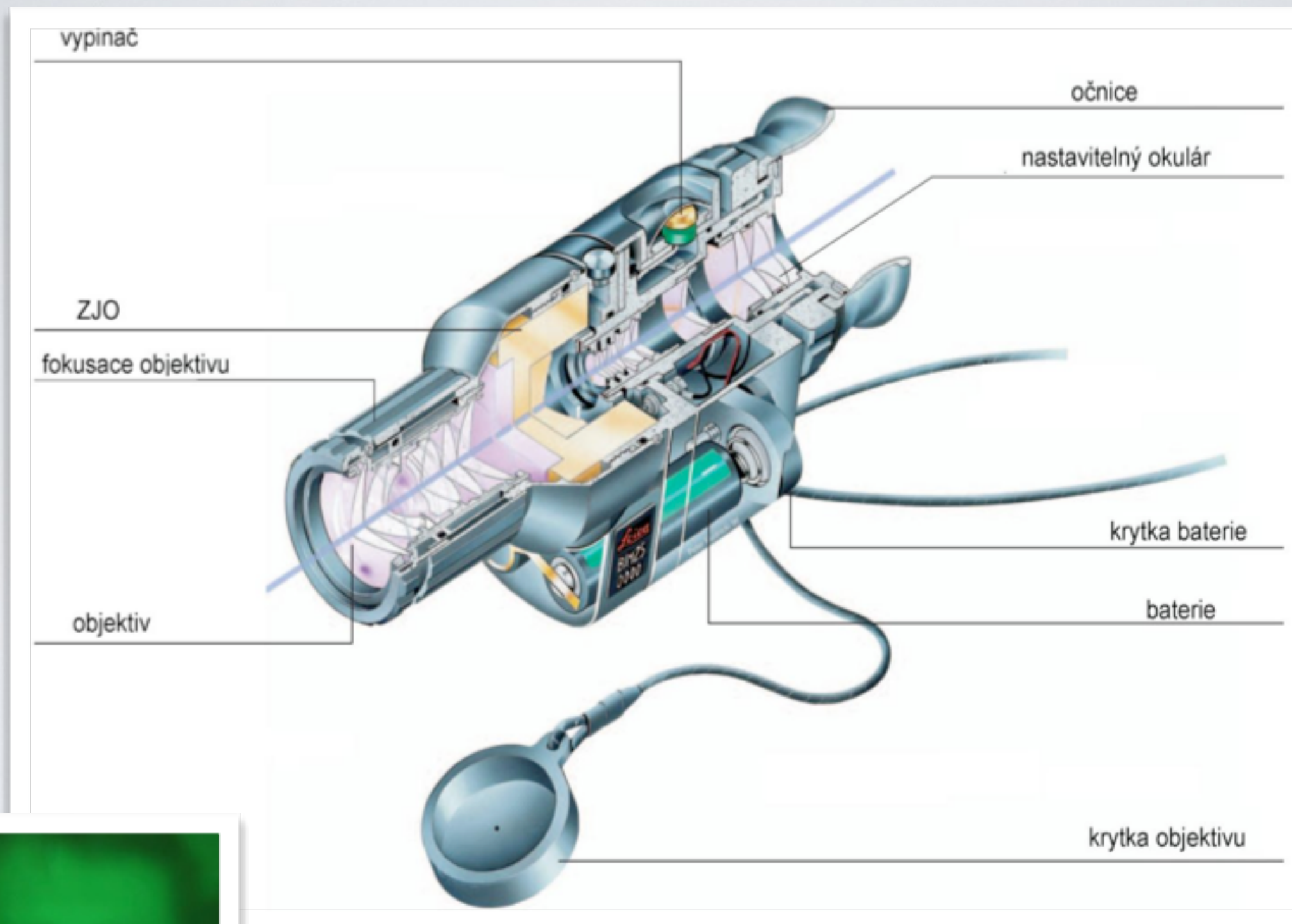
ZAŘÍZENÍ PRO ZESÍLENÍ JASU OBRAZU

Je to opticko-elektrické zařízení založené na principech fotonásobiče, který využívá převod obrazu na elektrický signál, zesílení tohoto signálu a následně převádí zesílený výsledek zpět na pozorovatelný obraz. První zařízení tohoto druhu byly využity ve 2. světové válce.

Základní rozdělení:

0. generace - malá citlivost, vyžaduje externí zdroj IR záření
1. generace - vylepšená citlivost, lze používat i bez zdroje záření
2. generace - vylepšená kvalita obrazu bez geom. zkreslení, mikrokanálková mřížka, diskretizace obrazu
3. generace - změna materiálu na GaAs, mřížka zajišťující iontovou bariéru, zlepšena citlivost a zesílení světla cca. 30000 - 50000x.
4. generace - nepublikováno

Vnitřní uspořádání zařízení pro noční vidění



VIRTUALIZOVANÁ REALITA

Termín virtuální realita (VR) vznikl v 70. letech minulého století v rámci sci-fi žánru. Rozvojem techniky především robotiky a počítačové grafiky dochází k postupné realizaci těchto myšlenek.

Úlohou virtuální reality je vytvořit takové uživatelské rozhraní, které bude simulovaným grafickým prostředím (GUI) v rámci počítače a které bude jedinec vnímat všemi svými smysly jako skutečnou realitu.

V současné době patří mezi dobře zvládnuté smysly sluch, zrak a hmat. Částečných úspěchů bylo dosaženo u čichu.

ROZŠÍŘENÁ REALITA

Další pojmem je tzv. **Augmented reality (AR)** neboli rozšířená realita, která představuje počítačové doplnění běžného vjemu z reálného světa o další informace. Nejčastěji se jedná o dodatečné obrazové informace.

Využitelnost VR i AR technologií je dnes nejčastěji v oborech:

- Zábavní průmysl
- Sport
- Vzdělávání
- Armáda

TELEPREZENCE

Dalším pojmem je tzv.: **Teleprezence (simulovaná přítomnost / přítomnost na dálku)**, tedy technickými prostředky simulovaná přítomnost ve vzdáleném reálném prostředí.

Využitelnost:

- Telekonference, vzdělávání
- Vizuální kontrola v nebezpečných nebo nepřístupných prostředích, kosmonautika
- Práce na dálku (lékařství, likvidace požárů, antiterorismus)

Příklady využití teleprezence

CISCO teleprezenční místnost



Záchranný robot UTAR (VUT FEKT UAMT)



Jelikož schopnost člověka zpracovávat obrazovou informaci představuje jeden z nejdůležitějších smyslů, patří tedy logicky počítačové zpracování obrazu také mezi jeden z hlavních oborů VR, AR i teleprezence.

DOTAZY?

LITERATURA, POUŽITÉ SNÍMKY

- [1] VOJÁČEK, A. Infračervené kvantové detektory a termokamery – úvod [online]. 11.10.2007, [cit. 5.12.2010]. <<http://automatizace.hw.cz/infracervene-kvantove-detektory-termokamery-uvod>>
- [2] VOJÁČEK, A. Princip termografického měření [online]. [cit. 6.12.2010]. <http://www.termokamera.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=9>
- [3] PECH, J., ZAHRADNÍK, P. Mikrobolometrické obrazové snímače. In Elektrorevue - Internetový časopis [online].2003 / 15 – 7.4.2003. [cit. 5.12.2010]. <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/03015/index.html>>
- [4] POČINKOVÁ, M., RUBINOVÁ, O. Infračervená termografie ve stavebnictví [online]. 7.9.2009, [cit.5.12.2010]. <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace-a-mosty-vzduchotesnost/5891-infracervena-termografie-ve-stavebnictvi>
- [5] BALÁŽ, T., ŘEHOŘ, Z. Dosahy OE přístrojů v reálných podmínkách [online]. 22.10.2010, [cit.6.12.2010]
- [6] ŠONKA, M., HLAVÁČ, V.: Počítačové vidění, Computer press 1992, ISBN 80-85424-67-3
- [7] Wiley InterScience: Encyclopedia of Imaging Science and Technology, <<http://www3.interscience.wiley.com>>

DĚKUJI ZA POZORNOST