

# Fyzikální souvislosti bezdotykového měření teploty

## Screening horečnatých stavů

Jan Sova

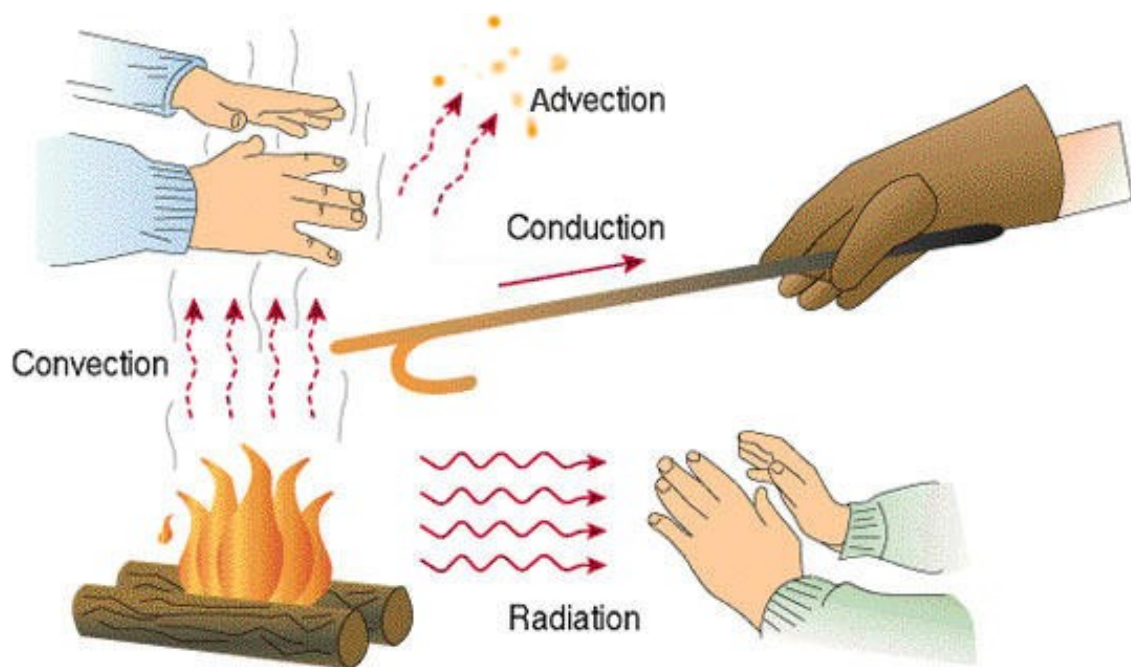
# Obsah

- Motivace
- Fyzikální souvislosti
- Bezdotykové měření teploty
- Screening horečnatých stavů

# Obsah

- **Motivace**
- Fyzikální souvislosti
- Bezdotykové měření teploty
- Screening horečnatých stavů

# Šíření tepla



Zdroj snímků: Wikipedie

# Šíření tepla

- Proudění
  - přenos energie mezi objektem a jeho prostředím v důsledku pohybu tekutiny.
- Vedení
  - přenos energie mezi předměty, které jsou ve fyzickém kontaktu.
- Sálání
  - Přenos energie emisí elektromagnetického záření.

# Kontaktní měření tělesné teploty

- Nezbytnou podmínkou přesného měření je dostatečně dlouhý kontakt teploměru s měřeným subjektem, a to samozřejmě na správných místech.
- Měření je ale poměrně časově náročné (několik minut) a probíhá při přímém kontakt s pacientem či vyšetřovanou osobou. Zásadním požadavkem na přesnost je zde dobrý styk teploměru s měřeným povrchem, tj. s lidskou kůží.

.

# Kontaktní měření tělesné teploty

- Jedná se o standardní způsob měření tělesné teploty, při němž je senzor měřící teplotu v přímém kontaktu s pokožkou.
- Výsledky měření jsou poměrně přesné díky umístění teploměru do oblasti průběhu velkých cév, které nejlépe odrážejí teplotu tělesného jádra. Nejznámějšími místy pro měření jsou oblast axily (podpaží), rectum (konečník) a dutina ústní.

# Bezkontaktní měření tělesné teploty

- Tyto metody fungují na principu měření intenzity infračerveného záření, kdy měřený objekt nemusí být v přímém kontaktu se senzorem – termokamerou. Nejčastějšími místy pro bezdotykové měření tělesné teploty ve zdravotnictví je oblast čela a spánkové kosti, kudy probíhá velká spánková tepna.
- Základním požadavkem na přesnost měření je ze nastavení správné hodnoty emisivity a tzv. odražené zdánlivé teploty, jak je diskutováno dále. Především ve zdravotnictví se stává bezkontaktní měření tělesné teploty stále oblíbenějším, a to díky snadné a rychlé dostupnosti výsledku.



# Bezkontaktní měření tělesné teploty

- Tyto metody fungují na principu měření intenzity infračerveného záření, kdy měřený objekt nemusí být v přímém kontaktu se senzorem – termokamerou. Nejčastějšími místy pro bezdotykové měření tělesné teploty ve zdravotnictví je oblast čela a spánkové kosti, kudy probíhá velká spánková tepna.
- Základním požadavkem na přesnost měření je ze nastavení správné hodnoty emisivity a tzv. odražené zdánlivé teploty, jak je diskutováno dále. Především ve zdravotnictví se stává bezkontaktní měření tělesné teploty stále oblíbenějším, a to díky snadné a rychlé dostupnosti výsledku.

# Bezkontaktní měření tělesné teploty

- Rozhodující je pak tato metoda například u pediatrických pacientů, kde může být měření přesné tělesné teploty velmi náročné. Perorální a rektální teploměry jsou invazivní a pro dítě mohou představovat značně stresující faktor. Axilární teploměry naopak vyžadují držení teploměru na místě po dobu 30 sekund, což je obzvláště u dítěte velmi náročné. Na řadu tedy přichází bezkontaktní metoda pomocí infračervených teploměrů.
- Tato metoda je v praxi užívána hlavně pro rychlé a hygienické vyloučení horečky v oblasti čela, a to například i během epidemiologických opatření. Díky své rychlosti je pak měření možno v krátkém čase opakovat, určit průměr naměřených hodnot a tím zlepšit přesnost měření (Wang, 2014).

# Obsah

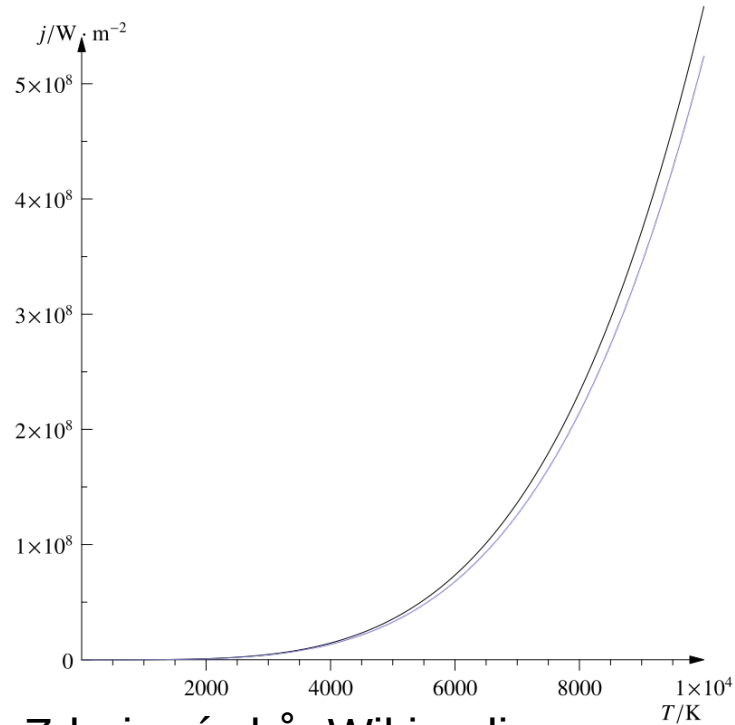
- Motivace
- **Fyzikální souvislosti**
- Bezdotykové měření teploty
- Screening horečnatých stavů

# Tepelné záření

- Všechny tělesa s povrchovou teplotou větší než 0 K vyzařují elektromagnetické záření ze svého povrchu.
- Stefanův–Boltzmannův zákon
- Wienův posunovací zákon
- Planckův vyzařovací zákon

# Stefanův–Boltzmannův zákon

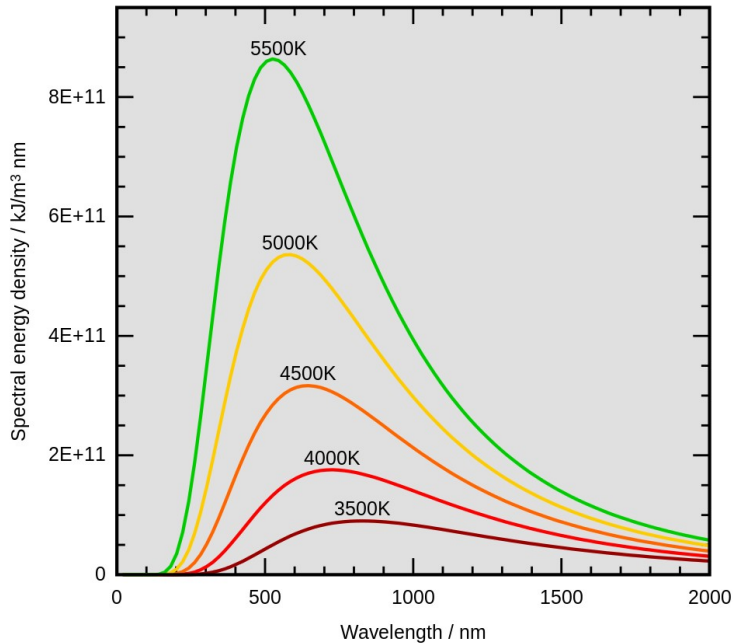
$$I = \sigma T^4$$



Zdroj snímků: Wikipedie

Popisuje celkovou intenzitu záření černého tělesa; intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa.

# Wienův posunovací zákon

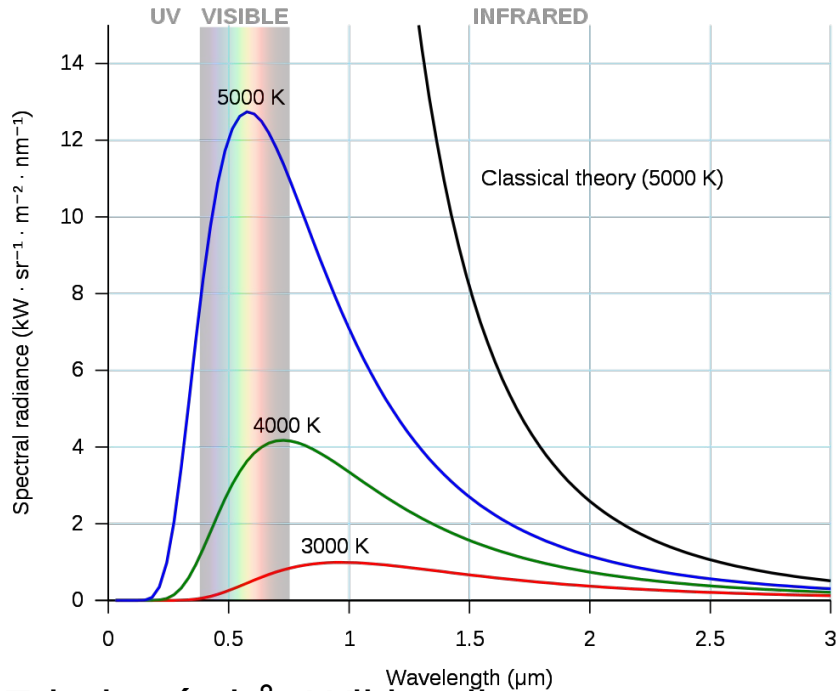


$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

Umožňuje stanovit vlnovou délku na které je vyzařováno nejvíce energie pro danou povrchovou teplotu černého tělesa.

Zdroj snímků: Wikipedie

# Planckův vyzařovací zákon



$$B_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1},$$

Charakterizuje rozložení vyzařované energie do jednotlivých částí spektra elektromagnetického záření v závislosti na povrchové teplotě černého tělesa.

Zdroj snímků: [Wikipedie](#)

# Emisivita

- Charakterizuje schopnost povrchu vyzařovat tepelné záření
- Veličina závislá zejména na a) povrchové teplotě, b) vlnové délce a c) úhlu měření
- V rovnovážném stavu platí:

$$\text{EMISIVITA} = \text{POHLTIVOST}$$



# Emisivita

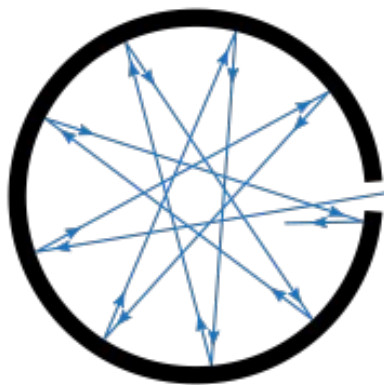


- Povrchová teplota zatepleného panelového domu je přibližně homogenní. Na termogramu se však zdá, že místa s nápisem jsou až o 5 °C chladnější. Tato chyba měření je způsobena rozdílnou emisivitou barev nápisu oproti barvám zdiva.
- Pojem **zdánlivá teplota**.

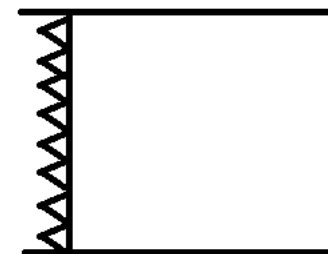
# Černé těleso

- **Černé těleso je z hlediska bezdotykového měření teploty objekt, který má emisivitu povrchu rovnou 1** (pozor na spektrální závislost).
- Z toho pak vyplývá, že má nulovou odrazivost a nulovou propustnost (základní vztah říká, že **emisivita + odrazivost + propustnost = 1**). Z jednotkové emisivity povrchu pak vyplývá, že jeho pohltivost je také jednotková (neboť pro ustálený stav platí Kirchhoffův zákon termální radiace, který říká, že pohltivost = emisivita).

# Černé těleso



**Dutinové černé těleso**



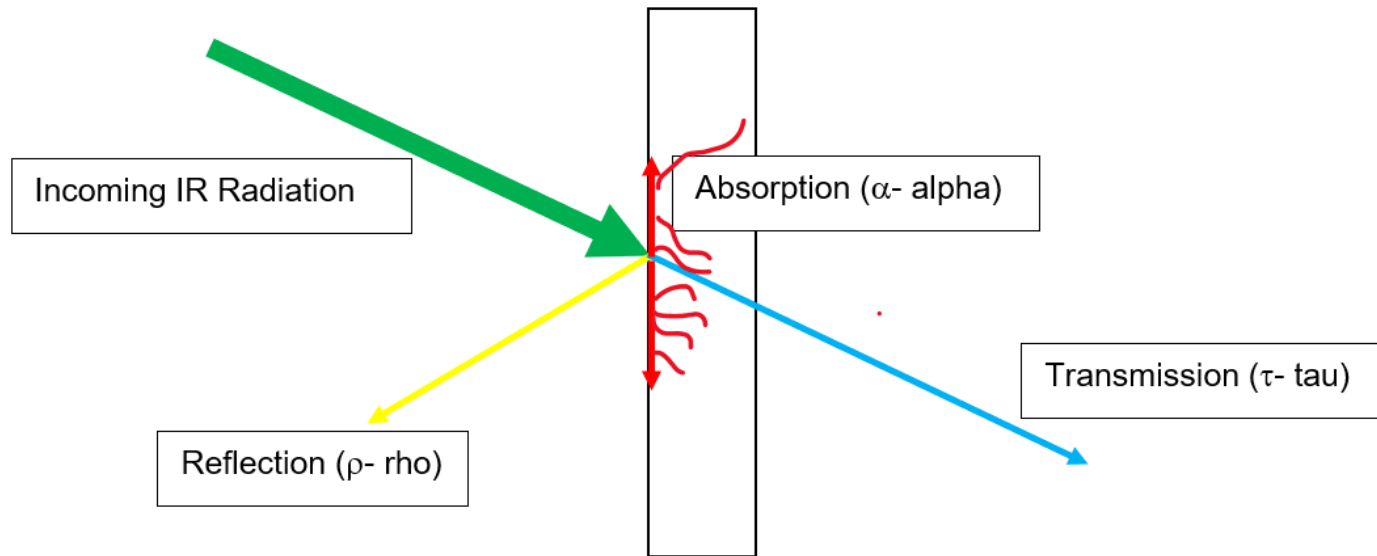
**Deskové černé těleso**

Zdroj snímků: [www.pyrometrcz.cz](http://www.pyrometrcz.cz)

# Obsah

- Motivace
- Fyzikální souvislosti
- **Bezdotykové měření teploty**
- Screening horečnatých stavů

# Interakce IČ záření



Source: A Basic Course in Thermography,  
Erik Thorup, IR Technology Australia Pty  
Ltd

# Interakce IČ záření

$$\text{POHLTIVOST} + \text{ODRAZIVOST} + \text{PROPUSTNOST} = 1$$

Obvykle máme  $\text{PROPUSTNOST} = 0$ :

$$\text{POHLTIVOST} + \text{ODRAZIVOST} = 1$$

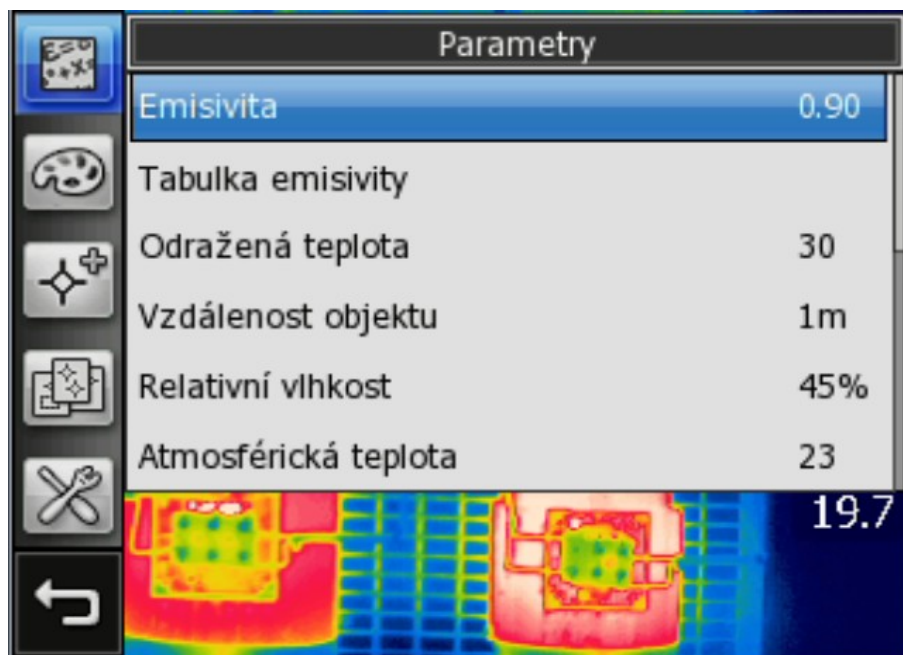
V termodynamické rovnováze platí:

$$\text{EMISIVITA} = \text{POHLTIVOST}$$

$$\text{ODRAZIVOST} = 1 - \text{EMISIVITA}$$

# Stanovení povrchové teploty

- **Termokamera teplotu neměří přímo, ale stanovuje z naměřených a zadaných údajů. To vyplývá z rovnice termografie.**
- Pro stanovení povrchové teploty je třeba znát (5 parametrů)
  - **emisivitu** [-] (rozumí se emisivita měřeného povrchu),
  - **odraženou zdánlivou teplotu** [°C] (jedná se o tepelné záření, které se odráží z měřeného povrchu),
  - atmosférickou teplotu [°C],
  - relativní atmosférickou vlhkost [%] a
  - vzdálenost mezi měřicím přístrojem a povrchem měřeného objektu [m].

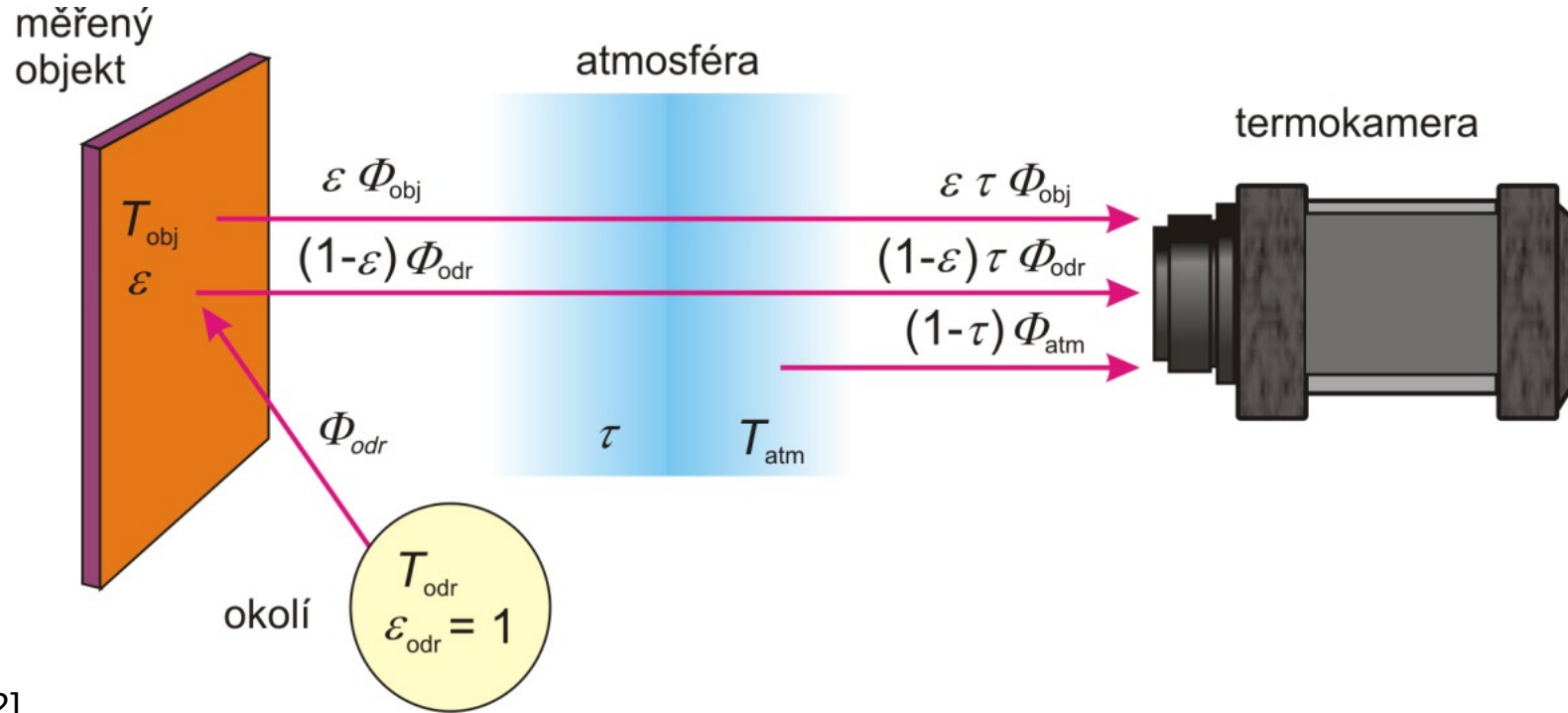


Zdroj [2]

- Parametry měření musí umožňovat zadat každý přístroj pro bezdotykové měření teploty.
- Hlavními parametry jsou emisivita a odražená zdánlivá teplota. Jejich stanovení a zadání do přístroje je nezbytné.



# Rovnice termografie



Zdroj [2]

# Odražená zdánlivá teplota

- Odražená zdánlivá teplota charakterizuje (kvantifikuje) **tepelné záření, které se od povrchu měřeného objektu odráží.**
- Pro těleso s nepropustným povrchem je odrazivost  $\rho$  povrchu rovna  $\rho = 1 - \varepsilon$ , kde  $\varepsilon$  je emisivita povrchu (všechny veličiny bychom samozřejmě měli uvážit jako funkce vlnové délky, teploty atd.).
- **Čím menší je emisivita povrchu, tím větší bude vliv odražené zdánlivé teploty**, což je vždy nepříjemné s ohledem na výslednou přesnost měření. V praxi je proto obvykle méně obtížné měřit povrchy s vysokou emisivitou, a proto se také snažíme volit takový spektrální rozsah termokamery, aby v něm byla emisivita měřeného povrchu, pokud je to možné, co největší.

# Obsah

- Motivace
- Fyzikální souvislosti
- Bezdotykové měření teploty
- **Screening horečnatých stavů**

# Výchozí technická norma

- **IEC 80601-2-59:2017** Medical electrical equipment — Part 2-59: Particular requirements for the basic safety and essential performance of screening thermographs for human febrile temperature screening
- Norma definuje:
  - Základní požadavky na měřicí přístroje pro screening horečnatých stavů
  - Metodika screeningu
  - Terminologie
  - Požadavky na bezpečnost



# Sestava pro screening

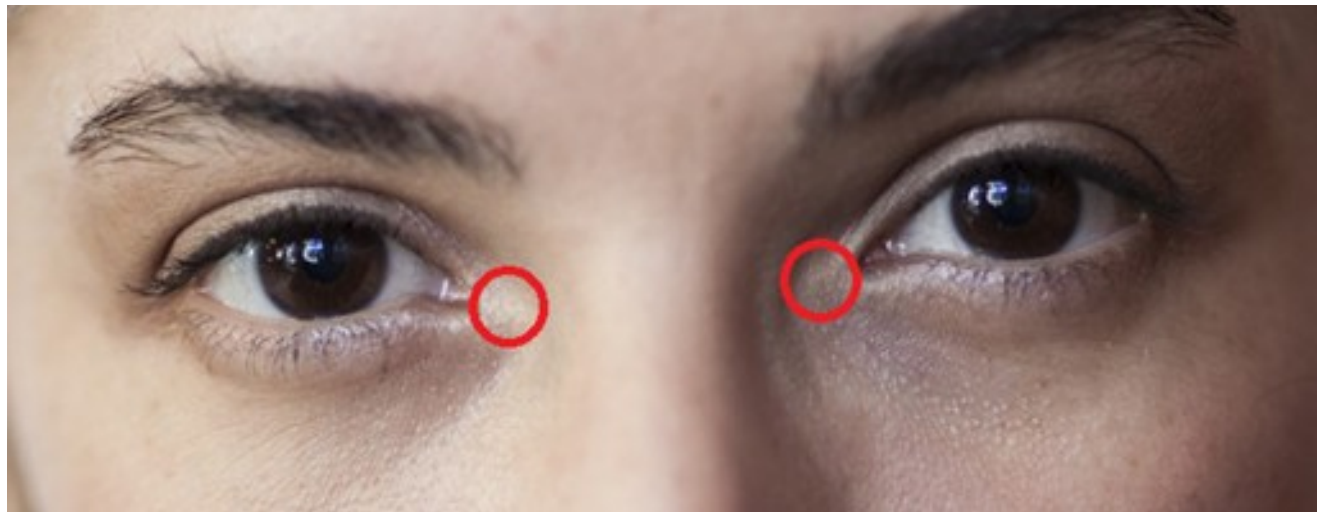
**Měření je vždy  
srovnávání s  
etalonem!**



- Metrologická návaznost je zajištěna pomocí černého tělesa, které vystupuje jako tzv. místní etalon. Lze dosáhnout nejistoty měření  $\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  a méně.
- Vzhledem k tomuto je požadavek na kontinuální recalibraci jedním z hlavních požadavků normy ISO 13154:2017 a IEC 80601-2-59:2017

Zdroj: Workswell s.r.o.

# Kde měřit



Správné místo pro bezdotykové měření tělesné teploty dle požadavků IEC 80601-2-59:2017. Zdroj: Workswell s.r.o.  
oblasti mediálně sousedící s vnitřním koutkem oka.

# Parametry měření

- Z hlediska samotného stanovení teploty je třeba si uvědomit, že termokamera neměří teplotu přímo, ale stanovuje ji na základě naměřené intenzity tepelného záření a zadaných parametrů měření. **Tyto parametry vycházejí z tzv. rovnice termografie.**
- **V praxi známe emisivitu lidské kůže, která je obvykle udávána jako 0,98 nebo 0,97** a tento údaj u termokamer pro screening horečnatých stavů bývá zadán napevno v přístroji (a lze jej měnit jen např. v servisním módu přístroje).
- **Odražená zdánlivá teplota je přístrojem obvykle odhadována jako atmosférická teplota.**

# Postup měření

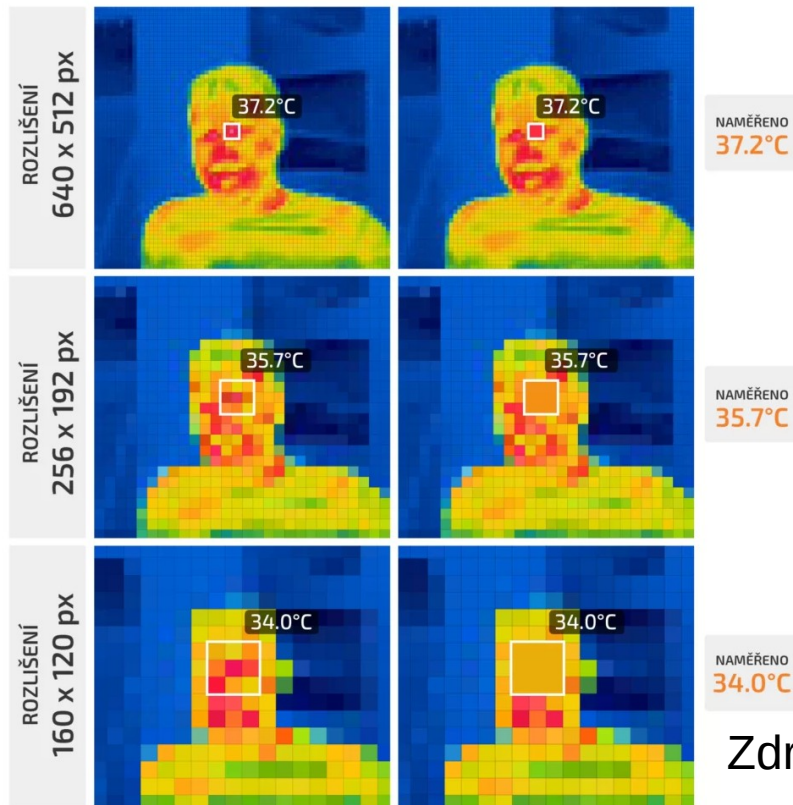
- Měření probíhá vždy ve vnitřním prostředí budovy nebo alespoň v prostředí tomuto blízkém. Konkrétní požadavky jsou: teplota vzduchu 18 °C až 24 °C a relativní vlhkost vzduchu 10 % až 75 %. Ideální je co nejmenší pohyb vzduchu (a tedy i ochlazování tváře) a zcela nezbytné je zabránění přímému vlivu slunečního záření.
- Kontrolovaná osoba se čelně dívá do objektivu termokamery a nemá na očích brýle.
- V termokameře jsou správně nastaveny parametry měření, tj. především emisivita a odražená zdánlivá teplota (viz příslušná podkapitola níže).



# Postup měření

- Prostorové rozlišení na tváři měřené osoby by mělo být alespoň 1 mm na pixel. To je vlastně požadavkem na vzdálenost mezi objektivem termokamery a kontrolovanou osobou.
- Metrologickou návaznost zajišťuje černé těleso, které je při měření vždy přítomno a prostřednictvím kterého dochází ke kontinuální recalibraci termokamery.

# Postup měření



Zdroj: Workswell s.r.o.

# Postup měření

- Na tváři kontrolované osoby je třeba odečíst teplotu v oblasti mediálně sousedící s vnitřním koutkem oka.
- Je tomu tak díky stabilitě teploty v této oblasti, neboť ta se nachází přímo nad procházející krční tepnou (tedy jednou z jejich “větví”). Nejedná se sice o měření tzv. “teploty jádra”, jak bychom si přáli, ale na povrchu lidského těla jsou místa s blízkostí krční tepny obvykle nejbližší této teplotě jádra.
- Metrologickou návaznost zajišťuje černé těleso, které je při měření vždy přítomno a prostřednictvím kterého dochází ke kontinuální recalibraci termokamery.

# Poznámky závěrem

- Pohled laické veřejnosti na termokamery je podobný, jako pohled na **klasické kamery, tj. horší parametry jsou vnímány jako “zhoršení záznamu”**, nikoli jako významné snížení přesnosti až za hranici použitelnosti pro tuto aplikaci.
- Další velmi zkreslený je pohled skrze tzv. obrazové funkce. Rozpoznávání a záznam tváří je jistě zajímavá funkce, pokud je ale spojena se špatným měřením teploty (nevhodné) nepřináší tato funkce žádný užitek. **Navíc tato funkce vytváří nesmyslný dojem, že teplotu na tváři lze reprezentovat jedním číslem.**
- Nejvyšší možné přesnosti tak dosahují termokamery s vysokým rozlišením (nejlépe 640x480 a více) a s možností kontinuální recalibrace pomocí černého tělesa tak, aby byl splněny požadavky standardu **ISO/TR 13154:2017**.

# Reference

- [1] **A Basic Course in Thermography, Erik Thorup, IR Technology Australia Pty Ltd (special thanks!)**
- [2] Bezdotykové měření teplotních polí I.-III., Jan Sova, Aldebaran Bulletin
- [3] ČSN ISO 18434-1 Monitorování stavu a diagnostika strojů; Termografie. Část 1: Všeobecné postupy
- [4] Školicí materiály [www.eko-drony.cz](http://www.eko-drony.cz)
- [5] Chalcogenide glass planar photonics: from mid-IR sensing to 3-D flexible substrate integration, Hongtao Lin et al.
- [6] MIL-STD-2194, MILITARY STANDARD: INFRARED THERMAL IMAGING SURVEY PROCEDURE FOR ELECTRICAL EQUIPMENT (12 FEB 1988)
- [7] Stemmer Imaging: Let's see the invisible; SWIR and LWIR camera technology, Puchheim, Germany, 2013

# Reference

- [8] Morales-Cervantes A, Kolosovas-Machuca ES, Guevara E, et al. An automated method for the evaluation of breast cancer using infrared thermography. EXCLI J. 2018;17:989-998. Published 2018 Oct 26. doi:10.17179/excli2018-1735
- [9] Hildebrandt, C.; Raschner, C.; Ammer, K. An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. Sensors 2010, 10, 4700-4715. <https://doi.org/10.3390/s100504700>
- [10] Niemczykova, P. (2013). Přesnost měření u rektálních a tympanálních teploměřů využívaných na dětském oddělení. (Diplomová práce). Univerzita Pardubice. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/52008/NiemczykovaP\\_PresnostMereni\\_EH\\_2013.pdf?sequence=3](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/52008/NiemczykovaP_PresnostMereni_EH_2013.pdf?sequence=3)
- [11] Vaněk, P. O. (2010). Komparativní studie měření teploty těla různými technologiemi. The Internet Journal of Pediatrics and Neonatology, 13(2).

# Reference

- [12] Osio, C. E., Carnelli, V. (2007) Comparative study of body temperature measured with a non-contact infrared thermometer versus conventional devices. The first Italian study on 90 pediatric patients. *Minerva Pediatr.* 59(4): 327–336. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17947839>
- [13] Teunissen, L. P. & Daanen, H. A. (2011) Infrared thermal imaging of the inner canthus of the eye as an estimator of body core temperature. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 35(3-4), 134-138. doi: 10.3109/03091902.2011.554595
- [14] Childs, C., Zu, M., Wai, A., Tsai, Y., Wu, S., Li, W. (2012). Infra-red Thermal Imaging of the Inner Canthus: Correlates with the Temperature of the Injured Human Brain. *Engineering*, 4(10), 53-56. doi: 4236/eng.2012.410B014.
- [15] IEC 80601-2-59:2017 Medical electrical equipment — Part 2-59: Particular requirements for the basic safety and essential performance of screening thermographs for human febrile temperature screening