

# Kapesní průvodce termografie

teorie – praxe – tipy & triky

#### Autorská práva, záruky a závazky

Informace obsažené v tomto kapesním průvodci jsou chráněny autorskými právy. Všechna tato práva náleží společnosti Testo SE & Co. KGaA. Obsah a obrázky nesmí být bez předchozího souhlasu firmy Testo SE & Co. KGaA rozšiřovány, upravovány nebo používány k jinému než popsanému účelu.

Informace v tomto kapesním průvodci jsou zpracovány s maximální pečlivostí. Uvedené informace však nejsou závazné a společnost Testo SE & Co. KGaA si vyhrazuje právo na jejich změny nebo doplnění. Testo SE & Co. KGaA nepřijímá žádnou zodpovědnost nebo záruky za správnost a úplnost poskytovaných informací. Z jakéhokoliv právního důvodu vzniklá odpovědnost za škody způsobené společností Testo SE & Co. KGaA nebo jejími zástupci nebo smluvními partnery, která vznikla buď úmyslně, z hrubé nedbalosti, porušením závazných smluvních povinností nebo z lehké nedbalosti, je omezena. U škod způsobených z lehké nedbalosti je rozsah odpovědnosti Testo SE & Co. KGaA omezen na typické a předvídatelné případy podobného charakteru. Nároky na náhradu vyplývající ze záruky nebo v souladu se zákonem o odpovědnosti za výrobek zůstávají nedotčeny.

## Předmluva

Vážená zákaznice,  
vážený zákazníku,

“Obrázkem řeknete víc než tisíce slovy.”

V časech rostoucích cen energií a vysokých nákladů na prostoje strojů se bezkontaktní měření teploty uplatňuje při zjišťování účinnosti budov i při průmyslové údržbě. Není termografie jako termografie. Při bezkontaktním měření teploty platí některá základní pravidla.

Příručka „Kapesní průvodce termografie“ vznikla na základě opakovaných požadavků, našich zákazníků. Obsahuje mnoho zajímavých informací a také tipů a triků z praktického měření, které Vám mohou výrazně pomoci při Vašem každodenním měření.

Přejeme příjemné čtení!



Prof. Burkart Knospe, generální ředitel

# Obsah

1	Teoretické základy termografie	5
1.1	Emise, reflexe, prostup	6
1.2	Měřené místo a vzdálenost	13
2	Termografie v praxi	16
2.1	Měřený objekt	16
2.2	Okolí měřeného tělesa	18
2.3	Praktické stanovení $\varepsilon$ a RTC	25
2.4	Příčiny chyb při infračerveném měření	28
2.5	Ideální podmínky pro infračervené měření	34
2.6	Perfektní termogram	35
3	Příloha	38
3.1	Termografie - glosář	38
3.2	Tabulka emisivit	51
3.3	Testo doporučuje	53

# 1 Teoretické základy termografie

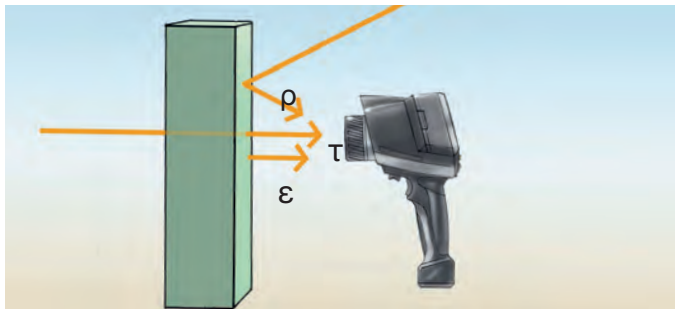
Každý objekt s teplotou vyšší než absolutní nula (0 Kelvinů = -273,15 °C) vydává infračervené záření. Toto infračervené záření není lidským okem viditelné.

Jak již v roce 1884 prokázali fyzici Josef Stefan a Ludwig Boltzmann, existuje souvislost mezi teplotou tělesa a intenzitou jím vyzařovaného infračerveného záření. Termokamera měří ve svém zorném poli dlouhovlnné infračervené záření. Z toho dopočítává teplotu měřeného objektu. Výpočet probíhá s ohledem na stupeň emisivity ( $\epsilon$ ) povrchu měřeného objektu a kompenzaci odražené teploty (RTC = Reflected Temperature Compensation). Obě tyto hodnoty jsou v termokameře manuálně nastavitelnými veličinami. Každý pixel detektoru představuje teplotní bod, který je na displeji zobrazen v určitém barevném provedení (viz „1.2 Měřené místo a vzdálenost“, str. 13).

Termografie (měření teploty termokamerou) je pasivní, bezkontaktní měřicí metoda. Vytváří se obraz rozložení teploty na povrchu měřeného objektu. Termokamerou nelze měřit vnitřní teplotu objektu ani teplotu objektů v pozadí.

## 1.1 Emisivita, reflexe, prostup

Záření zaznamenané termokamerou se skládá z vyzáření, odražené a přenesené složky dlouhovlnného infračerveného záření, které vychází z objektů v zorném poli termokamery.



Obrázek 1.1: Emise, reflexe a prostup



### **Emisivita ( $\epsilon$ )**

Emisivita ( $\epsilon$ ) je měřítkem schopnosti materiálu emitovat (vyzařovat) infračervené záření.

- $\epsilon$  závisí na charakteru povrchu materiálu a u některých materiálů, také na teplotě měřeného tělesa a mění se také podle spektrálního rozsahu použité termokamery.
- Maximální emisivita:  $\epsilon = 1$  ( $\cong 100\%$ ) (viz „Černé těleso“, str. 39). Příklad  $\epsilon = 1$  je ideálním stavem a ve skutečnosti nikdy nenastane.

- Reálná tělesa:  $\epsilon < 1$ , neboť reálná tělesa záření zároveň odrážejí a eventuálně přenášejí.
- Mnoho nekovových materiálů (např. PVC, beton, organické látky) má vysokou, na teplotě nezávislou, emisivitu ( $\epsilon \approx 0,8 - 0,95$ ) v dlouhovlnném spektru infračerveného záření.
- Kovy, především ty s hladkými povrchy, mají nízkou emisivitu, která je závislá na teplotě.
- $\epsilon$  je možné v termokameře nastavit manuálně.



### Hodnota reflexe ( $\rho$ )

Reflexe ( $\rho$ ) je konstanta, specifická pro každý materiál, která udává schopnost tělesa odrážet záření.

- $\rho$  závisí na charakteru povrchu materiálu, teplotě a typu materiálu.
- Obecně platí, že hladký, lesklý povrch odráží záření mnohem lépe než hrubý, matný povrch stejného materiálu.
- Teplotu odraženého záření je možné v termokameře manuálně nastavit (RTC).
- RTC odpovídá v mnoha měřicích úlohách teplotě okolí (zejména u vnitřní termografie). Tu je ve většině případů možné změřit například teploměrem testo 810.
- RTC je možné také zjistit pomocí Lambertova zářiče (viz. „Měření odražené teploty pomocí (improvizovaného) Lambertova zářiče“, str. 27).
- Úhel odrazu odraženého infračerveného záření je vždy stejný jako úhel dopadu (viz „Zrcadlová reflexe“, str. 31).



### **Přenos - transmise ( $\tau$ )**

Stupeň přenosu ( $\tau$ ) je měřítkem schopnosti materiálu přenášet (propouštět) infračervené záření.

- $\tau$  závisí na druhu a tloušťce materiálu.
- Naprostá většina materiálů není pro dlouhovlnné infračervené záření propustná.

### **Kirchhoffův zákon záření**

Infračervené záření zaznamenané termokamerou se skládá z:

- měřeným tělesem emitovaného záření,
- odraženého okolního záření a
- prostoupeného záření měřeným tělesem.

(viz obr. 1.1, str. 6)

Součet těchto složek je vždy roven 1 ( $\cong 100\%$ ):

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

Neboť prostup v praxi nehraje žádnou roli, součinitel prostupu  $\tau$  ve vzorci zanedbáme

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

se zjednoduší na

$$\varepsilon + \rho = 1.$$



Pro termografii to znamená:

čím je nižší emisivita,

- tím vyšší je podíl odraženého infračerveného záření,
- tím obtížnější je přesné měření teploty a
- tím důležitější je přesné nastavení kompenzace odražené teploty (RTC).

### **Souvislost mezi emisí a reflexí**

1. Měřené objekty s vysokou emisivitou ( $\epsilon \geq 0,8$ ):

- mají nízkou odraznost ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$
- jejich teplotu lze velmi přesně měřit termokamerou

2. Měřené objekty se střední emisivitou ( $0,6 < \epsilon < 0,8$ ):

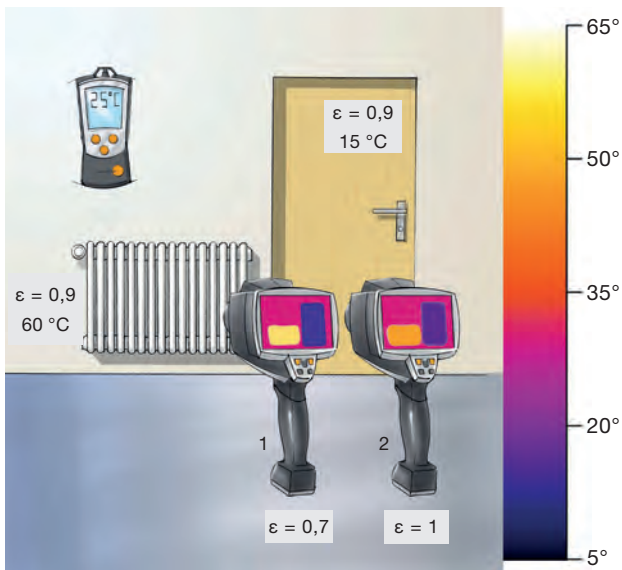
- mají střední odraznost ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$
- jejich teplotu lze přesně měřit termokamerou

3. Měřené objekty s nízkou emisivitou ( $\epsilon \leq 0,6$ ):

- mají vysokou odraznost ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$
- měření teploty termokamerou je možné, ale naměřené výsledky je potřeba kriticky posuzovat
- je nezbytné správně nastavit kompenzaci odraženého záření, neboť má velký vliv na výpočet teploty

Zvláště v případě velkých teplotních rozdílů mezi měřeným objektem a jeho okolím je správné nastavení emisivity extrémně důležité.

1. Pokud je teplota měřeného objektu vyšší než teplota okolí (viz. topení na obr. 1.2, str. 11):
  - příliš vysoko nastavená emisivita způsobí, že je hodnota teploty příliš nízká (viz. kamera 2)
  - příliš nízko nastavená emisivita způsobí, že je hodnota teploty příliš vysoká (viz. kamera 1)
2. Pokud je teplota měřeného objektu nižší než teplota okolí (viz. dveře na obr. 1.2, str.11):
  - příliš vysoko nastavená emisivita způsobí, že je hodnota teploty příliš vysoká (viz. kamera 2)
  - příliš nízko nastavená emisivita způsobí, že je hodnota teploty příliš nízká (viz. kamera 1)



Obrázek 1.2: Vliv chybně nastavené emisivity při měření teploty

**Pozor:**

Čím je větší rozdíl mezi teplotou měřeného objektu od teploty okolí a čím menší je emisivita, tím větší bude chyba měření. Tato chyba při chybně nastavené emisivitě ještě zvětšuje.

**Poznámka:**

- Pomocí termokamery je možné měřit pouze teplotu povrchu, nelze měřit vnitřní teplotu ani tělesa v pozadí.
- Mnoho, pro lidské oko průhledných materiálů, jako například sklo, není transmisivních (propustných) pro dlouhovlnné infračervené záření (viz “Měření na skle”, str. 30).
- V případě potřeby odstraňte z měřeného objektu veškeré kryty, jinak bude termokamera měřit pouze povrchovou teplotu těchto krytů.

**Pozor:**

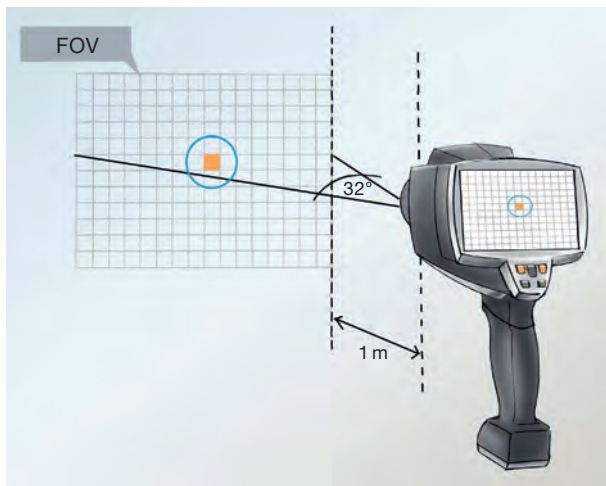
Dbejte vždy na provozní předpisy měřených objektů!

- K několika málo propustným materiálům patří například tenké plastové fólie a germanium, materiál, ze kterého jsou vyrobeny čočky a ochranné sklo termokamer Testo.
- Pokud elementy, které leží pod povrchem, tento povrch tepelně ovlivňují, je možné často pomocí termokamery rozpoznat strukturu těchto objektů. Přesto měří termokamera vždy pouze povrchovou teplotu. Přesné určení teploty těchto elementů není možné.

## 1.2 Měřené místo a vzdálenost

Při určování vhodné vzdálenosti od místa měření a maximální velikosti měřeného objektu, je potřeba brát ohled na tři veličiny:

- zorné pole (FOV),
- nejmenší rozpoznatelný objekt (IFOV<sub>geo</sub>) a
- nejmenší měřitelný objekt / místo měření (IFOV<sub>měr</sub>).



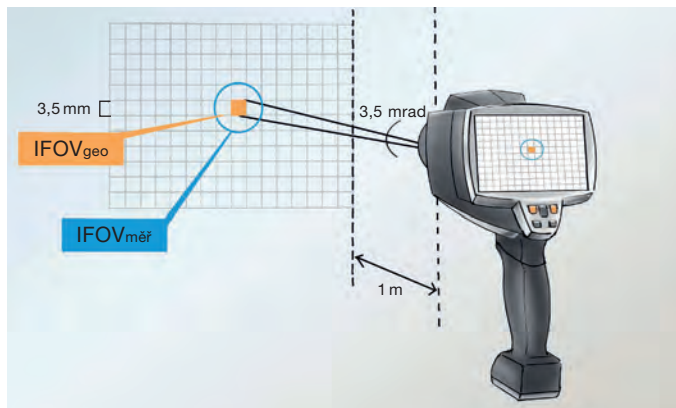
Obrázek 1.3: Zorné pole termokamery

Zorné pole (FOV) termokamery je termokamerou viditeľná plocha (viz obr. 1.3, str. 13). Ta je závislá na použitém objektivu (např. 32° širokoúhlý objektiv nebo 9° teleobjektiv – standardně k dispozici jako příslušenství pro testy 885 a testy 890).

**Poznámka:**

Pro velké zorné pole použijte širokoúhlý objektiv.

Zároveň byste měli znát nejmenší rozpoznatelný objekt Vaší termokamery ( $IFOV_{geo}$ ). To popisuje velikost jednoho pixelu v závislosti na vzdálenosti.



Obrázek 1.4: Zorné pole jednoho pixelu

Při prostorovém rozlišení objektivu 3,5 mrad a měřicí vzdálenosti 1 m má nejmenší rozpoznatelné měřené těleso ( $IFOV_{geo}$ ) délku hrany 3,5 mm a na displeji se zobrazuje jako jeden pixel (viz. obr. 1.4, str. 14). Pro přesné měření by měl být měřený objekt 3x větší než nejmenší rozpoznatelný objekt ( $IFOV_{geo}$ ).

Pro nejmenší měřitelný objekt ( $IFOV_{měř}$ ) platí také základní pravidlo:

$$IFOV_{měř} \approx 3 \times IFOV_{geo}$$

**Poznámka:**

- Pro dobré prostorové rozlišení byste měli použít teleobjektiv.
- Pomocí počítadla FOV v aplikaci testu Thermography App můžete dopočítat hodnoty FOV,  $IFOV_{měř}$  a  $IFOV_{geo}$  pro různé měřicí vzdálenosti.

# 2 Termografie v praxi

## 2.1 Měřený objekt



### 1. Materiál a emisivita

Povrch každého materiálu má svou specifickou emisivitu, která je měřítkem, kolik infračerveného záření materiál vydává a to

- odrazem
- vyzařováním (ze samotného objektu).



### 2. Barva

Při měření teploty termokamerou nemá barva materiálu výraznější vliv na, z měřeného objektu vycházející, infračervené záření. Tmavé povrchy absorbují více krátkovlnného infračerveného záření než světlé povrchy a ohřívají se proto rychleji. Vyzařované infračervené záření závisí totiž na teplotě a ne na barvě povrchu měřeného objektu. Například černě lakované těleso vyzařuje stejné množství dlouhovlnného infračerveného záření jako bíle lakované těleso o stejné teplotě.

### 3. Povrch měřeného objektu

Rozhodnou roli při měření teploty termokamerou hraje povrch



měřeného objektu. Protože každá struktura povrchu, jeho znečištění nebo povlakování mění emisivitu tělesa.



### **Struktura povrchu**

Hladký, lesklý, zrcadlový a/nebo leštěný povrch má zpravidla o něco nižší emisivitu než matný, strukturovaný, hrubý, zkorodovaný a/nebo poškrábaný povrch stejného materiálu. U velice hladkých ploch dochází často k zrcadlové reflexy (viz 31).

### **Vlhkost, sníh a námraza na povrchu**

Voda, sníh a námraza mají relativně vysokou emisivitu (cca  $0,85 < \epsilon < 0,96$ ), proto je v tomto případě měření obecně bezproblémové. Ovšem je třeba dát pozor na to, že teplota měřeného objektu může být takto přirozeně pokrytou vrstvou zkreslena. Vlhkost při odpařování ochlazuje povrch měřeného objektu a sníh má dobré izolační vlastnosti. Námraza obvykle netvoří celistvý měřený povrch, proto musíte při měření zohlednit emisivitu námrazy i pod ní ležícího povrchu.

### **Znečištění a cizí tělesa na povrchu**

Znečištění na povrchu měřeného objektu, jako např. prach, saze nebo mazivo, zpravidla zvyšuje emisivitu povrchu. Z toho důvodu je měření znečištěného objektu zpravidla bezproblémové. Vaše termokamera však vždy měří teplotu povrchu, tedy teplotu nečistot a ne přesnou teplotu povrchu měřeného předmětu pod nimi.

### **Poznámka:**

- Emisivita materiálu silně závisí na struktuře povrchu materiálu.
- Pozor na korektní nastavení emisivity podle povrchu měřeného objektu.
- Neměřte vlhké, zasněžené nebo namrzlé plochy.
- Neměřte na nepřiléhajícím znečištění (zkreslení teploty kvůli vzduchovým kapsám).
- Při měření hladkých povrchů věnujte zvláštní pozornost možným zdrojům záření v okolí (např. slunce, topení atd.).

## 2.2 Okolí měřeného tělesa



### **1. Teplota okolí**

Aby mohla termokamera správně dopočítat teplotu měřeného objektu, je potřeba vedle nastavení emisivity ( $\epsilon$ ), dát pozor také na odraženou teplotu (RTC). V mnoha případech měření odpovídá odražená teplota teplotě okolí (viz “2. Záření”, str. 19). Teplotu okolí je možné změřit teploměrem pro měření okolního vzduchu, např. testo 810. Přesné nastavení emisivity je zvláště důležité při vysokém rozdílu teploty měřeného tělesa a teploty okolí (viz obr. 1.2, str. 11).



## 2. Záření

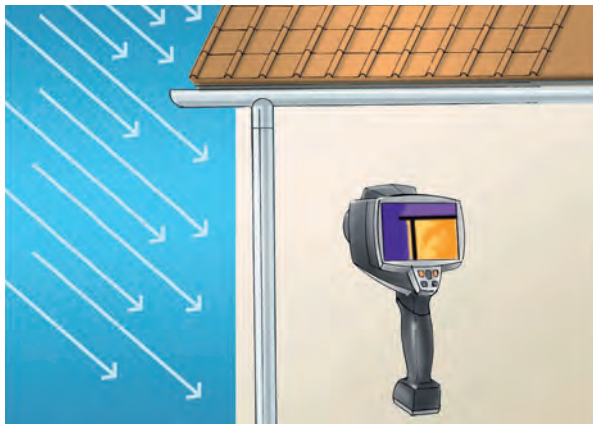
Každý objekt s teplotou vyšší než absolutní nula (0 Kelvinů =  $-273,15\text{ °C}$ ) vysílá infračervené záření.

Především objekty, které mají teplotu výrazně odlišnou od měřeného objektu, mohou infračervené měření rušit svým vlastním vyzařováním. Takové zdroje rušení je potřeba, pokud je to možné, odstranit nebo vypnout. Odstíněním zdrojů rušení (např. plátnem nebo kartonem) redukuje jejich negativní vliv na měření. Pokud se nedá zdroj rušení odstranit, neodpovídá odražená teplota teplotě okolí.

Pro měření odraženého záření doporučujeme například Lambertův zářič ve spojení s Vaší termokamerou (viz. “Stanovení teploty odraženého záření”, str. 27).

### Zvláštnosti termografie ve venkovním prostředí

Infračervené záření, které vychází z oblohy, se hovorově nazývá „chladným zářením nebe“. Pokud je nebe jasné, je odráženo „chladné záření nebe“ ( $\sim -50$  až  $-60\text{ °C}$ ) a tepelné záření slunce ( $\sim 5500\text{ °C}$ ). Nebe převyšuje svou plochou slunce, proto je odražená teplota při termografickém měření ve venkovním prostředí v případě slunečného dne většinou menší než  $0\text{ °C}$ . Kvůli absorpci slunečního záření se objekty na slunci ohřívají. To závažně ovlivňuje povrchovou teplotu, v některých případech i několik hodin po skončení vystavení slunečnímu záření.



Obrázek 2.1: Reflexe při měření venku

Na obrázku 2.1 je patrné, že dešťový okap je na termosnímku zobrazen jako chladnější než stěna domu. Obě tělesa však mají přibližně stejnou teplotu. Snímek je tedy nutné také správe interpretovat.

Řekněme, že povrch okapu je pozinkovaný a má velice nízkou emisivitu ( $\epsilon = 0,1$ ). Pouze 10 % z okapu vycházejícího dlouhovlnného infračerveného záření je vyzářeno a zbylých 90 % je odražené záření okolí (RTC). Pokud je nebe jasné, odráží se „chladné záření nebe“ (~ -50 až -60 °C) na okapu.

Termokamera je nastavena na správné měření stěny domu  $\epsilon = 0,95$  a RTC = -55 °C. Kvůli výrazně nízké emisivitě a velice silné reflexi se dešťový okap na termosnímku jeví jako velmi studený. Pro správné zobrazení teplot obou materiálů na termosnímku je možné emisivitu některých ploch zpětně upravit

pomocí analyzačního softwaru (např. pomocí Testo IRSoft nebo testo Thermography App). Doporučujeme použití Lambertova zářiče správné určení RTC (viz “2.3 Praktické určení  $\epsilon$  a RTC”, str. 25).

### **Poznámka:**

- Pozor na vliv infračerveného záření Vašeho těla.
- Při měření měňte polohu, tím odhalíte případnou reflexi. Reflexe se přemisťuje, rozložení teploty měřeného objektu zůstává na stejném místě - a to i při změně zorného úhlu.
- Neprovádějte měření v blízkosti hodně horkých nebo studených předmětů nebo je odstiňte.
- Neměřte objekty pod přímým slunečním světlem, ani po několika hodinách. Měřte v časných ranních hodinách.
- Ve venkovním prostředí měřte pokud možno, když je nebe pod mrakem.



### **3. Počasí Zataženo**

Pro infračervené měření ve venkovním prostředí nabízí oblačná obloha ideální podmínky, neboť mraky odstíní „chladné záření nebe“ od měřeného objektu (viz “2. Záření”, str. 19).

## Srážky

Silné srážky (déšť, sníh) mohou silně ovlivnit výsledek měření. Voda, led a sníh mají vysokou emisivitu a jsou nepropustné pro infračervené záření. Navíc měření mokrých objektů může vést k chybě měření, neboť se povrch měřeného tělesa ochlazuje odpařováním (viz “3. Povrch měřeného objektu”, str. 38).

## Slunce

(viz. “2. Záření”, str. 19)

### Poznámka:

- Měřte přednostně při zatažené obloze.
- Oblačno by mělo být i několik hodin před měřením.
- Pozor na silný déšť mezi přístrojem a měřeným objektem během měření.



## 4. Vzduch

### Vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu v okolí měřeného tělesa by měla být dostatečně nízká, aby nedocházelo ke kondenzaci ve vzduchu (mlha) na měřeném předmětu, na ochranném skle nebo na čočce termokamery. Pokud je čočka (příp. ochranné sklo) zamlženo, nedostane se část infračerveného záření do termokamery.

Velice hustá mlha může měření ovlivnit, neboť kapičky vody ve vzduchu propustí méně infračerveného záření.

### **Proudění vzduchu**

Vítr nebo průvan v místnosti může ovlivňovat měření teploty termokamerou.

Kvůli přestupu tepla (konvekci) má vzduch v okolí měřeného tělesa stejnou teplotu jako měřený objekt. Při větru nebo průvanu, se vyrovnaný vzduch „odežene“ a na jeho místo se dostane vzduch, jehož teplota je odlišná od teploty měřeného objektu.

Kvůli konvekci odebírá vzduch teplo teplému, případně k chladnějšímu objektu teplo přivádí, dokud se teplota vzduchu a tělesa nevyrovnají. Tento efekt přenosu tepla se zvyšuje s rozdílem teploty měřeného objektu a okolního vzduchu.

### **Znečištěný vzduch**

Částice, jako např. prach, saze, kouř a mnoho par mají vysokou emisivitu a jsou zřídka transmisivní. To znamená, že mohou měření narušovat, neboť samy emitují infračervené záření, které vstupuje do termokamery. Navíc může infračervené záření měřeného objektu do termokamery vstupovat pouze zčásti, protože je rozptýlenými částicemi odraženo a pohlcováno.

### **Poznámka:**

- Neměřte v mlze ani ve vodní páře.
- Neměřte při kondenzaci vzdušné vlhkosti na termokameře (viz “Vlhkost, sníh a námraza na povrchu”, str. 17).
- Vyhnete se, pokud je to možné, měření ve větru nebo průvanu.
- Pozor na rychlost a proudění vzduchu a jeho směr a zohledněte to během měření a tato data zohledněte při vyhodnocení termosnímků.
- Neměřte ve velmi znečištěném vzduchu (např. v čerstvě rozvířeném prachu).
- Měřte vždy z (pro Vaše měření) nejmenší možné vzdálenosti, aby se omezil rušivý vliv cizích částic ve vzduchu.



### **5. Světlo**

Světlo nebo osvětlení nehraje při měření termokamerou významnou roli. Je možné měřit i ve tmě, neboť termokamera měří dlouhé vlny infračerveného záření.

Přesto některé zdroje světla vysílají infračervené záření a mohou tak ovlivňovat teplotu objektů ve svém okolí. Proto byste neměli měřit například v přímém slunečním záření nebo v blízkosti horkých žárovek. Chladné zdroje světla, jako jsou LED diody nebo neonové trubice, jsou neškodné, neboť velkou část jimi vyslané energie tvoří viditelné světlo a ne infračervené záření.



## 2.3 Praktické stanovení $\varepsilon$ a RTC

Pro stanovení emisivity povrchu měřeného objektu, můžete např.:

- vyčíst emisivitu z tabulky (viz “3.2 Tabulka emisivit”, str. 51).  
**Pozor:** Hodnoty v tabulce emisivit jsou vždy pouze orientační. Emisivita povrchu Vašeho měřeného objektu se proto může od uvedené orientační hodnoty lišit.
- Emisivitu je možné také určit srovnávacím měřením kontaktním teploměrem (např. pomocí teploměru testo 905-T2 nebo testo 925)  
(viz “1. Srovnávací metoda s kontaktním teploměrem”, str. 25).
- Emisivitu je možné stanovit také srovnávacím měřením samotnou termokamerou (viz “2. Srovnávací metoda pomocí termokamery”, str. 26).

### Srovnávací metoda

#### **1. Srovnávací metoda s kontaktním teploměrem**

Nejdříve změřte teplotu povrchu měřeného objektu kontaktním teploměrem (např. testo 905-T2 nebo testo 925).

Nyní změřte teplotu povrchu měřeného objektu termokamerou s přednastavenou emisivitou jedna. Rozdíl mezi naměřenými teplotami z kontaktního měření a termokamery je způsoben chybně nastavenou emisivitou. Postupně měňte nastavenou emisivitu, tím se bude měnit i měřená teplota. Pokračujte, dokud nenaměříte termokamerou stejnou hodnotu jako kontaktním měřením. V tu chvíli nastavená emisivita pak odpovídá emisivitě povrchu měřeného objektu.

## 2. Srovnávací metoda pomocí termokamery

Na povrch měřeného tělesa nejprve nalepte kus emisní pásky s definovanou teplotou (např. tepelně odolná emisní páska od Testo). Po krátké době, potřebné pro ustálení teploty, změřte teplotu pásky nalepené na povrchu měřeného objektu.

V termokameře je potřeba mít nastavenou emisivitu lepicí pásky. Tato teplota je Vaší referenční teplotou. Nyní upravujte nastavení emisivity, dokud termokamera nenaměří i na povrchu bez lepicí pásky stejnou teplotu jako je naměřená referenční teplota. Takto nastavená emisivita je emisivitou povrchu měřeného objektu.

Místo pásky je možné použít také:

- měřený objekt natřený lakem nebo barvou se známou emisivitou.
- na měřený objekt naneste silnou vrstvou ( $> 0,13$  mm) tepelně odolného oleje ( $\epsilon \approx 0,82$ ).
- na měřený objekt naneste silnou vrstvou sazí ( $\epsilon \approx 0,95$ ).
- s funkcí  $\epsilon$ -Assist stanovte emisivitu a RTC (testo 868/868s, testo 871/871s, testo 872/872s).

### **Poznámka:**

- Pozor: vždy dodržujte provozní předpisy měřeného tělesa!
- Před provedením správného měření je třeba si uvědomit, že se teplota naneseného nátěru nebo lepicí pásky musí nejprve přizpůsobit teplotě měřeného tělesa.

## Stanovení teploty odraženého záření

Pokud odstraníte veškeré možné zdroje rušení, které mohou ovlivňovat Vaše měření, je teplota odraženého záření rovna teplotě okolí. Teplotu okolí můžete změřit např. teploměrem pro měření okolního vzduchu, jako např. testo 810, a naměřenou teplotu zadáte do termokamery jako RTC. Pokud je ale přítomno cizí infračervené záření v okolí měřeného tělesa, měla by být pro přesné výsledky měření změřena odražená teplota.

### **Měření odražené teploty pomocí (improvizovaného) Lambertova zářiče**

Lambertův zářič je objekt, který ideálně rozptýlí dopadající záření, tedy je odrazí stejně silně do všech směrů.

Na Lambertově zářiči můžete pomocí termokamery změřit teplotu odraženého záření. K tomuto účelu je jako náhrada Lambertova zářiče vhodná zmačkaná a znovu roztažená hliníková fólie. Fólie má vysokou reflexi a díky zmačkané struktuře se záření odráží způsobem blízkým k ideální difuzi (viz obr. 2.3, pravá strana hliníkové fólie, str. 32).

Pro měření teploty odraženého záření položte Lambertův zářič do blízkosti měřeného objektu nebo ideálně přímo na měřený objekt. Potom změřte jeho teplotu při emisivitě nastavené na 1. Kamera vypočítá pouze teplotu do ní dopadajícího záření. Tuto hodnotu můžete použít jako RTC, zadat ji do termokamery a potom se správně nastavenou emisivitou měřit teplotu požadovaného objektu.

## 2.4 Příčiny chyb při infračerveném měření

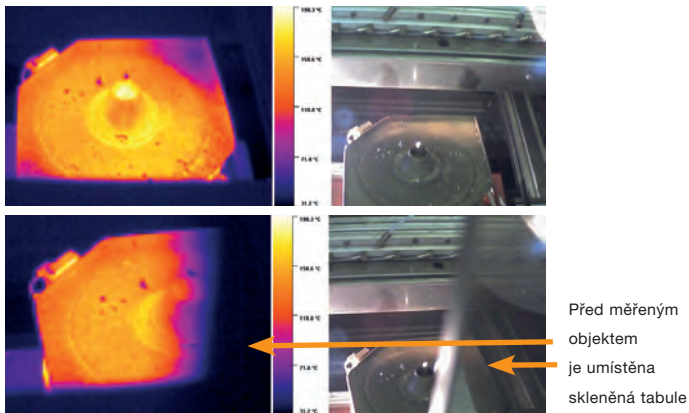
Následující faktory mohou ovlivnit výsledek Vašeho infračerveného měření:

- Špatně nastavená emisivita
  - Zjistěte správnou emisivitu a nastavte ji v termokameře (viz “Srovnávací metoda”, str. 25).
- Špatně nastavené RTC
  - Zjistěte odraženou teplotu a zadejte ji do termokamery (viz “Stanovení teploty odraženého záření”, str. 27).
- Neostrý termosnímek
  - Zaostřete termosnímek, ostrost nelze později na snímku opravit.
- Příliš velká nebo moc malá vzdálenost od měřeného objektu.
- Měření nevhodným objektivem
- Příliš velké měřené místo
  - Při měření z minimální vzdálenosti dodržujte minimální zaostřovací vzdálenost Vaší termokamery.
  - Volte, stejně jako u fotografování, rozumně mezi teleobjektivem a širokoúhlým objektivem.
  - Dejte přednost, pokud je to možné, co nejmenší vzdálenosti od měřeného objektu.
- Rušení v přenosové cestě (např. znečištění vzduchu, kryty atd.)
- Vliv rušivých zdrojů záření (např. žárovky, slunce, topení atd.)
- Chybná interpretace termosnímku vlivem reflexe
  - Pozor na vliv rušivých zdrojů záření.
  - Rušivé zdroje záření pokud možno vypněte, odstiňte, nebo zohledněte jejich vliv při interpretaci termosnímků.

- Rychlá změna teploty okolí
  - Při změně okolní teploty z chladna do tepla, hrozí orosení objektivu.
  - Používejte pouze termokamery s teplotně stabilizovaným detektorem.
- Chybná interpretace termosnímku kvůli neznalosti struktury měřeného objektu
  - Druh a struktura měřeného objektu by měly být známy.
  - Pro interpolaci termosnímků využijte, pokud je to možné, i reálný snímek (fotografii).

## Měření přes sklo

Lidské oko dokáže vidět přes sklo, přesto je ale sklo pro infračervené záření nepropustné. Termokamera proto měří pouze teplotu povrchu skla, ne teplotu předmětů za ním (viz obr. 2.2). Avšak pro krátkovlnné záření, jako jsou např. sluneční paprsky, je sklo propustné. Proto byste měli brát ohled také na to, že by sluneční paprsky mohly Vámi měřený objekt přes sklo zahřívat. Sklo patří k zrcadlícím materiálům. Proto dejte pozor při měření teploty skla na odraz (viz “Zrcadlová reflexe”, str. 31).



Obrázek 2.2: Měření skla

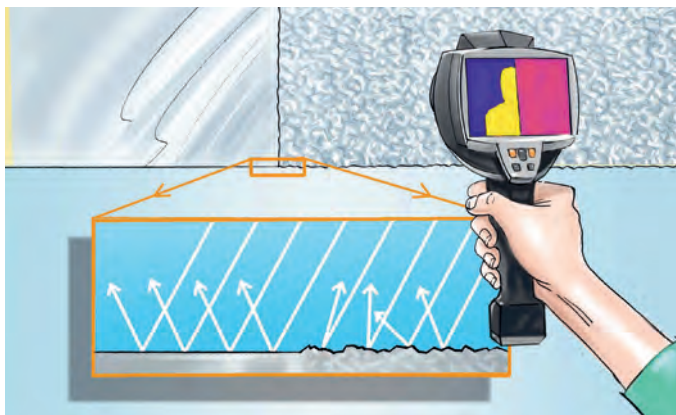
## **Měření kovů**

Kovy, zvláště ty s lesklým povrchem, silně odrážejí dlouhovlnné infračerveného záření. Nastavte velice nízkou emisivitu, která je však závislá na teplotě. Proto je měření teploty pomocí termokamery problematické. Vedle nastavení emisivity je zvláště důležité správné nastavení odražené teploty (viz “Stanovení teploty odraženého záření”, str. 27). Přečtěte si pokyny pro odražené záření (viz “Zrcadlová reflexe”, str. 31).

V případě lakovaných kovů je měření bezproblémové, protože laky mají zpravidla vysokou emisivitu. Přesto i zde musíte dát pozor na odraz na záření okolí.

## **Zrcadlová reflexe**

Viditelný odraz na povrchu je často ukazatelem silně odrazného povrchu, tudíž povrchu s nízkou emisivitou. Vysoce zrcadlíci v pro lidské oko viditelné oblasti však nemusí vždy znamenat stejně silně reflexní pro infračervené záření. Např. je možné na termosnímku lakované plochy vidět odražené okolní záření (např. silueta osoby provádějící měření), neboť lak má zpravidla vysokou emisivitu ( $\epsilon \approx 0,95$ ). Odražené objekty ale není možné vidět např. na termosnímku pískovcové stěny, přestože pískovec má nízkou emisivitu ( $\epsilon \approx 0,67$ ). Zda se na snímku objeví nebo neobjeví obrysy okolního záření nezávisí primárně na emisivitě, nýbrž na struktuře povrchu.



Obrázek 2.3: Zrcadlová a difuzní reflexe

Každé záření se odráží pod stejným úhlem, pod kterým dopadá na povrch. To znamená, že vždy platí zákon odrazu: úhel dopadu = úhel odrazu. Toto je ve zvětšeném měřítku zobrazeno na obrázku 2.3 na části s hladkou hliníkovou fólií (vlevo). Zde se infračervené záření osoby provádějící měření odráží ve stejné formě, v jaké dopadá na povrch (zrcadlová reflexe).



Zákon odrazu platí samozřejmě také i pro infračervené záření dopadající na zmačkanou hliníkovou fólii (vpravo). V tomto případě nedopadají infračervené paprsky na rovnou plochu, ale na velké množství malých plošek. Díky tomu se záření stejně jako u Lambertova zářiče, rozptýlí do různých směrů. Tato difúzní reflexe způsobí, že nelze rozpoznat žádné obrysy zdrojů odraženého infračerveného záření. Reflexe na zmačkané fólii je v každém místě směsí infračerveného záření obou zdrojů záření (osoby, která provádí měření a jejího pozadí).

**Poznámka:**

- Silně zrcadlící povrchy ve viditelné oblasti nejsou vždy silně reflexní pro infračervené záření.
- Vždy dejte pozor na vliv Vámi vyzařovaného infračerveného záření.
- Vysokou reflexi mohou mít i povrchy, na kterých není viditelný odraz.
- Hladký povrch měřte z různých úhlů a směrů, jen tak poznáte, které teploty jsou měřeným objektem odražené a které jsou měřeným objektem vyslány.

## 2.5 Ideální podmínky pro infračervené měření

Pro infračervené měření jsou důležité zejména stabilní okolní podmínky. To znamená, že klima, objekty v okolí měřeného tělesa, i všechny ostatní ovlivňující faktory by se během měření neměly měnit. Pouze tak je možné vyhodnotit všechny rušivé zdroje a zdokumentovat je pro budoucí analýzu.

Při měření ve venkovním prostředí by mělo být stabilní počasí a zatažená obloha, aby byl měřený objekt odstíněn od přímého slunečního záření, i od „chladného záření oblohy“. Zde je potřeba také dát pozor, aby měřené objekty nebyly zahřáté akumulovaným teplem z předchozího vystavení slunečnímu záření.

Ideální podmínky měření jsou:

- stabilní počasí,
- zatažená obloha před a během měření (při měření ve volném prostředí),
- bez osvětlení přímým slunečním zářením během měření i před měřením,
- žádné srážky
- suché, termicky volně přístupné plochy měřeného objektu (např. povrch bez listů, bez špon)
- bezvětří, bez průvanu
- bez zdrojů rušivého záření v okolí měřeného tělesa a v cestě přenosu
- povrch měřeného objektu s vysokou, přesně známou emisivitou.

Při termografii budov je doporučován minimální teplotní rozdíl alespoň 10 °C mezi vnitřní a vnější teplotou.

## 2.6 Perfektní termogram

Při snímání termogramu byste je potřeba dbát na dvě věci:

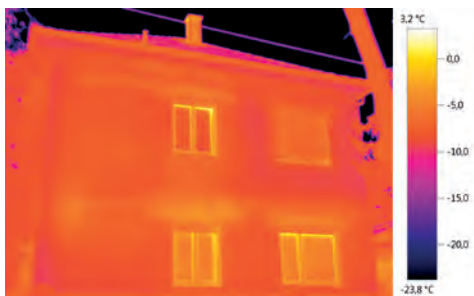
- volba správného výřezu obrazu a
  - správné zaostření termosnímků na relevantní oblast.
- Dbejte na ostrost snímku - stejně jako u normálního digitálního snímku - po uložení už není možné zaostření a výřez snímku upravovat.

Abyste získali perfektní snímek, můžete v termokameře a v analyzačním softwaru (např. testu IRSoft nebo testu Thermography App) provádět následující změny:

- Emisivita a nastavení pro kompenzaci odražené teploty (RTC). Toto je možné v profesionálním analyzačním softwaru, jako je například testu IRSoft nebo testu Thermography App, provádět bodově a plošně.
- Zvolit vhodnou barevnou paletu (např. železo, duha atd.). Nastavením vhodné barvy palety získáte vysoce kontrastní a snadněji interpretovatelný termosnímek.



Obrázek 2.4:  
Úprava teplotní  
stupnice



- Manuálně nastavit teplotní stupnici. Je možné také vylepšit teplotní a barevné odstupňování vašeho termosnímků (viz obr. 2.4).

Tipy pro pořizování termosnímků:

- Odstraňte nebo odstiňte cizí zdroje záření.
- Povrch měřeného objektu by měl být opticky a termicky přístupný. Pokud je to možné, odstraňte kryty a rušivé objekty z okolí měřeného tělesa.

- Měňte Vaši pozici při měření, aby bylo možné odhalit reflexi. Reflexe se přemísťuje, rozložení teploty na měřeném povrchu zůstává na stejném místě - i při změnách úhlu měření.
- Nejmenší měřitelný objekt by neměl být větší než měřený objekt.
- Vzdálenost od místa měření by měla být co nejmenší.
- Pro měření používejte vhodný objektiv.
- Pro přesné měření detailů se doporučujeme použít stativ.
- Měli byste znát strukturu měřených objektů, aby bylo možné přesně interpretovat termické závislosti.
- Termokameru používejte s vestavěným digitálním fotoaparátem, aby bylo snímek možné použít při pozdějším vyhodnocení.
- Pozor na všechny okolní podmínky a měřte je a dokumentujte pro pozdější použití při vyhodnocení termosnímků.

## 3 Příloha

### 3.1 Termografie - glosář

---

#### A

---

##### **Absolutní nula**

Absolutní nula leží na  $-273,15\text{ °C}$  ( $0\text{ Kelvinů} = -459,69\text{ °F}$ ). Všechna tělesa s teplotou nižší než absolutní nula nevyzařují žádné tepelné záření.

##### **Absorpce**

Když dopadá elektromagnetické infračervené záření na objekt, absorbuje tento objekt část dopadající energie. Absorpce způsobuje ohřívání objektu. Teplejší objekty vysílají více infračerveného záření než objekty studené. Absorbované (přijaté) infračervené záření se přemění na infračervené záření emitované (z objektu vycházející). Množství absorbovaného záření odpovídá emisivitě.

Na objekt dopadající infračervené záření, které není absorbováno, se odráží a/nebo prostupuje.

#### B

---

##### **Barevná škála**

Volba barevného zobrazení termosnímku v kameře (např. barevná paleta „duha“, „železo“, „stupně šedi“). Podle měřicí úlohy a nastavení barevné palety je možné upravit kontrast termosnímku. Barevnou škálu je možné upravit také pomocí analyzačního softwaru i po uložení snímku (např. pomocí testu IRSoft nebo testu Thermography App).

Při volbě barevné palety dejte pozor i na interpretovatelnost termosnímku. Červenou a žlutou barvu pozorovatel zcela intuitivně považuje za teplo a zelenou a modrou za chlad.

---

## C

---

### **Celsiův stupeň (°C)**

Jednotka teploty. Za normálního tlaku má 0 °C tající led. Dalším pevným bodem celsiovy stupnice je teplota varu vody 100 °C.

$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$  nebo  $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$ .

---

## Č

---

### **Černé těleso**

Objekt, který absorbuje veškerou energii z dopadajícího infračerveného záření, ji převede ve vlastní infračervené záření a 100 % této energie opět vyzáří. Emisivita černého tělesa je přesně jedna. Nedochází zde k žádné reflexi nebo prostupu záření. V praxi se objekty s těmito vlastnostmi nevyskytují. Zařízení pro kalibraci termokamer se nazývá černý zářič. Jeho emisivita se přesto pouze přibližuje jedné.

---

## D

---

### **Detektor**

Detektor snímá infračervené záření a převádí je na elektrický signál. Geometrické rozlišení detektoru je udáváno v pixelech a teplotní citlivost pomocí NETD.

## **Doba ustálení**

Doba ustálení je doba, kterou termokamera potřebuje, aby se její teplota vyrovnala s teplotou okolí místa měření. Doba ustálení termokamery zjistíte z návodu k obsluze.

## **Dvoubodové měření**

Funkce dvoubodového měření nabízí na displeji termokamery dva nitkové kříže, jejichž pomocí je možné odečíst jednotlivé teploty.

---

## **E**

---

### **Emisivita ( $\epsilon$ )**

Měřítka schopnosti materiálu emitovat (vysílat) infračervené záření. Emisivita závisí na kvalitě povrchu, materiálu, v případě některých materiálů i na teplotě objektu.

---

## **F**

---

### **Fahrenheit (°F)**

Jednotka teploty, používaná zejména v severní Americe.

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32.$$

Příklad 20 °C ve °F:  $(20\text{ }^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = 68\text{ }^{\circ}\text{F}$ .

### **FOV – zorné pole**

Zorné pole termokamery. Udává se hodnotou úhlu (např. 32°) a popisuje plochu, kterou je schopna termokamera obsáhnout. Zorné pole je závislé na detektoru a na použitém objektivu.

Při stejném detektoru mají širokoúhlé objektivy velké zorné pole, zatímco teleobjektivy (např. teleobjektiv Testo 9°) a superteleobjektivy mají malé zorné pole.



---

## H

---

### **Horký bod**

Viz “Studený a horký bod”, str. 47.

---

## I

---

### **Ideální zářič**

Viz “Černé těleso”, str. 39.

### **IFOV<sub>geo</sub> - zorné pole jednoho pixelu**

Geometrické rozlišení (prostorové rozlišení) udává rozlišení termokamery. Měřitko schopnosti detektoru, v závislosti na objektivu rozpoznat detaily. Geometrické rozlišení se udává v mrad (= miliradiánech) a popisuje nejmenší objekt, který, v závislosti na vzdálenosti měření, je ještě na termosnímku patrný. Na termosnímku odpovídá velikost tohoto bodu velikosti jednoho pixelu.

### **IFOV<sub>meas</sub> - měřitelné zorné pole**

Označení pro nejmenší objekt, jehož teplotu je možné pomocí termokamery přesně změřit. Je 2–3 krát větší než nejmenší rozpoznatelný objekt (IFOV<sub>geo</sub>).

Základním pravidlem je:  $IFOV_{meas} \approx 3 \times IFOV_{geo}$ .

IFOV<sub>meas</sub> se také nazývá jako měřený bod.

## **Infračervené záření**

Infračervené záření je elektromagnetické tepelné záření. Každý objekt s teplotou vyšší než absolutní nula (0 Kelvinů = -273,15 °C) vysílá infračervené záření. Infračervené záření má vlnovou délku v rozsahu 0,78  $\mu\text{m}$  až téměř 1000  $\mu\text{m}$  (= 1 mm) a tudíž hraničí s vlnovým rozsahem viditelného světla (0,38 – 0,78  $\mu\text{m}$ ).

Termokamery měří často dlouhovlnné infračervené záření v oblasti 8  $\mu\text{m}$  až 14  $\mu\text{m}$  (testo 865/865s, testo 872/872s, testo 883, testo 890), neboť atmosféra je pro infračervené záření v tomto rozsahu vlnových délek snadno prostupná.

## **Izotermy**

Čáry, které spojují místa se stejnou teplotou. Izotermy je možné zobrazit pomocí analyzačního programu (např. Testo IRSoft) nebo ve vysoce kvalitních termokamerách. Všechny body na termosnímku, jejichž teplota leží v definovaném rozsahu, jsou barevně označeny.

---

## **K**

### **Kalibrace**

Proces, kterým se porovnávají přístrojem naměřené hodnoty (naměřená hodnota) s hodnotami naměřenými referenčním přístrojem (referenční hodnota). Výsledek dává zpětnou vazbu, jestli je Vaším přístrojem naměřená hodnota stále ještě v přípustných mezích/tolerancích. Na rozdíl od justáže se kalibrací pouze stanoví a zdokumentuje zjištěná odchylka od referenční hodnoty a nijak se neseřizuje. Intervaly, ve kterých se má kalibrace provádět, závisí na příslušných požadavcích měřicí úlohy.

## **Kelvin (K)**

Jednotka teploty.

0 K odpovídá absolutní nule (-273,15 °C). Platí:  $273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C} = 32 \text{ °F}$ .

$K = \text{°C} + 273,15$ .

Příklad 20 °C v K:  $20 \text{ °C} + 273,15 = 293,15 \text{ K}$ .

## **Kondenzace**

Přechod látek z plynného do kapalného skupenství. Vzdušná vlhkost může kondenzovat, pokud je teplota povrchu a tudíž teplota vzduchu v blízkosti povrchu, nižší, než teplota okolního vzduchu, případně pokud má vzduch teplotu rosného bodu.

## **Konvekce (přestup)**

Přenos tepla, při kterém tepelná energie přechází prostřednictvím pevného, kapalného nebo plynného transportního média na jiná tělesa, kapaliny nebo plyny.

## **Kondukcce (vedení)**

Vedení tepla. Přenos tepelné energie mezi sousedními tělesy. Energie přechází vždy z teplejšího tělesa na studené. Oproti konvekci nedochází při kondukci k přenosu látky.

---

L

---

## **Lambertův zářič**

Lambertův zářič je objekt, který ideálně rozptyluje dopadající záření, to znamená, že dopadající záření je odraženo do všech směrů stejně. Na Lambertově zářiči je možné pomocí termokamery měřit teplotu odraženého záření.

## **Laserové označení místa měření**

Laser označuje místo měření (na měřeném objektu je viditelný červený bod). Laserové označení a střed snímku nejsou zcela totožné, neboť leží na různých optických osách. Laserový bod proto není vhodný k přesnému označení místa, které je na displeji označeno nitkovým křížem. Slouží pouze jako vodítko k usnadnění orientace.

### **Pozor:**

Třída laseru 2: Nikdy nemiřte laserem na lidi nebo zvířata a nikdy se nedívejte přímo do laseru! Hrozí poškození zraku!

## **Laserový zaměřovač**

S laserovým zaměřovačem je laserové označení místa měření zobrazeno bez paralaxy, což vám umožňuje vidět přesnou polohu laserového bodu na displeji termokamery. Touto funkcí jsou vybaveny termokamery testu 872/872s, testu 883 a testu 890.

---

## **M**

---

### **Místo měření**

Viz "IFOVmeas", str. 41.

---

## **N**

---

### **NETD (Noise Equivalent Temperature Difference)**

Označení pro nejmenší teplotní rozdíly, které termokamera ještě dokáže zaznamenat. Čím menší je tato hodnota, tím lepší je teplotní rozlišení termokamery.

---

## O

---

### **Objektiv**

V závislosti na použitém objektivu se mění velikost zorného pole termokamery a tím i velikost místa měření. Širokoúhlý objektiv (např. 32°) je vhodný především pro aplikace, kdy je potřeba si utvořit přehled rozložení teploty na větší ploše. Teleobjektiv (např. 9° teleobjektiv) je možné použít pro přesné měření detailů i z větší vzdálenosti. Pro měření nejmenších detailů z velké vzdálenosti je k dispozici také super teleobjektiv (pro termokamery testo 883 a testo 890).

### **Obnovovací frekvence**

Udává se v Hertzích, jak často za vteřinu se zobrazený snímek obnoví (např. 9 Hz / 33 Hz / 60 Hz). Obnovovací frekvence 9 Hz znamená, že termokamera obnoví snímek devětkrát za sekundu.

---

## P

---

### **Prostupnost ( $\tau$ )**

Měřítka schopnosti materiálu propouštět infračervené záření. Záleží na tloušťce a druhu materiálu. Většina materiálů je neprostupná pro dlouhovlnné infračervené záření.

---

## R

---

### **Reálné těleso**

Viz "Šedé zářiče", str. 48.

### **Reflexe ( $\rho$ )**

Popisuje schopnost materiálu odrážet infračervené záření. Reflexe závisí na vlastnostech povrchu, teplotě a druhu materiálu.

### **Relativní vlhkost (% RV)**

Procentuální údaj, který popisuje množství vodní páry ve vzduchu. Např. při 33% RV obsahuje vzduch pouze cca. 1/3 množství vodní páry, které může pojmout při stejné teplotě a tlaku. Pokud je vlhkost vzduchu vyšší než 100 %, tvoří se kondenzát, neboť je vzduch úplně nasycen a již více vlhkosti nepojme. Vodní pára je v plynném skupenství, ale stále je tekutá. Čím teplejší je vzduch, tím více vodní páry dokáže pojmout než začne docházet ke kondenzaci. Proto dochází na chladných plochách ke kondenzaci nejlépe.

### **RTC (Reflected Temperature Compensation**

#### **– kompenzace odražené teploty)**

V případě reálných zářičů se část tepelného záření odráží. Tato odražená teplota musí být zohledněna při měření objektů s nízkou emisivitou. Pomocí korekčního faktoru se reflexe v termokameře odečte, čímž se zvýší přesnost měření teploty. Provádí se to zpravidla manuálním zadáním do termokamery a/nebo pomocí programu.

Ve většině případů odpovídá odražená teplota teplotě okolí (zejména u vnitřní termografie). Pokud se na povrchu měřených objektů odráží infračervené záření z rušivých zdrojů, je potřeba změřit teplotu odraženého záření (např. pomocí Lambertova zářiče). Odražená teplota má jen malý vliv na objekty s vysokou emisivitou.

### **Studený a horký bod**

Jako „studený bod“ označujeme nejstudenější bod na termosnímku a „horký bod“ se naopak označuje bod nejvíce horký. Pomocí funkce „automatické rozpoznání horkého/studeného bodu“ je možné nechat tyto dva body na termosnímku na displeji kamery zobrazit. Tato funkce je k dispozici také v mnoha softwarových balíčcích pro analýzu, např. v testu IRSoft nebo testu Thermography App. Zde je možné tyto dva body zvýraznit i na volně definovaném rozsahu termosnímku.

### **Selektivní zářič**

Selektivní zářiče jsou materiály, jejichž emisivita závisí na vlnové délce. Pokud se na stejný objekt díváte termokamerou v infračerveném rozsahu s dlouhými vlnami (LWIR, 8 – 14  $\mu\text{m}$ ) a termokamerou v infračerveném rozsahu středních vln (MWIR, 3 – 5  $\mu\text{m}$ ), je možné, že bude potřeba pro každou termokameru nastavit různé emisivity.

### **Šedé zářiče**

Ideální černé těleso ( $\epsilon = 1$ ) v přírodě neexistuje, místo toho se vyskytují tzv. tělesa šedá ( $\epsilon < 1$ ) jako alternativa k černým tělesům. Mnoho stavebních a organických materiálů mohou být v úzkém spektrálním rozsahu považována za šedé zářiče. Závislost emisivity na vlnové délce záření je v tomto rozsahu zanedbatelná (v porovnání s „barevnými zářiči“). Spektrální citlivost většiny termokamer zaznamenává pouze malé spektrum z celého infračerveného spektra. To představuje přijatelnou chybu. Šedé zářiče v porovnání s černými nikdy neabsorbují 100 % infračerveného záření. To je důvod, proč šedé zářiče vyzařují také méně záření.

### **Teplota**

Stavová veličina pro energii, obsaženou v tělese.

### **Teplota rosného bodu / rosný bod**

Teplota, při níž kondenzuje voda, obsažená ve vzduchu. Vzduch je při teplotě rosného bodu na 100 % nasycen vodní parou. Jakmile vzduch nedokáže kvůli nízké teplotě pojmout více vodní páry, začne docházet ke kondenzaci.

### **Termografie**

Zobrazovací měřicí metoda, kterou je možné vizualizovat tepelné záření nebo rozložení teploty na povrchu objektů. Provádí se pomocí termokamery.



## **Termogram**

Viz “Termosnímek”, str. 49.

## **Termosnímek**

Snímek, který zobrazuje pomocí různých barev rozložení teploty na povrchu objektu. Snímání termosnímku se provádí pomocí termokamery.

## **Termokamera**

Kamera, která dokáže měřit infračervené záření a naměřené signály převést na termosnímek. Pomocí termokamery je možné zobrazit rozložení teploty na povrchu, které není viditelné pro lidské oko. Typickou oblastí použití je termografie budov, elektro a průmyslová termografie.

---

## **Z**

---

## **Zorné pole**

Viz “FOV”, str. 40.



## 3.2 Tabulka emisivit

Následující tabulka je směrnicí pro nastavení emisivity při infračervené měření. Udává emisivitu  $\epsilon$  některých běžných materiálů. Protože se emisivita mění s teplotou a vlastnostmi povrchu, je potřeba brát uvedené údaje pouze jako informativní a používat je pouze pro poměrové a porovnávací měření. Pro měření absolutní teploty by měla být emisivita měřeného tělesa přesně známa.

<b>Materiál (teplota materiálu)</b>	<b>Emisivita</b>
Bavlna (20 °C)	0,77
Beton (25 °C)	0,93
Cihly, malta, omítka (20 °C)	0,93
Dřevo (70 °C)	0,94
Granit (20 °C)	0,45
Guma, tvrdá (23 °C)	0,94
Guma, měkká, šedá (23 °C)	0,89
Hlína, pálená (70 °C)	0,91
Hliník, válcovaný (170 °C)	0,04
Hliník, nezoxidovaný (25 °C)	0,02
Hliník, nezoxidovaný (100 °C)	0,03
Hliník, silně zoxidovaný (93 °C)	0,20
Hliník, vysoce lesklý (100 °C)	0,09
Chladič, černý, eloxovaný (50 °C)	0,98
Chrom (40 °C)	0,08
Chrom, leštěný (150 °C)	0,06
Korek (20 °C)	0,70
Lak, bílý (90 °C)	0,95
Lak, černý, matný (80 °C)	0,97

<b>Materiál (teplota materiálu)</b>	<b>Emisivita</b>
Lak, modrý na hliníkové fólii (40 °C)	0,78
Lak, žlutý, 2 vrstvy na hliníkové fólii (40 °C)	0,79
Led, hladký (0 °C)	0,97
Lidské tělo (36 °C)	0,98
Litina, zoxidovaná (200 °C)	0,64
Měď, lehce zoxidovaná (20 °C)	0,04
Měď, leštěná (40 °C)	0,03
Měď, válcovaná (40 °C)	0,64
Měď, zoxidovaná (130 °C)	0,76
Mosaz, zoxidovaná (200 °C)	0,61
Mramor, bílý (40 °C)	0,95
Ocel, tepelně upravený povrch (200 °C)	0,52
Ocel, válcovaná za studena (93 °C)	0,75-0,85
Ocel, zoxidovaná (200 °C)	0,79
Olejové barvy (všechny barvy) (90 °C)	0,92-0,96
Olovo (40 °C)	0,43
Olovo, zoxidované (40 °C)	0,43
Olovo, šedé (40 °C)	0,28
Papír (20 °C)	0,97
Pískovec (40 °C)	0,67
Plasty: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Porcelán (20 °C)	0,92
Sádra (20 °C)	0,90
Sklo (90 °C)	0,94
Stěna (40 °C)	0,93
Transformátorový lak (70 °C)	0,94
Zinek, zoxidovaný	0,1
Železo, broušené (20 °C)	0,24
Železo se struskou (100 °C)	0,80
Železo s válcovaným povrchem (20 °C)	0,77

### 3.3 Testo doporučuje

#### **Kalibrace Vaší termokamery**

Společnost Testo SE & Co. KGaA doporučuje nechat provádět pravidelnou kalibraci Vaší termokamery. V jakých intervalech by se kalibrace měla provádět, závisí na způsobu použití a požadavcích na měření. Více informací o kalibraci Vaší termokamery získáte na stránkách na [www.testo.cz](http://www.testo.cz).

#### **Školení termografie**

Zůstat stále na špičkové úrovni znalostí: to je jeden z nejdůležitějších předpokladů pro komplexní měření a znalost rostoucích požadavků na jakost. Proto nabízí Testo SE & Co. KGaA školení termografie pro různé oblasti použití.

Více informací k nabídce našich školení najdete na [www.testo.cz](http://www.testo.cz).

Více informací na:  
[www.testo.cz](http://www.testo.cz)



## Ostatně - věděli jste:

díky schopnosti vidět infračervené záření dokáže jeden poddruh zmije - i ve tmě - rozpoznat bleskurychle svou oběť i nepřítele.

Tento had je schopen velice rychle rozeznat i ty nejmenší teplotní rozdíly kolem 0,0003 stupně celsia.

Teplotní smyslový orgán mu umožňuje vidět obraz, který je velmi podobný termosnímčkům moderních termokamer ...



**Testo Česká republika**

Jinonická 80

158 00 Praha 5

tel.: 222 266 700

e-mail: [info@testo.cz](mailto:info@testo.cz)

**[www.testo.cz](http://www.testo.cz)**