



**FAKULTA
STROJNÍ
CVUT V PRAZE**



**ÚSTAV
TECHNIKY
PROSTŘEDÍ**

TERMOVIZE V PRAXI

Roman Vavříčka

ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav techniky prostředí

1/48

Úvod do termografie



**ÚSTAV
TECHNIKY
PROSTŘEDÍ**

Teplota – je nepřímo měřená veličina !!!

Základní rozdělení senzorů teploty:

a) dotykové





b) bezdotykové



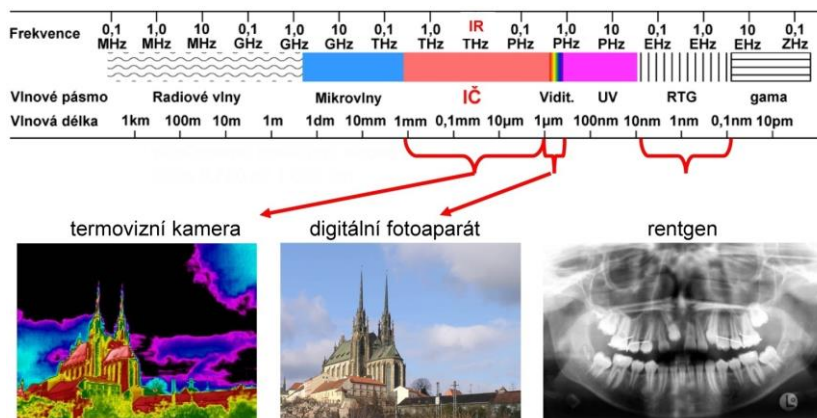


2/48

Úvod do termografie

Základní terminologie bezdotykového měření teploty:

1) **Infračervené záření** – elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek od 0,75 μm do 1 mm.

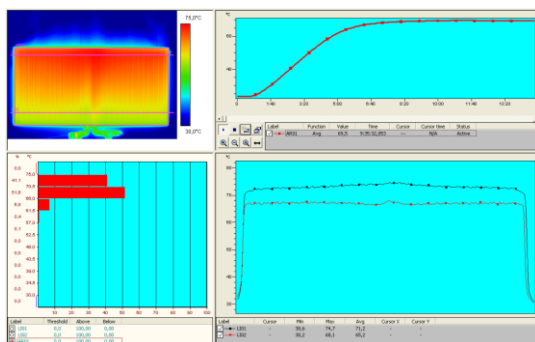


3/48

Úvod do termografie

Základní terminologie bezdotykového měření teploty:

2) **Termografie** – získávání a rozbor teplotních informací prostřednictvím zařízení pro zobrazování teplot.



Je toto termografie?



4/48

Úvod do termografie

Základní terminologie bezdotykového měření teploty:

3) **Zářivá energie** – je energie vyslaná, přenesená nebo přijatá formou záření.

$$1 = \alpha + \rho + \tau$$

kde,

α	- součinitel pohltivosti (absorpce) [-],
ρ	- součinitel odrazivosti (reflexe) [-],
τ	- součinitel propustnosti (transmise) [-].

- *Příklady jednotlivého chování těles:*
- absolutně černé těleso (dokonalý přijímač): $\alpha = 1, \rho = \tau = 0$
- šedé těleso, $\alpha < 1$, ale $\neq f(\lambda)$, $\rho = 1 - \alpha, \tau = 0$
- zrcadlo (dokonalý reflektor), $\rho = 1, \alpha = \tau = 0$
- dokonale propustný materiál (transparentní), $\tau = 1, \alpha = \rho = 0$

Obecný materiál, $0 < (\alpha; \rho; \tau) < 1$

5/48

Úvod do termografie

Planckův a Wienův zákon:

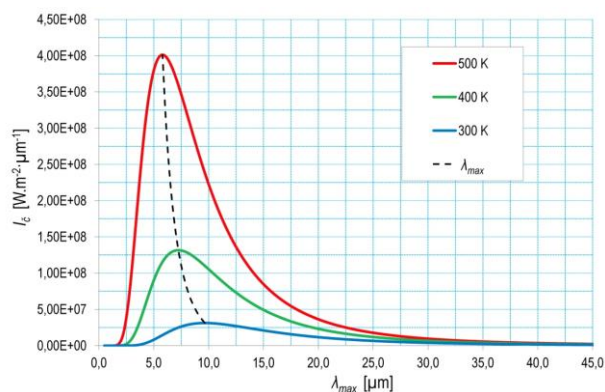
$$I_0(\lambda, T) = \frac{2 \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \left[e^{\left(\frac{c \cdot h}{k_B \cdot \lambda \cdot T} \right)} - 1 \right]^{-1}$$

$$I_\xi(\lambda, T) = \pi \cdot I_0(\lambda, T)$$

$$\frac{\partial I_\xi(\lambda, T)}{\partial \lambda} = 0$$

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2898$$

Intenzita vyzářování (Planck) a její maximum (Wien).



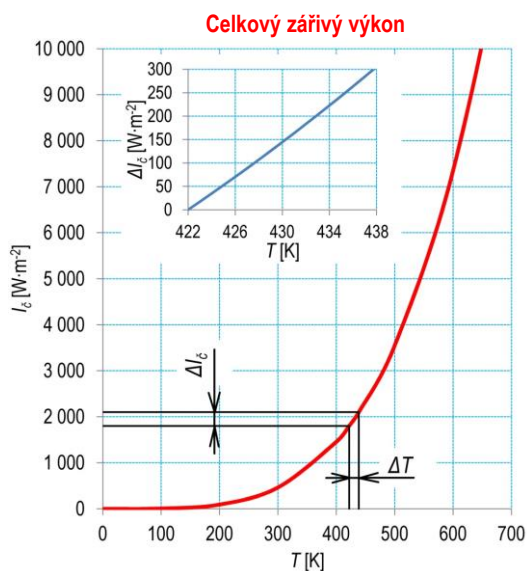
6/48

Úvod do termografie

Stefan-Boltzmannův zákon:

$$I_c(T) = \int_0^{\infty} I_c(\lambda, T) \cdot d\lambda =$$

$$= \int_0^{\infty} \pi \cdot I_0(\lambda, T) \cdot d\lambda = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k_B^4}{15 \cdot c^2 \cdot h^3} \cdot T^4 = \sigma \cdot T^4$$



7/48

Úvod do termografie

EMISIVITA:

Poměr energie vyzařované z povrchu objektu k vyzařované energii absolutně černého tělesa se stejnou teplotou jako má objekt.

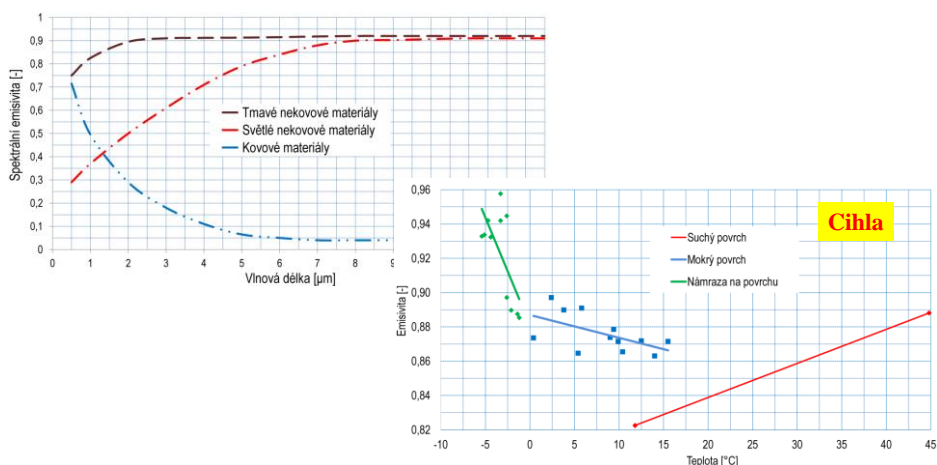
$$I_i(\lambda, T) = I_c(\lambda, T) \cdot \varepsilon$$

Emisivita číselně vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje ve srovnání s absolutně černým tělesem a obecně závisí na vlnové délce a teplotě.

8/48

Úvod do termografie

EMISIVITA:



9/48

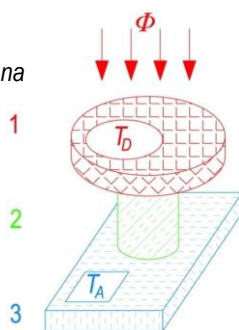
Úvod do termografie

Detektory pro bezdotykové měření teplot:

Tepelné detektory

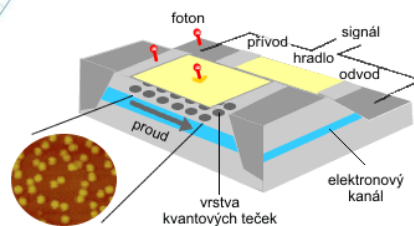
Princip termočlánku, tj. změna teploty vede ke změně elektrického odporu nebo napětí.

- 1 - element zachycující IČ záření,
- 2 - tepelný most s okolím,
- 3 - podložka



Kvantové detektory

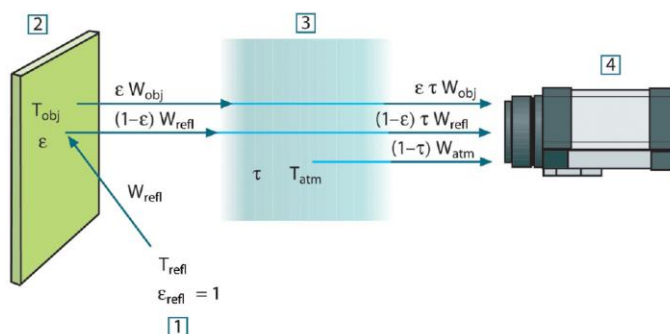
Přímá interakce dopadajících fotonů s vázanými elektrony = vzniká elektrický signál.



10/48

Úvod do termografie

Měřicí situace:

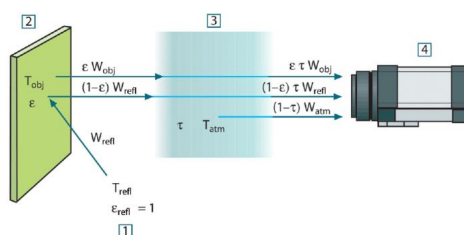


Schematický náčrt obecné termografické měřicí situace
1 – okolí, 2 – objekt, 3 – atmosféra, 4 – kamera

11/48

Úvod do termografie

Měřicí situace:



- 1) Emisivita měřeného povrchu
- 2) Zdánlivě odražená teplota
- 3) Teplota okolí
- 4) Vlhkost vzduchu
- 5) Transparence atmosféry
- 6) Vzdálenost měřicího přístroje

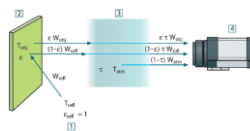
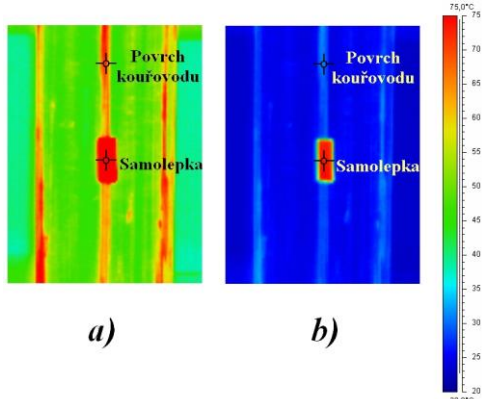
12/48

Úvod do termografie



Měřicí situace:

1) Emisivita měřeného povrchu



Termogram kouřovodu plynového kotle:

S emisivitou odpovídající emisivitě povrchu kouřovodu – $\epsilon = 0,14$
 $(t_p = 74,2 \text{ }^\circ\text{C}, t_{sam} \approx 190 \text{ }^\circ\text{C})$

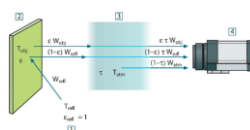
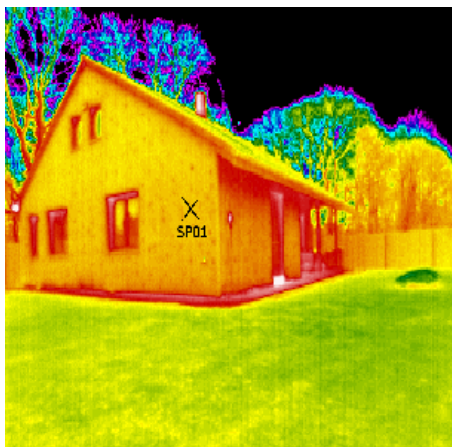
S emisivitou odpovídající emisivitě měřené samolepky – $\epsilon = 0,95$
 $(t_p = 30,7 \text{ }^\circ\text{C}, t_{sam} = 74,3 \text{ }^\circ\text{C})$

Úvod do termografie



Měřicí situace:

2) Zdánlivě odražená teplota – měření v exteriéru



Teplota oblohy:

$$T_{ob} = \left[9,36 \cdot 10^{-6} \cdot (T_e)^6 \right]^{0,25}$$

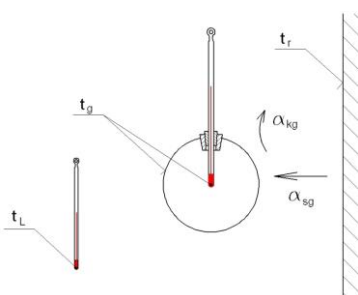
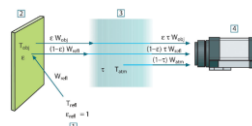
t_e	t_{ob}	t_e	t_{ob}
-15	-43,7	15	-2,6
-10	-37,0	20	4,5
-5	-30,3	25	11,6
0	-23,4	30	18,8
5	-16,6	35	26,1
10	-9,6	40	33,4

Úvod do termografie



Měřicí situace:

2) Zdánlivě odražená teplota – měření v interiéru



Střední radiční teplota:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273,15)^4 + 1,855 \cdot 10^7 \cdot \alpha_{kg} \cdot (t_g - t_L)} - 273,15$$

Pro prostory bez výrazného zdroje tepla (podlahové vytápění, lokální zdroje tepla, vařiče apod.)

$$t_r \approx t_L$$

U objektů s nízkou hodnotou emisivity je vliv zdánlivě odražené teploty vyšší!!!

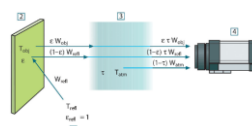
15/48

Úvod do termografie



Měřicí situace:

- 3) Teplota okolí
- 4) Vlhkost vzduchu
- 5) Transparence atmosféry



Parametry:

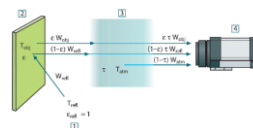
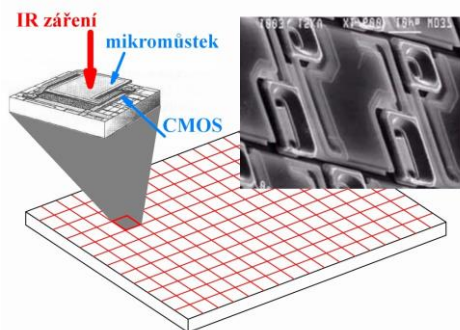
voda (déšť, mlha, sníh),
vodní pára (vlhkost),
koncentrace CO_2 a další škodlivé látky
prachové částice,
oslunění,
rychlost větru,
atd.

16/48

Úvod do termografie

Měřicí situace:

6) Vzdálenost měřicího přístroje



Je možné Full HD, 4K rozlišení
nebo dokonce 3D obraz???

Lidské oko má rozlišení
cca 120 miliónů pixelů.

Kinofilm cca 5 miliónů pixelů.

Full HD (1920 x 1080) pixelů = 2,1
miliónů pixelů.

17/48

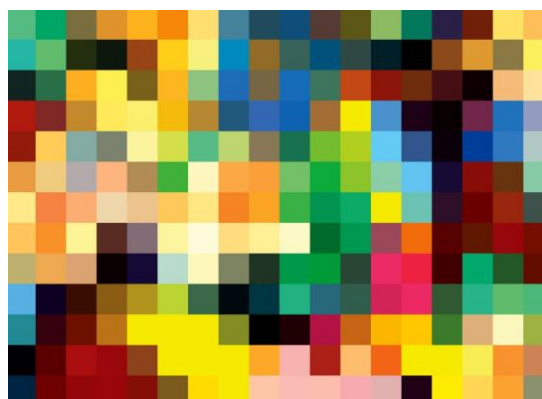
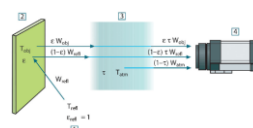
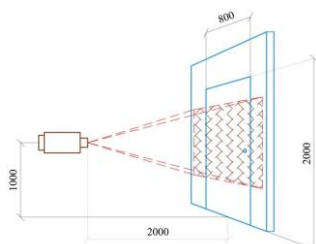
Úvod do termografie

Měřicí situace:

6) Vzdálenost měřicího přístroje

1 pixel = ???

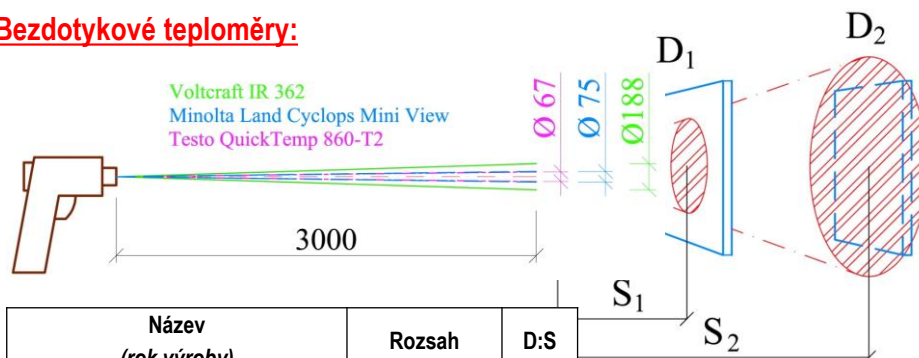
1 pixel = 5,1 x 5,1 mm



18/48

Praktické zkušenosti

Bezdotykové teploměry:

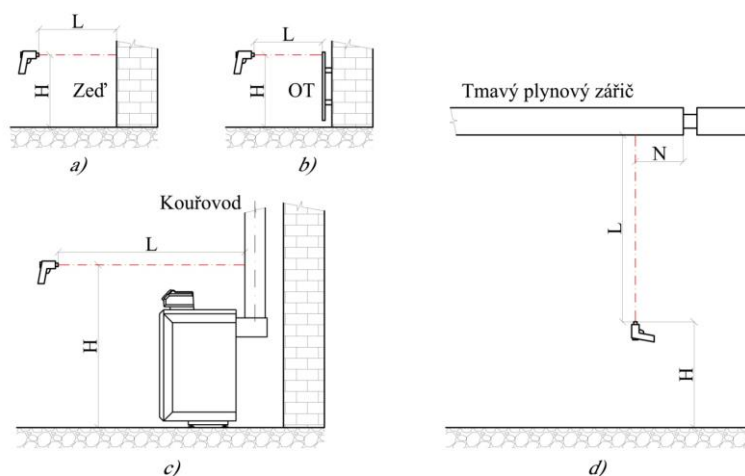


Název (rok výroby)	Rozsah °C	D:S
Voltcraft IR 362 (2005)	-50 °C až +750 °C	16:1
Minolta Land Cyclops Mini View (1998)	-50 °C až +500 °C	40:1
Testo QuickTemp 860-T2 (2001)	-30 °C až +900 °C	45:1

19/48

Praktické zkušenosti

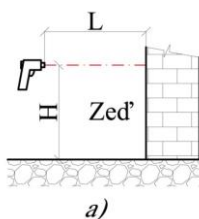
Bezdotykové teploměry:



20/48

Praktické zkušenosti

Bezdotykové teploměry:

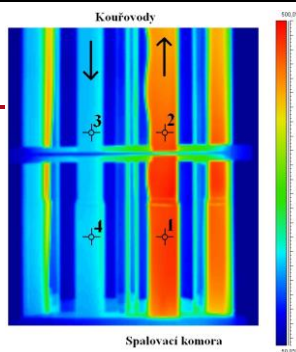
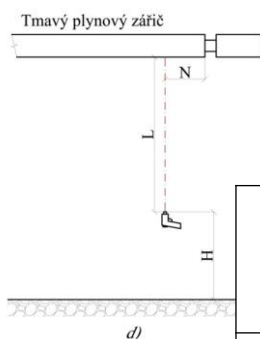


Přístroj (rok výroby)	Teplota měřeného povrchu [°C]			
	Vzdálenost L = 1 m	Vzdálenost L = 2 m	Vzdálenost L = 3 m	Dotykový teploměr
Voltcraft IR 362 (2005)	19,5	19,4	19,5	19,5
Minolta Land Cyclops Mini View (1998)	19,5	19,5	19,5	
Testo QuickTemp 860-T2 (2001)	19,4	19,5	19,5	

21/48

Praktické zkušenosti

Bezdotykové teploměry:



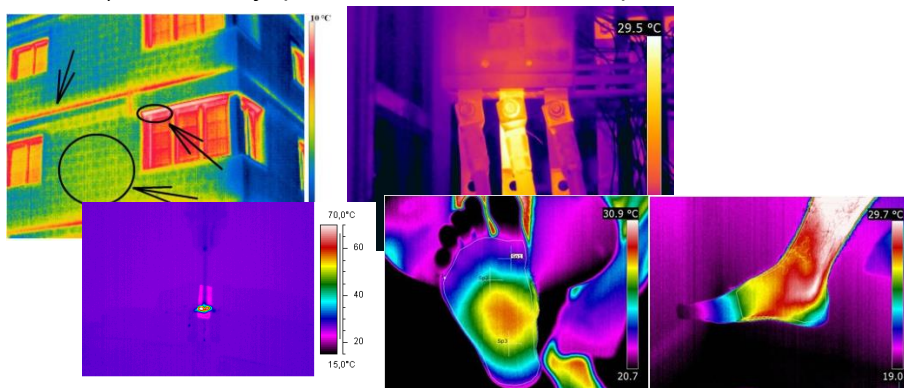
Přístroj (rok výroby)	Teplota měřeného povrchu [°C]			
	Vzdálenost N = 0,2 m (bod 1 a 4)	Vzdálenost N = 0,4 m (bod 2 a 3)	Dotykový teploměr	
			Vzdálenost N = 0,2 m (bod 1 a 4)	Vzdálenost N = 0,4 m (bod 2 a 3)
Voltcraft IR 362 (2005)	409,1 (152,3)*	400,4 (148,8)*	467,2 (166,5)*	443,6 (164,2)*
Minolta Land Cyclops Mini View (1998)	487,4 (174,8)*	458,9 (173,3)*		
Testo QuickTemp 860-T2 (2001)	488,2 (174,5)*	459,2 (172,9)*		

22/48

Praktické zkušenosti

Termovize:

a) Termovize je použita k identifikaci defektů povrchu.

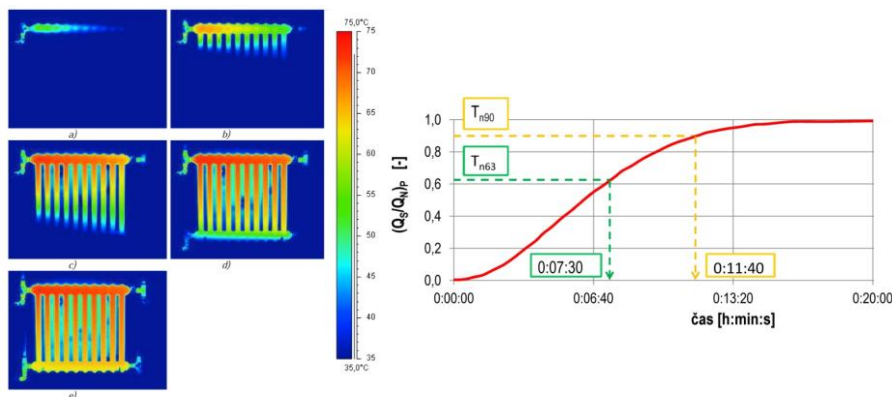


23/48

Praktické zkušenosti

Termovize:

b) Termovize je použita k mapování a kvalitativnímu hodnocení povrchového teplotního reliéfu.



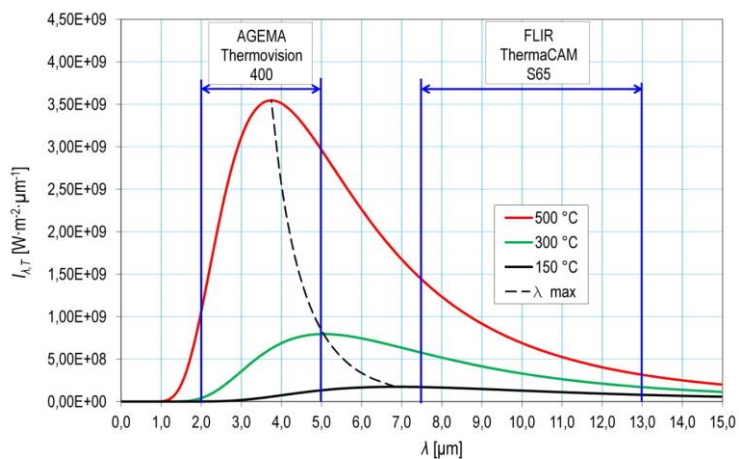
24/48

Praktické zkušenosti

Termovize:

Od -40 °C do 1500 °C – Je to možné???

Teplotní rozsah – spektrální citlivost:



Praktické zkušenosti

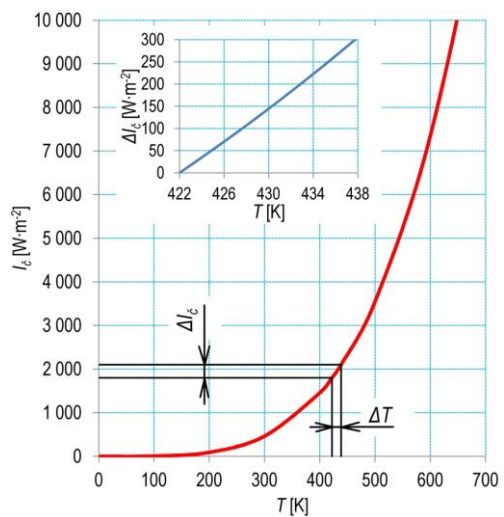
Termovize:

Od -40 °C do 1500 °C – Je to možné???


Teplotní rozsah – spektrální citlivost:

Nelinearita transformace
tepelné energie na zářivou

$$\Delta I_{\epsilon} = 4 \cdot \sigma \cdot T^3 \cdot \Delta T$$



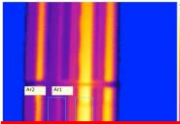
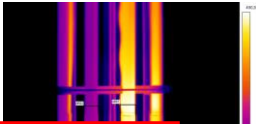
Praktické zkušenosti



Termovize:

Od -40 °C do 1500 °C – Je to možné???

Teplotní rozsah – spektrální citlivost:





476,1 °C – teplotní rozsah 350 °C až 1500 °C
472,3 °C – teplotní rozsah 0 °C až 500 °C

Měřicí bod		Maximální teplota měřeného povrchu ve vyznačených oblastech [°C]		
		Čidlo ANRITSU N-331-K-02	AGEMA Thermovision 400	FLIR ThermaCAM S65
1. měřicí bod (30 cm za vstupem)	Hořáková trubka	467,3	470,3	476,1 (472,3)
	Ventilátorová trubka	174	175,2	175,8
2. měřicí bod (30 cm za půlkou)	Hořáková trubka	345	348,2	346,7
	Ventilátorová trubka	215	217,3	215,8

27/48

Praktické zkušenosti



Zjednodušený obsah termografického protokolu dle ČSN EN 13187:

- a) popis zkoušky, jméno zákazníka a úplná adresa objektu,
- b) stručný popis budovy (výkresová nebo jiná dokumentace),
- c) datum a hodiny zkoušky,
- d) teplota vnitřního vzduchu a teplotní rozdíl mezi vnitřní a vnější stranou obvodového pláště během zkoušky,
- e) rozdíl tlaku na závětrné a návětrné straně (důležité hlavně u výškových budov),
- f) jiné důležité faktory ovlivňující výsledky (náhlé změny venkovní teploty, směr a síla větru, déšť, námraza, apod.),
- g) údaje o všech odchylkách od požadavků zkoušky,
- h) popis částí zkoumané budovy,
- i) typ, rozsah a poloha každé zjištěné poruchy,
- j) výsledky doplňujících měření,
- k) datum a podpis.

28/48

Praktické zkušenosti



Zjednodušený obsah termografického protokolu dle ČSN EN 13187:

1 Úvod

Předmětem měření byl výhledemírný rodinný dům na Praze - Újezd v ulici Vodňácká 120/17. Měření proběhlo dne 25.1.2016.

Pozicovaný rodný dům má celkem 3 nadzemní podlaží a je postaven v mírněm domě se svažující se fasádou.

Rodinný dům má typové řešení střešní konstrukce s nasazením obilného vlny. Hlavním zdrojem tepla je plynový kotel umístěný v suterénu domu. Pro přípravu teplé vody jsou instalovány plynový kotel a ohřev vody. Dům byl obytelný cca v roce 1950 a má dvě obývací křesla (jedno v každém z obývacích pokojů). Dům má plochou střechu (jednostranně skloněnou) a s ní souvislé ústřední vytápění. Okna jsou dřevěná (jednotlivě dřevěná).

Cíle měření:

- a) Posoudit tepelně-technický stav obálky budovy a orientovat na potencionální úpravy fasády domu.
- b) Posoudit stav střešních vln (pokrytí, apod.).

Podmínky měření exteriéru:

- Vertikální teplota vzduchu $t_a = 7,8 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Vertikální relativní vlhkost vzduchu $\phi_a = 71 \%$.
- Celková zářivost povrchová – odhadovaná teplota $t_{w, \text{celk}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Teplota měření povrchu $t_{w, \text{m}} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Pro vlnitiny posouzené vizuálně je viditelná emisivita $\epsilon_w = 0,9$ (bezpečné měření, stačí jen k porovnání získaných termogramů).

Podmínky měření interiéru:

- Vnitřní teplota vzduchu $t_{i, \text{v}} = 18,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (standardně pro 1 NP a 2 NP, v suterénu a podkrovní byt je vnitřní teplota vzduchu $t_{i, \text{v}} = 16,9 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Vnitřní relativní vlhkost vzduchu $\phi_{i, \text{v}} = 54 \%$ (standardně pro celý objekt).
- Celková teplota povrchu $t_{w, \text{celk}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (standardně pro celý objekt).
- Teplota měření povrchu $t_{w, \text{m}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (standardně pro celý objekt).
- Pro vlnitiny posouzené vizuálně je viditelná emisivita $\epsilon_w = 0,93$ (bezpečné měření, stačí jen k porovnání získaných termogramů).

Pozn.: Obecně podmínky měření v interiéru jsou vcelky pro porovnání a celkovou úroveň jednotlivých termogramů vcelky adekvátní pro vlnitiny vnitřní konstrukce.

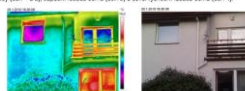
Měřicí přístroje:

- Termovizní kamera FLIR T22101
- Bezdrátový teploměr FLIR T2

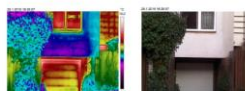
2 Vyhodnocení měření

2.1 Exteriér domu

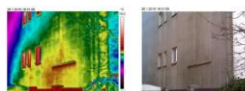
Konkrétní termografická dokumentace je součástí osobní dokumentace měření (adresář – zdrojové data, formát obrázků .jpg). Pro získání orientaci jsou dále prezentovány pohledy na fotografický (čas řádky obr. 1 a 2), šipachy fasády domu (obr. 3) a severovýchodní fasádu domu (obr. 4).



Obr. 1 Celkový pohled na jihovýchodní fasádu domu



Obr. 2 Jihovýchodní pohled na fasádu domu s detailem vstupu do garáže

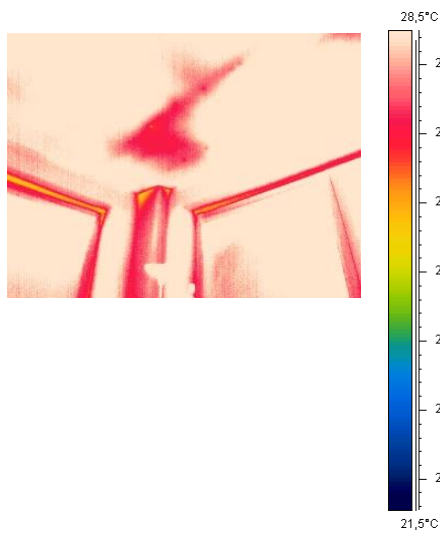
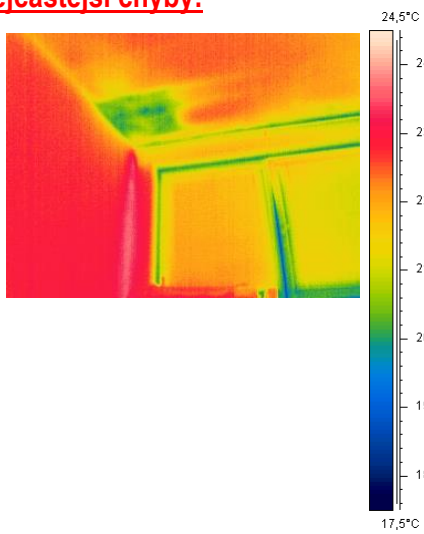


Obr. 3 Šipachy přehled zemy na vlnitě mřížbu konstrukcí domu

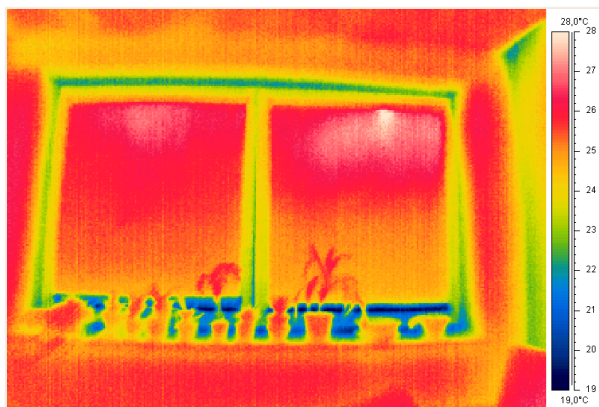
Praktické zkušenosti



Nejčastější chyby:



Praktické zkušenosti

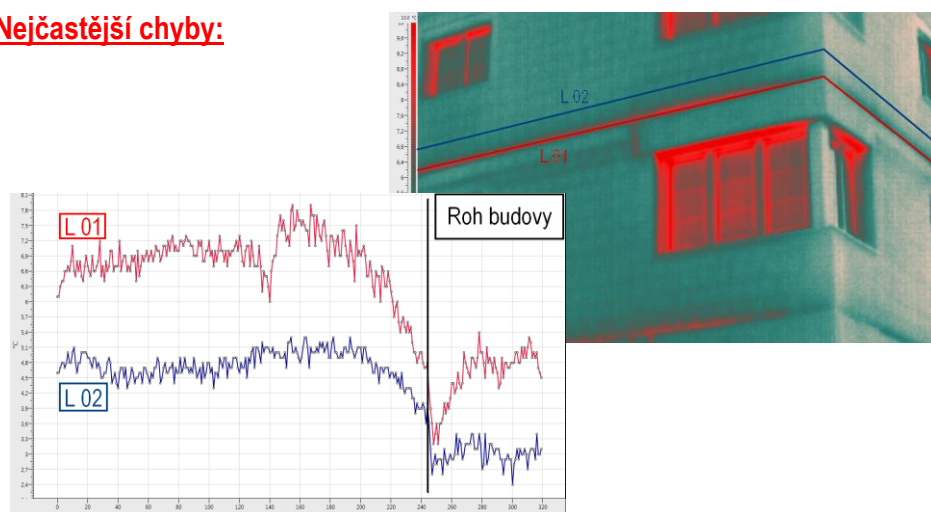
Nejčastější chyby:

Datum měření:

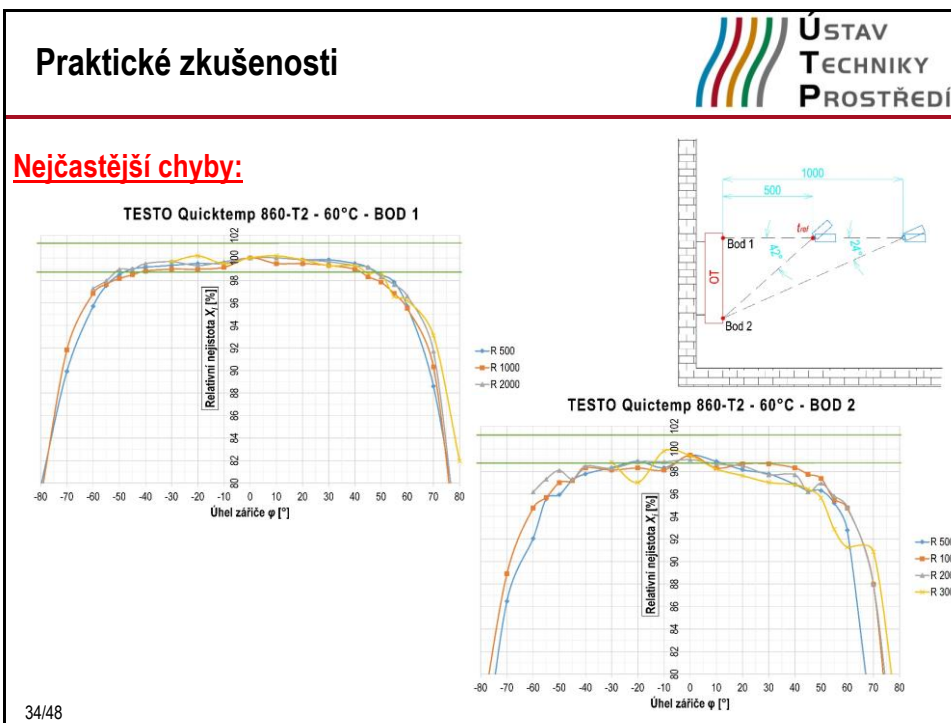
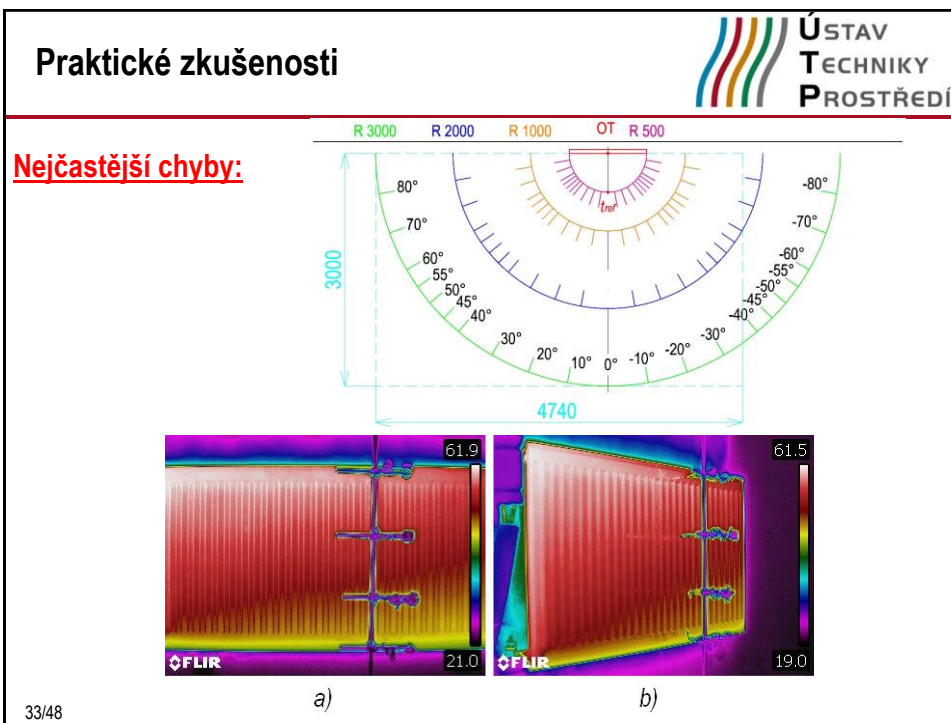
27.10.2007

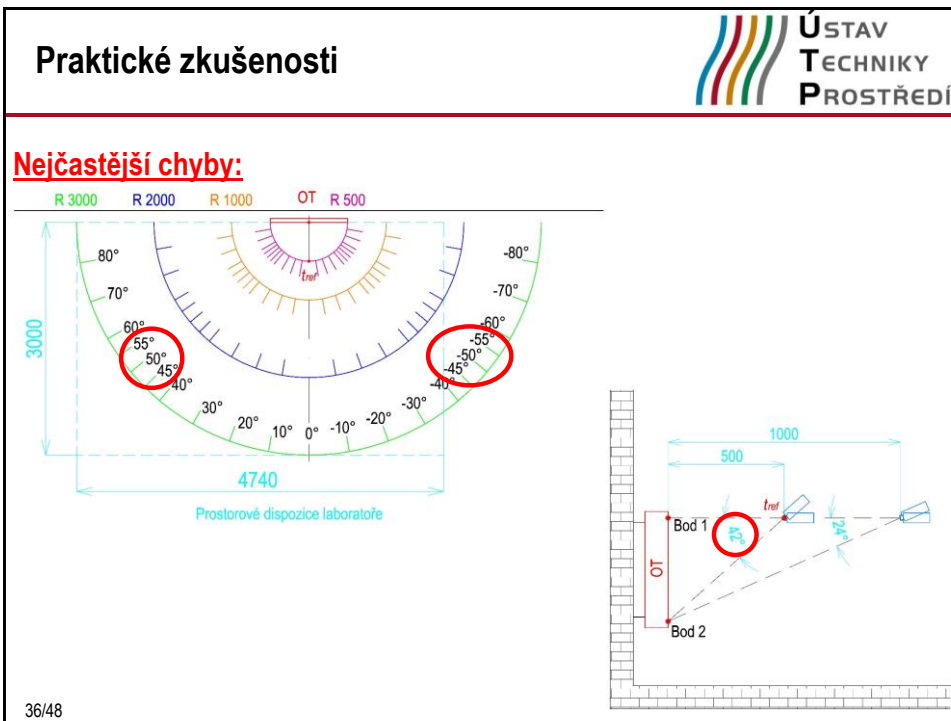
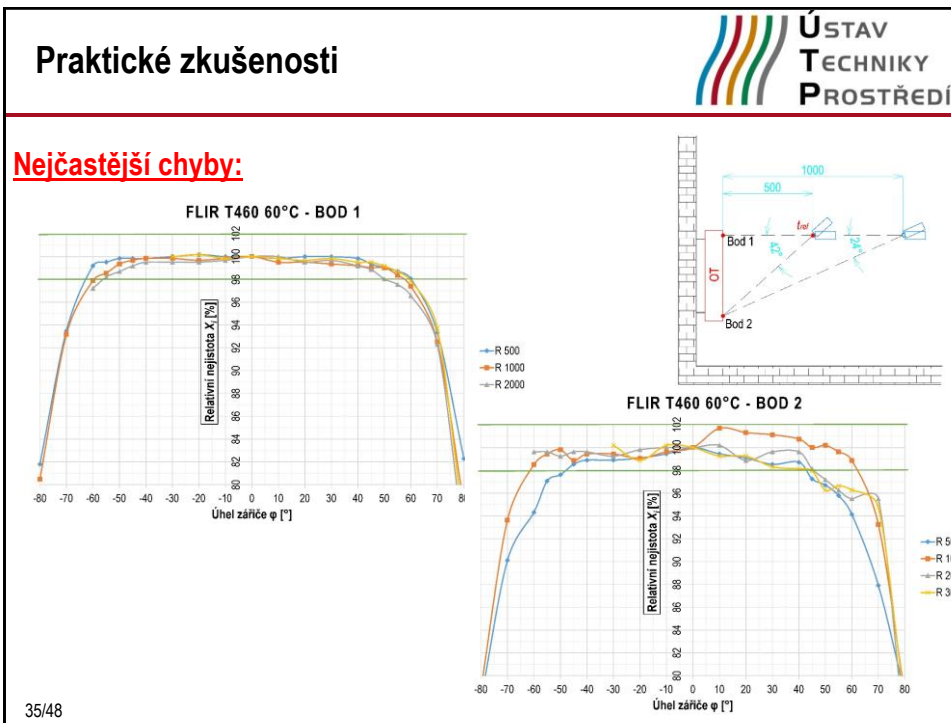
31/48

Praktické zkušenosti

Nejčastější chyby:

32/48





Praktické zkušenosti

Nejčastější chyby:



37/48

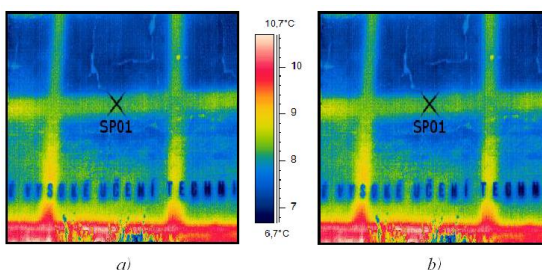
Praktické zkušenosti

Měření v exteriéru:

 $L a \varphi$

Termogram pláště budovy:

- a) záměna vzdálenosti termovizní kamery od fasády 100m
b) záměna relativní vlhkosti na 99 %



Sledované parametry	Relativní vlhkost 64 %, vzdálenost 4 m	Relativní vlhkost 64 %, vzdálenost 100 m	Relativní vlhkost 99 %, vzdálenost 4 m
Maximální teplota termogramu [°C]	10,9	11,3 (3,7 %)	11,0 (1,0 %)
Minimální teplota termogramu [°C]	6,5	6,7 (3,1 %)	6,6 (1,5 %)
Teplota v bodě SP01 [°C]	8,2	8,4 (2,4 %)	8,2 (0 %)

38/48

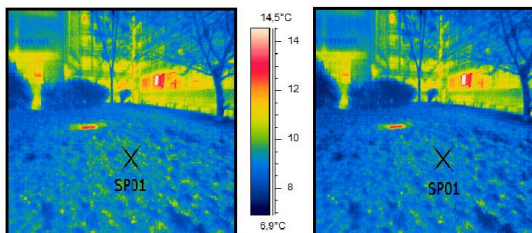
Praktické zkušenosti

Měření v exteriéru:



Termogram přilehlé zeminy a části pláště budovy:

- a) zadání při teplotě vzduchu -20 °C
b) zadání při teplotě vzduchu 20 °C



Sledované parametry	Teplota vzduchu 3,6 °C	Teplota vzduchu -20 °C	Teplota vzduchu 20 °C
Maximální teplota termogramu [°C]	22,5	22,5 (0 %)	22,3 (-0,1 %)
Minimální teplota termogramu [°C]	5,7	5,8 (1,8 %)	5,4 (-5,3 %)
Teplota v bodě SP01 [°C]	8,6	8,6 (0 %)	8,3 (-3,5 %)

39/48

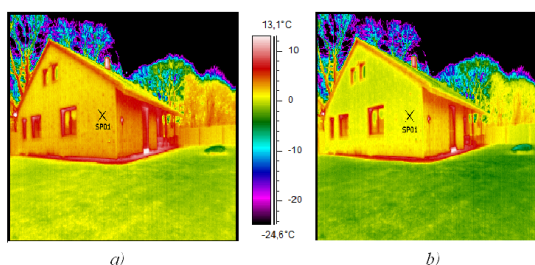
Praktické zkušenosti

Měření v exteriéru:



Termogram pláště budovy:

- a) zadání při změně zdánlivě odražené teploty na 20 °C
b) zadání při změně zdánlivě odražené teploty na 0 °C



Sledované parametry	Teplota odražená -19,5 °C	Teplota odražená 20 °C	Teplota odražená 0 °C
Maximální teplota termogramu [°C]	38,3	36,3 (-5,2 %)	37,4 (-2,4 %)
Minimální teplota termogramu [°C]	-38,2	-44,0 (15,2 %)	-40,6 (6,3 %)
Teplota v bodě SP01 [°C]	3,7	0,8 (-78,4 %)	2,4 (-35,1 %)

40/48

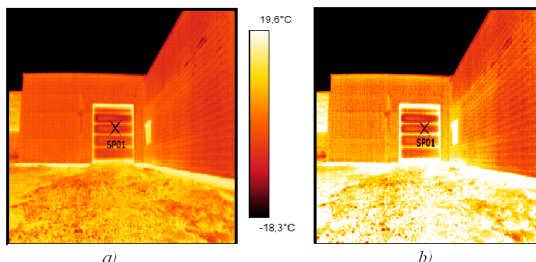
Praktické zkušenosti

Měření v exteriéru:

 ϵ

Termogram pláště budovy:

- a) zadání při změně emisivity o +5 %
b) zadání při změně emisivity o -50 %



Sledované parametry	Emisivita 0,84	Emisivita 0,88 +5 %	Emisivita 0,44 -50 %
Maximální teplota termogramu [°C]	14,5	13,7 (-5,5 %)	28,8 (98,6 %)
Minimální teplota termogramu [°C]	< -20	< -20 (0 %)	< -20 (0 %)
Teplota v bodě SP01 [°C]	2,7	2,2 (-18,5 %)	8,1 (300 %)

41/48

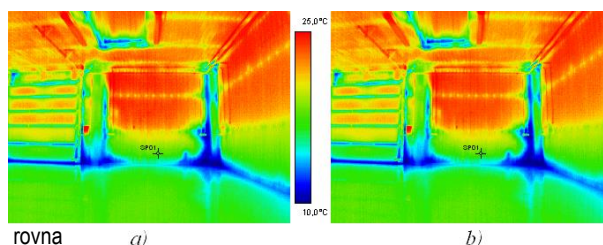
Praktické zkušenosti

Měření v interiéru:

 t_L a t_g

Termogram interiéru výrobní haly:

- a) zdánlivě odražená teplota je rovna teplotě měřené kulovým teploměrem
b) zadání při změně odražené zdánlivé teploty za teplotu vzduchu interiéru



Sledované parametry	$t_L = 20,5 \text{ °C}$, $t_g = 18 \text{ °C}$	$t_g = t_L = 20,5 \text{ °C}$
Maximální teplota termogramu [°C]	26,5	26,1 (-1,5 %)
Minimální teplota termogramu [°C]	8,2	7,6 (-7,32 %)
Teplota v bodě SP01 [°C]	20,0	19,5 (-2,5 %)

42/48

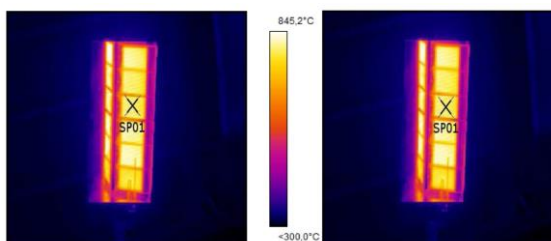
Praktické zkušenosti

Měření v interiéru:

$$t_p > 100 \text{ °C}$$

Termogram desky světlého plynového zářiče:

- zadání při změně odražené zdánlivé teploty na 100 °C
- zadání při změně emisivity o -5 %



a)

b)

Sledované parametry	Emisivita 0,7, Teplota odražená 20 °C	Teplota odražená 100 °C	Emisivita 0,66
Maximální teplota termogramu [°C]	819	818 (- 0,1 %)	852 (+4,0 %)
Teplota v bodě SP01 [°C]	763	763 (0 %)	793 (+3,9 %)

43/48

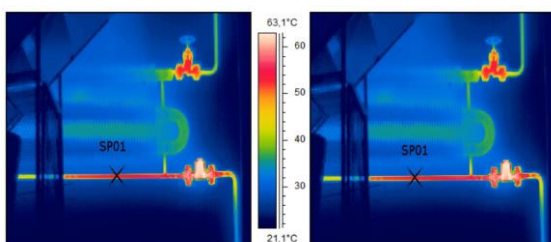
Praktické zkušenosti

Měření v interiéru:

$$t_p < 100 \text{ °C}$$

Termogram parního otopného tělesa:

- zadání při změně odražené zdánlivé teploty na 35 °C
- zadání při změně emisivity o -10 %

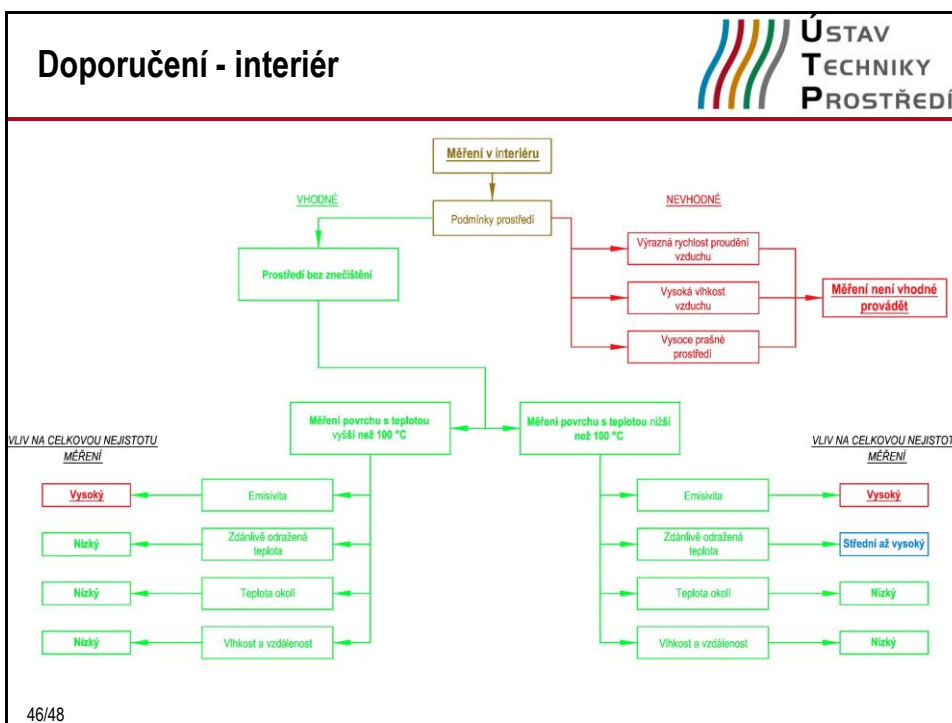
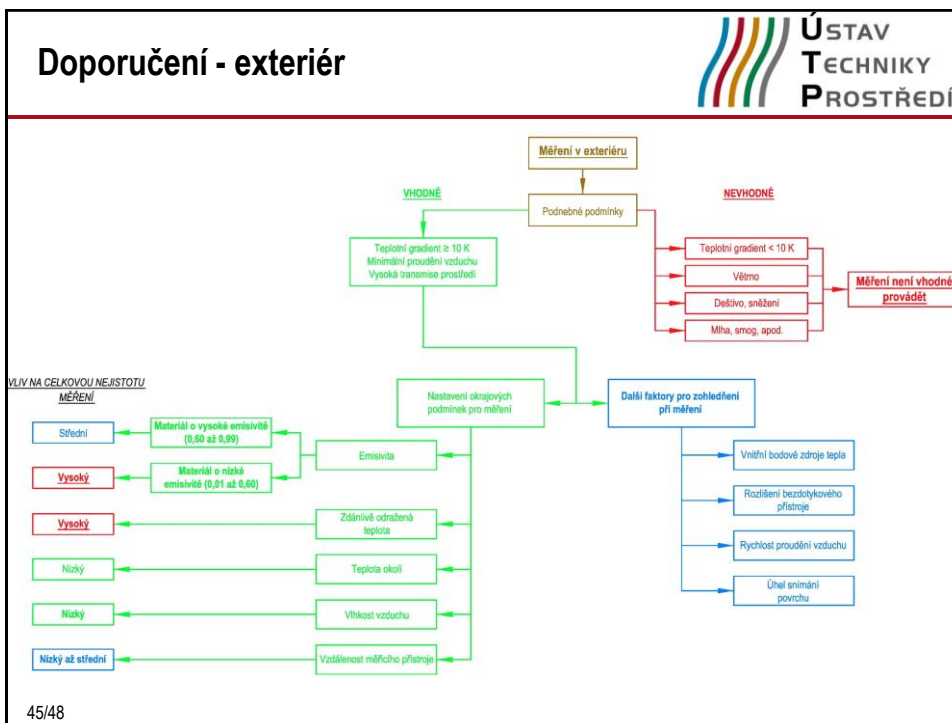


a)

b)

Sledované parametry	Emisivita 0,9, Teplota odražená 19,5 °C	Teplota odražená 35 °C	Emisivita 0,85
Maximální teplota termogramu [°C]	63,7	63,1 (- 0,9 %)	65,8 (+3,3 %)
Teplota v bodě SP01 [°C]	53,8	53,0 (-1,5 %)	55,6 (+3,3 %)

44/48



Praktické zkušenosti



1. Jak velká je přesnost měření bezkontaktními přístroji?

Pouze tak velká jaká je odborná způsobilost uživatele !!!

2. Jaké jsou okrajové podmínky měření?

Specifické pro každé měření !!!

Nelze použít univerzální přístup !!!

3. Jaké je omezení možností využití bezdotykového měření tepla?

Z pohledu fyziky – NEOMEZENÉ !!!

Z pohledu reality – UŽIVATELEM !!!

47/48



DĚKUJI ZA POZORNOST

<http://utp.fs.cvut.cz>
Roman.Vavricka@fs.cvut.cz



48/48