

Použití IR oken v termografii

Měření propustnosti CaF_2 IR okna

Jiří Svoboda



Měřicí a diagnostické přístroje pro energetiku a průmysl

www.tmvss.cz

Měření propustnosti Ge a CaF₂ IR okna

Tento příspěvek v podstatě navazuje na přednášku prezentovanou na DIAGO 2017 Měření propustnosti Ge IR okna.

Nejprve krátké připomenutí co jsou IR okna a k čemu se hlavně používají: jsou to v podstatě „oddělovače prostorů“, kdy IR okna jsou vkládána do optické cesty mezi měřeným objektem a IR kamerou. Příkladem může být např. jejich zabudování do dveří elektrických vysokonapěťových skříní, kdy při termografické diagnostice zařízení instalovaných uvnitř skříně není nutné skříň otevírat a IR kamera je zaměřovaná „skrz IR okno“ na jednotlivé uvnitř skříně zabudované systémy/prvky a tak je možné kontrolovat, zda tyto systémy nemají zvýšené teploty/oteplení a případně tato oteplení dále kvantitativně vyhodnocovat.

Příkladů praktického použití může být celá řada, přednáška prezentované na DIAGO 2017 byla zaměřena na vyhodnocení propustnosti Ge IR instalovaného do boxu/skříně s vysokým stupněm krytí, aby se ochránila (hlavně proti stříkající vodě) IR kamera zabudovaná do boxu.

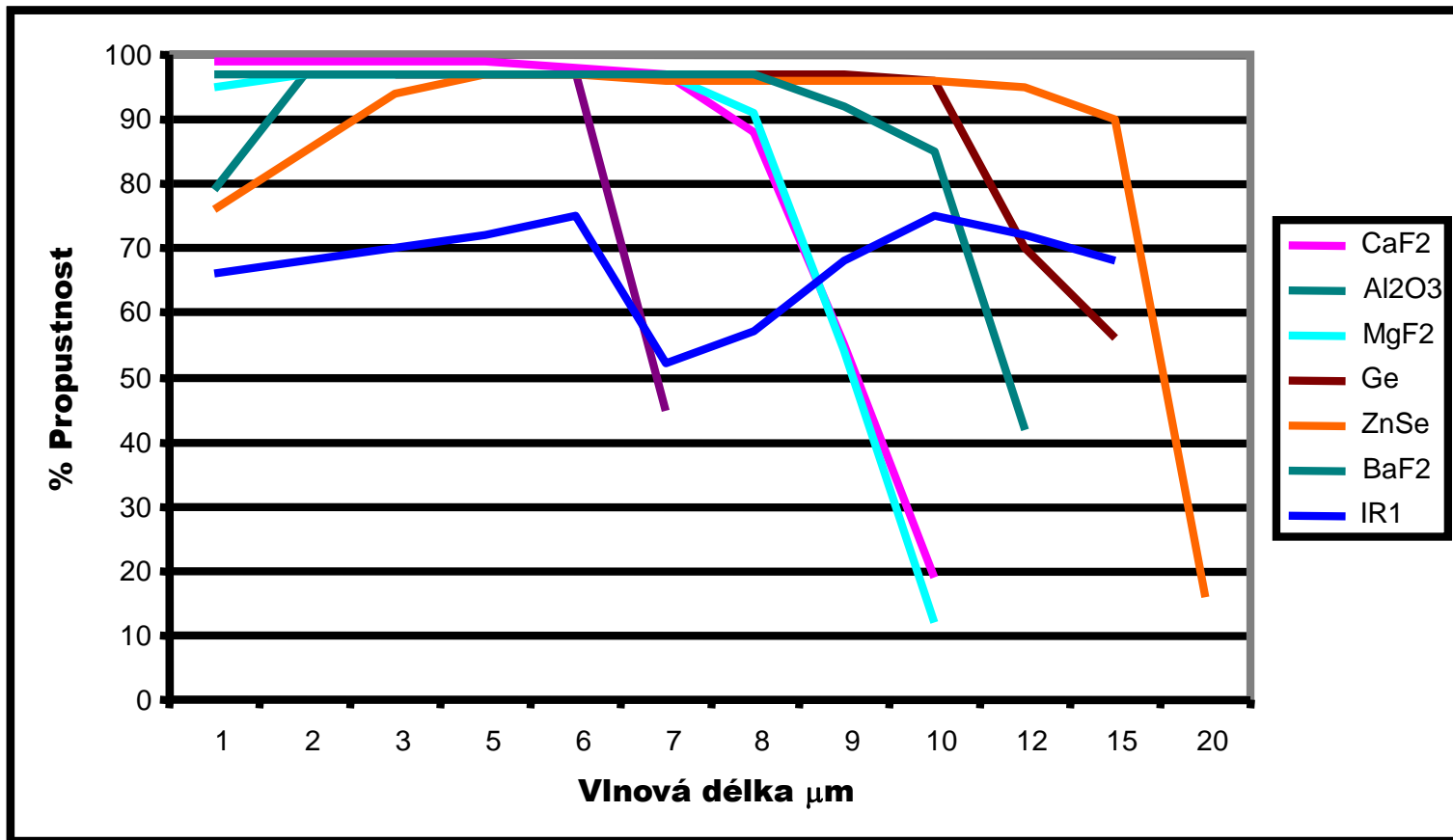
Jen krátce připomeňme základní přehled IR oken:

IR okna

Převzato z materiálů Crystran Optics a IR Window

- Fluorid vápenatý CaF_2 · Fluorid barnatý · Fluorid lithiový · Fluorid Magnesia
- Bromid stříbrný · Chlorid stříbrný
- Germanium Ge
- Křemík
- Safír
- Křemenný krystal
- Tavený křemen
- Kysličník hořčíku
- Jodid bromitý thalia · Chlorid bromitý thalia · Chlorid thalia
- Jodid cesia · Bromid cesia
- Chlorid sodný · Bromid sodný
- Bromid draselný · Chlorid draselný · Jodid draselný
- Selenid zinečnatý · Síran zinečnatý, FLIR · Síran zinečnatý multispektrální
- Fluorid stroncia
- Lanthan galia
- Sulfid
- Bromid rubidia · Chlorid rubidia · Jodid rubidia
- Fluorid lanthanu
- IR Polymer

Spektrální propustnosti vybraných IR oken



IR okna a IR kamery

Ze spektrálních charakteristik lze vyvodit, jaká IR okna jsou vhodnější pro měření s jakými IR kamerami:

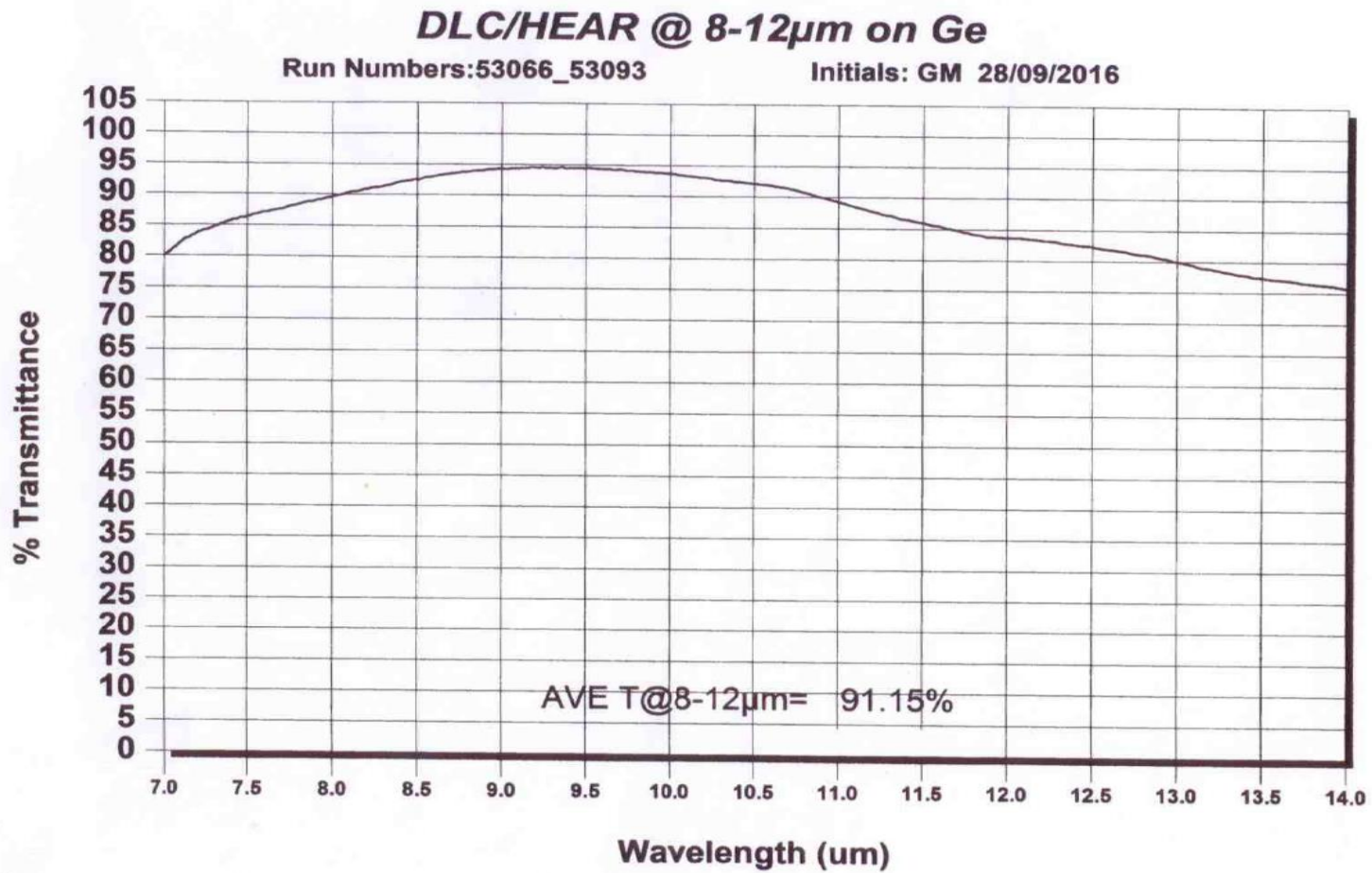
- Ge IR okno je vhodnější pro měření s IR kamerami s nechlazenými mikrobolometrickými detektory, protože spektrální citlivost tohoto typu kamer je v IR pásmu 7,5 – 13/14 μm ELM spektra a v tomto pásmu je propustnost Ge IR oken velmi vysoká.

Jistou nevýhodou Ge IR oken je to, že nejsou transparentní/průhledné v tzv. viditelném pásmu (cca 0,4 – 0,8 μm) a také nejsou příliš odolné pro větší teplotní zatížení.

- CaF_2 IR okno je vhodnější pro měření s IR kamerami s chlazenými/fotonovými detektory, protože spektrální citlivost tohoto typu kamer je v IR pásmu cca 2 – 5,5 μm ELM spektra a v tomto pásmu je propustnost CaF_2 IR oken velmi vysoká. Oproti Ge IR oknům jsou CaF_2 IR okna transparentní/průhledná v tzv. viditelném pásmu, jsou také více tepelně odolná (až do hodnot stovek $^{\circ}\text{C}$)

Pro připomenutí uvedme nejprve měření Ge IR okna, které bylo dodáno pro zabudování do speciálního boxu:

Spektrální propustnost Ge okna tl. 5 mm s povrchovými vrstvami DLC/HEAR (Diamond-like Carbon/High Efficiency Anti Reflection)

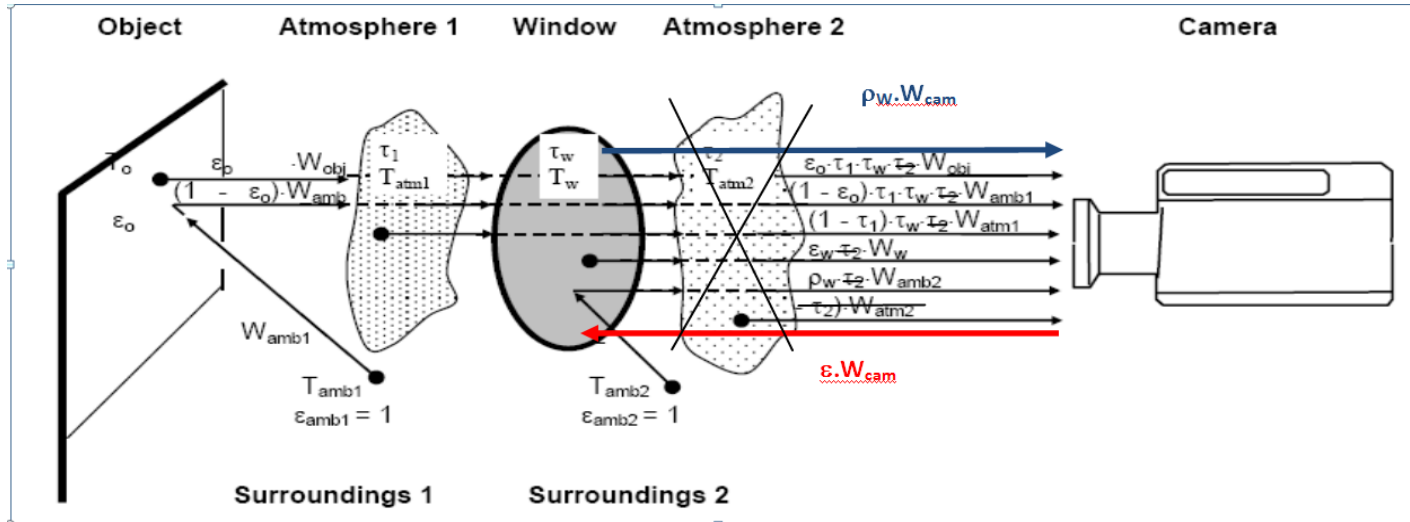


Upravené schéma při měření GE okna

Při měření Ge IR okna tl. 5 mm s popsanými povrchovými vrstvami, kdy propustnost byla ověřována při použití kalibrovaného černého tělesa (dále ČT) a kalibrovanou IR kamerou s nechlazený detektorem bylo ověřeno, že e „odráží“ od povrchu Ge IR okna zářivý tok z kamery (vyzařovaný tok z kamery ve vyznačen červeně a odražený tok od IR okna potom modře).

Na dalším snímku je uveden výsledek měření a vyhodnocená propustnost Ge IR okna.

Upravené měřicí schéma s IR Ge oknem



T_o – teplota měřeného objektu, která má být vyhodnocena

ϵ_o – emisivita měřeného objektu

W_{obj} – zářivý tok emitovaný od měřeného objektu

τ_1 – propustnost atmosféry mezi ič oknem a měřeným objektem

T_{atm1} – teplota atmosféry mezi ič oknem a měřeným objektem

τ_w – propustnost ič okna

T_w – teplota ič okna

τ_2 – propustnost atmosféry mezi ič oknem a měřicím systémem

T_{atm2} – teplota atmosféry mezi ič oknem a měřicím systémem

$(1 - \epsilon_o) = \rho_o$ – odrazivost měřeného objektu

W_{amb1} – zářivý tok odražený od měřeného objektu

W_{amb2} – zářivý tok odražený od ič okna

T_{amb1} – teplota okolí (odraz od měřeného objektu)

T_{amb2} – teplota okolí (odraz od ič okna)

Surroundings 1 (2) - okolí

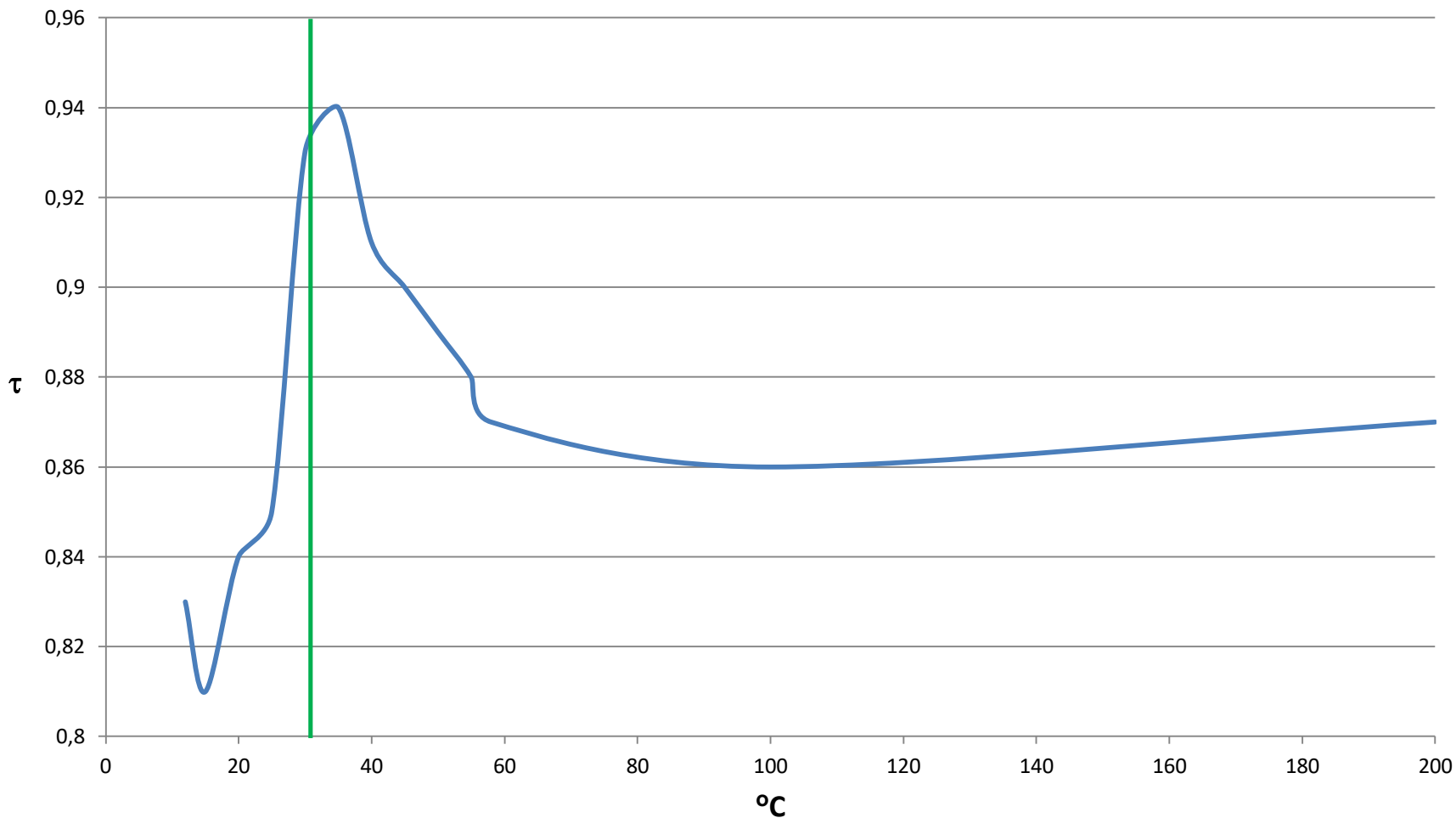
Window – okno

ϵ – emisivita kamery

ρ_w – odrazivost okna

W_{cam} – zářivý tok emitovaný kamerou

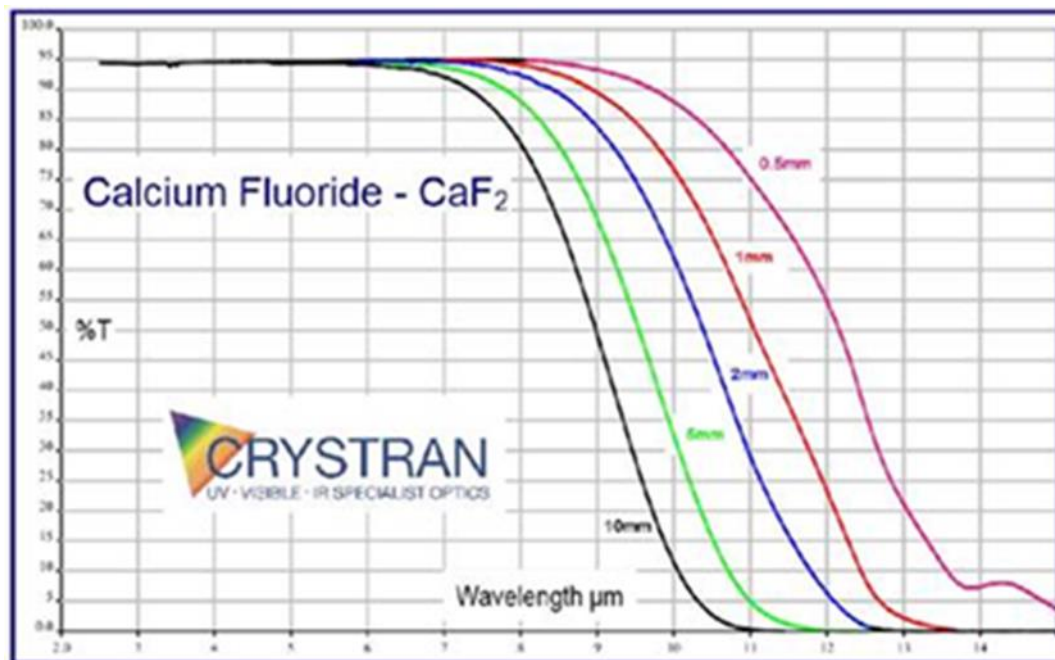
Vyhodnocená propustnost τ_w Ge okna při teplotách ČT °C



— Teplota nechlazeného FPA detektoru kamery cca 30 °C

Měření spektrální propustnosti CaF₂ IR okna

Součástí dodávky pro jednoho zákazníka byly také 2 CaF₂ IR okna 300 x 150 x 6 mm. Podrobnosti o jejich použití není možné zde blíže přiblížit, je možné pouze uvést, že jedno IR okno bude zabudováno do dvířek speciálního boxu, ve které bude měněna teplota prakticky od okolních teplot až do teplot cca + 350 °C. K IR oknům uvedl výrobce obecný diagram spektrálních propustností CaF₂ IR okna, a při dalším dotazu uvedl, že měřené IR okno nemělo na povrchu žádnou vrstvu/coating:



Spektrální propustnost CaF_2 IR okna

Protože zákazník požadoval ověření spektrální propustnosti IR okna, byl proveden soubor měření při použití IR kamery s chlazeným detektorem, se spektrální citlivostí $2 - 5,7 \mu\text{m}$, s rozsahem měřených teplot od $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+3000 \text{ }^\circ\text{C}$ a citlivostí/NETD $< 0,02 \text{ K @ } 30 \text{ }^\circ\text{C}$ a sadou kalibrovaných černých těl (dále ČT), které používá naše Kalibrační laboratoř č. K 2372, které je akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025 pro kalibraci bezkontaktních systémů měření teplot v rozsahu teplot od $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Uspořádání měření:



obr. 1 IR okno umístěné kolmo



obr. 2 IR okno umístěné s odklonem cca 5°

Spektrální propustnost CaF₂ IR okna

Uspořádání měření:

Vzdálenost mezi IR kamerou a ČT byly 500 mm a vzdálenost IR okna od IR kamery byla 250 mm. Teplota v laboratoři byla 23 °C a RH 52 %.

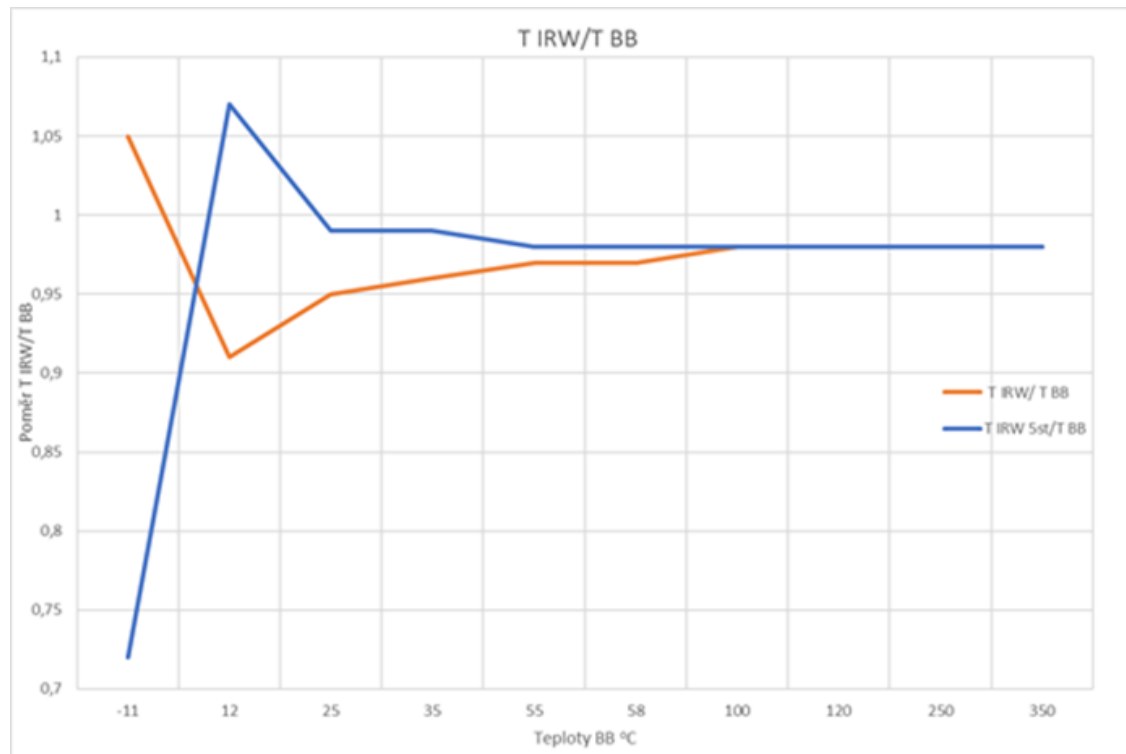
Postup při měření:

- 1) Při určité nastavené teplotě ČT byla nejprve změřena teplota ČT, která byla potom vzata jako referenční teplota
- 2) Potom při této teplotě ČT byla změřena jeho teplota, kdy do optické osy (IR kamera a ČT bylo vloženo IR okno (viz obr. 1), které bylo umístěno kolmo vzhledem k optické ose
- 3) Další měření bylo provedeno asi při odklonu asi 5° od kolmice vzhledem k optické ose (viz obr.2). Tento odklon byl proveden záměrně, aby se na oknu neprojevil žádný odraz od IR kamery.

Spektrální propustnost CaF₂ IR okna

Postup při vyhodnocování:

- 1) Naměřené teploty ČT při měření kolmo umístěného IR okna a při odklonu IR okna asi 5° byly potom vztaženy k teplotám ČT, které byly naměřeny bez vloženého IR okna a vyneseny do diagramu:



Spektrální propustnost CaF₂ IR okna

V diagramu jsou dva grafy:

Červený graf je vyhodnocení výsledku měření, kdy IR okno bylo umístěno kolmo vzhledem k optické ose, modrý graf potom vyjadřuje výsledkem měření, kdy IR okno bylo umístěno s odklonem cca 5° od kolmice vzhledem k optické ose.

Při porovnání výsledků měření CaF₂ IR okna s měřením Ge IR okna „základním problémech“ bylo stanovení „odrazu“ od IR kamery s chlazeným detektorem. Ve specifikacích k IR kamerám s chlazenými detektory je většinou uváděno, že detektory jsou chlazeny přibližně na teplotu kapalného dusíku (- 196 °C) a zůstává potom otázkou, jakou odraženou zdánlivou teplotu by bylo možné použít. Ale i kdyby tato byla známa, jak jí potom použít ve výpočtovém software. Obecně v případě použití IR okna, se do software vkládají pouze dva parametry tj. teplota a propustnost okna. A v případě měření tohoto typu CaF₂ IR okna bylo vyhodnoceno, že při teplotách ČT vyšších jak 35 °C a při daných podmínkách při měření je vyhodnocená propustnost cca 0,97 což je ve shodě s údajem udávaným výrobcem CaF₂ IR okna.