Úvod do práce s termokamerou Flir i7

Technická příručka pro žáky středních průmyslových škol stavebních oboru 36-47-M/01 Stavebnictví.

Ing. Pavel Štajnrt

2014
Opava

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STAVEBNÍ OPAVA
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato příručka vznikla na základě finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci projektu OP VK „Stavebnictví 21“, reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.

Děkujeme Ing. Vladimíru Sedlákovi
za vstřícnou spolupráci, cenné rady
a připomínky.

Obsah

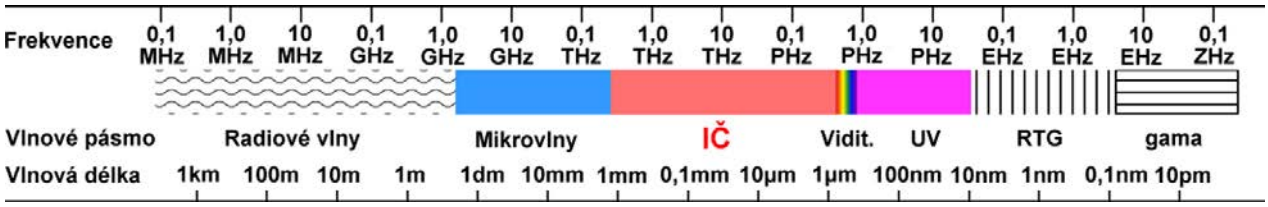
1. Podstata termovizního snímkování....4
1.1. Zdánlivá odražená teplota....4
1.1.1. Zdánlivá odražená teplota v interiéru....5
1.1.2. Zdánlivá odražená teplota v exteriéru....5
1.2. Emisivita....5
1.3. Atmosféra....6
1.4. Termografická technika obecně....6
1.5. Využití termokamery....7
2. Zásady práce s termokamerou....8
2.1. Manipulace....8
2.2. Aklimatizace kamery....8
2.3. Klimatické podmínky....8
2.4. Volba správné vzdálenosti....8
2.5. Další potřebné vybavení pro termovizní snímkování....8
3. Popis ovládání termokamery FLIR i7....9
3.1. Ovládání termokamery....9
3.1.1. Podnabídka - Měření....9
3.1.2. Podnabídka - Palety barev....9
3.1.3. Podnabídka - Změřit objekt....9
3.1.4. Podnabídka - Nastavení....9
3.1.5. Pořizování a zobrazování termogramů....10
3.1.6. Úprava termovizních snímků....10
3.2. Poznámky k pořizování termogramů....10
4. Klimatické podmínky při měření v terénu....11
4.1. Vhodné klimatické podmínky....11
4.2. Nevhodné klimatické podmínky....11
5. Příklady z měření....12
5.1. Příklad nevodných klimatických podmínek....12
5.2. Příklad vlivu velké tepelné setrvačnosti konstrukce....12
5.3. Příklad zasklení nepropustného pro IČ záření....13
5.4. Příklad vlivu stínění....13
5.5. Příklad vlivu vzdálenosti....14
5.6. Tepelné mosty a teplotní anomálie....14
5.7. Příklady nevzduchotěsnosti obvodových konstrukcí....17
5.8. Příklad trasování podlahového vytápění....18
5.9. Příklad vlivu emisivity....18

Přílohy

Příloha A) – Stanovení parametrů pro termovizní snímání
Příloha B) – Termografický protokol dle ČSN EN 13187
Příloha C) – Emisivita některých typů materiálů

1. Podstata termovizního snímkování

Každé těleso s teplotou vyšší než 0 K (absolutní nula) vyzařuje elektromagnetické záření. Elektromagnetické spektrum je na základě úmluvy rozděleno na několik vlnových pásem. Část z tohoto spektra je pojmenována jako infračervené záření, které je vymezeno vlnovou délkou od cca 0,75 μm až cca 100 μm. Infračervené záření je považováno za záření tepelné. Při teplotě menší než cca 525°C (Draperův bod) nelze předměty a tělesa v absolutní tmě vidět. Teprve po zahřátí nad tuto teplotu je těleso viditelné pouhým okem.



Obr. /1/ - Elektromagnetické spektrum

Termodiagnostika je nedestruktivní metoda pro stanovení povrchových teplot na předmětech, konstrukcích apod. Využívá měření intenzity infračerveného záření (dále IČ záření, někdy se také používá „IR“ z anglického „infra red“), které uvedené objekty vyzařují. Předměty a konstrukce při běžných podmínkách emitují nejvíce dlouhovlnné infračervené záření o vlnové délce 8 μm až 12 μm. Proto se v současnosti ve stavební termografii používají nejčastěji dlouhovlnné termografické systémy. Používají se snímací zařízení IČ záření, mezi které patří bodové bezkontaktní teploměry, liniové bezkontaktní skenery a termografické systémy s plošnými snímači. Výsledkem práce s termografickou kamerou je obvykle termogram (termovizní snímek nebo tepelný obraz), což je obrázek, ve kterém je barvám přiřazena určitá teplota.

Je nutné zdůraznit, že termodiagnostika je metoda pro „stanovení“ a nikoliv „měření“ povrchových teplot, jak se obvykle používá. Termovizní kamery neměří povrchové teploty, ale výsledná povrchová teplota je dopočítávána na základě několika parametrů. Výsledné zobrazení je funkcí povrchové teploty, charakteristiky povrchu (emisivity ε), okolních podmínek a samotného snímače.

Samotné pořízení termografické kamery bez hlubší znalosti principů šíření IČ záření, přenosu tepla, stavebně fyzikálních zákonů a konstrukčních a materiálových principů vede obvykle k nepřesným stanovením povrchových teplot a chybným závěrům (podrobnější informace k teoretickým základům lze nalézt v manuálu termokamery).

Pro správné zobrazení povrchové teploty je třeba změřit a zadat následující okrajové podmínky:

- zdánlivou „odraženou“ teplotu, v [°C] (s rostoucí emisivitou se snižuje vliv odražené energie a naopak),
- emisivitu povrchu (v rozmezí 0 až 1), v [-],
- teplotu atmosféry při měření, v [°C],
- vzdálenost mezi objektem a kamerou, v [m],
- relativní vlhkost vzduchu, v [%],

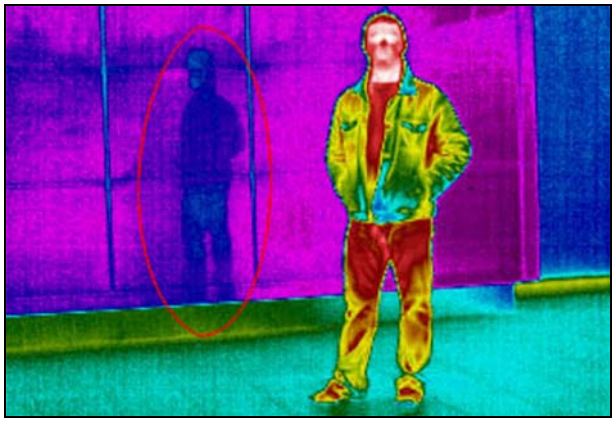
1.1. Zdánlivá odražená teplota

Termín „zdánlivá odražená teplota“ T_{odr} je doslovným překladem anglického termínu „reflected apparent temperature“. Technicky tento termín není správný, protože teplota se nemůže odrážet, ale je běžně používán v odborné literatuře. Někdy se používá termín „teplota pozadí“.

Prakticky se jedná o teplotu objektů, které se mohou v měřeném povrchu tepelně „odrážet“ při zohlednění zákona dopadu a odrazu. Množství odražené energie závisí na emisivitě. Se snižující se emisivitou měřeného povrchu se tak zvyšuje vliv odražené teploty na stanovení výsledné povrchové teploty.

Jasnou představu si lze udělat z následujícího obrázku, na kterém je postava před fasádou z plechových prvků s nízkou emisivitou. Ve viditelném spektru (civilní fotografie) není odraz energie postavy na fasádě patrný, naproti tomu v IČ spektru odraz patrný je. Energie (teplota) postavy ovlivnila výsledky měření, protože v místě odrazu se jeví povrchová teplota vyšší (čím tmavší barva, tím nižší povrchová teplota). Pokud se na fasádě nevyskytuje žádný významný tepelný most nebo pokud by byla teplota v interiéru stejná jako v exteriéru, mělo by být teplotní pole homogenní a povrchová teplota fasády by se měla blížit teplotě vzduchu. Měření probíhalo v exteriéru za chladného počasí (teplota vzduchu cca 5 °C), ale teplota lidského těla je vyšší a proto se povrchová teplota v místě odrazu jeví také vyšší. Pokud by postava stála např. před betonovou stěnou (s vysokou emisivitou), odraz by nebyl patrný ani v IČ spektru.

Obr. /2/ - Snímek postavy před fasádou



Obr. /3/ - Odpovídající termogram

Odražená zdánlivá teplota může být výrazně nižší než teplota vzduchu okolí (např. jasná obloha). Metody stanovení odražené teploty v terénu jsou metoda přímá a metoda odrazového zrcadla (viz Příloha A).

1.1.1. Zdánlivá odražená teplota v interiéru

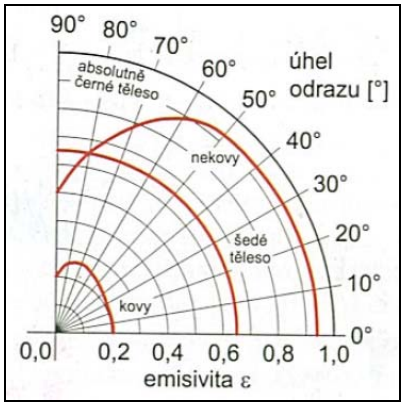
Obecně lze v interiéru předpokládat, že teplota okolních stěn se blíží teplotě vzduchu v interiéru. Vždy je ale nutné předpoklad ověřit. Pokud se např. v měřené konstrukci může „odrážet“ naproti umístěná prosklená stěna, bude odražená energie určitě jiná, apod.

1.1.2. Zdánlivá odražená teplota v exteriéru

Odražená energie okolních objektů se stanoví analogicky jako v interiéru. Největší problém je stanovit odraženou energii oblohy. Ideální počasí pro měření je rovnoměrně zatažená obloha, protože se odražená energie oblohy stanoví nejsnáze. V praxi se pro zcela jasnou oblohu používá odražená energie nejvýše -50 °C. Pozor, i v létě při úplně jasné obloze lze naměřit záporné teploty.

1.2.Emisivita

Emisivita povrchu je poměr množství záření emitovaného objektem a záření dokonalého černého tělesa. Běžné materiály a povrchové úpravy mají emisivitu v rozsahu od 0,1 do 0,95. Silně vyleštěný povrch (zrcadlo) může mít emisivitu nižší než 0,1 (v praxi se běžně neměří). Oxidovaný nebo natřený povrch má emisivitu mnohem vyšší. Lidská pokožka má emisivitu blízkou 1 (cca 0,97 až 0,98). Se zvyšujícím se úhlem od normály k sledovanému povrchu se emisivita mění. U většiny stavebních materiálů je emisivita konstantní cca do úhlu odrazu 50° (viz obr. 4).



Obr. /4/ - Směrová závislost emisivity

V termografické kameře je možné si vybrat některé typy materiálů, k nimž jsou přímo přiřazeny hodnoty emisivit, nebo je možné zadat hodnotu na základě zjištěné emisivity povrchu sledovaného objektu. Emisivitu některých materiálů lze převzít z příslušných tabulek (v IČ pásmu o vlnových délkách, ve kterých pracuje použitý termografický systém).

Při pochybnostech, nebo pokud nelze převzít tabulkovou hodnotu, je vhodné stanovit emisivitu přímo in situ buď kontaktní metodou, nebo metodou s použitím materiálu s referenční emisivitou. U obou metod se vybere reprezentativní výsek konstrukce, na kterém se provede stanovení emisivity.

Zjištění emisivity povrchu snímaného objektu a odražené zdánlivé teploty je zásadní pro správné dopočtení povrchové teploty snímaného objektu. Čím je emisivita měřeného povrchu nižší, tím je nutné ji stanovit přesněji.

1.3.Atmosféra

Při termodiagnostice je třeba atmosféru vždy zohlednit, protože není v celém IČ pásmu 0,9 až 1 000 μm propustná. Vyskytují se v ní oblasti, které jsou pro IČ záření zcela nepropustné a oblasti s částečnou nebo úplnou propustností, tzv. atmosférická okna. V oblastech, kde je atmosféra nepropustná, se obvykle vyskytují molekuly vody (voda je pro IČ záření nepropustná). Jedna z těchto oblastí se vyskytuje mezi vlnovými délkami 5,5 až 7,5 μm. Atmosférické okno je mezi vlnovými délkami 7,5 až 15,0 μm, což je oblast dlouhovlnného IČ záření (LWIR), ve kterém pracuje většina v současnosti používaných termokamer pro stavební praxi.

Při dešti, mlze nebo sněžení se ale snižuje propustnost také této oblasti. Tím se snižuje intenzita záření, kterou zachytí termokamera a to vede ke stanovení nižších povrchových teplot, než jsou skutečné. Pro eliminaci tohoto jevu umožňují některé termografické systémy zadávání součinitele propustnosti atmosféry τ_{atm} [-] nebo se propustnost dopočítá na základě změřené relativní vlhkosti vzduchu a vzdálenosti mezi snímaným objektem a kamerou.

Atmosféra ale také může intenzitu záření zvyšovat, což vede k stanovení vyšších povrchových teploty, než jsou skutečné. To je způsobeno tím, že se v atmosféře vyskytují částice, které mají podobné vlastnosti jako tělesa a samy mohou vyzařovat (odrážet) energii. Některé termografické systémy umožňují eliminovat tento vliv zadáním teploty atmosféry.

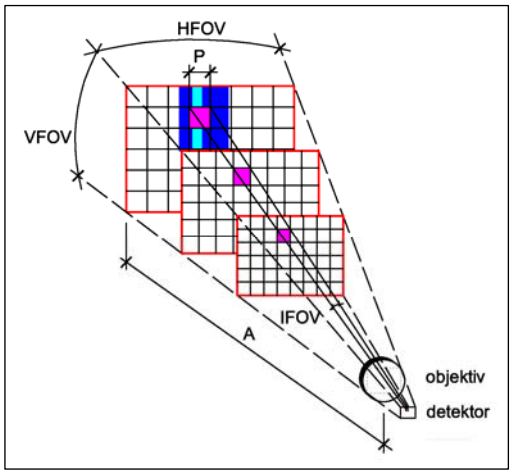
1.4.Termografická technika obecně

Nejdůležitějšími prvky termokamer jsou optika a detektor. U objektivů je velice důležité jejich zorné pole (FOV = „Field Of View“), které se obvykle udává jedním horizontálním úhlem [°] (HFOV), pokud je detektor čtvercový (např. 25°) nebo horizontálním a vertikálním úhlem [°] (VFOV), pokud je detektor obdélníkový (např. 32°x 23°). S větší vzdáleností od objektu lze zachytit větší plochu, ale výrazně se tím snižují detaily. S tím úzce souvisí prostorové skutečné zorné pole (IFOV = „Instantaneous Field Of View“), které se uvádí v [mrad]. S touto hodnotu lze dopočítat velikost jednoho bodu P (pixelu) v závislosti na vzdálenosti A [m]:

$$P = 2 \times A \times \mathrm{tg}\left(\frac{IFOV}{2}\right) \text{ [m]}$$

U objektů a konstrukcí, které mají velikost jako IFOV, nelze korektně stanovit povrchovou teplotu termografickou kamerou. Na obr. 5 se jedná o světle modrou plochu, která je ve vzdálenosti A užší než velikost pixelu a stanovená povrchová teplota je ovlivněna sousední tmavě modrou plochou. Aby byly objekt nebo konstrukce „měřitelné“, musí mít velikost stejnou jako nejmenší měřitelný objekt (SMO = „Smallest Measurable Object“), která je SMO ≈ 2 až 3 x IFOV.

V praxi to znamená, že nelze přesně stanovit povrchové teploty u vzdálených nebo příliš malých konstrukcí. Pro stanovení povrchových teplot takových konstrukcí je třeba použít teleobjektiv nebo přistoupit blíže.



Obr. /5/ - Zorné pole objektivu a prostorové skutečné zorné pole

Detektor je zařízení převádějící dopadající IČ záření na elektrický signál, který se dále zpracovává. U stavařských termografických kamer se v současnosti nejvíce používají maticové detektory FPA = „Focal Plane Array“. U detektorů jsou nejdůležitější:

- Rozlišení obvykle udávané v pixelech nebo obrazových bodech (obdobně jako u digitálních fotoaparátů). U termokamer platí dvojnásob, že čím větší rozlišení, tím lepší obraz, ale obvykle také vyšší cena,
- Spektrální rozsah, který definuje IČ pásmo, v němž termografický sytém pracuje,
- NETD = „šumový ekvivalentní teplotní rozdíl“ definuje nejmenší rozdíl teplot, který dokáže termografický systém zaznamenat. Uvádí se obvykle v °C, K nebo mK při teplotě stanovení. Čím je NETD nižší, tím je kamera citlivější.

1.5.Využití termokamery

Termokamery mají poměrně rozsáhlé spektrum použití v různých odvětvích. Ve stavebnictví se nejčastěji používá k detekci:

- nepravidelností (poruch) v tepelných izolacích obvodových konstrukcí budov (měření se provádí z exteriéru i interiéru),
- tepelných mostů,
- nedostatečně vzduchotěsných míst obvodových konstrukcí budov s využitím zařízení pro blower-door test (měření se provádí z interiéru),
- poškození konstrukcí vlhkostí a vodou (měření se provádí z interiéru),
- lokalizaci defektů v rozvodech topných médií (např. teplovodní podlahové vytápění).

2. Zásady práce s termokamerou

2.1.Manipulace

Při měření a manipulaci s kamerou je doporučeno, aby měřící technik měl navléknutí pojistný popruh termokamery na zápěstí ruky. Pád by mohl kameru zničit. Dalším pravidlem je, nedotýkat se optiky objektivu rukama ani jinými předměty, protože by mohlo dojít k poškození ochranné vrstvy. Termokameru je nutné chránit (především objektiv) před nepříznivými vlivy, např. déšť, sníh, prach apod.

2.2.Aklimatizace kamery

I když většina v současnosti používaných stavebních kamer používá tepelně stabilizované detektory, je důležité kameru před měřením aklimatizovat. Čím je větší rozdíl teplot mezi dvěma prostředími, v nichž byla kamera uložena, nebo bylo s kamerou manipulováno, tím je nutná delší doba aklimatizace (např. mezi teplotou v automobilu a exteriérem nebo exteriérem a interiérem). K chybnému zaostření může dojít při pořízení termogramu se zamlženým nebo oroseným objektivem. K tomuto jevu obvykle dochází, když se provádí měření v exteriéru při nízkých teplotách a následně se přejde do interiéru. V tomto případě lze objektiv otřít dle pokynu výrobce. Vhodnější je ale vyčkat na ohřátí objektivu a jeho samovolnému oschnutí. Tím také dojde k aklimatizaci kamery.

2.3.Klimatické podmínky

Pokud je termokamerou řešena diagnostika povrchových teplot na objektech a konstrukcích, je základním předpokladem dostatečný rozdíl teplot vzduchu mezi prostory, které konstrukce odděluje. Přičemž rozdíl teplot nesmí být okamžitý, ale musí být dosaženy a udržovány v dostatečné době před měřením.

Rozdíl teplot vzduchu mezi interiérem a exteriérem by neměl být menší než 10 °C. Měření se provádí během topné sezony (říjen až duben) a především v ranních hodinách před východem slunce.

2.4.Volba správné vzdálenosti

Při měření je důležitá vhodná vzdálenost kamery od měřené konstrukce nebo objektu. Ta závisí především na použitém termografickém systému. Při velké vzdálenosti mohou některé detaily zaniknout a při krátké vzdálenosti může být problém se zaostřením nebo se objekt nemusí vejít do zorného pole a musí být pořízen větší počet snímků.

V diagnostikovaných konstrukcích se mohou „odrážet“ okolní konstrukce a objekty, proto je důležité se nezaměřit pouze na předmět měření, ale sledovat a popř. pořídit fotodokumentaci také bezprostředního okolí. Z exteriéru to obvykle bývají okolní stavby, vegetace, automobily, obloha apod. a v interiéru části vybavení, která mohou mít jinou povrchovou teplotu než je teplota místnosti jako např. výparníky lednic, zapnuté drobné elektrospotřebiče apod.

2.5.Další potřebné vybavení pro termovizní snímkování

Teplota a relativní vlhkost vzduchu se měří kalibrovanými teploměry a vlhkoměry. Vhodné je použití termohydrografů umožňujících v průběhu měření záznam hodnot do paměti ve zvoleném intervalu (ideálně 1 až 60 s). Teplota vzduchu se měří s přesností ±0,5 °C a relativní vlhkost vzduchu s přesností ±5,0 %.

Při práci s termokamerou je nutné používat i fotoaparát k zaznamenání dílčích částí snímaného objektu. V případě, že jsou snímkovány stavební konstrukce, je vhodné zaznamenávat pozice pořízených termogramů do projektových podkladů.

3. Popis ovládání termokamery FLIR i7

3.1.Ovládání termokamery

Ovládání kamery je poměrně jednoduché. Po zapnutí termokamery tlačítkem vpravo dole (⏻) a odsunutí krytu se na displeji objeví barevný obraz, v jehož spodní části je přiřazená barevná stupnice.

Levým horním tlačítkem vyvoláme nabídku, která obsahuje položky:

- *Měření*
- *Palety barev*
- *Změřit objekt*
- *Nastavení*

Pohyb v nabídce je prostřednictvím tlačítek s šipkami nahoru a dolů. Vyvolání podnabídek a návrat z podnabídek se realizuje pomocí tlačítek s šipkami doprava a doleva.

3.1.1. Podnabídka - Měření

V této nabídce je možné zvolit, zda se má v horním levém okraji zobrazovat „dopočítaná teplota“ ve středovém bodě nebo minimální či maximální „dopočítaná teplota“ ve vybrané oblasti, která je na displeji znázorněna čtvercovým obrysem.

Dále zde mohou být zvoleny podnabídky „*Nad*“ nebo „*Pod*“, které zvýrazňují oblasti, které jsou nad respektive pod zvolenou hodnotou, která se definuje pomocí tlačítek se šipkami nahoru a dolů (hodnota se zobrazuje nad stupnicí barev).

Potvrzení podnabídky se provede stiskem tlačítka s šipkou doprava.

3.1.2. Podnabídka - Palety barev

V této podnabídce je možné zvolit barevnou škálu: *šedá*, *železo* a *duha*.

3.1.3. Podnabídka - Změřit objekt

Nabídka umožňuje zadání emisivity snímaného povrchu. Lze zvolit povrch podle stupně lesku nebo podnabídku *Pokročilý*.

V podnabídce *Pokročilý* (doporučeno pro zadávání) lze definovat emisivitu buďto známou hodnotou zjištěnou měřením nebo předdefinovanou pro některé materiály (nastavená emisivita povrchu se bude zobrazovat pod stupnicí barev). Dále je zde nutné zadat zjištěnou hodnotu odražené teploty.

3.1.4. Podnabídka - Nastavení

V této podnabídce je možné definovat podružná nastavení termokamery:

- Automatické vypnutí
- Intenzita displeje
- Jazyk
- Jednotka
- Formát času
- Nastavit čas
- Časové razítko
- Firmware
- Obnovit výchozí nastavení

Pohyb v těchto nabídkách je opět pomocí tlačítek s šipkami nahoru a dolů. Potvrzování nabídek a návrat do nadřazené nabídky je prostřednictvím tlačítka se šipkou doprava resp. tlačítka se šipkou doleva.

3.1.5. Pořizování a zobrazování termogramů

Termogramy se po nastavení potřebných hodnot (emisivity, odražené zdánlivé teploty) pořizují stiskem tlačítka pod objektivem termokamery. Pořízený termogram je možné vyvolat stiskem tlačítka vlevo dole (⧈). Pohyb mezi pořízenými termogramy se realizuje pomocí tlačítek s šipkami vlevo a vpravo. Návrat k snímkování umožní opětovný stisk tlačítka vlevo dole.

Při pořizování termogramů lze stiskem tlačítka vpravo nahoře uzamknout rozsah stupnice. Toto zobrazení je výhodné pro porovnávání snímaných segmentů určitého objektu. Pokud není stupnice uzamčena, pak se její škála dynamicky mění v závislosti na rozsahu snímaných povrchových teplot.

3.1.6. Úprava termovizních snímků

Pro správu snímků je vhodné využít volně stažitelný software Flir Tools od výrobce termokamery. V tomto programu lze měnit pro daný snímek hodnoty emisvity, odražené teploty, atmosférické teploty, vzdálenosti. Nabízí také úpravu zobrazované palety barev a hlavně vyhodnocování povrchových teplot pomocí výběrových oblastí (minima, maxima a průměrné hodnoty).

3.2.Poznámky k pořizování termogramů

Emisivita materiálu musí být stanovena správně. Mokrý materiál může mít nižší emisivitu než suchý, především záleží na úhlu snímání. Např. při pohledu pod úhlem na mokrý beton může docházet k tepelnému odrazu objektů okolo.

Pokud není měřená konstrukce zastíněná jiným objektem, je třeba myslet na to, že slunce může výrazně ovlivnit povrchové teploty. Při měření ráno před východem slunce vždy začínat od východní fasády.

Při měření větších objektů (fasád) z exteriéru je dobré vždy vyfotit jeden termovizní snímek, na kterém bude celá fasáda. Z důvodů odstupových vzdálenosti je to někdy nemožné, v tom případě je nejlepší pořídit více snímků, které zachycují co největší část fasády. Snímky by se měly částečně překrývat. Snímek nebo snímky slouží pouze k zachycení polohy a rozsahu teplotních anomálií, ale přesné teploty se z nich obvykle nestanovují. Termokamera má rozlišení 140 × 140 obrazových bodů a to znamená, že jednomu obrazovému bodu může ve skutečnosti odpovídat plocha např. 50 × 50 cm, ve které se může vyskytovat více míst s výrazným rozdílem povrchových teplot. Jeden obrazový bod zobrazí průměrnou teplotu z celé plochy a může dojít k velké chybě měření. Proto je nutné po pořízení snímků celku pořídit také detailní termovizní snímky, které by se opět měly překrývat. Z těchto snímků se potom vyhodnocují povrchové teploty. Příklad vlivu vzdálenosti od objektu na hodnotu povrchové teploty je v kapitole 5.5.

Současně s termovizními snímky se pořizují také civilní fotografie. V interiéru je dobré pořizovat civilní fotografie ihned po pořízení termovizního snímku. Výhodou je, že u obou snímků je prakticky stejný čas pořízení a usnadňuje to orientaci ve snímcích při vyhodnocování. Pokud se datalogerem zároveň zaznamenává teplota a vlhkost (to by se mělo vždy, ideální je záznam po 10 s), lze k určitému snímku přesně přiřadit i teplotu a vlhkost. Je to důležité, pokud jsou v interiéru měřeny prostory s různou teplotou a vlhkostí.

Současné pořizování termovizních snímků a civilních fotografií může být v exteriéru problematické, protože se měření velice často provádí za tmy. Civilní fotografie se zpravidla pořizují před (při měření večer) nebo po (při měření ráno) pořízení termovizních snímků. Při pořizování termovizních snímků je nutné si pamatovat směr měření a vhodné je i do snímku zakomponovat výjimečné objekty (např. satelit, anténa, otevřené okno, předměty na balkóně apod.). Stejné objekty je potom nutné zakomponovat také do civilních fotografií. Díky objektům se potom termovizní snímky a fotografie snáze párují.

4. Klimatické podmínky při měření v terénu

4.1.Vhodné klimatické podmínky

V České republice se zabývá termodiagnostikou v oblasti stavebnictví pouze jediná norma ČSN EN 13187 [2]. Norma stanovuje mimo jiné postupy pro pořízení termogramů a jejich vyhodnocení. Tato norma v informativní příloze D uvádí, jaké podmínky musí být při termografické zkoušce:

a) Nejméně 24 hodin před začátkem zkoušky se nesmí teplota vnějšího vzduchu lišit od teploty na začátku zkoušky o více než ±10 °C.

U těžkých konstrukcí s velkou tepelnou setrvačností je nutné věnovat zvláštní pozornost vlivům akumulace tepla.

b) Nejméně 24 hodin před započetím zkoušky a během zkoušení nesmí být rozdíl teplot vzduchu mezi vnitřní a vnější stranou obvodového pláště menší než číselná hodnota 3/U, kde U je teoretická hodnota prostupu tepla stavebním prvkem ve $W/(m^2.K)$, ale nikdy menší než 5 °C.

c) Nejméně 12 hodin před začátkem zkoušky a během zkoušky nesmí být povrch zkoušeného pláště vystaven přímému slunečnímu záření.

d) Během zkoušení se teplota vnějšího vzduchu nesmí lišit o více než ±5 °C a vnitřní teplota vzduchu o více než ±2 °C od odpovídajících hodnot na začátku zkoušky

Ideální podmínky pro termovizní snímání obvodových konstrukcí budov jsou tedy nad ránem před východem slunce, zároveň s rovnoměrně zataženou oblohou (pokud je jasno, stanovuje se hůře zdánlivá odražená teplota) a s co možná nejvyšším teplotním rozdílem mezi vnitřním a vnějším prostředím. U rovnoměrně zatažené oblohy je stanovení její teploty snadnější a lze použít metody dle Přílohy A. Jasná obloha je velice studená (< -40 °C) a z důvodů měřicího rozsahu nemusí být některými termografickými systémy její teplota stanovitelná. Vystavení konstrukce sálavému působení jasné oblohy po delší časové období může vést k tomu, že stanovená povrchová teplota je nižší než teplota vzduchu při měření. Velký pozor je třeba dát na stanovení teploty polojasné oblohy, kde lze doporučit kontrolu i vícekrát během měření.

4.2.Nevhodné klimatické podmínky

Nevhodné klimatické podmínky vychází z uvedeného v kapitole 4.1.

Nepřípustné je pořizování termogramů po východu slunce především v exteriéru. Již po několika sekundách vystavení povrchu konstrukce slunečnímu záření dochází k významným změnám povrchových teplot. Sluneční záření částečně prostupuje také přes zamračenou oblohu.

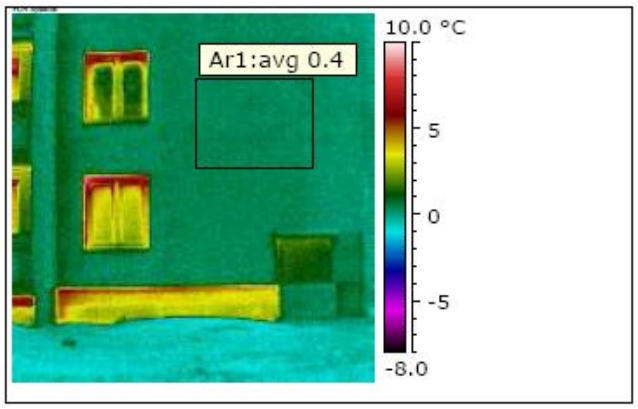
Obdobný problém může nastat i při pořizování termogramů v nočních hodinách nebo nad ránem, pokud byl předchozí den s jasnou oblohou a sledovaný povrch byl vystaven přímému slunečnímu záření. Jestliže má materiál vysokou schopnost akumulace tepla (např. železobetonové stěny), nemusí do doby pořizování termovizních snímků objekt vyzářit naakumulovanou energii do okolí a výsledky stanovení povrchových teplot vedou k chybné interpretaci.

Termogramy nelze pořizovat ani při mlze nebo silném dešti, protože voda je pro IČ záření zcela nepropustná.

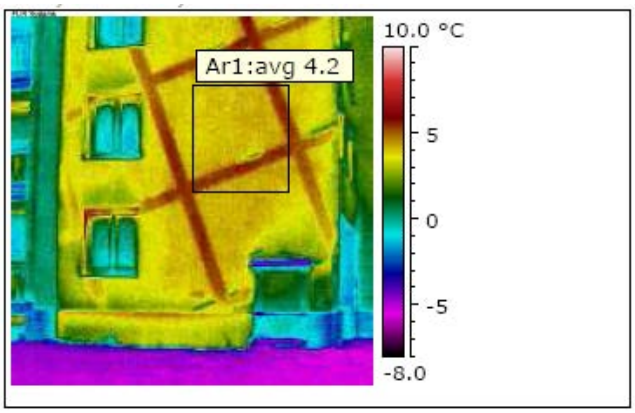
5. Příklady z měření

5.1.Příklad nevodných klimatických podmínek

Na obr. /6/ a obr. /7/ je příklad termogramu pořízeného na stejné budově, ale v jiný den a denní dobu. Termogram na obr. /6/ byl pořízen před východem slunce při teplotě vnějšího vzduchu -0,5°C, na povrchu fasády byla stanovena teplota 0,4°C. Termogram na obr. /7/ byl pořízen ráno po východu slunce při zatažené obloze (s rozptýleným světlem) a teplotě vnějšího vzduchu -5°C. Sluneční záření, ač nepřímé, velmi rychle ovlivnilo výsledky a na hodnocené fasádě se zobrazovaly poměrně vysoké povrchové teploty okolo 4°C. Z termogramu na obr. /6/ je navíc patrné, že část povrchové úpravy má odlišnou emisivitu než většina fasády.



T_{atm} = - 0,5°C
Obr. /6/ - Termogram fasády nad ránem

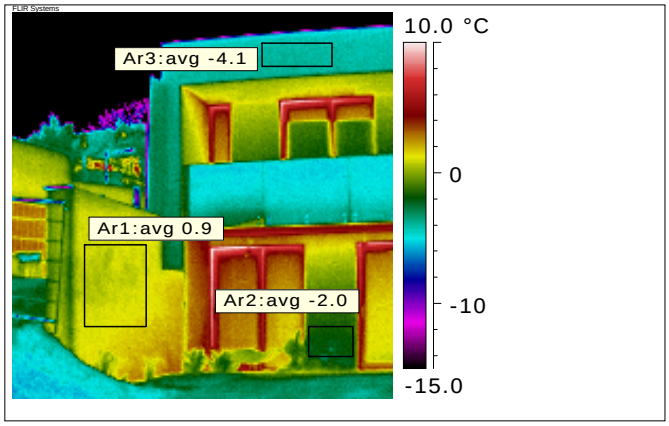


T_{atm} = - 5,0°C
Obr. /7/ - Termogram fasády po východu slunce

5.2. Příklad vlivu velké tepelné setrvačnosti konstrukce

Na obr. /8/ a obr. /9/ je příklad vlivu velké tepelné setrvačnosti opěrné železobetonové stěny. Ačkoliv tato stěna nepřiléhá k žádnému zdroji tepla, zobrazují se na jejím povrchu vysoké teploty. Předchozí den před měřením byla totiž jasná obloha a díky jižní orientaci fasády došlo v železobetonové stěně k výrazné akumulaci tepla ze slunečního záření. Na fasádě rodinného domu je také patrný vliv železobetonové konzoly lodžie s přerušeným tepelným mostem. Vyzařovaná energie z této konzoly ovlivňuje zobrazované povrchové teploty na přilehlých površích. V době pořizování termogramů nad ránem byla jasná obloha.

Obr. /8/ - Pohled na fasádu rodinného domu

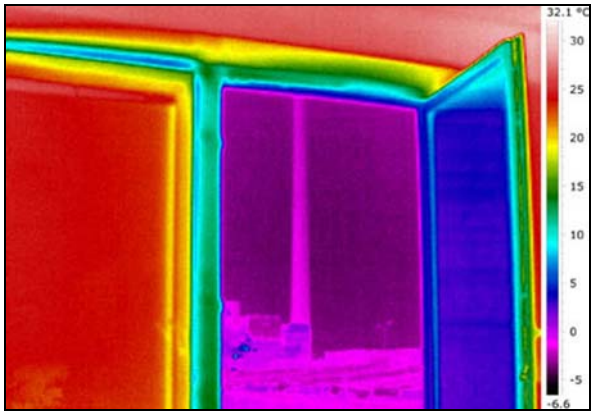


T_{atm} = -3,7°C
Obr. /9/ - Termogram fasády

5.3.Příklad zasklení nepropustného pro IČ záření

Na obr. /11/ je zdokumentováno, že sklo je pouze málo propustné pro IČ záření a proto nelze měření provádět např. přes zavřené okna auta, zavřená okna protilehlé budovy apod.

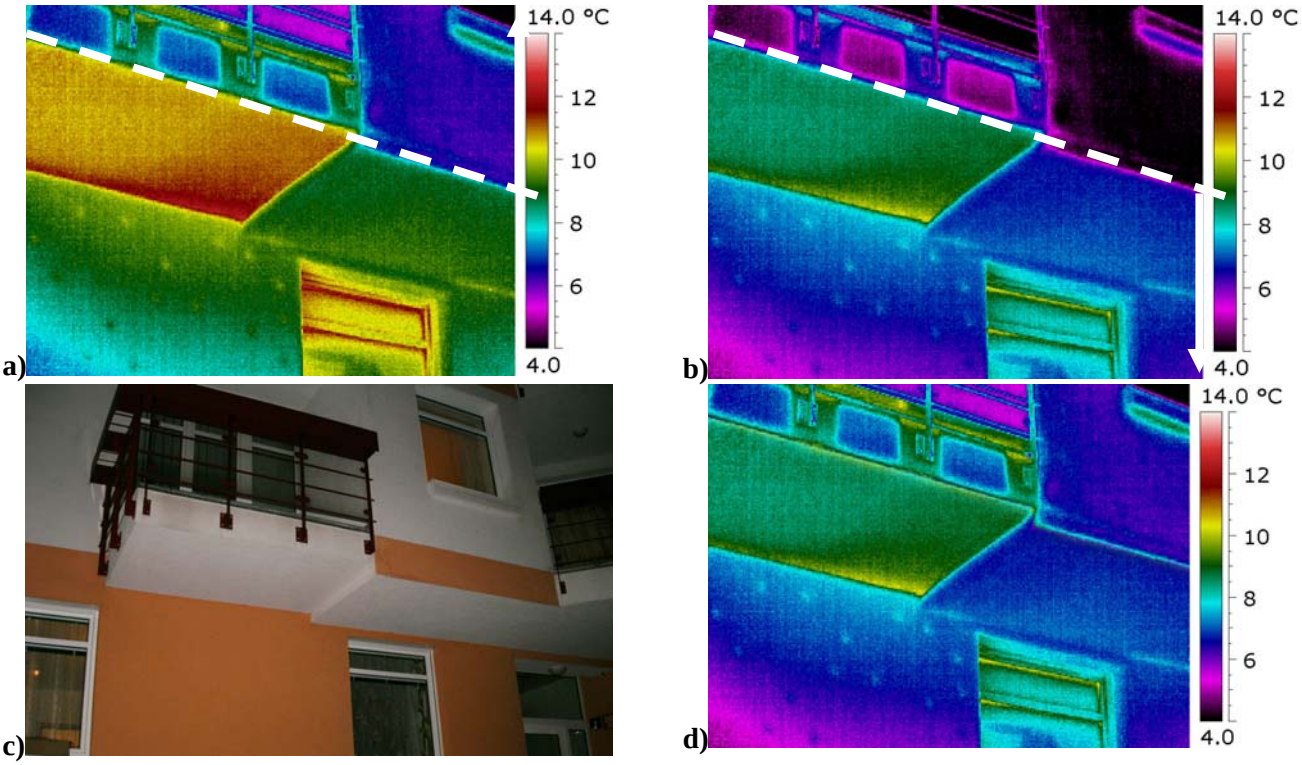
Obr. /10/ - Fotografie otevřeného okna



Obr. /11/ - Odpovídající termogram

5.4.Příklad vlivu stínění

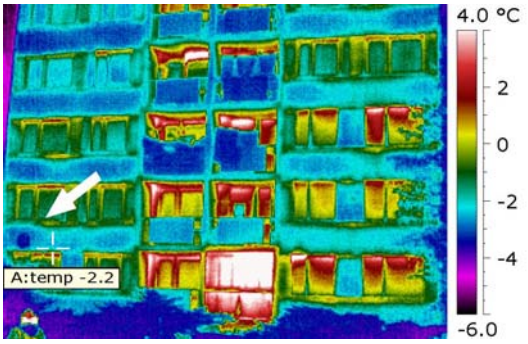
Vliv odrazu jasné oblohy nebo okolních konstrukcí je patrný z obr. /12/, kde je zachycen balkónový nosník a arkýř. Termogram byl pořízen při t_i = 22 °C, t_{atm} = 6,0 °C při úplně jasné obloze. Emisivita je nastavena na 0,95 [-]. Na termogramu a) je uvažována odražená teplota -40 °C, která ale platí pouze pro stěnu arkýře, ve které se obloha „odráží“. Teplotní stupnice tak platí pouze pro horní část termogramu vyznačenou přerušovanou čárou a šipkou. Tím, že je pro spodní líc balkónu a arkýře nastavená chybná odražená teplota, jsou na površích naměřeny vyšší povrchové teploty. Na termogram b) je naopak odražená teplota nastavena na 7°C (cca povrchová teplota fasády, která se „odráží“ ve spodním líci balkónu a arkýře. Teplotní stupnice tak platí pouze pro spodní část termogramu. Na termogramu d) jsou obě části spojené a je patrné, že povrchové teploty na spodním líci a stěně arkýře jsou přibližně stejné.



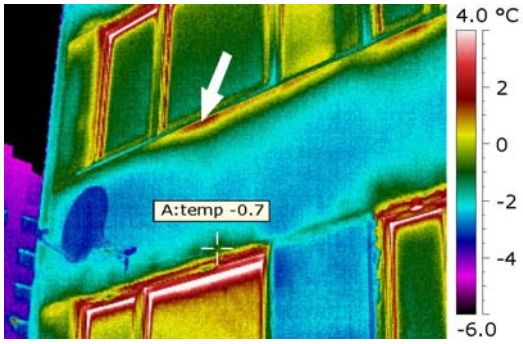
Obr. /12/ - Vliv „stínění“ předsazenými konstrukcemi na povrchové teploty při jasné obloze

5.5.Příklad vlivu vzdálenosti

Při vzdálenosti cca 50 m mezi objektem a kamerou a IFOV = 1,38 mrad odpovídá při rozlišení 320 x 240 obr. /13/ bodů jednomu pixelu plocha cca 69 mm x 69 mm: povrchová teplota v bodě A je – 2,2 °C. Při vzdálenosti cca 3 m mezi objektem a kamerou a IFOV = 1,38 mrad odpovídá při rozlišení 320 x 240 obr. /14/ bodů jednomu pixelu plocha cca 4 mm x 4 mm: povrchová teplota v bodě A je – 0,7 °C.



Obr. /13/ - Termogram fasády ze vzd. 50 m

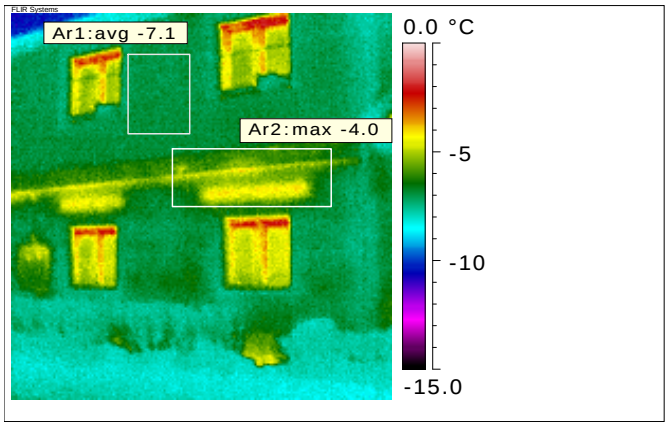


Obr. /14/ - Termogram fasády ze vzd. 3 m

5.6.Tepelné mosty a teplotní anomálie

Na termogramu obr. /16/ je na fasádě RD patrný příklad tepelného mostu v oblasti stropní konstrukce s vystupující římsou a nad okny 1.NP. V označené oblasti je vyšší povrchová teplota než v ostatních částech fasády.

Obr. /15/ - Fotografie fasády RD

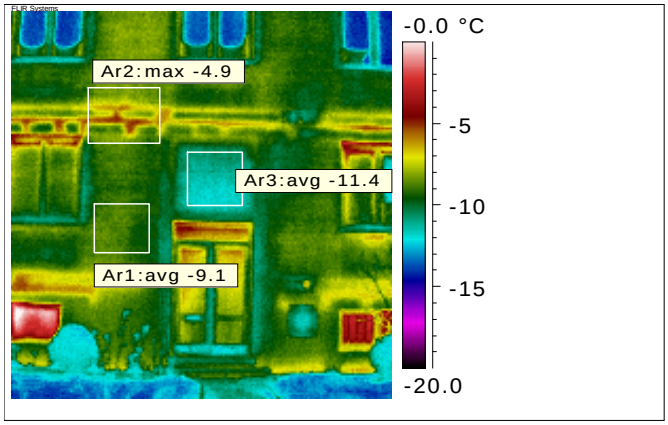


T_{atm} = -6,0 °C

Obr. /16/ - Odpovídající termogram

Na dalším termogramu je příklad nezatepleného bytového domu. Na obr. /18/ je patrná vyšší povrchová teplota v oblasti železobetonových stropních věnců a překladů. Objekt je vystaven v typové výstavbě T 02 B - zdivo CDm. Železobetonové věnce a překlady jsou opatřeny heraklitovými deskami, které však nejsou správně sesazeny, proto se mezi nimi výrazně prokreslují svislé i vodorovné spáry. Nad vstupními dveřmi je oblast s nižší povrchovou teplotou ovlivněna jednak nižší teplotou v prostoru schodiště domu a jednak vyzdívkou z porobetonových tvárnic (zazdění nadsvětlíku), které mají lepší tepelněizolační vlastnosti než původní zdivo.

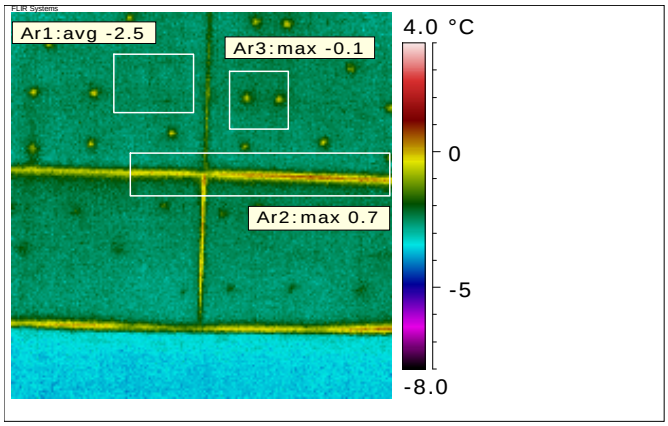
Obr. /17/ - Část fasády bytového domu



T_{atm} = -12,5 °C
Obr. /18/ - Odpovídající termogram

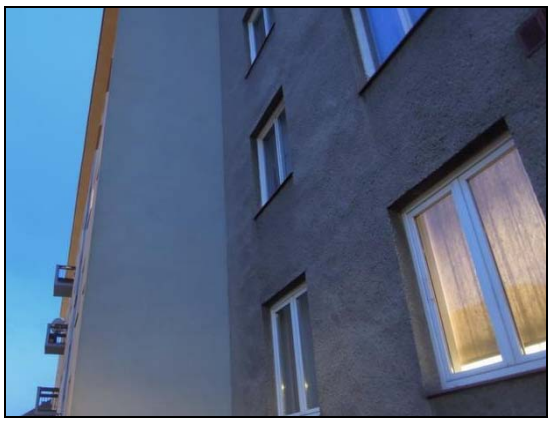
Na termogramu obr. /20/ jsou zachyceny typické tepelné mosty, které lze nalézt u zateplených obvodových stěn domů. Oblast Ar2 označuje tepelný most způsobený zakládací lištou kontaktního zateplovacího systému obvodové stěny. „Tečky“ s vyšší povrchovou teplotou (např. oblast Ar3) odpovídají místům, kde jsou kotevní prvky zateplovacího systému.

Obr. /19/ - Pohled na fasádu domu v oblasti soklu

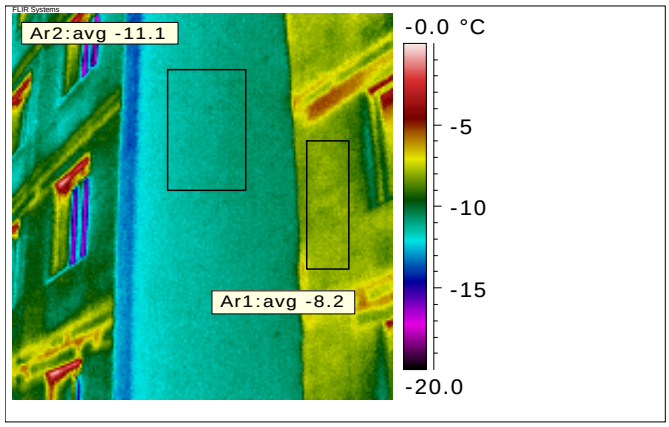


T_{atm} = -2,7 °C
Obr. /20/ - Odpovídající termogram

Na dalším termogramu je zachycena fasáda dvou sousedících bytových domů. Obvodová stěna z tvárnic CDm je zateplena pouze na štítu (ETICS s EPS tl. 80 mm), který je vytvořen vzájemným posunutím dvou sousedních bytových domů. Vyšší tepelný tok je přes nezateplenou fasádu a proto je zde i vyšší povrchová teplota. Rozdíl povrchových teplot mezi nezateplenou fasádou (oblast Ar1) a zateplenou fasádou (oblast Ar2) je 2,9°C.

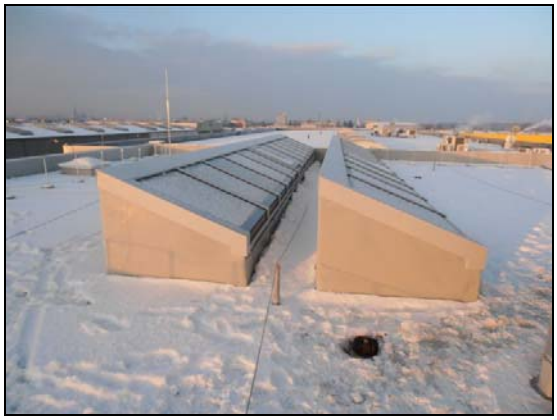


Obr. /21/ - Zateplená a nezateplená fasáda

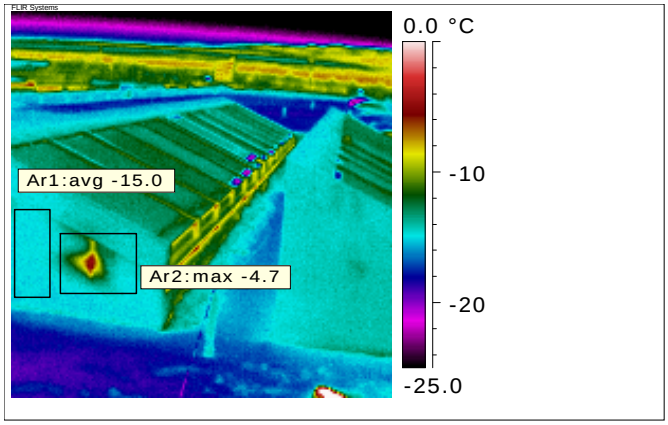


T_{atm} = -12,5 °C
Obr. /22/ - Odpovídající termogram

Termogram obr. /24/ zachycuje tepelněizolační defekt stěny střešního světlíku. Pravděpodobně jsou zde nedůsledně sesazeny tepelněizolační desky.



Obr. /23/ - Pohled na střešní světlíky

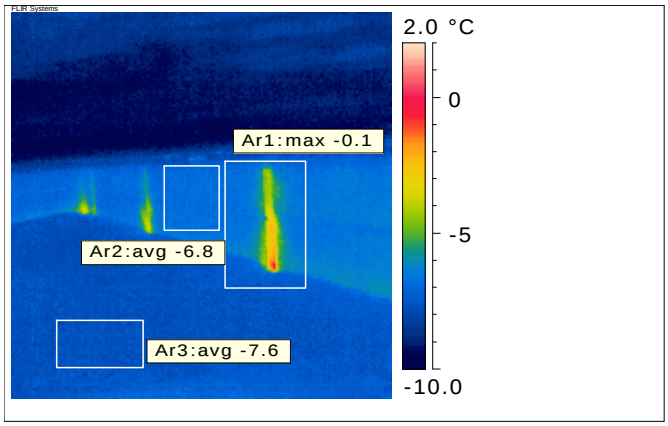


T_{atm} = -16,2 °C

Obr. /24/ - Odpovídající termogram

Na termogramu obr. /26/ je příklad tepelného mostu v atice střechy. Tepelný most tvoří nosné ocelové sloupky, které kotveny do železobetonové stropní konstrukce a nejsou výrazněji zatepleny.

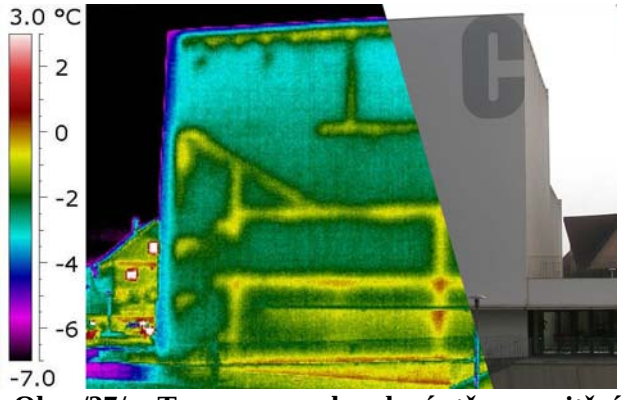
Obr. /25/ - Pohled na atiku střechy



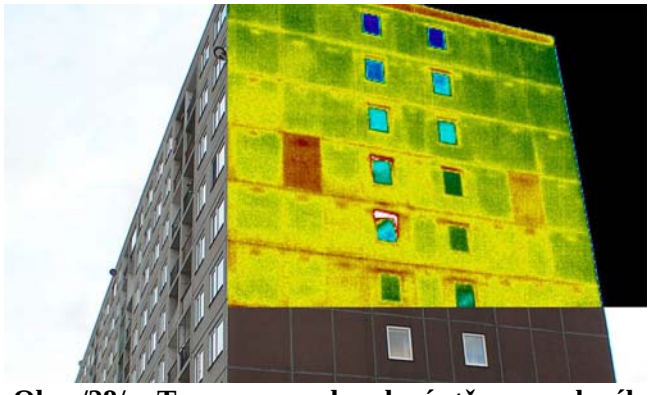
T_{atm} = -7,5 °C

Obr. /26/ - Odpovídající termogram

Na následující termogramech jsou další dva typy teplotních anomálií. Na termogramu obr. /27/ je budova s vnitřním zateplením, kde se tepelně propisují stropní konstrukce a schodiště. Na termogramu obr. /28/ je zachycen štít panelového domu, kde mají dva stěnové panely vyšší povrchové teploty než ostatní, což znamená, že mají horší tepelněizolační vlastnosti.

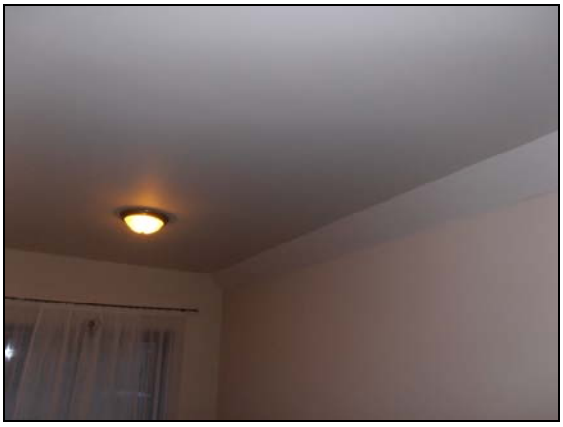


Obr. /27/ - Termogram obvodové stěny s vnitřním zateplením

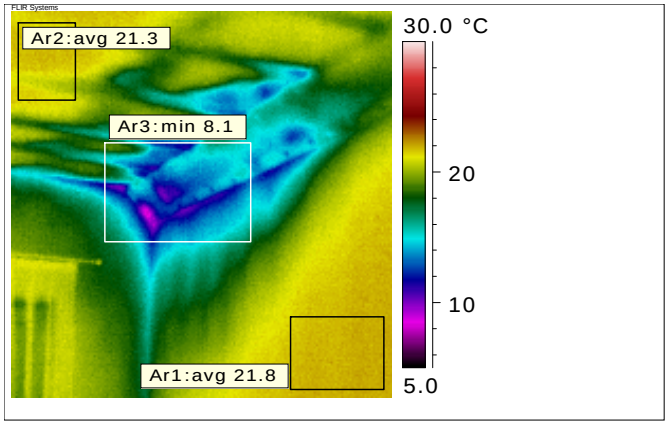


Obr. /28/ - Termogram obvodové stěny panelového domu

Na termogramu obr. /30/ je příklad výrazného tepelného mostu v napojení stěny a stropu vikýře. Detail je nevhodně řešen a nedůsledně zateplen.



Obr. /29/ - Pohled z interiéru na napojení stěny a stropu vikýře

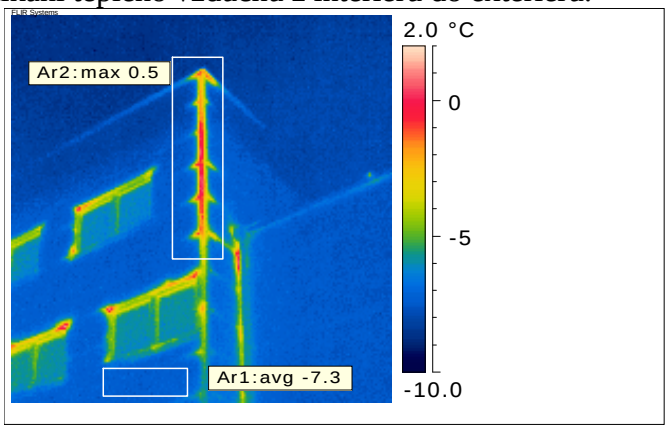


T_{atm} = -10,5 °C, T_{int} = 21,7 °C
Obr. /30/ - Odpovídající termogram

5.7.Příklady nevzduchotěsnosti obvodových konstrukcí

Na termogramu obr./32/ je příklad poruchy v nároží objektu, jehož stěny jsou tvořeny sendvičovými panely. Tato anomálie se u objektu vyskytovala pouze lokálně. Panely jsou v nároží nedůsledně sestaveny, detail je nevzduchotěsný a dochází k pronikání teplého vzduchu z interiéru do exteriéru.

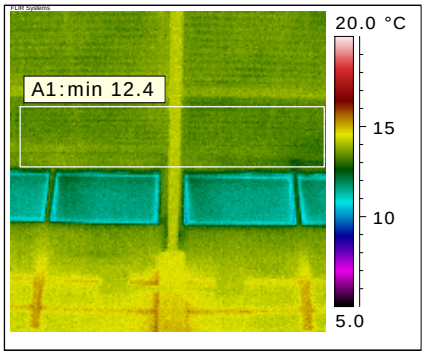
Obr. /31/ - Pohled na část fasády admin. objektu



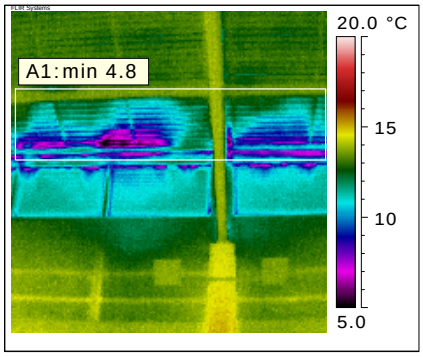
T_{atm} = -7,5 °C
Obr. /32/ - Odpovídající termogram

Dalším příkladem využití termokamery je diagnostika nevzduchotěsných míst v napojení konstrukcí s využitím zařízení pro blower-door test. Ve sportovní hale bylo provedeno termovizní snímkování nejprve při přirozeném tlakovém rozdílu (obr. /34/) a poté při podtlaku (obr. /35/), který byl vytvořen zařízením pro blower-door test. Při podtlaku vnikal přes netěsnosti venkovní chladný vzduch do interiéru a ochlazoval přilehlé povrchy. Byly tak zjištěny nevzduchotěsnosti v napojení svislých obvodových konstrukcí a střešní konstrukce.

Obr. /33/ - Pohled na napojení stěny a střechy sportovní haly



T_{atm} = -2,5 °C, T_{int} = 14,5°C
Obr. /34/ - Termogram při přirozením tlakovém rozdílu

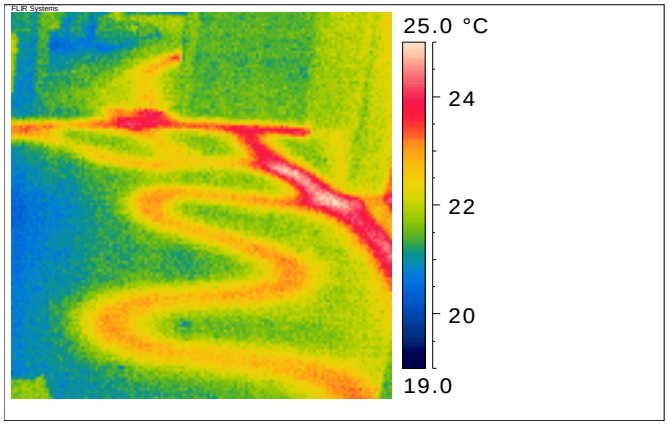


T_{atm} = -2,5 °C, T_{int} = 14,5°C
Obr. /35/ - Termogram při podtlaku

5.8.Příklad trasování podlahového vytápění

Termokameru lze použít také na zjištění trasy podlahového vytápění (např. při rekonstrukcích a změnách dispozic). Toto snímání se také někdy využívá pro vyhledávání poruch v podlahovém vytápění (ztráty topné vody).

Obr. /36/ - Podlaha s podlahovým topením



Obr. /37/ - Termogram s trasy podlah. vytápění

5.9.Příklad vlivu emisivity

Následující termogramy jsou příkladem, do jaké míry ovlivňuje chybné nastavení emisivity výsledek stanovení povrchové teploty. Na termogramu viz obr. /38/ je správné nastavení hodnot: emisivita $\varepsilon = 0{,}97$ [-] a odražená teplota $T_{odr} = 20°C$. Výsledkem je nejvyšší zjištěná povrchová teplota figuranta $t = 36{,}8°C$. Termogram obr. /39/ znázorňuje chybné nastavení s hodnotami: emisivita $\varepsilon = 0{,}50$ [-] a odražená teplota $T_{odr} = 20°C$. Výsledkem je chybná nejvyšší zjištěná povrchová teplota figuranta $t = 50{,}2°C$.

Obr. /38/ - Správné nastavení parametrů

Obr. /39/ - Chybné nastavení parametrů

Literatura

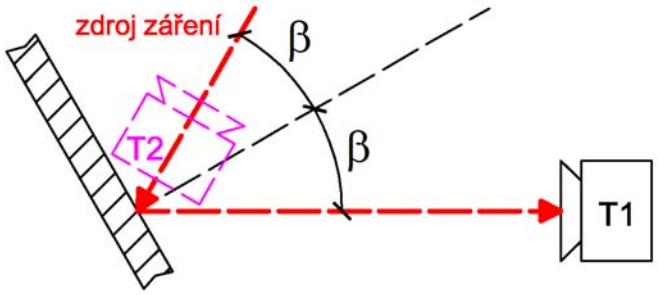
[1] PEŠTA, Jan. - TESAŘ, David. - ZWIENER, Viktor. *Diagnostika staveb – Hydroizolace, termografie, blower door test, akustika*. 1. vydání, Praha: Dek a.s., 2011. 124 s. ISBN 978-80-87215-09-8.
[2] ČSN EN 13187 Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov.
[3] Uživatelská příručka ThermaCam E65.
[4] Uživatelská příručka FLIR ix series.

Příloha A – Stanovení parametrů pro termovizní snímání

1) Stanovení zdánlivé odražené teploty

Přímá metoda

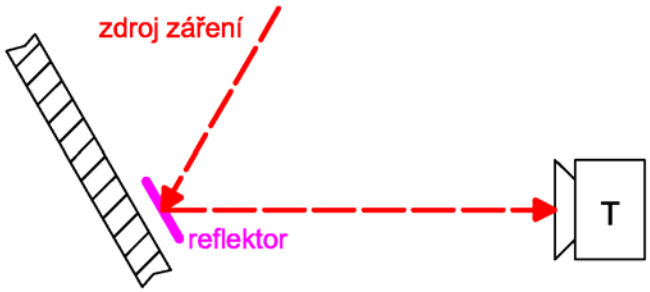
Na termografické kameře se nastaví emisivita 1,0 [-]. Z předpokládaného místa snímání objektu (kamera v poloze T1 obr. 40) se odhadne úhel dopadu a odrazu β IČ záření od okolních objektů nebo oblohy. V konstrukci se nesmí odrážet extrémně teplé a studené objekty, osoba provádějící měření, jiné osoby apod. Pokud by k odrazu extrémně teplých nebo studených objektů mohlo dojít, je třeba se s kamerou přemístit a provést snímání tak, aby byl tento vliv maximálně eliminován. Kamera se umístí před měřený objekt a pod úhlem 2·β od původního směru se změří průměrná zdánlivá odražená teplota okolních objektů nebo oblohy (poloha T2).



Obr. /40/ - Postavení při přímé metodě stanovení odražení teploty

Metoda odrazového zrcadla

Pro tuto metodu je třeba vyrobit IČ reflektor. Vhodné jsou deska formátu A4 nebo disk průměru cca 30 cm obalené zmačkanou a opět narovnanou hliníkovou fólií (alobal). Zmačkaná hliníková fólie reflektoru dostatečně odráží IČ záření od okolních objektů nebo oblohy a blíží se modelu difúzního zdroje (tzv. Lambertovský zářič), u něhož není emisivita směrově závislá. Stejně jako u přímé metody se také u této metody na termografické kameře nastaví emisivita 1,0 [-]. Kamera se umístí do předpokládaného místa snímání objektu (poloha T na obr. 41). Reflektor se umístí před objekt do zorného pole kamery tak, aby byl s objektem rovnoběžný. Plocha reflektoru musí v zorném poli kamery zabírat dostatečně velkou plochu. Stanoví se průměrná zdánlivá odražená teplota v ploše reflektoru buď s využitím funkce oblasti, nebo průměrnou hodnotou z dostatečného počtu bodů, obdobně jako u přímé metody (např. s využitím aplikace FLIR Tools – volně stažitelný program na stránkách výrobce).



Obr. /41/ - Postavení při využití IČ reflektoru pro stanovení odražené teploty

2) Stanovení emisivity povrchu materiálu

Kontaktní metoda

Dle 1) se stanoví odražená zdánlivá teplota od objektů, které se mohou v reprezentativním výseku konstrukce odrážet. Stanovená hodnota se nastaví v kameře. Současně se na kameře nastaví měřicí funkce průměrné teploty oblasti. Kamerou se pořídí termogram reprezentativního výseku konstrukce

nebo se pouze zastaví obraz. Následně se kontaktním teploměrem na vybraných místech reprezentativního výseku změří a zaznamená povrchová teplota. Dle použitého kontaktního čidla může měření trvat několik minut (až do úplného ustálení teploty). V kameře se mění nastavení emisivity tak, aby průměrná povrchová teplota oblasti byla stejná jako povrchová teplota změřená kontaktním teploměrem. Emisivita, při které došlo ke shodě teplot je potom emisivitou materiálu při dané teplotě a vlnovém pásmu kamery. Pro lepší přesnost je třeba měření provést nejméně třikrát na různých místech stejné konstrukce. Aby nedošlo k negativnímu ovlivnění (zahřátí) konstrukce osobou provádějící měřicí, je třeba vždy provést nejdříve bezkontaktní měření kamerou a teprve následně kontaktní měření teploměrem. Stanovení správné hodnoty emisivity materiálu se následně kontroluje a popř. koriguje ve vyhodnocovacím programu.

V terénu je obecně kontaktní metoda velice náročná na přesnost, protože do stanovení emisivity vstupuje další významný parametr, kterým je přesnost použitého kontaktního teploměru a jeho správné použití (např. při větší ploše kontaktního čidla hraje velkou roli způsob jeho přiložení ke konstrukci). Změření nižší než skutečné povrchové teploty kontaktním teploměrem může vést k chybnému stanovení emisivity větší než 1,0 (-) !!!

Využití materiálu s referenční emisivitou

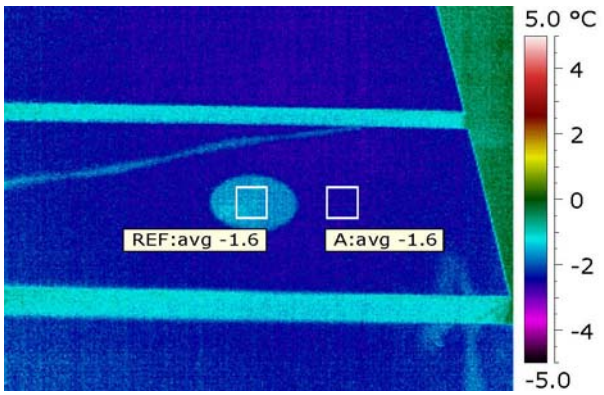
Na vybrané místo reprezentativního výseku se aplikuje materiál o známé vysoké (cca $\varepsilon > 0{,}95$) referenční emisivitě. Obvykle se používá speciálních sprejů nebo lepicích štítků.

Výhodou sprejů je jejich bezkontaktní aplikace i na velice teplé povrchy a rychlost převzetí povrchové teploty podkladu (řádově minuty až desítky minut). Nevýhodou je, že taková úprava je obvykle trvalá. Při použití rozpouštědel pro odstranění nastříkaných míst může dojít k poškození povrchové úpravy.

Možnost bezvadného odstranění po měření je výhodou lepicích štítků. Jejich nevýhodou je naopak složitější aplikace, kdy se požaduje jejich dokonalé spojení s podkladem a současně musí být co nejméně ovlivněny vnějším zdrojem tepla (např. od ruky měřičovy). Čím víc je štítek při nalepování zahřátý, tím déle je třeba čekat na plné převzetí povrchové teploty podkladu (může se jednat o několik desítek minut až hodiny). Pro úplnou eliminaci tohoto jevu je vhodné aplikovat lepicí štítky v dostatečném předstihu (několik hodin) před měřením.

Po aplikaci materiálu se známou referenční emisivitou a převzetí povrchové teploty podkladu se pořídí termogram tak, aby bylo zachyceno místo aplikace materiálu i dostatečná část okolí tohoto místa. V kameře se nastaví měřicí funkce povrchové teploty oblasti a referenční emisivita. Oblast se umístí na místo aplikace materiálu se známou referenční emisivitou. Odečte se a zaznamená povrchová teplota. Následně se oblast přemístí do bezprostředního okolí místa aplikace materiálu a na kameře se mění emisivita tak, aby průměrná povrchová teplota oblasti byla stejná jako průměrná povrchová teplota stanovená na materiálu se známou referenční emisivitou. Emisivita, při které došlo ke shodě teplot je potom emisivitou materiálu při dané teplotě a vlnovém pásmu kamery.

Obr. /42/ - Fotografie části fasády



Obr. /43/ - Odpovídající termogram

Termogram je nastaven na emisivitu 0,96 [-]. Aby došlo ke sjednocení povrchových teplot s obrazcem REF, který je celý umístěn na lepícím štítku, byla v obrazci A snížena emisivita na hodnotu 0,63 [-].

Příloha B – Termografický protokol dle ČSN EN 13187

Dle ČSN EN 13187 [2] musí termografický protokol obsahovat tyto údaje:

- identifikace zákazníka;
- stručný popis průběhu měření;
- stručný popis objektu a měřených částí objektu a konstrukcí;
- typy povrchů a jejich stanovené emisivity (tabulkově nebo měřením in situ);
- popis použitého termografického systému a všech zařízení použitých při měření (výrobce, typ, výrobní číslo, číslo kalibračního listu);
- datum a hodina měření;
- teplota vzduchu v exteriéru, alespoň max. a min. hodnoty zaznamenané 24 hod před měřením a v průběhu měření;
- průměrné teploty vzduchu v exteriéru a interiéru v průběhu měření a jejich rozdíl;
- informace o slunečním záření 12 hod před měřením a v průběhu měření;
- povětrnostní podmínky, směr a rychlost větru během zkoušky a veškeré jejich náhlé změny;
- pokud je to nezbytné, tak rozdíl tlaků vzduchu mezi interiérem a exteriérem;
- fotografie objektu nebo detailu s vyznačením polohy příslušného termogramu;
- typ, rozsah a poloha míst s diagnostikovanými anomáliemi v teplotním poli;
- výsledky doplňujících měření pro stanovení termografických parametrů;
- identifikace osoby provádějící měření, datum a podpis.

Příloha C – Emisivita některých typů materiálů

Jedná se o výtah z [3] a [4]. Legenda: T – celé spektrum IČ, LW – pásmo IČ 8-14 μm, LLW – pásmo IČ 6,5-20 μm.

Materiál	Specifikace	Teplota	Spektrum	Emisivita
asfaltový koberec		4	LLW	0,967
azbest	deska	20	T	0,96
azbest	papír	40-400	T	0,93-0,95
azbest	prášek		T	0,40-0,60
azbest	tkanina		T	0,78
barva	hliníková, různé stáří	50-100	T	0,27-0,67
barva	chromová zelená		T	0,65-0,70
barva	kadmiová, žlutá		T	0,28-0,33
barva	kobaltově modrá		T	0,7-0,8
barva	olejová, průměr 16 barev	100	T	0,94
barva	olejová, různé barvy	100	T	0,92-0,96
beton		20	T	0,92
beton	pochozí	5	LLW	0,974
bronz	fosforový bronz	70	LW	0,06
bronz	leštěný	50	T	0,1
bronz	leštěný do vysokého lesku	100	T	0,03
bronz	matný	20-350	T	0,22
bronz	oxidovaný	70	LW	0,03-0,07
bronz	oxidovaný	100	T	0,61
bronz	oxidovaný při teplotě 600 °C	200-600	T	0,59-0,61
bronz	plát, zdrsněný smirkovým plátnem	20	T	0,2
bronz	porézní, zdrsněný	50-150	T	0,55
bronz	prášek		T	0,76-0,80
bronz	válcovaný plát	20	T	0,06
bronz	zdrsněný smirkovým plátnem č. 80	20	T	0,20
cihla	červené, hrubé	20	T	0,88-0,93
cihla	červené, normální	20	T	0,93
cihla	dinasová křeme nka, glazovaná, neopracovaná	1100	T	0,85
cihla	dinasová křemenka, neglazovaná, neopracovaná	1000	T	0,80
cihla	dinasová křemenka, refrakční	1000	T	0,66
cihla	křemenka, 95% SiO_2	1230	T	0,66
cihla	refrakční, korund	1000	T	0,46
cihla	refrakční, magnezit	1000-1300	T	0,38
cihla	refrakční, silně zářící	500-1000	T	0,8-0,9
cihla	refrakční, slabě zářící	500-1000	T	0,65-0,75
cihla	sillimanit, 33% SiO_2, 64% Al_2O_3	1500	T	0,29
cihla	šamot	20	T	0,85
cihla	šamot	1000	T	0,75
cihla	šamot	1200	T	0,59
cihla	zed', omítnutá	20	T	0,94
cín	cínem potažený železný plát	100	T	0,07
cín	leštěný	20-50	T	0,04-0,06
cínové železo	plát	24	T	0,064

Materiál	Specifikace	Teplota	Spektrum	Emisivita
červené olovo		100	T	0,93
dehet			T	0,79-0,84
dehet	papír	20	T	0,91-0,93
dioxid mědi	prášek		T	0,84
dřevo		19	LLW	0,962
dřevo	bílé, navlhlé	20	T	0,7-0,8
dřevo	borovice, 4 různé vzorky	70	LW	0,81-0,89
dřevo	dub, hoblovaný	20	T	0,90
dřevo	dub, hoblovaný	70	LW	0,88
dřevo	hoblované	20	T	0,8-0,9
dřevo	základní		T	0,5-0,7
ebonit			T	0,89
fermež, nátěr	na dubových parketách	70	LW	0,90-0,93
galvanizované železo	leštěný plát	30	T	0,23
galvanizované železo	oxidovaný plát	20	T	0,28
galvanizované železo	plát	92	T	0,07
galvanizované železo	velmi oxidované	70	LW	0,85
glazura	lak	20	T	0,85-0,95
granit	leštěný	20	LLW	0,849
granit	neopracovaný	21	LLW	0,879
granit	neopracovaný, 4 různé vzorky	70	LW	0,77-0,87
hliník	anodizovaný, černý, matný	70	LW	0,95
hliník	anodizovaný, světle šedý, matný	70	LW	0,97
hliník	anodizovaný plát	100	T	0,55
hliník	fólie	27	10 µm	0,04
hliník	leštěná deska	100	T	0,05
hliník	leštěný	50-100	T	0,04-0,06
hliník	leštěný plát	100	T	0,05
hliník	odlité, očištěné otryskáním	70	LW	0,46
hliník	oxidované, silně	50-500	T	0,2-0,3
hliník	plát, 4 vzorky, různě zaškrábané	70	LW	0,03-0,06
hliník	ponořený v HNO_3, deska	100	T	0,05
hliník	vakuově nanesený	20	T	0,04
hliník	ve stavu přijetí, deska, plát	100	T	0,09
hliník	zdrsněný	27	10 µm	0,18
hliník	zdrsněný povrch	20-50	T	0,06-0,07
hliníkový bronz		20	T	0,60
hořčík		22	T	0,07
hořčík		260	T	0,13
hořčík		538	T	0,18
hořčík	leštěné	20	T	0,07
hořčíkový prášek			T	0,86
hydroxid hlinitý	prášek		T	0,28
Chrom	leštěný	50	T	0,10
Chrom	leštěný	500-1000	T	0,28-0,38
jíl	pálený	70	T	0,91
kůže	lidská	32	T	0,98

Materiál	Specifikace	Teplota	Spektrum	Emisivita
kůže	vydělaná		T	0,75-0,80
lak	3 barvy stříkané na hliník	70	LW	0,92-0,94
lak	bakelitový	80	T	0,83
lak	bílý	40-100	T	0,8-0,95
lak	černý, lesklý, stříkaný na železo	20	T	0.87
lak	černý, matný	40-100	T	0,96-0,98
lak	černý, matný	100	T	0,97
lak	hliníkový na drsném povrchu	20	T	0,4
lak	odolný teplu	100	T	0.92
látka	černá	20	T	0,98
měď	čistý, pečlivě připravený povrch	22	T	0,008
měď	elektrolytická, leštěná	-34	T	0,006
měď	elektrolytická, pečlivě leštěná	80	T	0,018
měď	leštěná	50-100	T	0,02
měď	leštěná	100	T	0,03
měď	leštěná, strojově	22	T	0,015
měď	natavená	1100-1300	T	0,13-0,15
měď	obchodní, leštěná	20	T	0,07
měď	obchodní, leštěná	27	T	0,03
měď	oxidovaná	50	T	0,6-0,7
měď	oxidovaná do černa		T	0,88
měď	velmi oxidovaná	20	T	0,78
měď	zaškrábaná	27	T	0,07
molybden		600-1000	T	0,08-0,13
molybden		1500-2200	T	0,19-0,26
molybden	vlákno	700-2500	T	0,1-0,3
nerezová ocel	leštěný plát	70	LW	0,14
nerezová ocel	pískované	700	T	0,70
nerezová ocel	plát, neopracovaný, trochu zaškrábaný	70	LW	0,28
nerezová ocel	slitina, 8% Ni, 18% Cr	500	T	0,35
nerezová ocel	typ 18-8, leštěná kůží	20	T	0,16
nerezová ocel	typ 18-8, oxidovaná při teplotě 800 °C	60	T	0,85
nerezová ocel	válcovaná	700	T	0,45
nichrom	drát, čistý	50	T	0,65
nichrom	drát, čistý	500-1000	T	0,71-0,79
nichrom	drát, oxidovaný	50-500	T	0,95-0,98
nichrom	pískované	700	T	0,70
nichrom	válcovaný	700	T	0,25
nikl	drát	200-1000	T	0,1-0,2
nikl	elektrolytický	22	T	0,04
nikl	elektrolytický	38	T	0,06
nikl	elektrolytický	260	T	0,07
nikl	elektrolytický	538	T	0,10
nikl	elektrolyticky nanesený, leštěný	20	T	0,05
nikl	elektrolyticky nanesený na železe, leštěný	22	T	0,045
nikl	elektrolyticky nanesený na železe, neleštěný	20	T	0,11-0,40
nikl	lesklý, matný	122	T	0,041
nikl	leštěné	122	T	0,045
nikl	obchodní, čistý, leštěný	200-400	T	0,07-0,09
nikl	oxidované při teplotě 600 °C	200-600	T	0,37-0,48

Materiál	Specifikace	Teplota	Spektrum	Emisivita
nikl	oxidovaný	200	T	0,37
nikl	oxidovaný	227	T	0,37
nikl	oxidovaný	1227	T	0,85
olej, mazací	film 0,025 mm	20	T	0,27
olej, mazací	film 0,050 mm	20	T	0,46
olej, mazací	film 0,125 mm	20	T	0,72
olej, mazací	film na bázi niklu: pouze na niklové bázi	20	T	0,05
olej, mazací	tenký povlak	20	T	0,82
olovo	lesklé	250	T	0,08
olovo	neoxidované, leštěné	100	T	0,05
olovo	oxidované, šedivé	20	T	0,28
olovo	oxidované, šedivé	22	T	0,28
olovo	oxidované při teplotě 200 °C	200	T	0,63
omítka	nehlazená	20	T	0,91
oxid hlinitý	aktivovaný, prášek		T	0,46
oxid hlinitý	čistý, prášek		T	0,16
oxid mědi	červená, prášek		T	0,70
oxid niklu		500-650	T	0,52-0,59
oxid niklu		1000-1250	T	0,75-0,86
papír	4 různé barvy	70	LW	0,92-0,94
papír	bílý	20	T	0,7-0,9
papír	bílý, 3 různé lesky	70	LW	0,88-0,90
papír	bílý vazbový	20	T	0,93
papír	černý		T	0,90
papír	černý, matný		T	0,94
papír	černý, matný	70	LW	0,89
papír	černý, matný	70	SW	0,86
papír	červený		T	0,76
papír	modrý, tmavě		T	0,84
papír	s vrstvou černého laku		T	0,93
papír	zelený		T	0,85
papír	žlutý		T	0,72
písek			T	0,60
písek		20	T	0,90
pískovec	leštěný	19	LLW	0,909
pískovec	neopracovaný	19	LLW	0,935
plast	polyuretanová izolační deska	70	LW	0,55
plast	PVC, podlahový, matný, strukturovaný	70	LW	0,93
plast	skelný laminát (deska tištěných spojů)	70	LW	0,91
platina		17	T	0,016
platina		22	T	0,03
platina		100	T	0,05
platina		260	T	0,06
platina		538	T	0,10
platina		1000-1500	T	0,14-0,18
platina		1094	T	0,18
platina	čistý, leštěný	200-600	T	0,05-0,10
platina	drát	50-200	T	0,06-0,07
platina	drát	500-1000	T	0,10-0,16
platina	drát	1400	T	0,18

Materiál	Specifikace	Teplota	Spektrum	Emisivita
platina	pásek	900-1100	T	0,12-0,17
porcelán	bílý, lesklý		T	0,70-0,75
porcelán	glazura	20	T	0,92
pryž	měkká, šedá, hrubá	20	T	0,95
pryž	tvrdá	20	T	0,95
půda	nasycená vodou	20	T	0,95
půda	suchá	20	T	0,92
sádra		20	T	0,8-0,9
smirkové plátno	hrubé	80	T	0,85
struska	kotelní	0-100	T	0,97-0,93
struska	kotelní	200-500	T	0,89-0,78
struska	kotelní	600-1200	T	0,76-0,70
struska	kotelní	1400-1800	T	0,69-0,67
stříbro	čistý, leštěný	200-600	T	0,02-0,03
stříbro	leštěné	100	T	0,03
štuk	drsný, vápenný	10-90	T	0,91
titan	leštěné	200	T	0,15
titan	leštěný	500	T	0,20
titan	leštěný	1000	T	0,36
titan	oxidovaný při teplotě 540 °C	200	T	0,40
titan	oxidovaný při teplotě 540 °C	500	T	0,50
titan	oxidovaný při teplotě 540 °C	1000	T	0,60
uhlík	grafit, celistvý povrch	20	T	0,98
uhlík	grafitový prášek		T	0,97
uhlík	lampová čerň	20-400	T	0,95-0,97
uhlík	prášek z dřevěného uhlí		T	0,96
uhlík	svíčkové saze	20	T	0,95
vápno			T	0,3-0,4
vláknitá deska	dřevovláknitá deska	70	LW	0,88
vláknitá deska	třísková deska	70	LW	0,89
voda	destilovaná	20	T	0,96
voda	led, hladký	-10	T	0,96
voda	led, hladký	0	T	0,97
voda	led, se silně zamrzlou vrstvou	0	T	0,98
voda	sníh		T	0,8
voda	sníh	-10	T	0,85
voda	vrstva >0,1 mm	0-100	T	0,95-0,98
voda	zamrzlá do krystalů	-10	T	0,98
wolfram		200	T	0,05
wolfram		600-1000	T	0,1-0,16
wolfram		1500-2200	T	0,24-0,31
wolfram	vlákno	3300	T	0,39
zinek	leštěný	200-300	T	0,04-0,05
zinek	oxidované při teplotě 400 °C	400	T	0,11
zinek	oxidovaný povrch	1000-1200	T	0,50-0,60
zinek	plát	50	T	0,20
zlato	leštěná	130	T	0,018
zlato	leštěné, pečlivě	200-600	T	0,02-0,03
zlato	leštěný do vysokého lesku	100	T	0,02
železo, odlitek	ingoty	1000	T	0,95

Materiál	Specifikace	Teplota	Spektrum	Emisivita
železo, odlitek	leštěná	38	T	0,21
železo, odlitek	leštěné	40	T	0,21
železo, odlitek	leštěné	200	T	0,21
železo, odlitek	neopracované	900-1100	T	0,87-0,95
železo, odlitek	odlévané	50	T	0,81
železo, odlitek	oxidované	38	T	0,63
železo, odlitek	oxidované	100	T	0,64
železo, odlitek	oxidované	260	T	0,66
železo, odlitek	oxidované	538	T	0,76
železo, odlitek	oxidované při teplotě 600 °C	200-600	T	0,64-0,78
železo, odlitek	strojně opracované	800-1000	T	0,60-0,70
železo, odlitek	tekutina	1300	T	0,28
železo a ocel	broušený plát	950-1100	T	0,55-0,61
železo a ocel	čerstvě opracované smirkovým plátnem	20	T	0,24
železo a ocel	čerstvě válcované	20	T	0,24
železo a ocel	červená rez	20	T	0,69
železo a ocel	elektrolytické	22	T	0,05
železo a ocel	elektrolytické	100	T	0,05
železo a ocel	elektrolytické	260	T	0,07
železo a ocel	elektrolytické, jemně leštěné	175-225	T	0,05-0,06
železo a ocel	lesklá oxidovaná vrstva, plát	20	T	0,82
železo a ocel	lesklé, leptané	150	T	0,16
železo a ocel	leštěné	100	T	0,07
železo a ocel	leštěné	400-1000	T	0,14-0,38
železo a ocel	leštěný plát	750-1050	T	0,52-0,56
železo a ocel	neopracované, rovný povrch	50	T	0,95-0,98
železo a ocel	oxidované	100	T	0,74
železo a ocel	oxidované	125-525	T	0,78-0,82
železo a ocel	oxidované	200	T	0,79
železo a ocel	oxidované	200-600	T	0,80
železo a ocel	oxidované	1227	T	0,89
železo a ocel	plát s červenou rzí	22	T	0,69
železo a ocel	pokryté červenou rzí	20	T	0,61-0,85
železo a ocel	silně oxidované	50	T	0,88
železo a ocel	silně oxidované	500	T	0,98
železo a ocel	silně rezavý plát	20	T	0,69
železo a ocel	tvářené, jemně leštěné	40-250	T	0,28
železo a ocel	válcované za studena	70	LW	0,09
železo a ocel	válcované za tepla	20	T	0,77
železo a ocel	válcované za tepla	130	T	0,60
železo a ocel	válcovaný plát	50	T	0,56

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato příručka vznikla na základě finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost „Stavebnictví 21“, reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.

Ing. Pavel Štajnrt

Úvod do práce s termokamerou Flir i7

Vydala Střední průmyslová škola stavební, Opava, příspěvková organizace

1. vydání

Opava 2014

Obrázek na obálce převzat z http://store.flir.com/images/uploads/19_224_popup.png.