

## ZAŘÍZENÍ PRO TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ VE VZDUCHU UVNITŘ MALÝCH PROSTORŮ

**Apollo ID:** 26173  
**Datum:** 01. 11. 2012  
**Typ projektu:** G – funkční vzorek  
**Autoři:** PEŠEK, M.; PAVELEK, M.

Zařízení pro termovizní měření teplotních polí ve vzduchových proudech uvnitř malých uzavřených prostorů, jakými jsou např. v kabině automobilů, je založeno na principu využívajícím vhodný pomocný materiál, na kterém jsou teplotní pole měřena. Jelikož není možné vzhledem k rozměrům umístit termovizní kameru přímo do malého prostoru a navíc by termovizní kamera mohla ovlivňovat proudění uvnitř měřeného prostoru, jsou teplotní pole měřena skrz průzor, viz obr. 1.



Obr. 1 Fotografie zařízení pro termovizní měření teplotních polí ve vzduchu v kabině automobilu skrz průzor

Zařízení měří teplotu vzduchu jako povrchovou teplotu vhodného pomocného materiálu, vloženého do tohoto vzduchu. Při použití pomocného materiálu jako celistvého kompaktního archu je možné měřit 2D neizotermní vzduchové proudy, při použití sítě měřicích terčů je možné měřit 3D vzduchové proudy. Vysoká hodnota emisivity pomocného materiálu umožní měření i malých rozdílů teplot v proudech, s rozlišením blízcím se rozlišovací schopnosti termovizní kamery (0,1 K) a s minimálním ovlivněním měření radiační teplotou uvnitř kabiny automobilu a vně automobilu. Pro oddělení měřeného prostoru s venkovním

prostředím je instalován průzor o vhodných vlastnostech, především vysoké transmisivitě. Měření teplot vzduchu je snadné a rychlé. Zařízení je možné využít při návrhu vytápění a chlazení v kabinách automobilů i jiných dopravních prostředků a při sledování rozložení teplot v různých jiných malých uzavřených prostorech, kde vnitřní tlak je stejný, jako tlak v okolí <sup>1)</sup> a teploty nenaruší průzor a pomocné materiály.

### Popis zařízení:

Zařízení se skládá z termovizní kamery s příslušenstvím, celistvého archu pomocného materiálu, měřicí sítě a průzoru.

Pro měření 2D vzduchových proudů se používá jako pomocný materiál celistvý arch obyčejného kancelářského papíru o gramáži  $80 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$  s naměřenou hodnotou emisivity 0,96. Arch má geometrické rozměry dle velikosti konkrétního místa měření. Příklad použití kompaktního archu pomocného materiálu je uveden na obr. 2. Jedná se o měření teplotního pole na zadních sedadlech automobilu Škoda Octavia II kombi v ose středové vyústky s 2D prouděním vzduchu. Papírový arch měl zde rozměry pravoúhlého lichoběžníku o délce základen 80 cm a 60 cm a výšce 80 cm.



Obr. 2 Fotografie umístění pomocného materiálu při měření 2D neizotermního vzduchového proudu na zadních sedadlech automobilu v ose středové vyústky

Pro měření 3D vzduchových proudů v malých prostorách se používá měřicí síť. Při měření v kabinách dopravních prostředků lze použít měřicí síť o velikosti 600 x 480 mm. Rám měřicí sítě je sestaven z hliníkových profilů o rozměrech 20 x 2 mm. V síti je umístěno 130 měřicích terčů o rozměrech 12 x 12 mm. Velikost měřicího terče byla zvolena dle velikosti kabiny osobního automobilu a zorného úhlu objektivu termovizní kamery ( $32^\circ \text{ H} \times 25^\circ \text{ V}$ ). Terče jsou vyrobeny z obyčejného kancelářského papíru s emisivitou 0,96. Terče jsou umístěny na lankách z obou stran pomocí lepidla, které neovlivňuje jeho vlastnosti na povrchu. Počet terčů byl zvolen s ohledem na to, aby spolu s lanky zabíraly méně než 10 % celkové vnitřní plochy měřicí sítě. Měřicí síť je používána pro měření vzduchových proudů v kabině automobilu zejména v oblasti předních sedadel, kde dochází ke vzájemnému ovlivňování

<sup>1)</sup> Pro tlakové či vzduchové prostory a prostory s vyššími teplotami je třeba použít jiné průzory a pomocné materiály, než je uvedeno v daném textu

jednotlivých vzduchových proudů z většího množství vyústek. V kabině automobilu je měřicí síť zavěšena pomocí nylonových lanek a hliníkové pásky, obr. 3.

Instalací průzoru je zajištěno uzavření vnitřního měřeného prostoru od vnějšího prostředí. Materiál průzoru musí mít vysokou hodnotu transmisivity. Jako materiál průzoru je použita polyethylenová fólie o tloušťce 0,05 mm a transmisivitě 0,90. Průzor kompletně uzavírá vnitřní prostředí od vnějšího okolí a musí být vždy dokonale vypnut pomocí pevné pásky.



Obr. 3 Umístění měřicí sítě pro měření 3D neizotermních vzduchových proudů v kabině automobilu na předním sedadle spolujezdce

### **Postup měření teplotního pole:**

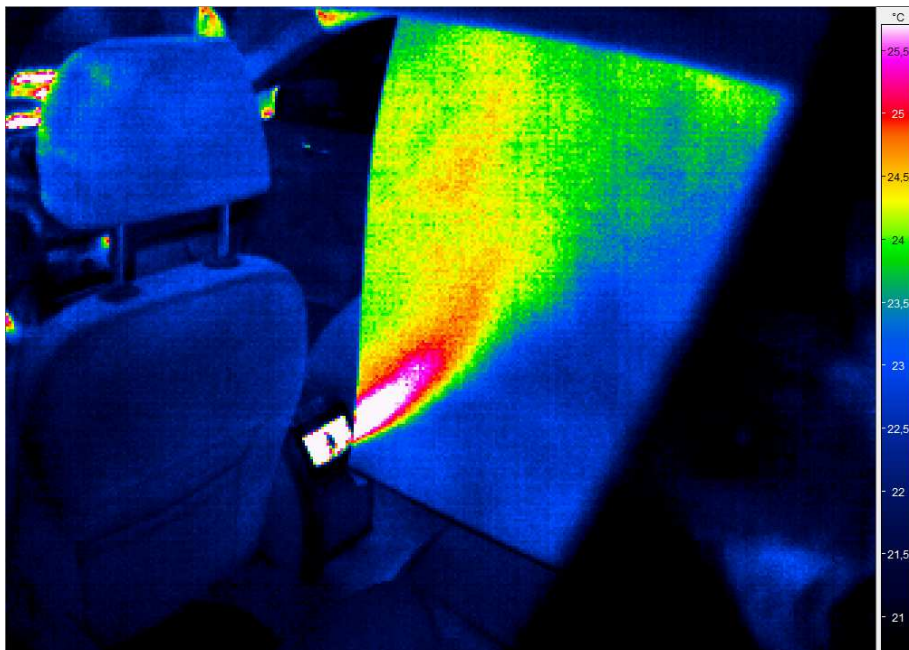
Pomocný materiál se vloží do místa, ve kterém chceme proměřit teplotní pole. Měření je prováděno skrz fólii, kterou je v případě kabiny automobilu nahrazeno sklo v bočních dveřích. Termovizní kameru je třeba vhodně ustavit, aby zabírala žádanou oblast proudu a aby byla pokud možno nasměrována kolmo k povrchu pomocného materiálu. Měření je možné provádět ze stativu nebo měřením z ruky, a to přitisknutím objektivu na transparentní fólii. Na kameře se nastaví vhodný rozsah měření a zaostří. Následně je třeba radiačním teploměrem či jiným způsobem proměřit radiační teploty uvnitř a vně automobilu a stanovit střední radiační teploty. Pokud působí na pomocný materiál nežádoucí zdroj tepelného záření, je vhodné ho odclonit. Vlastní termovizní měření se provádí po ustálení stavu kamery (minimálně po 15 minutách) a po aplikaci tzv. autokalibrace kamery (zaručí nejpřesnější měření). Teplotní pole jsou zobrazována přímo na displeji termovizní kamery nebo na připojeném notebooku pomocí programu Irbis Online.

### **Vyhodnocování měření 2D vzduchových proudů:**

Při vyhodnocování měření je třeba provést zadání emisivity měřících terčů, transmisivity průzoru a střední radiační teploty uvnitř kabiny dopravního prostředku a okolního prostředí do programu Irbis Professional V2.2, který slouží pro podrobné zkoumání termogramů a vyhodnocování teplot. V programu Irbis Professional V2.2 se tedy stanovuje povrchová teplota pomocného materiálu jako teplota vzduchového proudu v daném místě. Z termogramu je přímo patrné rozložení teplotního pole v daném místě, viz obr. 4. Takto získané



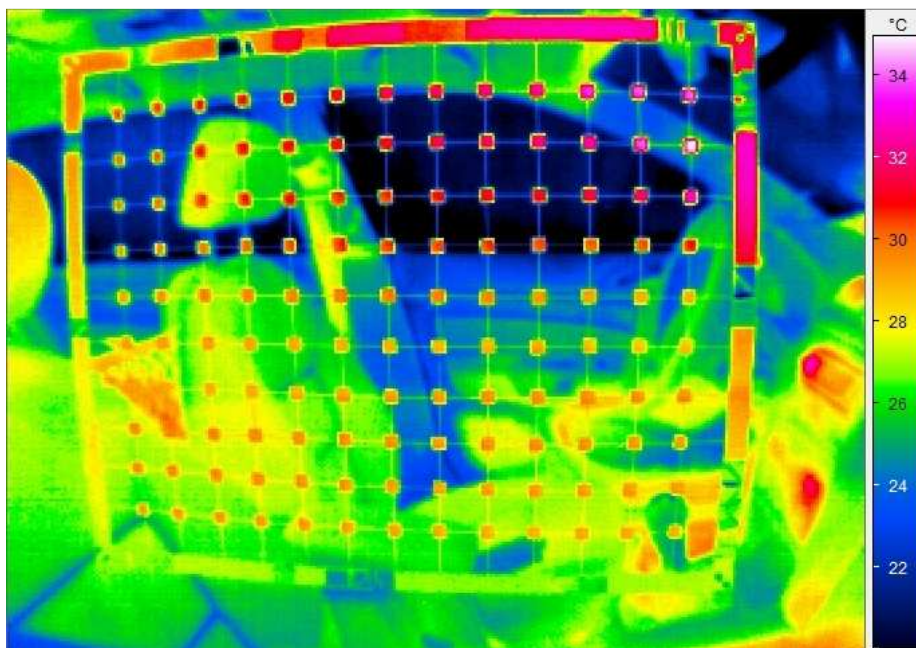
termogramy lze zpracovat a exportovat ve formě obrázků nebo videosekvencí pro prezentaci nebo do zprávy o termovizním měření.



Obr. 4 Termogram z měření 2D neizotermního proudu vzduchu v zadní části automobilu

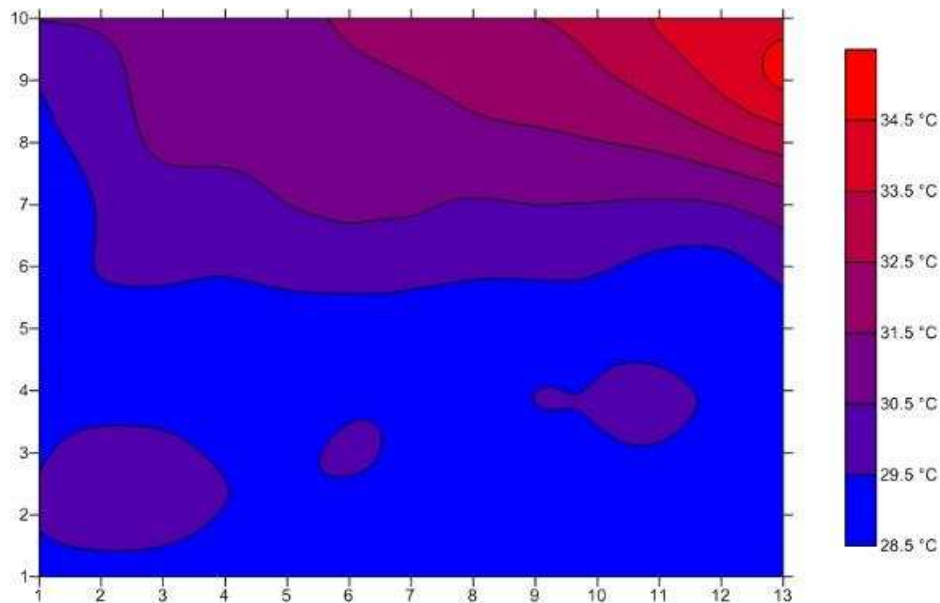
#### **Vyhodnocování měření 3D vzduchových proudů:**

Vyhodnocování teplotního pole probíhá obdobně jako v případě 2D vzduchových proudů. Nejprve je třeba zadat veškeré naměřené parametry do programu Irbis Professional 2.2 a poté provést vyhodnocení povrchových teplot vzduchu znázorněných na měřicích terčích.



Obr. 5 Termogram z měření 3D neizotermních proudů vzduchu v přední části automobilu

Pokud je měřen proud chladného vzduchu (chladnějšího než radiační teplota pozadí mezi terči), je nutné vyhledat lokální minimum teploty z plochy měřicího terče a naopak, jestliže je měřen proud teplého vzduchu, je nutné stanovit stejným způsobem lokální teplotní maximum. Jelikož z výsledného termogramu není zcela zřetelné teplotní pole (obr. 5), proto je třeba s využitím programu Surfer získat výsledné rozložení teplotního pole, viz obr. 6. Do programu se vloží teploty vzduchu v souřadnicích jednotlivých terčů a pomocí matematického proložení se získá výsledný upravený termogram.



Obr. 6 Upravený termogram z měření 3D neizotermních proudů vzduchu v přední části automobilu

### Parametry zařízení:

Spektrální citlivost kamery	8 až 13 $\mu\text{m}$
Rozsah měření teplot vzduchu	teplota rosného bodu
• minimální teplota	omezená tepelnou odolností lanek (cca 80 °C)
• maximální teplota	
Rozlišení teplot	0,1 K
Nejistota měření absolutní teploty	2 K
Počet obrazových bodů	320 x 240
Zorné pole kamery	32° H x 25° V (64° H x 50° V)
Obrazová frekvence	50 Hz
Velikost měřicího rámu	600 x 480 mm
Rozměr tyčových profilů	20 x 2 mm
Rozteč měřicích terčů	40 mm
Velikost měřicích terčů	12 x 12 mm
Vnitřní plocha měřicího rámu	0,245 m <sup>2</sup>
Plocha měřicích terčů a lanek	0,023 m <sup>2</sup> , 9,18 % z vnitřní plochy
Velikost kompaktního archu pomocného materiálu	pravoúhlý lichoběžník o základnách 80 cm a 60 cm a výšce 80 cm
Nejistota měření difference radiační teploty okolních prostředí vůči termovizi	0,3 K

**Využití zařízení:**

Zařízení je využíváno na pracovišti Odboru termomechaniky a techniky prostředí Energetického ústavu. Je umístěno v místnosti A2/301, na adrese FSI VUT v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno.

Zařízení slouží pro řešení doktorských prací zapojených do projektu GA 101/09/H050 s názvem „Výzkum energeticky úsporných zařízení pro dosažení pohody vnitřního prostředí“, pro interní projekt FSI-S-11-6 “Human Centered Design”, pro řešení diplomových prací a je připraveno pro měření v praktických aplikacích.

Prohlašuji, že popsany výsledek naplňuje definici uvedenou v Příloze č. 1 Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje v roce 2011 a že jsem si vědom důsledků plynoucích z porušení § 14 zákona č. 130/2002 Sb. (ve znění platném od 1. července 2009). Prohlašuji rovněž, že na požádání předložím technickou dokumentaci výsledku.

V Brně dne 01. 11. 2012

Ing. Martin Pešek