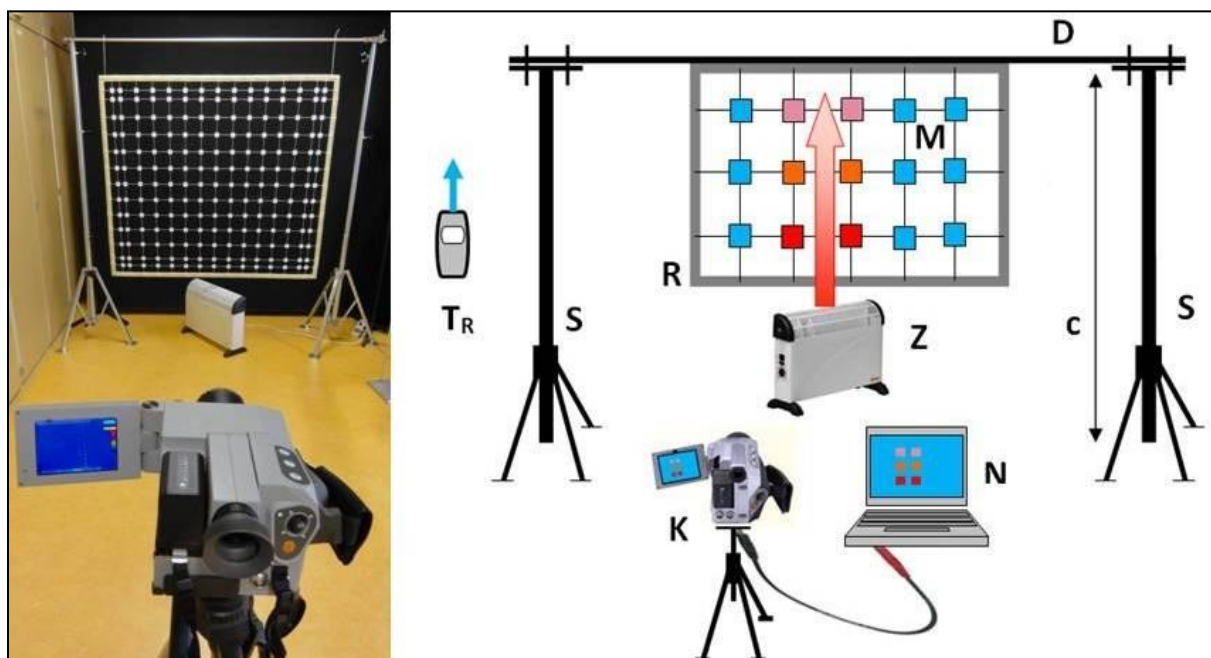


ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ VE 3D NEIZOTERMNÍCH VZDUCHOVÝCH PROUDECH POMOCÍ TERMIVIZE

Apollo ID: 25917
Datum: 10. 12. 2011
Typ projektu: G – funkční vzorek
Autoři: PEŠEK, M.; PAVELEK, M., FIŠER, J.; MLČÁK, R.

Zařízení pro měření teplotních polí ve trojrozměrných neizotermních vzduchových proudech je založeno na principu využívajícím pro měření teplot termovizní systém, viz obr. 1. Jelikož vzduch je transmisivní, je nutné zobrazovat teplotní pole na pomocném materiálu o vhodných vlastnostech, především vysoké emisivitě. Použijeme-li jako pomocný materiál celistvý arch, můžeme měřit pouze 2D neizotermní vzduchové proudy, použijeme-li měřicí terče, můžeme měřit 3D neizotermní vzduchové proudy. Zařízení měří teplotu průteplivého média – vzduchu, a to jako povrchovou teplotu měřicích terčů. Vysoká hodnota emisivity měřicích terčů umožní měření i malých rozdílů teplot v proudech, s rozlišením blízkým se rozlišovací schopnosti termovizní kamery (0,1 K) a s minimálním ovlivněním měření radiační teplotou okolního prostředí. Měření teplot vzduchu s využitím vhodného pomocného materiálu a termovizní kamery je snadné a rychlé. Zařízení je možné využít při návrhu vytápění a chlazení, rozložení teplot v obytných místnostech, při výzkumu problematiky proudění, přenosu tepla konvekcí apod.

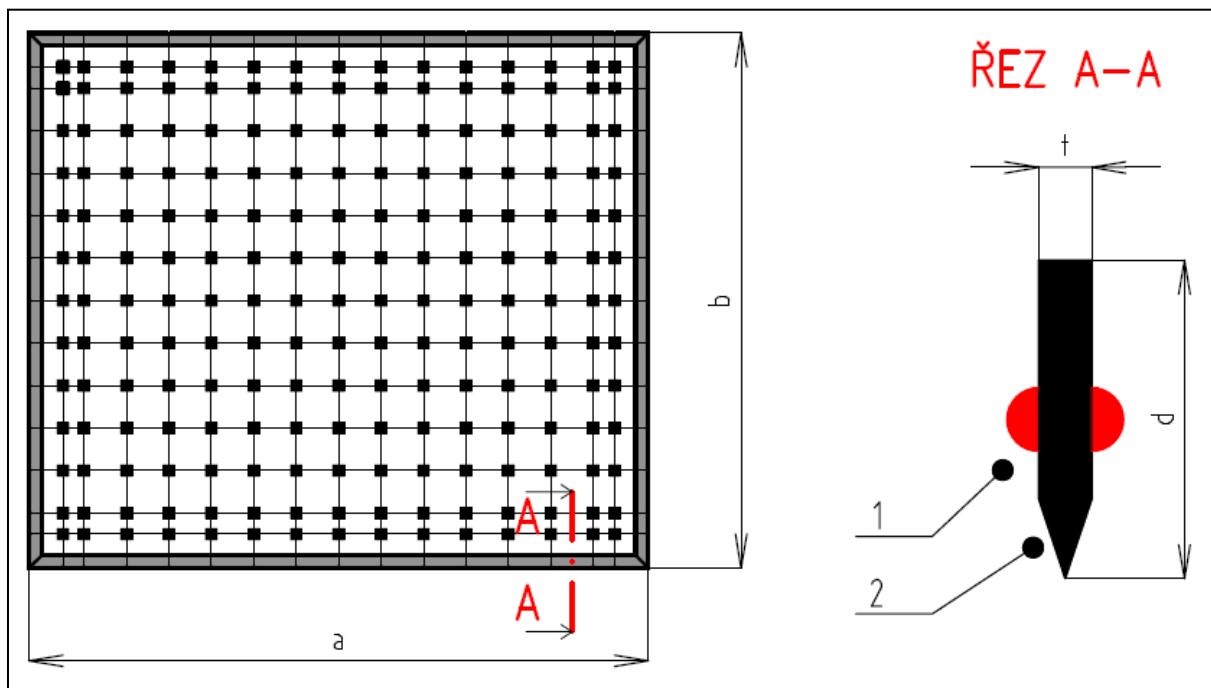


Obr. 1 Schéma zařízení a jeho fotografie

*K - termovizní kamera, N - notebook, M - měřicí terče, R – měřicí rám, S - stojan, D - držák,
T_R - radiační teploměr, Z - zdroj neizotermního vzduchového proudu*

Popis zařízení:

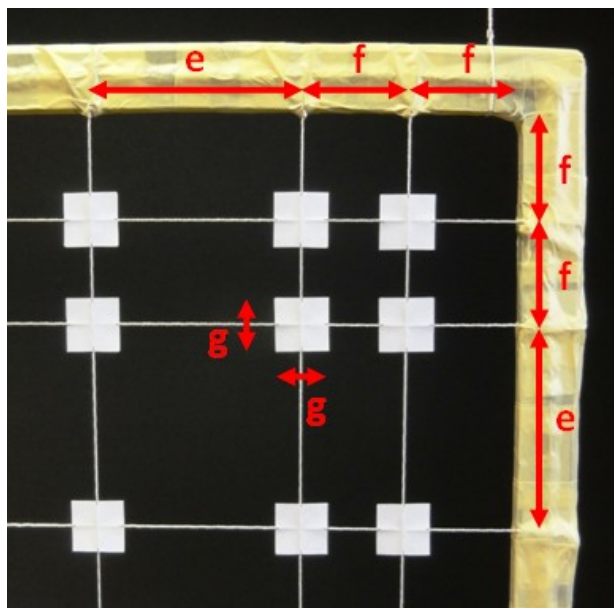
Zařízení zviditelňuje teplotní pole a měří teploty vzduchu ve zvolené rovině od různých zdrojů tepla či chladu Z , a to na terčích M umístěných v měřicím rámu R pomocí termovizní kamery VarioCam K propojené s notebookem N . Současně je měřena radiační teplota v měřeném prostoru pomocí radiačního teploměru Testo T_R . Rám je upevněn do držáku D zavěšeném na polohovatelných stojanech S .



Obr. 2 Měřicí rám vč. jeho řezu v detailu
1 – oboustranný liniový svár, 2 – zkosení náběžných hran

Měřicí rám je svarek vyrobený z tyčí o rozměrech $d \times t = 60 \times 6$ mm. Celková velikost rámu činí $a \times b = 1520 \times 1320$ mm. Materiál rámu je slitina AlMg3, která je velmi dobře svařitelná, lehká ($\rho = 2,67 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$) a její pevnost je označována jako střední. Jelikož tuhost rámu po svaření nebyla postačující, byl pro zvýšení tuhosti měřicí rám opatřen liniovým svárem (návarkem) po obou stranách. Pro zlepšení aerodynamického profilu je provedeno na okraji zkosení náběžných hran, viz obr. 2. Rám je opatřen v definovaných vzdálenostech kruhovými zářezy pro přesné umístění sítě lanek, na kterých jsou připevněny měřicí terče, vyrobené ze samolepicího neběleného kancelářského papíru (gramáž $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) o naměřené emisivitě 0,96. Lanka jsou použita z nebarveného polypropylenu (mají lepší vlastnosti než lanka z polypropylenu barveného) o průměru $\varnothing D = 1,1$ mm s tepelnou průtažností do 19 % (při teplotách 20 až 90 °C) a jejich použití je tedy vhodné do teplot maximálně 90 °C. K rámu jsou lanka připevněna pro každou řadu zvlášť a jsou zajištěna pomocí velice pevné hliníkové pásky. Měřicí terče jsou situovány ekvidistantně od sebe ve vzdálenostech $e = 10$ cm, pouze u okraje měřicího rámu jsou dvě řady o poloviční rozteči ($f = 5$ cm), viz obr. 3. Terče jsou umístěny na obou stranách měřicí sítě a jsou tedy přilepeny přes lanka k sobě. K eliminaci reflexe byl měřicí rám po sestavení opatřen matnou krycí páskou. Rozměry měřicích terčů by měly být zvoleny tak, aby na termovizním snímku zabíraly minimálně 3×3 obrazové body. Pro zaručení této podmínky byly velikosti terčů navrženy na 5×5 obrazových bodů, což odpovídá velikosti $g \times g = 26 \times 26$ mm při záběru celého rámu.

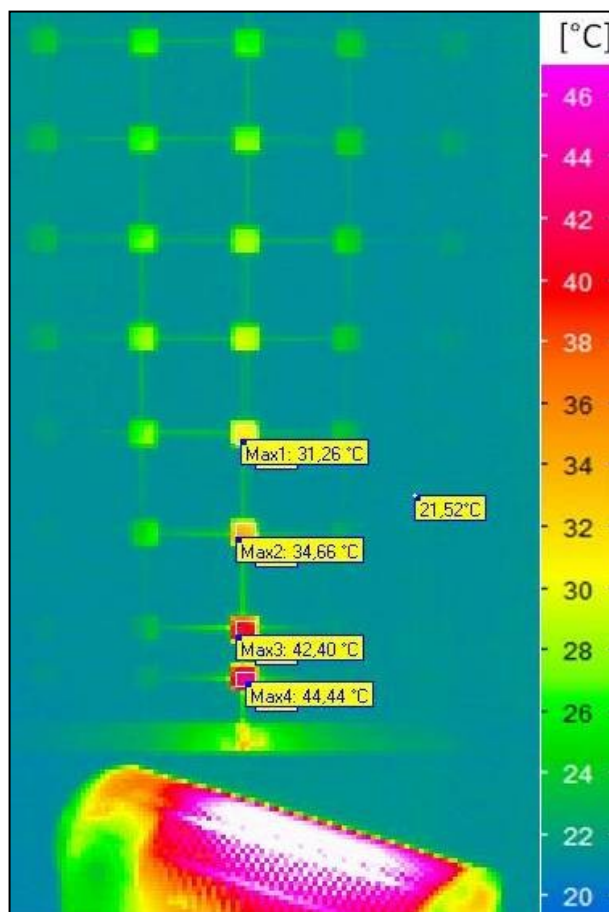
Měření je prováděno termovizní kamerou Jenoptik typ VarioCAM s rozlišením 320 x 240 obrazových bodů s použitím standardního objektivu (32° H x 25° V). Vnitřní rozměry navržené měřicí sítě jsou 1400 x 1200 mm. Velikost vnitřní plochy měřicího rámu je 1,68 m², z toho 195 měřicích terčů včetně sítě lanek zabírají pouze 9,55 % této plochy. Procentuelní podíl plochy terčů a sítě lanek vůči ploše měřicího rámu způsobí minimální omezení měřeného 3D proudu. Měřicí rám je pro bezpečný transport opatřen pevným krytem. Zařízení je snadno přenosné a měření teploty vzduchu je prakticky okamžité.



Obr. 3 Fotografie měřicích terčů a jejich rozmístění

Postup měření:

Měřicí rám se vloží do místa, ve kterém chceme proměřit teplotní pole. Termovizní kameru je třeba vhodně ustavit, aby zabírala žádanou oblast proudu a aby byla pokud možno nasměrována kolmo k povrchu měřicí sítě. Dále je třeba na kameře nastavit vhodný rozsah měření a zaostřit. Díky známým rozměrům měřicích terčů a jejich vzájemných roztečích mezi sebou není nutné zaznamenat měřítko zobrazení. Následně je třeba radiačním teploměrem či jiným způsobem proměřit radiační teploty okolních objektů působících na pomocný materiál ze strany umístění kamery a stanovit střední radiační teplotu. 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), po ustálení měřeného teplotního pole a po aplikaci tzv. autokalibrace kamery (zaručí nej přesnější měření). Teplotní pole jsou zobrazována přímo na displeji termovizní kamery nebo na notebooku pomocí programu Irbis Online.



Obr. 4 Stanovení teploty vzduchu v případě teplejšího vzduchového proudu (oproti radiační teplotě pozadí) v daném místě

Vyhodnocování měření:

Při vyhodnocování měření je třeba provést zadání emisivity měřicích terčů a nastavit střední radiační teplotu okolního prostředí do termovizní kamery či do programu Irbis Online. Tyto veličiny lze také korigovat v programu Irbis Professional, kde je možné provádět důkladné zkoumání termogramů a vyhodnocování teplot vzduchu, a to vč. exportu termogramů ve formě obrázků nebo videosekvencí k dalšímu použití. V programu Irbis Professional se tedy zjišťuje povrchová teplota měřicího terče jako teplota vzduchového proudu v daném místě. 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, viz obr. 4.

Parametry zařízení:

Spektrální citlivost kamery	8 až 13 μm
Rozsah měření teplot vzduchu	
• minimální teplota	teplota rosného bodu
• maximální teplota	omezena tepelnou odolností lanek (cca 90 °C)
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	$a \times b = 1520 \times 1320 \text{ mm}$
Rozměr tyčových profilů	$d \times t = 60 \times 6 \text{ mm}$
Rozteč měřicích terčů	$e = 10 \text{ cm}, f = 5 \text{ cm}$
Velikost měřicích terčů	$g \times g = 26 \times 26 \text{ mm}$
Vnitřní plocha měřicího rámu	$A = 1,68 \text{ m}^2$
Plocha měřicích terčů a lanek	$B = 0,16 \text{ m}^2$, tj. 9,6 % z plochy A
Rozsah nastavení výšky stojanu	$c = 1520 \text{ až } 3500 \text{ mm}$
Nejistota měření difference radiační teploty okolního prostředí vůči termovizi	0,3 K

Využití zařízení:

Zařízení je využíváno na pracovišti Odboru termomechaniky a techniky prostředí Energetického ústavu 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 popsáný 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 10.12.2011

Ing. Martin Pešek