

ASSESSMENT OF THE SENSOR TEMPERATURE IN HWA

P. Antoš*

Summary: *One of the key parameters in hot-wire anemometry is the temperature of the sensor. The temperature is set on CTA via the resistivity of the hot sensor. Several probes were tested using a variable temperature oil bath. Dependence of the resistivity on the temperature and means of its estimation are the subjects of the paper.*

1. Úvod

Při měření termoanemometrem je jedním z klíčových parametrů pracovní teplota senzoru. Její znalost je potřebná pro použití Collis-Williamsova ochlazovacího zákona a při provádění korekcí na teplotu proudu. Na anemometru v režimu CTA se velikost žhavení nastavuje obvykle hodnotou pracovního odporu sondy, na níž je pracovní teplota drátku závislá. Pro sondy s wolframovým drátkem se žhavicí teploty pohybují v rozmezí (20-300) °C. V tomto rozsahu lze měrný odpor na teplotě dobře popsat kvadratickou závislostí.

2. Teplotní součinitele odporu

Rezistivitu materiálu drátku lze vyjádřit pomocí teplotních součinitelů odporu α_0 a β_0 , které jsou vázány na referenční teplotu T_0 . Je-li při této teplotě rezistivita χ_0 , bude rezistivita materiálu drátku χ_w při teplotě T_w :

$$\chi_w = \chi_0 \left[1 + \alpha_0(T_w - T_0) + \beta_0(T_w - T_0)^2 \right]$$

Měření obou součinitelů wolframových drátků prováděli Davis, Davies a Fisher a dospěli k podobným hodnotám jako Bruun [4]:

$$\alpha_0(T_0=273 \text{ K})=3,85\text{e-}3 \text{ K}^{-1}; \beta_0(T_0=273 \text{ K})=1,1\text{e-}6 \text{ K}^{-2}$$

V naprosté většině publikací však jejich autoři používají lineární vztah měrného odporu na teplotě ($\beta_0=0$). Velikost teplotního součinitele pro wolfram uvádí Horák a Krupka [2] $\alpha_0(T_0=273 \text{ K})=4,82\text{e-}3 \text{ K}^{-1}$; Kostka a Vasanta Ram [3] $\alpha_0(T_0=293 \text{ K})=4,00\text{e-}3 \text{ K}^{-1}$ (vypočteno z tabulky R_0, R_w, T_w); Cooper a Tulin [5] $\alpha_0=5,10\text{e-}3 \text{ K}^{-1}$ aniž zmiňují referenční teplotu; Brunn [1] $\alpha_0(T_0=293 \text{ K})=3,60\text{e-}3 \text{ K}^{-1}$; výrobci sond PSI [6] $\alpha_0(T_0=298 \text{ K})=4,20\text{e-}3 \text{ K}^{-1}$ a Dantec [7] $\alpha_0(T_0=293 \text{ K})=3,60\text{e-}3 \text{ K}^{-1}$ (ve shodě s [1]).

Teplotní součinitel silně závisí na konkrétní sondě – chemickém složení drátku (nečistoty snižují α_0), jeho výrobě (tváření též ovlivňuje α_0), ale i jeho připevnění k elektrodám sondy (svar/pájení, mechanické napětí v drátku). Je zřejmé, že použít teplotní součinitel z literatury nelze; publikované hodnoty mají rozptyl $\pm 20\%$.

* Ing. Pavel Antoš, Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8, tel. +420 265 053 313, antos@it.cas.cz

3. Měření teplotní závislosti odporu

Pro měření teplotní závislosti byla použita olejová vyhřívaná lázeň (viz obr.). Zařízení má elektricky vyhřívané stěny, čidlo teploty a termostat pro udržování nastavené teploty. Maximální teplota lázně je 200 °C (při použití vhodného oleje). Aby byl drátek chráněn před

znečištěním v lázni (ulpívání tuhých částic plovoucích v oleji), byla sonda umístěna v malé nádobce s čistým silikonovým olejem. Drátek byl ponořen do oleje, ale převažující část elektrod byla nad hladinou. V těsné blízkosti nádoby byla měřena teplota pomocí odporového teploměru RTD Pt100 ve čtyřvodičovém zapojení, které kompenzuje offset



odporu zapojeného čidla. Olej v lázni byl během ohřevu podle potřeby míchán. Před každým bodem měření se vyčkalo vyrovnání teplot cca 10 minut. Odpor sondy byl měřen anemometrem Disa M01.

Přesnost měření teploty v celém rozsahu $\pm 0,1$ K. Na anemometru Disa M01 lze nastavovat odpor senzoru s přesností $0,01 \Omega$. V režimu měření odporu lze na stupnici odečítat hodnotu s přesností $\pm 0,005 \Omega$. Pro zjištění tepelné setrvačnosti systému byla provedena identická procedura celého měření, avšak v nádobce byl místo sondy umístěn druhý RTD teploměr. Maximální odchylka této teploty od referenční teploty vně nádoby byla $\pm 1,5$ K.

Měřením v lázni lze stanovit závislost celkového odporu sondy R_{totw} na teplotě senzoru T_w . Odpor R_{short} se změří anemometrem s připojenou zkratovací sondou. Odpor R_L udává pro každou sondu výrobce a měl by zahrnovat odpor sondy, nezávislý na teplotě drátku (zejména odpor elektrod). Odpor senzoru se získá R_w :

$$R_w = R_{totw} - R_{short} - R_L = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \frac{\chi_w}{A_w} dx$$

V lázni se tedy měří přímo uvedený integrál rezistivity, což je žádoucí. Definujeme-li žhavení a jako poměr odporu senzoru při T_w k odporu při referenční T_0 dostaneme:

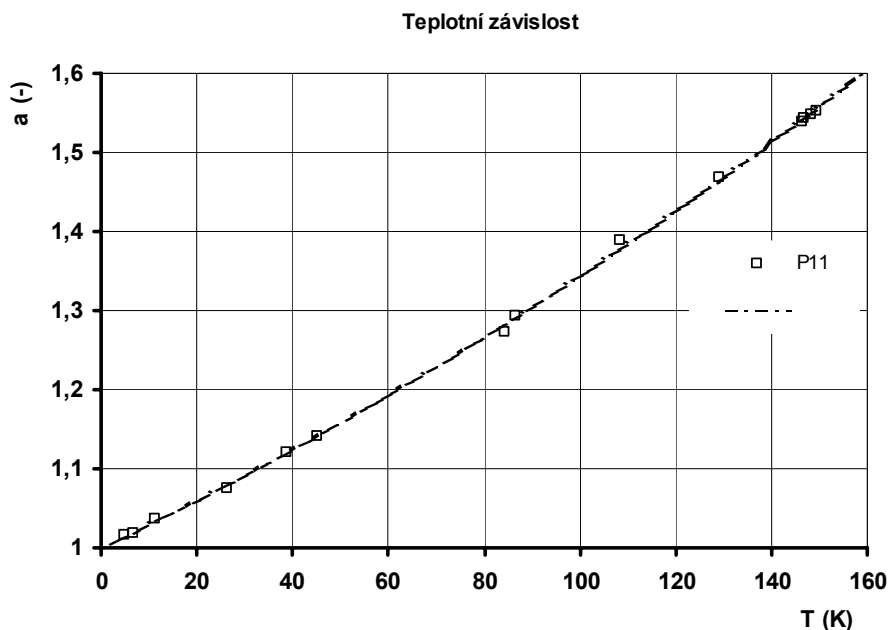
$$a = \frac{R_w}{R_0}; T = T_w - T_0$$

$$a = 1 + \alpha_0 T + \beta_0 T^2$$

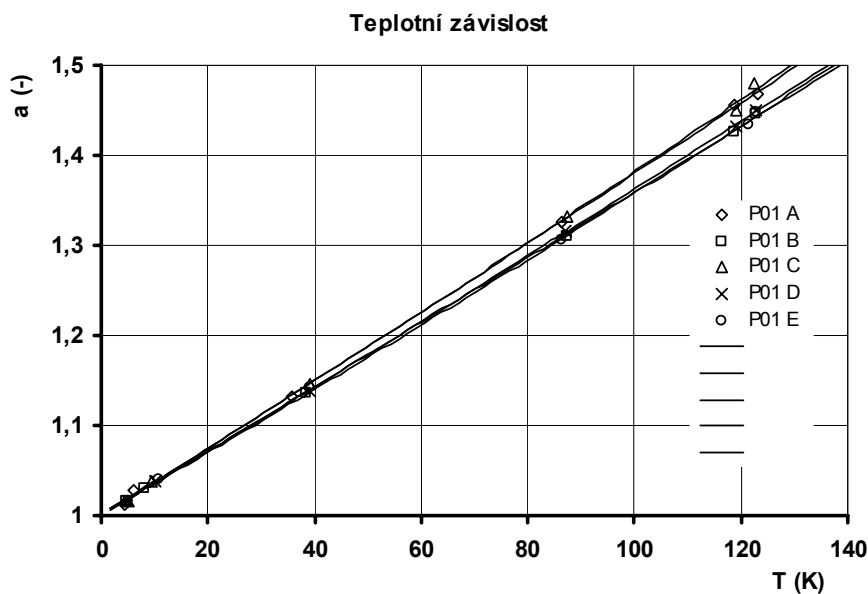
Z uvedené závislosti $a=f(T)$ určíme teplotní součinitele metodou nejmenších čtverců odchylek.

4. Výsledky měření

Pro měření byly vybrány dva typy sond, nejčastěji používané na pracovišti D1 ÚT AVČR. Jednalo se o sondy s kolmým wolframovým drátkem průměru $5\ \mu\text{m}$ s délkou pracovní části 1,25 mm. Na následujícím grafu je vidět teplotní závislost sondy Dantec 55P11.



Dále bylo měřeno pět sond typu Dantec 55P01, které mají drátek s pozlacenými konci. Celková délka drátku je 3 mm a pracovní část drátku má délku shodnou s předchozím typem. Teplotní závislosti jsou na dalším grafu.



Teplotní součinitele jsou uvedeny v tabulce pro referenční teplotu $T_0=293\ \text{K}$. U sondy 55P11 je kvadratický součinitel vysoký $\beta_0=6\text{e-}6\ \text{K}^{-2}$. Sondy 55P01 nebyly jedné šarže, byly různě

používané a β_0 vykazuje značný rozptyl ($0,6e-6 - 2e-6$) K^{-2} . Součinitel spolehlivosti nalezené kvadratické závislosti je $\rho^2 > 0,9992$.

<i>Sonda</i>	R_0 $T_0=293\text{ K}$	R_L	α_0 $T_0=293\text{ K}$	β_0 $T_0=293\text{ K}$	ρ^2	R_w $T_w=493\text{ K}$	α_0 Dantec $T_0=293\text{ K}$	T_w Dantec(R_w)	ΔT_w
	Ω	Ω	K^{-1}	K^{-2}	-	Ω	K^{-1}	K	K
55P11	3,00	0,6	2,9e-3	6e-6	0,9996	5,46	3,6e-3	520,8	27,8
55P01 A	4,13	1,0	3,7e-3	0,9e-6	0,9996	7,33	3,6e-3	508,6	15,6
55P01 B	4,01	0,7	3,4e-3	2e-6	0,9999	7,06	3,6e-3	504,1	11,1
55P01 C	3,65	0,7	3,6e-3	2e-6	0,9992	6,57	3,6e-3	515,2	22,2
55P01 D	4,20	0,7	3,5e-3	1e-6	0,9998	7,31	3,6e-3	498,6	5,6
55P01 E	4,33	0,7	3,5e-3	0,6e-6	0,9996	7,46	3,6e-3	494,1	1,1

Dále bylo provedeno srovnání žhavicí teploty, vypočtené ze zjištěných teplotních součinitelů s teplotou podle údajů výrobce sondy. Teplotě žhavení $T_w=220\text{ °C}$ přísluší hodnoty odporu R_w . Fa Dantec uvádí ke každé sondě α_0 Dantec a R_L . Pro R_w vychází teplota dle doporučeného postupu fy Dantec teplota T_w Dantec(R_w). V posledním sloupci tabulky je uveden rozdíl obou teplot $\Delta T_w = T_w$ Dantec - T_w . Rozdíl dosahuje téměř 30 K. Z toho vyplývá, že pro určení žhavicí teploty je nezbytné měřit teplotní součinitele individuálně.

5. Závěr

Vztah mezi měrným elektrickým odporem senzoru a jeho teplotou lze velmi přesně popsat pomocí teplotních součinitelů α_0 a β_0 . Ačkoliv je zjednodušený lineární vztah pro přesná měření je nevyhovující, v anemometrii se používá téměř bezvýhradně. Pro měření teplotní závislosti sond byla použita olejová lázeň s možností nastavení teploty. Součinitele se mohou významně lišit i u sond stejného typu a výrobce. Proto je pro korektní určení pracovní teploty drátku nevyhnutelné experimentálně zjistit součinitele u konkrétní sondy.

6. Poděkování

Poděkování projektu OL114 – COST 732 MŠMT ČR.

7. Literatura

- [1] Brunn, H. H.: *Hot-wire anemometry*. Oxford University Press, Oxford, 1995.
- [2] Horák, Z., Krupka, F.: *Fyzika*, SNTL, Praha, 1966.
- [3] Kostka, V., Vasanta Ram, V.: *On the effect of fluid temperature on hot wire characteristic. Part I*, Exp. Fluids 13, 155-162, 1992.
- [4] Brunn, H. H.: *On the temperature dependence of constant temperature hotwire probes with small wire aspect ratio*, J. Physics E., 8:942–951, 1975.
- [5] Cooper, R., D., Tulin, P., M.: *Turbulence measurements with the hot wire anemometer*, Agardograph 12, 1955.
- [6] *Constant temperature anemometry - Probes and accessories*, PSI Prosser Scientific Instruments Ltd., Ipswich.
- [7] *Probes for hot wire anemometry*, Dantec Measurement Technology, Skovlunde, 1996.