

# Strålningskorrektioner för termoelement

Är det rimligt att man kan få hundratals grader lägre temperatur vid probmätning med termoelement jämfört med gasens verkliga temperatur? Här ges en beräkning som stödjer att så är fallet.

Antag att  $T_g$  är gastemperaturen och att  $T_p$  är probens temperatur. Vid jämvikt så kommer vi att ha en värmebalans mellan tillförd energi från gas till prob genom värmeledning och strålningsförluster från proben mot omgivningen. Vi har då antagit att värmeledningsförlusterna från proben är försumbara, och även att strålningen från omgivningen mot termoelementet är försumbar.

Vi kan uttrycka denna jämvikt att  $q_c = q_r$ , (Ekv.1)

där  $q_c = h_c * A * (T_g - T_p)$  (Ekv.2) och  $q_r = \varepsilon * \sigma * A * T_p^4$  (Ekv.3)

$q_c$  = värmeledning från gas till prob

$q_r$  = strålningsvärme från prob

$h_c$  = konvektiv värmeöverföringskoefficient

$A$  = probens yta

$\varepsilon$  = emissivitet (0,11 för oxiderad platina vid 800 K, värde med stor osäkerhet)

$\sigma$  = Stefan-Boltzmann's konstant ( $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

$T_p$  = probens temperatur

$T_g$  = gasens temperatur

Om vi utnyttjar Ekv. 1-3 erhåller vi temperaturskillnaden mellan gas och prob,  $\Delta T$ , så att

$$\Delta T = T_g - T_p = (\varepsilon * \sigma * T_p^4) / h_c \quad (\text{Ekv.4})$$

Den konvektiva värmeöverföringskoefficienten,  $h_c$ , för sfäriska prober ges av

$$h_c = (k/d) * (2 + 0.6 * (c_p * \mu / k)^{0.33} * (u d \rho / \mu)^{0.5}) \quad (\text{Ekv.5})$$

I detta uttryck är  $d$  diameter på proben, och värden på  $k$ ,  $c_p$ ,  $\mu$  och  $\rho$  för luft kan erhållas från medföljande tabell. Med antagandet att omgivande gas är stillastående så erhålls att

$$h_c = 2k/d, \quad (\text{Ekv.6}),$$

där  $k$  är den termiska konduktiviteten. Om Ekv. 6 nu används i Ekv. 4 så erhåller vi att

$$\Delta T = T_g - T_p = (\varepsilon * \sigma * T_p^4 * d) / 2k \quad (\text{Eq.7})$$

## Beräkning av $\Delta T$ för några olika fall med hjälp av Ekv. 7 och tabell 1:

### 1. Jämför värmeförlust vid olika temperaturer för diametern $d=0.5 \text{ mm}$ , $\varepsilon=0,11$ , och $k$ vid aktuell temperatur

$\Delta T = 147 \text{ K}$  at  $1800 \text{ K}$

$\Delta T = 201 \text{ K}$  at  $2000 \text{ K}$

**$\Delta T$  ökar med flamtemperatur**

### 2. Jämför värmeförlust för olika probdiametrar vid $T = 2000 \text{ K}$ , $\varepsilon = 0,11$ , och $k$ vid aktuell temperatur

$\Delta T = 101 \text{ K}$  vid  $d = 0.25 \text{ mm}$

$\Delta T = 201 \text{ K}$  vid  $d = 0.5 \text{ mm}$

**$\Delta T$  ökar med probstorlek**

Tabell 1. Fysikaliska parametrar för luft vid atmosfärstryck.

T(K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg K)	$\mu$ (kg/m s) *10 <sup>5</sup>	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>4</sup>	$k$ (W/m K)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-4</sup>
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441

$\rho$  = densitet

$c_p$  = specific värmekapacitet

$\nu$  = viscositet

$k$  = termisk konduktivitet

$\alpha$  = termisk diffusivitet