



Tampere 20.10.2015

## MEI-71100 LÄMPÖTEKNIIKAN MITTAUKSET

*Kirjallisuuden käyttö kielletty. Graafisen laskimen käyttö sallittu.*

1. Tehtävänäsi on valita tilavuusvirtamittari tapauksiin a-e. Perustele valintasi parilla rivillä!

- a) Ilman tilavuusvirran mittaaminen suuren kaukolämpökattilan polttimen ilmasyöttöön. Tässä tapauksessa tärkein rajoittava tekijä on pieni painehäviö.
- b) Pienen kiinteistön vedenkulutuksen mittaaminen. Tässä tapauksessa tarvitaan pieni painehäviö, pitkäikäisyys ja vähäinen huollon tarve.
- c) Vesi-puukuituspension tilavuusvirran mittaaminen prosessiputkessa ( $D=250$  mm). Rajoittavina tekijöinä ovat pieni painehäviö, luotettavuus ja puhtaana pysyminen.
- d) Nesteen tarkka massavirta lääkkeen valmistusprosessissa. Tarvitaan pieni mittausepävarmuus ja pieni painehäviö
- e) Jäähdytysveden määrän mittaaminen prosessissa. Painehäviön suuruudella tai mittauksen pienellä mittausepävarmuudella ei ole merkitystä, mutta mittalaitteen investointikustannusten on oltava pienet.

2. . Selosta lyhyesti seuraavien lyhenteiden ja käsitteiden merkitys tai mittalaitteiden toimintaperiaate

- a) °R
- b) Akkreditoitu laboratorio
- c) LDA
- d) Kattavuuskerroin
- e) NTC

3. Selosta miten IR säteilyn absorptioon perustuvat savukaasujen koostumusta mittaavat laitteet toimivat?

4. K-tyypin termoparin johdot olivat vahingossa vaihtuneet, jolloin termoparin ja jatkojohdon liitos muodosti napaparit Cr-Al ja Al-Cr. Mittauskohteen lämpötila on  $300$  °C, referenssilämpötila  $0$  °C ja jatkojohdon liittokset ovat  $50$  °C lämpötilassa. Miten suuri virhe mittauksessa syntyy?

5. Erään lämpömittarin aikavakioksi  $\tau$  on virtaavassa vedessä saatu  $3$  s. Tällöin anturiosan lämmönsiirtokerroin  $\alpha$  arvioitiin olevan  $300$  W/m<sup>2</sup>/K.

- a) Missä ajassa sama mittari saavuttaa  $95\%$  lämpötilan muutoksesta kun se yhtäkkiä viedään ilmavirtaukseen, jossa lämmönsiirtokerroin on  $60$  W/m<sup>2</sup>/K?
- b) Kuinka suuri pysyvä virhe tämän lämpömittarin näyttämään jää jos ilman (ympäristön) lämpötila muuttuu lineaarisesti ajan funktiona  $T_y=25+0,1t$  ?

---

Yhtälöitä:

$$pV = mR_{N_2}T \quad \dot{m} = \rho\dot{V}$$

### Pengervaste

$T_y - T = k\tau(1 - e^{-t/\tau})$ , jossa  $k$  on kerroin reunaehdossa  $T_y = T_0 + kt$

### Askelmuutos

$\frac{T_y - T}{T_y - T_0} = e^{-t/\tau}$ ,  $T_y$  on ympäristön lämpötila ja  $T_0$  alkulämpötila.

### Jaksollinen muutos

$$T = T_D + \frac{T_{max}}{[1 + (\omega\tau)^2]^{\frac{1}{2}}} \sin(\omega t - \theta_t)$$

jossa reunaehtona on  $T = T_{max} \sin(\omega t)$

Aikavakio on  $\tau = \frac{mc}{\alpha A}$  jossa  $m$  on anturin massa,  $c$  on anturin

ominaislämpökapasiteetti,  $\alpha$  on lämmönsiirtokerroin ja  $A$  on anturin vaipan pinta-ala.

### Absoluuttiseksi mittausepävarmuudeksi

$$E_a = \Delta N = \left| \Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1} \right| + \left| \Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2} \right| + \dots + \left| \Delta u_N \frac{\partial f}{\partial u_N} \right|$$

### Todennäköinen mittausepävarmuus

$$E_{rss} = \sqrt{\left( \Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1} \right)^2 + \left( \Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2} \right)^2 + \dots + \left( \Delta u_N \frac{\partial f}{\partial u_N} \right)^2}$$

## K-typin termoelementti

Lämpötilat Celsius-asteina

Lämpösähköinen jännite [mV]

Referenssiliiotoksen lämpötila 0 °C

| °C  | 0     | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0   | 0.000 | 0.039  | 0.079 | 0.119 | 0.158 | 0.198 | 0.238 | 0.271 | 0.317 | 0.357 | 0.397 |
| 10  | 0.397 | 0.437  | 0.477 | 0.517 | 0.557 | 0.597 | 0.637 | 0.677 | 0.718 | 0.758 | 0.798 |
| 20  | 0.798 | 0.838  | 0.879 | 0.919 | 0.960 | 1.000 | 1.041 | 1.011 | 1.122 | 1.162 | 1.203 |
| 30  | 1.203 | 1.244  | 1.285 | 1.325 | 1.366 | 1.407 | 1.448 | 1.489 | 1.529 | 1.570 | 1.611 |
| 40  | 1.611 | 1.652  | 1.693 | 1.734 | 1.776 | 1.817 | 1.858 | 1.899 | 1.940 | 1.981 | 2.022 |
| 50  | 2.022 | 2.064  | 2.105 | 2.146 | 2.188 | 2.229 | 2.270 | 2.312 | 2.353 | 2.394 | 2.436 |
| 60  | 2.436 | 2.477  | 2.519 | 2.560 | 2.601 | 2.643 | 2.684 | 2.726 | 2.767 | 2.809 | 2.850 |
| 70  | 2.850 | 2.892  | 2.933 | 2.975 | 3.016 | 3.058 | 3.100 | 3.141 | 3.183 | 3.224 | 3.266 |
| 80  | 3.266 | 3.307  | 3.349 | 3.390 | 3.432 | 3.473 | 3.515 | 3.556 | 3.598 | 3.639 | 3.681 |
| 90  | 3.681 | 3.722  | 3.764 | 3.805 | 3.847 | 3.888 | 3.930 | 3.971 | 4.012 | 4.054 | 4.095 |
| 100 | 4.095 | 4.137  | 4.178 | 4.219 | 4.261 | 4.302 | 4.343 | 4.384 | 4.426 | 4.467 | 4.508 |
| 110 | 4.508 | 4.549  | 4.590 | 4.632 | 4.673 | 4.714 | 4.755 | 4.796 | 4.837 | 4.878 | 4.919 |
| 120 | 4.919 | 4.960  | 5.001 | 5.042 | 5.083 | 5.124 | 5.164 | 5.205 | 5.246 | 5.287 | 5.327 |
| 130 | 5.327 | 5.368  | 5.409 | 5.450 | 5.490 | 5.531 | 5.571 | 5.612 | 5.652 | 5.693 | 5.733 |
| 140 | 5.733 | 5.774  | 5.814 | 5.855 | 5.895 | 5.936 | 5.976 | 6.016 | 6.057 | 6.097 | 6.137 |
| 150 | 6.137 | 6.177  | 6.218 | 6.258 | 6.298 | 6.338 | 6.378 | 6.419 | 6.459 | 6.499 | 6.539 |
| 160 | 6.539 | 6.579  | 6.619 | 6.659 | 6.699 | 6.739 | 6.779 | 6.819 | 6.859 | 6.899 | 6.939 |
| 170 | 6.939 | 6.979  | 7.019 | 7.059 | 7.099 | 7.139 | 7.179 | 7.219 | 7.259 | 7.299 | 7.338 |
| 180 | 7.338 | 7.378  | 7.418 | 7.458 | 7.498 | 7.538 | 7.578 | 7.618 | 7.658 | 7.697 | 7.737 |
| 190 | 7.737 | 7.777  | 7.817 | 7.857 | 7.897 | 7.937 | 7.977 | 8.017 | 8.057 | 8.097 | 8.137 |
| 200 | 8.137 | 8.177  | 8.216 | 8.256 | 8.296 | 8.336 | 8.376 | 8.416 | 8.456 | 8.497 | 8.537 |
| 210 | 8.537 | 8.577  | 8.617 | 8.657 | 8.697 | 8.737 | 8.777 | 8.817 | 8.857 | 8.898 | 8.938 |
| 220 | 8.938 | 8.978  | 9.018 | 9.058 | 9.099 | 9.139 | 9.179 | 9.220 | 9.260 | 9.300 | 9.341 |
| 230 | 9.341 | 9.381  | 9.421 | 9.462 | 9.502 | 9.543 | 9.583 | 9.624 | 9.664 | 9.705 | 9.745 |
| 240 | 9.745 | 9.786  | 9.826 | 9.867 | 9.907 | 9.948 | 9.989 | 10.02 | 10.07 | 10.11 | 10.15 |
| 250 | 10.11 | 10.19  | 10.23 | 10.27 | 10.31 | 10.35 | 10.39 | 10.43 | 10.47 | 10.51 | 10.56 |
| 260 | 10.56 | 10.600 | 10.64 | 10.68 | 10.72 | 10.76 | 10.80 | 10.84 | 10.88 | 10.92 | 10.96 |
| 270 | 10.96 | 11.010 | 11.05 | 11.09 | 11.13 | 11.17 | 11.21 | 11.25 | 11.29 | 11.33 | 11.38 |
| 280 | 11.38 | 11.422 | 11.46 | 11.50 | 11.54 | 11.58 | 11.62 | 11.66 | 11.71 | 11.75 | 11.79 |
| 290 | 11.79 | 11.835 | 11.87 | 11.91 | 11.95 | 12.00 | 12.04 | 12.08 | 12.12 | 12.16 | 12.20 |
| 300 | 12.20 | 12.249 | 12.29 | 12.33 | 12.37 | 12.41 | 12.45 | 12.49 | 12.53 | 12.58 | 12.62 |
| 310 | 12.62 | 12.664 | 12.70 | 12.74 | 12.78 | 12.83 | 12.87 | 12.91 | 12.95 | 12.99 | 13.03 |
| 320 | 13.03 | 13.080 | 13.12 | 13.16 | 13.20 | 13.24 | 13.28 | 13.33 | 13.37 | 13.41 | 13.45 |
| 330 | 13.45 | 13.497 | 13.53 | 13.58 | 13.62 | 13.66 | 13.70 | 13.74 | 13.79 | 13.83 | 13.87 |
| 340 | 13.87 | 13.915 | 13.95 | 13.99 | 14.04 | 14.08 | 14.12 | 14.16 | 14.20 | 14.25 | 14.29 |
| 350 | 14.29 | 14.334 | 14.37 | 14.41 | 14.46 | 14.50 | 14.54 | 14.58 | 14.62 | 14.67 | 14.71 |
| 360 | 14.71 | 14.754 | 14.79 | 14.83 | 14.88 | 14.92 | 14.96 | 15.00 | 15.04 | 15.09 | 15.13 |
| 370 | 15.13 | 15.174 | 15.21 | 15.25 | 15.30 | 15.34 | 15.38 | 15.42 | 15.46 | 15.51 | 15.55 |
| 380 | 15.55 | 15.594 | 15.63 | 15.67 | 15.72 | 15.76 | 15.80 | 15.84 | 15.88 | 15.93 | 15.97 |
| 390 | 15.97 | 16.016 | 16.05 | 16.10 | 16.14 | 16.18 | 16.22 | 16.26 | 16.31 | 16.35 | 16.39 |
| 400 | 16.39 | 16.438 | 16.48 | 16.52 | 16.56 | 16.60 | 16.64 | 16.69 | 16.73 | 16.77 | 16.81 |
| 410 | 16.81 | 16.860 | 16.90 | 16.94 | 16.98 | 17.02 | 17.07 | 17.11 | 17.15 | 17.19 | 17.24 |
| 420 | 17.24 | 17.283 | 17.32 | 17.36 | 17.41 | 17.45 | 17.49 | 17.53 | 17.58 | 17.62 | 17.66 |
| 430 | 17.66 | 17.707 | 17.74 | 17.79 | 17.83 | 17.87 | 17.91 | 17.96 | 18.00 | 18.04 | 18.08 |
| 440 | 18.01 | 18.131 | 18.17 | 18.21 | 18.25 | 18.30 | 18.34 | 18.38 | 18.42 | 18.47 | 18.51 |
| 450 | 18.51 | 18.555 | 18.59 | 18.64 | 18.68 | 18.72 | 18.76 | 18.81 | 18.85 | 18.89 | 18.93 |
| 460 | 18.93 | 18.980 | 19.02 | 19.06 | 19.10 | 19.15 | 19.19 | 19.23 | 19.27 | 19.32 | 19.36 |
| 470 | 19.36 | 19.405 | 19.44 | 19.49 | 19.53 | 19.57 | 19.61 | 19.66 | 19.70 | 19.74 | 19.78 |
| 480 | 19.78 | 19.831 | 19.87 | 19.91 | 19.95 | 20.00 | 20.04 | 20.08 | 20.12 | 20.17 | 20.21 |
| 490 | 20.21 | 20.257 | 20.29 | 20.34 | 20.38 | 20.42 | 20.47 | 20.51 | 20.55 | 20.59 | 20.64 |
| 500 | 20.64 | 20.683 | 20.72 | 20.76 | 20.81 | 20.85 | 20.89 | 20.93 | 20.98 | 21.02 | 21.06 |
| 510 | 21.06 | 21.109 | 21.15 | 21.19 | 21.23 | 21.28 | 21.32 | 21.36 | 21.40 | 21.45 | 21.49 |
| 520 | 21.49 | 21.535 | 21.57 | 21.62 | 21.66 | 21.70 | 21.74 | 21.79 | 21.83 | 21.87 | 21.91 |
| 530 | 21.91 | 21.962 | 22.00 | 22.04 | 22.09 | 22.13 | 22.17 | 22.21 | 22.26 | 22.30 | 22.34 |
| 540 | 22.34 | 22.388 | 22.43 | 22.47 | 22.51 | 22.55 | 22.60 | 22.64 | 22.68 | 22.72 | 22.76 |
| 550 | 22.77 | 22.815 | 22.85 | 22.90 | 22.94 | 22.98 | 23.02 | 23.07 | 23.11 | 23.15 | 23.19 |
| 560 | 23.19 | 23.241 | 23.28 | 23.32 | 23.36 | 23.41 | 23.45 | 23.49 | 23.53 | 23.58 | 23.62 |
| 570 | 23.62 | 23.667 | 23.71 | 23.75 | 23.79 | 23.83 | 23.88 | 23.92 | 23.96 | 24.00 | 24.05 |
| 580 | 24.05 | 24.093 | 24.13 | 24.17 | 24.22 | 24.26 | 24.30 | 24.34 | 24.39 | 24.43 | 24.47 |
| 590 | 24.47 | 24.519 | 24.56 | 24.60 | 24.64 | 24.68 | 24.73 | 24.77 | 24.81 | 24.85 | 24.90 |
| 600 | 24.90 | 25.944 | 24.98 | 25.02 | 25.07 | 25.11 | 25.15 | 25.19 | 25.24 | 25.28 | 25.32 |