

**Ene-39.2001 Termodynamiikka ja lämmönsiirto****Tentti 19.12.2009 klo 10-14.**

Tehtävät 1- 4 suoritetaan ensin tukimateriaalin kanssa (klo 10 -13) ja sen jälkeen tehtävät 5 - 6 ilman mitään tukimateriaalia (klo 13 -14). Tukimateriaalina saa olla mitä tahansa, mukaanlukien omakätiset muistiinpanot, mutta ei laskuharjoitustehtäviä ratkaisuihin eikä laskuharjoitusmonistetta 151 (tai 147 tai 135). Opisto- ja AMK-insinöörit suorittavat halutessaan vain tehtävät 1-4. Kunkin vastauspaperin yläreunaan tulee tällöin merkitä selvästi sana **INSINÖÖRI**.

1. Vaakasuorassa teräsputkessa, jonka ulko- ja sisähalkaisijat ovat  $d_u = 26$  mm ja  $d_s = 20$  mm, virtaa lämpötilassa  $70^\circ\text{C}$  ja normaali-ilmanpaineessa olevaa vettä  $0,5$  l/s. Putki on eristämätön ja ulkopinnaltaan valkoiseksi maalattu. Putkea ympäröivän huoneilman ja huoneen seinien lämpötila on noin  $20^\circ\text{C}$  ( $= T_\infty$ ).

a) Laske siirtyvä lämpöteho putken pituusyksikköä kohden putkesta ympäristöön (W/m). Vapaalle konvektiolle vaakasuoran putken ulkopinnalla voidaan käyttää kaavaa

$$Nu = 0,48 (Gr \cdot Pr)^{1/4},$$

missä Grashofin luku on määritelty putken ulkohalkaisijan mukaan

$$Gr = \frac{\beta g \rho^2 d_u^3 (T_s - T_\infty)}{\eta^2}.$$

Ideaalikaasulle  $\beta = 1/T$  (lämpötila  $T$  Kelvin-asteissa), ja tässä voit käyttää  $T = (T_s + T_\infty)/2$ .

Voit olettaa, että ulkopinnan lämpötila  $T_s$  on hyvin lähellä veden lämpötilaa.

Osoita lopuksi että näin on eli ulkopinnan lämpövastus on täysin määräävä.

b) Laske veden jäähtymä putkimetriä kohden ( $^\circ\text{C}/\text{m}$ ).

c) Laske painehäviö putkimetriä kohden (Pa/m).

2. Ilma tulee kompressoriin tilassa ( $20^\circ\text{C}$ , 1 bar) ja poistuu siitä tilassa ( $100^\circ\text{C}$ , 5 bar). Ilman tilavuusvirta kompressorin imuaukossa on  $0,5$  m<sup>3</sup>/s ja kompressorin ottama akseliteho on 100 kW. Kompressoria jäähdytetään kiertoöljyllä ( $c_p = 2000$  J/kg $^\circ\text{C}$ ), jonka lämpötila nousee kompressorissa  $25^\circ\text{C}$ :sta  $70^\circ\text{C}$ :een. Kompressorin jälkeen öljy jäähdytetään erillisellä lämmönvaihtimella takaisin  $25^\circ\text{C}$ :een.

a) Laske tarvittava jäähdytysöljyn massavirta (kg/s) ja öljyn jäädyttimen teho (W).

b) Laske kompressorissa tapahtuva entropian generointi (W/K). Öljyvirtauksen painehäviötä ei tarvitse ottaa huomioon. Huomaa, että ilma- ja öljyvirta yhdessä muodostavat adiabaattisen systeemin.

c) Laske paineilman tuottamiseen tarvittava ominaisenergian kulutus ko. kompressorille (J/kg) ja vertaa sitä teoreettiseen arvoon, kun puristus tapahtuu isotermisesti.

3. Hydrauliikkamoottoriin johdetaan  $18$  l/min  $120$  bar:in paineessa olevaa öljyä, jonka lämpötila on  $35^\circ\text{C}$ . Öljyn paine moottorin jälkeen on  $2$  bar.

a) Laske moottorin akseliteho, kun hydrauliikkamoottorin isentrooppinen hyötysuhde on  $0,7$ .

b) Laske öljyn lämpötila hydrauliikkamoottorin jälkeen, kun  $\rho = 0,82$  kg/l,

$$\partial\rho/\partial T = -10^{-4} \text{ kg}/\ell\text{K} \text{ ja } c_p = 1950 \text{ J}/\text{kgK}.$$

KÄÄNNÄ