

Tampereen yliopisto  
KEB-40100 LÄMPÖTEKNIikka  
Tentti 30.1.2019 / Seppo Syrjäjä

Sallittu kirjallisuus: jaettava kaavakokoelma  
Palauta kaavakokoelma tentin jälkeen; älä tee siihen merkintöjä  
Ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu

1. Säiliössä on kuivaa ilmaa. Alkutilanteessa säiliön tilavuus  $V = 1 \text{ m}^3$  ilman paineen ja lämpötilan ollessa:  $p = 100 \text{ kPa}$  ja  $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

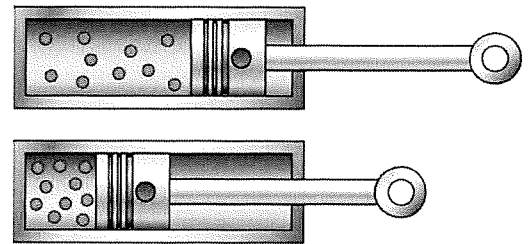
(a) Säiliössä olevaa ilmaa puristetaan **isentrooppisesti** ( $s = \text{vakio}$ ) siten, että ilman loppupaine on  $200 \text{ kPa}$ . Määritä puristuksen jälkeiset  $T$  ja  $V$ .

(b) Määritä puristuksessa tehty työ  $W$ , jos puristus (paineeseen  $200 \text{ kPa}$ ) tapahtuukin **isotermisesti** ( $T = \text{vakio}$ ).

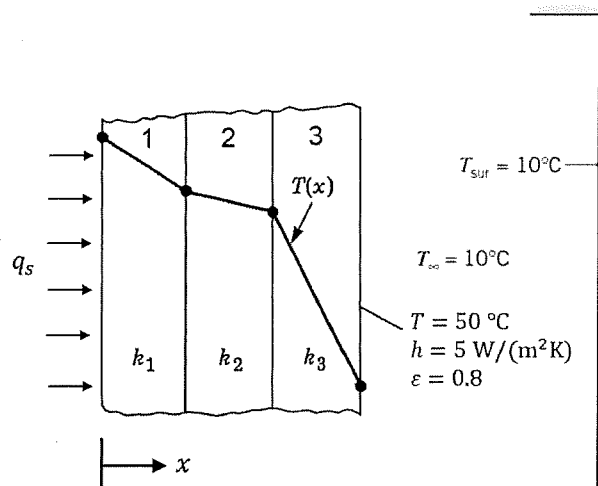
(c) Eräessä toisessa säiliössä ( $V = 2 \text{ m}^3$ ) on kosteaa ilmaa (eli kuivan ilman ja vesihöyryn seos). Paljonko seoksessa on vesihöyryä (kg), jos suhteellinen kosteus on  $60\%$  ja  $p = 100 \text{ kPa}$ ,  $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

Ilmalle:  $M = 28.97 \text{ kg/kmol}$ ;  $c_p = 1008 \text{ J/(kg }^\circ\text{C)}$ ;  $c_v = 720 \text{ J/(kg }^\circ\text{C)}$

Vedelle:  $M = 18.01 \text{ kg/kmol}$ .



2. Kuvan mukaisen kolmikerroksisen seinämän sisäpintaan ( $x = 0$ ) tuodaan lämpövirran tiheys  $q_s$ , jolloin seinämään muodostuu kuvan mukainen lämpötilajakauma  $T(x)$ . Kaikkien kerrosten paksuus =  $5 \text{ cm}$  ja kerrosten lämmönjohtavuudet ovat  $k_1$ ,  $k_2$  ja  $k_3$  kuvan mukaisesti. Ulkopinnalta lämpö siirtyy ympäristöön konvektiolla ja säteilemällä. Ulkopinnalla lämpötila on  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , konvektiivinen lämmönsiirtokerroin  $5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ja emissiviteetti  $0.8$ . Ympäröivän ilman ja ympäröivien seinien lämpötila on  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tilanne on stationääri ja johtuminen 1-ulotteista.



(a) Laita lämmönjohtavuudet  $k_1$ ,  $k_2$  ja  $k_3$  suuruusjärjestykseen (perustele myös valintasi).

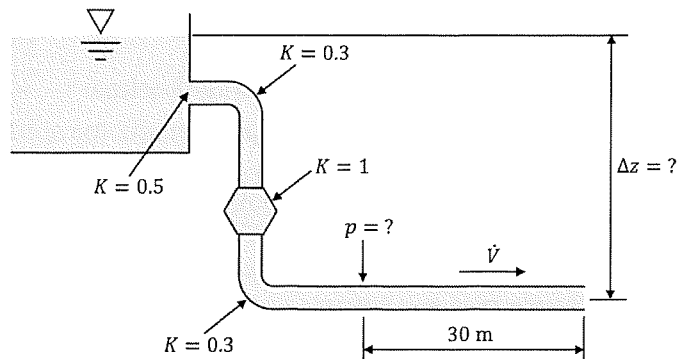
(b) Määritä  $q_s$ .

(c) Määritä lämmönjohtavuus  $k_1$ , jos sisäpinta asettuu lämpötilaan  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  ja kerrosten 1 ja 2 rajapinta lämpötilaan  $170 \text{ }^\circ\text{C}$ .

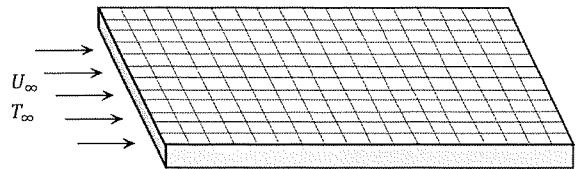
3. Säiliöstä virtaa vettä putken läpi  $1 \text{ m}^3/\text{min}$ . Putken halkaisija on  $140 \text{ mm}$  ja karheus  $0.14 \text{ mm}$ ; putken kokonaispituus on  $100 \text{ m}$ . Kertavastukset on annettu kuvassa. Vedelle  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  ja  $\mu = 0.0015 \text{ Ns/m}^2$ .

(d) Määritä paine kohdassa  $30 \text{ m}$  ennen ulosvirtausta. Ulosvirtaus tapahtuu ympäristön paineeseen ( $= 100 \text{ kPa}$ ).

(e) Määritä paljonko korkeammalla on avoimen säiliön nestepinta verrattuna ulosvirtauskohtaan (kuvassa  $\Delta z$ ).



4. Lämpöä kehittäviä siruja (chippejä) on asennettu tasolevyille  $216 \text{ kpl}$  ( $18 \times 12$ ). Levyn pituus on  $18 \text{ cm}$  ja leveys  $12 \text{ cm}$ ; yhden sirun koko on siis  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ .  $U_\infty = 30 \text{ m/s}$ ,  $T_\infty = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



(a) Määritä maksimilämpötila levyssä, kun jokainen siru tuottaa lämpöä  $0.25 \text{ W}$  (lämpövirran tiheys levyssä on siis vakio). Levy on alapuolelta eristetty ja rajakerros on laminaari.

(b) Mikä on levyn lämpötila, jos se onkin vakiolämpötilassa ja kokonaislämpövirta levystä on sama kuin a-kohdassa. Rajakerros on turbulenti.  $U_\infty$  ja  $T_\infty$  kuten edellä.

Ilmalle  $\nu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $k = 0.028 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$ ,  $\text{Pr} = 0.72$ .

5. Kuvassa on esitetty lämpötila ( $T$ ) - entropia ( $s$ ) -tasossa yksinkertainen höyryvoimalaitosprosessi, jossa  $p_1 = 5 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $p_2 = 20 \text{ kPa}$ . Isentrooppinen hyötysuhde on  $90 \%$  sekä turbiinille että pumpulle. Pisteessä 3 vesi on kylläistä nestettä.

(a) Määritä entalpiat  $h_1$ ,  $h_{2s}$  ja  $h_2$  sekä höyrypitoisuus  $x_2$ .

(b) Määritä entalpiat  $h_3$ ,  $h_4$ ,  $h_5$  ja  $h_6$ .

(c) Piirrä kuva, jossa näkyy eri komponenttien (pumppu, kattila, jne.) sijainti ja merkitse siihen prosessin pisteet 1 ... 6.

