

TTY / Kone- ja tuotantotekniikan laitos

MEI-02021 LÄMPÖTEKNIikka

Tentti 15.11.2016 / Seppo Syrjäjä

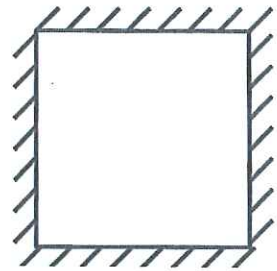
Sallittu kirjallisuus: kaavakokoelma

Palauta kaavakokoelma tentin jälkeen; älä tee siihen merkintöjä

Graafisen laskimen käyttö sallittu

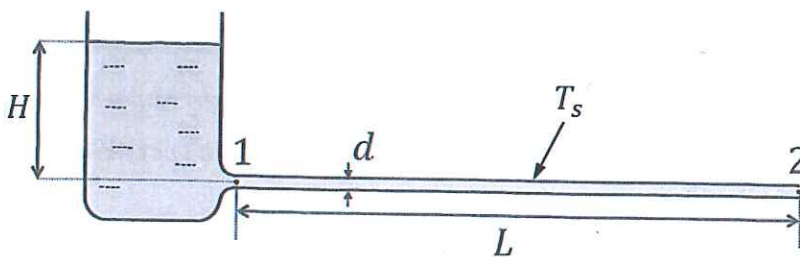
1. Lämpöeristetyssä säiliössä kuivan ilman paine  $p = 2$  bar ja lämpötila  $T = 20$  °C.

- Mikä on säiliössä olevan ilman massa, jos säiliön tilavuus  $V = 1$  m<sup>3</sup>?
- Säiliön tilavuus muuttuu isentrooppisesti ( $s = \text{vakio}$ ) arvoon  $V = 1,2$  m<sup>3</sup>. Laske tilavuusmuutoksen jälkeiset  $p$  ja  $T$ ?
- Säiliössä ( $V = 1$  m<sup>3</sup>) olevalle kuivan ilman ja vesihöyryn seokselle paine  $p = 1$  bar ja lämpötila  $T = 20$  °C. Paljonko seoksessa on vettä, jos seoksen suhteellinen kosteus  $\phi = 70$  %?
- Mikä on c-kohdan seoksen kastepiste?



2. Säiliöstä virtaa putken läpi öljyä 1 kg/s. Putken pituus  $L = 10$  m ja halkaisija  $d = 30$  mm. Öljylle tiheys  $\rho = 860$  kg/m<sup>3</sup> ja kinemaattinen viskositeetti  $\nu = 8 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s.

- Onko virtaus laminaari vai turbulenti?
- Mikä on paine putken alussa (kohta 1), jos ulosvirtauksessa (kohta 2) paine on 1 bar?
- Laske  $H$  (kertahäviöitä ei tarvitse ottaa huomioon).
- Mikä on lämmönsiirtokerroin putken lopussa, jos putki on hyvin pitkä ( $L \rightarrow \infty, d = 30$  mm). Putken pintalämpötila  $T_s = 20$  °C ja säiliössä olevan öljyn lämpötila on 80 °C? Öljylle lämmönjohtavuus  $k = 0,14$  W/(m K) ja  $Pr = 900$ .



3. (a) Mikä on työn ja lämmön ero termodynamiikassa?

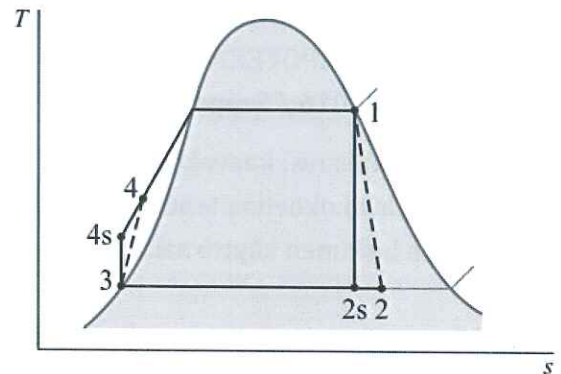
(b) Osoita, että ideaalikaasulle  $\Delta u = \frac{R}{\gamma-1} \Delta T$  ( $u = \text{sisäenergia}$ ).

(c) Osoita, että ideaalikaasulle äänennopeus  $c = \sqrt{\gamma RT}$ , kun  $c^2 = (\partial p / \partial \rho)_s$ . Vihje: hyödynnä isentrooppisen prosessin yhtälöä  $p v^\gamma = \text{vakio}$ .

4. Kuva esittää T-s -tasossa yksinkertaista höyryprosessia, jossa vesihöyry tulee turbiiniin kylläisessä tilassa (piste 1).

(a) Mikä on höyryn lämpötila pisteissä 1 ja 2, kun  $p_1 = 3 \text{ MPa}$  ja  $p_2 = 0,05 \text{ MPa}$ ?

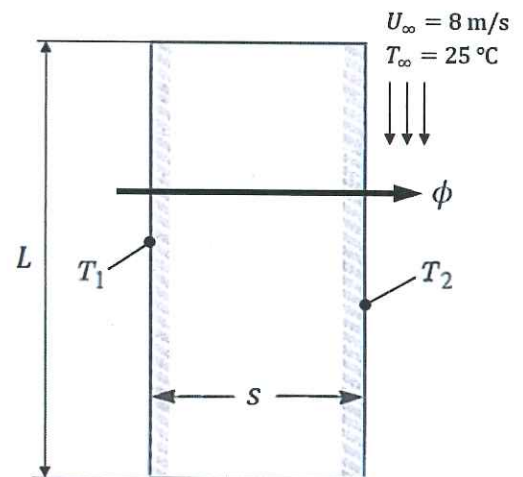
(b) Määritä entalpiat kaikissa kuvan pisteissä (1, 2s, 2, 3, 4s ja 4), kun isentrooppinen hyötysuhde sekä turbiinille että pumpulle on 85 % (huomaa, että  $p_3 = p_2$  ja  $p_4 = p_1$ ).



5. Kuvan mukaisen seinän (paksuus  $s = 6 \text{ cm}$ , korkeus  $L = 1 \text{ m}$  ja leveys  $2 \text{ m}$ ) läpi siirtyy lämpöä johtumalla. Ulkopinnalta lämpö siirtyy ympäristöön pakotetulla konvektiolla ja säteilemällä. Ulkopinnan lämpötila  $T_2 = 75 \text{ °C}$ . Ulkopinnalle puhallettavan ilman nopeus  $U_\infty = 8 \text{ m/s}$  ja lämpötila  $T_\infty = 25 \text{ °C}$  (myös ympäröivien seinien lämpötila on  $25 \text{ °C}$ ).

(a) Laske lämpövirta  $\phi$  ulkopinnasta sekä sisäpinnan lämpötila  $T_1$ , kun ulkopinnalla otetaan huomioon vain konvektio (oleta laminaari rajakerros).

(b) Kuten a-kohta, mutta ota huomioon ulkopinnalla myös säteily. Ulkopinnan emissiviteetti  $\varepsilon = 0.8$ .



Ilmalle kinemaattinen viskositeetti  $\nu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , lämmönjohtavuus  $k = 0,028 \text{ W}/(\text{m K})$  ja  $Pr = 0,71$ . Seinämateriaalille  $k = 1 \text{ W}/(\text{m K})$ .