

Tampereen yliopisto

KEB-40100 LÄMPÖTEKNIikka

Välikoe 2 ja tentti 17.12.2019 / Seppo Syrjäjä

Sallittu kirjallisuus: jaettava kaavakokoelma

Palauta kaavakokoelma tentin jälkeen; älä tee siihen merkintöjä

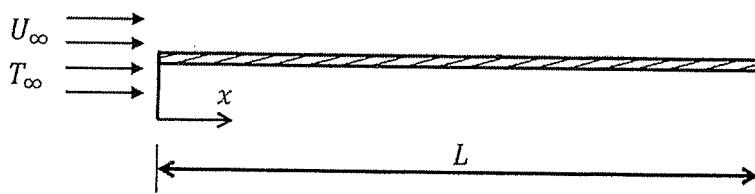
Ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu

Välikoe 2: tehtävät 1-5

Tentti: tehtävät 3-7

Voit osallistua kumpaan tahansa tai molempiin, mutta merkitse vastauspaperiin, mihin osallistut (kirjoita kohtaan "Huomautuksia tarkastajalle": vk2 TAI tentti TAI vk2+tentti).

1. Ilma virtaa kuvan mukaisen ohuen metallilevyn molemmilta puolilta. Ilman nopeus $U_\infty = 12$ m/s ja lämpötila $T_\infty = 20$ °C. Levyn pituus $L = 75$ cm ja leveys 90 cm.



Sähkövirran kulkiessa levyn läpi

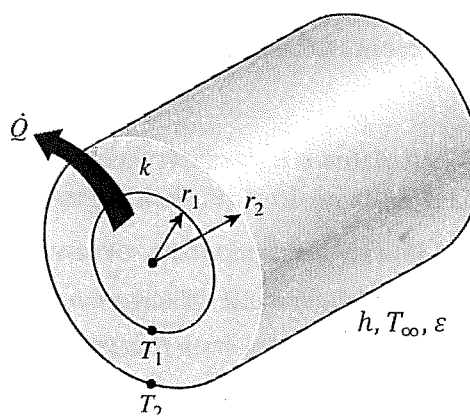
siinä kehittyy lämpöä yhteensä 1000 W, joka on jakautunut tasaisesti koko levyn alueelle.

(a) Mikä voima virtauksesta aiheutuu levyyn? Oleta laminaari virtaus. Onko oletettavaa, että virtaus on todellisuudessa laminaari koko levyn matkalta? Perustele vastauksesi.

(b) Mikä on maksimilämpötila levyssä ja missä se esiintyy? Oleta tässäkin laminaari virtaus.

Ilmalle $\nu = 1.5 \cdot 10^{-5}$ m²/s, $\rho = 1.2$ kg/m³, $k = 0.026$ W/(m °C), $Pr = 0.7$

2. Vaakasuoran metalliputken sisähalkaisija $2r_1 = 10$ mm, ulkohalkaisija $2r_2 = 25$ mm ja lämmönjohtavuus $k = 25$ W/(m K). Metalliputken sisällä on sähkövastus. Määritä sähkövastuksen teho/metri, kun putken ulkopinta asettuu lämpötilaan $T_2 = 60$ °C ja ympäröivän ilman ja ympäröivien seinien lämpötila $T_\infty = 20$ °C. Ulkopinnalta lämpö siirtyy ympäristöön luonnollisella konvektiolla ja säteilemällä. Emissiviteetti ulkopinnalla $\varepsilon = 0.8$. Konvektion laskemiseen voit käyttää kaavakokoelmassa annetun yhtälön sijasta seuraavaa hieman yksinkertaisempaa yhtälöä:



$$Nu = \frac{hD}{k_i} = 0.125 Ra^{1/3} \quad (D = 2r_2 = 25 \text{ mm}; k_i = 0.026 \text{ W/(m K)} = \text{ilman lämmönjohtavuus})$$

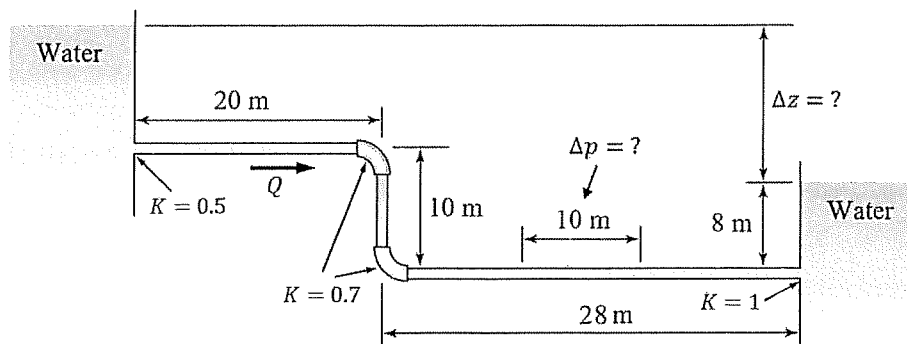
Muut aineominaisuudet ilmalle: $\nu = 1.5 \cdot 10^{-5}$ m²/s, $Pr = 0.7$ ja $\beta = 1/T_\infty$.

Määritä myös putken sisäpinnan lämpötila T_1 .

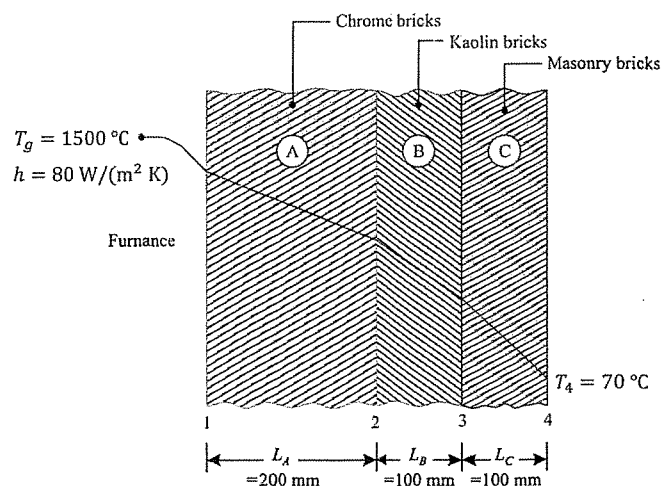
3. Kuvan mukaisessa tilanteessa vettä virtaa ylemmästä säiliöstä alempaan $0.48 \text{ m}^3/\text{min}$. Putken halkaisija on 100 mm ja kokonaispituus 58 m ; putken karheus $\varepsilon = 0.2 \text{ mm}$. Kertavastukset on annettu kuvassa. Säiliöt ovat avoimia. Vedelle $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ja $\mu = 0.001 \text{ Ns/m}^2$.

(a) Määritä kitkakerroin sekä painehäviö kuvaan merkityllä 10 metrin matkalla.

(b) Määritä säiliöiden pinnankorkeuksien ero Δz .



4. Tulipesän seinämä muodostuu kuvan mukaisesti kolmesta tiilikerroksesta. Kerrosten paksuudet ovat 200 mm , 100 mm ja 100 mm ja lämmönjohtavuudet vastaavasti $k_A = 1.2 \text{ W/(m K)}$, $k_B = 0.1 \text{ W/(m K)}$ ja $k_C = 0.5 \text{ W/(m K)}$. Kaasun lämpötila tulipesässä on $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ ja lämmönsiirtokerroin kaasusta tulipesän sisäseinään $80 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Seinämän ulkopinnan lämpötila on $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Määritä lämpötilat kerroksen A keskikohdassa (kohdassa 100 mm vasemmasta reunasta) sekä kerroksen B molemmilla rajapinnoilla (kohdissa 2 ja 3).



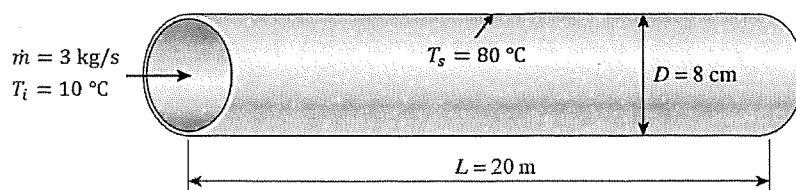
5. Vettä virtaa 3 kg/s ohutseinäisessä putkessa, jonka sisähalkaisija on 8 cm . Putken alussa veden lämpötila on $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Putken pintalämpötila on vakio, $T_s = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

(a) Mikä on lämmönsiirtokerroin putkessa?

(b) Mihin keskilämpötilaan vesi lämpenee putkessa 20 metrin matkalla?

(c) Mikä on lämpövirta putken seinästä veteen?

Vedelle $\nu = 0.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho = 995 \text{ kg/m}^3$, $k = 0.62 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$, $c_p = 4180 \text{ J/(kg }^\circ\text{C)}$, $\text{Pr} = 5$



6. Säiliössä on kuivaa ilmaa 2 kg. Alkutilanteessa ilman paine $p = 100 \text{ kPa}$ ja lämpötila $T = 27 \text{ °C}$.

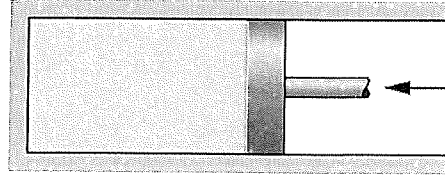
(a) Säiliössä olevaa ilmaa puristetaan männällä isentrooppisesti ($s = \text{vakio}$) siten, että tilavuus V puolittuu. Määritä puristuksen jälkeiset p ja V .

(b) Määritä puristuksessa tehty työ, W .

(c) Eräessä toisessa säiliössä ($V = 2 \text{ m}^3$) on kosteaa ilmaa (eli kuivan ilman ja vesihöyryn seos). Paljonko seoksessa on kuivaa ilmaa (kg) ja vesihöyryä (kg), jos suhteellinen kosteus on 70 % ja $p = 100 \text{ kPa}$, $T = 30 \text{ °C}$?

Ilmalle: $M = 28.97 \text{ kg/kmol}$; $c_p = 1008 \text{ J/(kg °C)}$; $k = 1.4$

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



7. Kuva esittää yksinkertaista höyryvoimalaitosprosessia lämpötila-entropia (T - s) -tasossa. Vesihöyryn massavirta on 10 kg/s . Prosessista tunnetaan seuraavat arvot: $p_1 = 8 \text{ MPa}$, $T_1 = 550 \text{ °C}$, $p_2 = 10 \text{ kPa}$ ja $x_2 = 0.9$. Pumpun isentrooppinen hyötysuhde on 80 %. Pisteessä 3 vesi on kylläistä nestettä.

(a) Määritä turbiinin isentrooppinen hyötysuhde ja turbiiniteho.

(b) Määritä entalpiat h_4 , h_5 ja h_6 sekä lämpötila T_3 .

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

