

Tampereen yliopisto

KEB-40200 LÄMMÖNSIIRTO

Välikoe 2 ja tentti 8.5.2019 / Seppo Syrjälä

Sallittu kirjallisuus: jaettava kaavakokoelma

Palauta kaavakokoelma tentin jälkeen; älä tee siihen merkintöjä

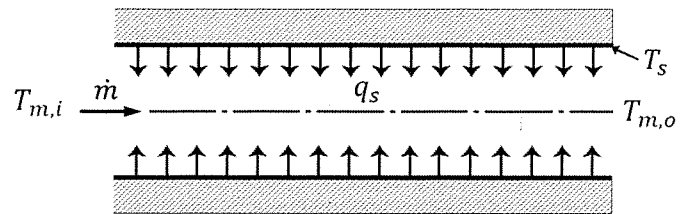
Ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu

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).

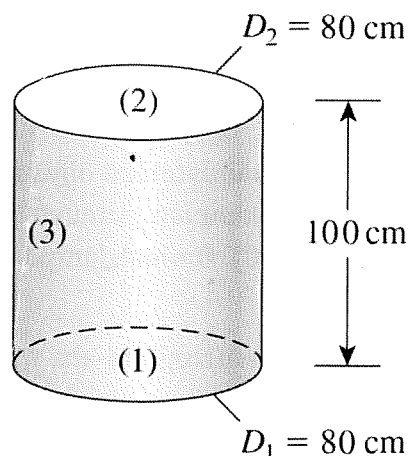
1. Vettä lämmitetään kuvan mukaisessa putkessa johtamalla sähkövirta putken seinämän läpi; tämän seurauksena putken seinämässä kehittyvä tasaisesti lämpöä: $q_s = 40 \text{ kW/m}^2$. Putki on ulkopuolelta eristetty, joten kaikki kehittyvä lämpö siirtyy putkessa virtaavaan veteen. Veden massavirta $\dot{m} = 0.4 \text{ kg/s}$ ja alkulämpötila $T_{m,i} = 20 \text{ °C}$. Putken halkaisija on 30 mm ja pituus 5 m.



- (a) Virtaus voidaan hyvällä tarkkuudella olettaa hydrodynaamisesti ja termisesti täysin kehittyneeksi. Miksi näin?
- (b) Kun $q_s = \text{vakio}$, täysin kehittyneessä putkivirtauksessa seinämlämpötilan ja virtauksen keskilämpötilan erotus, $T_s - T_m$, pysyy vakiona. Määritä $T_s - T_m$ tässä tapauksessa.
- (c) Määritä veden keskilämpötila putken lopussa, $T_{m,o}$.

Vedelle: $\mu = 0.001 \text{ Ns/m}^2$; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $k = 0.6 \text{ W/(m °C)}$; $c_p = 4200 \text{ J/(kg °C)}$; $Pr = 7$

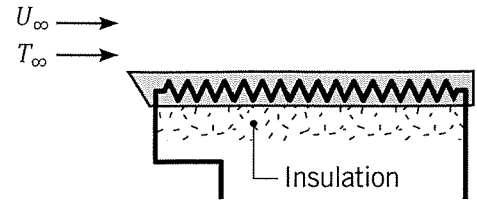
2. Kuvan mukaisen sylinterimäisen uunin korkeus on 100 cm ja halkaisija 80 cm. Pintojen lämpötilat ja emissiviteetit on annettu kuvan yhteydessä.



Surface	Emissivity	Temperature
1.	0.85	400° C
2.	0.85	400° C
3.	0.8	500° C

- (a) Määritä geometrialle kaikki näkyvyyskertoimet F_{ij} (3×3 kpl)
- (b) Määritä nettosäteilyvirta pinnalle 3 (\dot{Q}_3)

3. Tasolevyssä kehittyy tasaisesti lämpöä. Levyn yläpintaa jäädytetään ilmavirtauksella: $U_\infty = 15 \text{ m/s}$, $T_\infty = 20 \text{ °C}$; alapuolelta levy on eristetty. Levyn pituus (virtaussuunnassa) on 60 cm ja leveys 1 m.



- (a) Miksi on perusteltua olettaa laminaari virtaus?
 (b) Korkein sallittu levyn pintalämpötila on 90 °C .

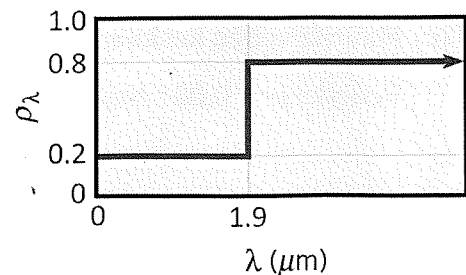
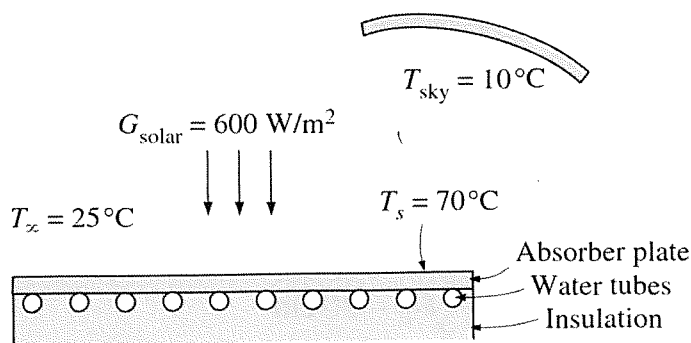
Paljonko lämpöä voi korkeintaan levyssä kehittyä [W/m^2], jotta tämä arvo ei ylitä?

- (c) Levyn pintalämpötila onkin vakio ($= 70 \text{ °C}$) ja virtaukseen on aiheutettu häiriö, jonka seurauksena virtaus on turbulenti koko levyn matkalta. Määritä lämpövirta levystä ilmaan tässä tapauksessa.

Ilmalle: $\nu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $k = 0.028 \text{ W/(m °C)}$; $\text{Pr} = 0.7$.

4. Kuvan mukaisen aurinkokeräimen absorptiolevyissä on selektiivinen pinnoite, jonka spektrin heijastussuhde, ρ_λ , on annettu alla. Keräimen pintaan tulee auringon säteily 600 W/m^2 (keräimessä ei ole lasikatetta). Konvektiivinen lämmönsiirtokerroin keräimen pinnasta ympäröivään ilmaan on $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Keräimen pintalämpötila on 70 °C , ympäröivän ilman lämpötila 25 °C ja efektiivinen taivaslämpötila 10 °C . Auringon pintalämpötilaksi voidaan olettaa 5800 K . Keräimen koko on $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ja se on alapuolelta eristetty. Määritä:

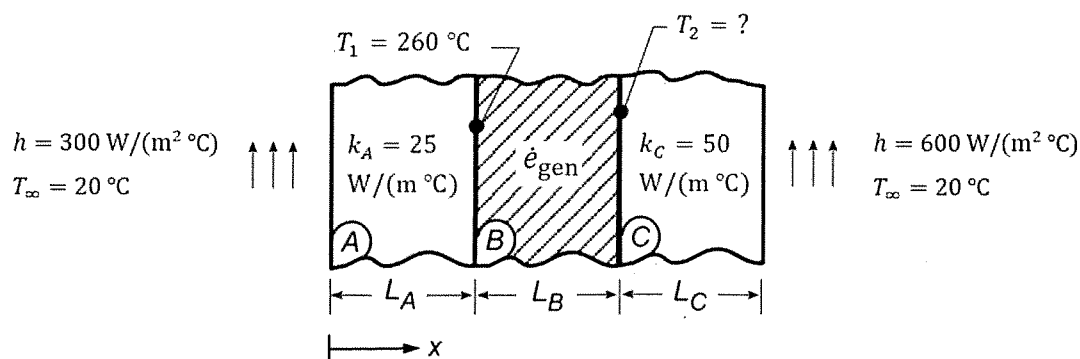
- (a) kokonaisabsorptiosuhde ja kokonaisemissiviteetti absorptiolevyn pinnoitteelle
 (b) nettolämpövirta keräimelle (= absorboitunut auringon säteily - lämpöhäviöt = veteen siirtyvä lämpövirta)



5. Myötävirtalämmönvaihtimessa jäädytetään öljyä lämpötilasta 160 °C lämpötilaan 80 °C vedellä, jonka alkulämpötila on 20 °C . Molempien virtausten massavirta on 1 kg/s ja vaihtimen lämmönläpäisykerroin $U = 200 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$. Ominaislämpö öljylle $c_p = 2.1 \text{ kJ/(kg °C)}$ ja vedelle $c_p = 4.2 \text{ kJ/(kg °C)}$.

- (a) Määritä lämpövirta ja lämmönsiirtopinta-ala.
 (b) Lämmönvaihdinta lyhennetään, jolloin vaihtimen lämmönsiirtopinta-ala pienenee arvoon 10 m^2 ; massavirrat, virtausten alkulämpötilat, ominaislämmöt ja U pysyvät ennallaan. Mitkä ovat tässä tapauksessa virtausten loppulämpötilat.

6. Kuvan mukainen seinämä koostuu kolmesta kerroksesta, joista keskimmäisessä kerroksessa B kehittyä tasaisesti jakautunut lämpöteho, $\dot{e}_{\text{gen}} = 5 \text{ MW/m}^3$. Kerrosten paksuudet ovat: $L_A = L_B = L_C = 30 \text{ mm}$; kahdessa muussa suunnassa seinämän mitat ovat $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. Lämpö siirtyy seinämässä johtamalla 1-ulotteisesti eli lämpötila muuttuu vain paksuussuunnassa (x -suunnassa). Pinnoilta lämpö siirtyy ympäristöön konvektiolla. Määritä seinämän pintalämpötilat molemmilla puolilla sekä lämpötila T_2 (kts. kuva), kun tilanne on stationääri. Tarvittavat lähtötiedot on annettu kuvassa. Hahmottele myös lämpötilajakauma koko seinämän yli.



7. Putken (ulkohalkaisija $2r_o = 100 \text{ mm}$) pintaan asennetaan kuvan mukaisesti suorakulmaisia ripoja lämmönsiirron tehostamiseksi; ripojen pituus $L = 50 \text{ mm}$ ja paksuus $t = 5 \text{ mm}$. Lämmönsiirtokerroin ripojen ja putken pinnalla on $10 \text{ W/(m}^2\text{ K)}$ ja ympäröivän ilman lämpötila $20 \text{ }^\circ\text{C}$; putken pintalämpötila (ja täten myös ripojen tyvilämpötila) on $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Ripamateriaalin lämmönjohtavuus on 50 W/(m K) . Ripojen kärjet voidaan käsitellä eristettyinä.

(a) Määritä lämpövirta yhden rivin kautta (laske putken pituusmetriä kohden).

(b) Montako ripaa vähintään tarvitaan, jos lämpövirta halutaan kolminkertaistaa ripojen avulla verrattuna tilanteeseen, jossa ripoja ei ole lainkaan?

