

Tampereen teknillinen yliopisto

KEB-40100 LÄMPÖTEKNIikka

Välikoe 2 ja tentti 18.12.2018 / Seppo Syrjälä

Sallittu kirjallisuus: jaettava kaavakokoelma

Palauta kaavakokoelma tentin jälkeen; älä tee siihen merkintöjä

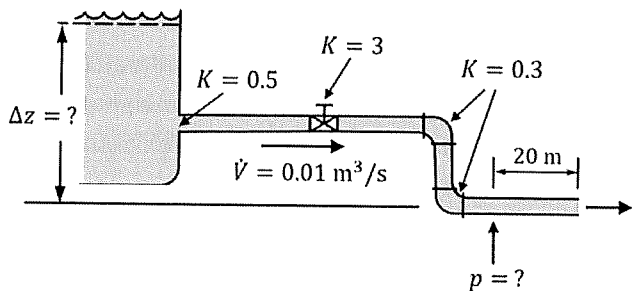
Ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu

Välikoe 2: tehtävät 1-5

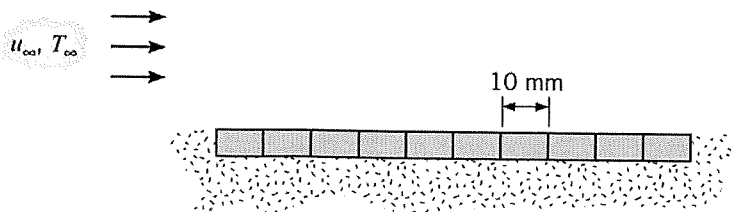
Tentti: tehtävät 3-7

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

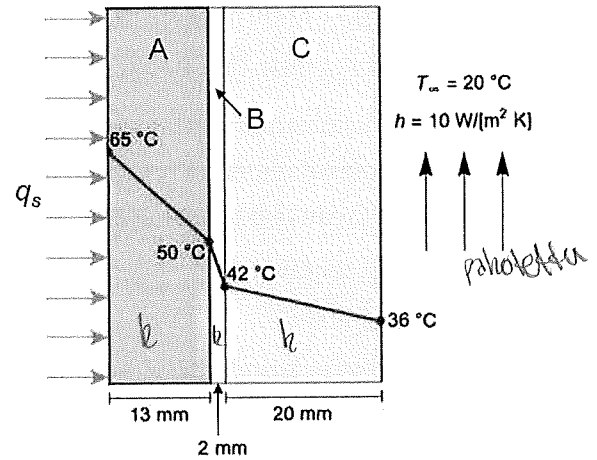
1. Kuvan mukaisesti säiliöstä virtaa vettä sileän putken läpi $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$. Putken halkaisija on 90 mm ja kokonaispituus 140 m . Kertavastukset on annettu kuvassa. Vedelle $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ja $\mu = 0.0014 \text{ Ns/m}^2$.



- (a) Määritä paine kohdassa 20 m ennen ulosvirtausta. Ulosvirtaus tapahtuu normaaliin ilmakehän paineeseen (100 kPa).
- (b) Määritä paljonko korkeammalla on avoimen säiliön nestepinta verrattuna ulosvirtauskohtaan (kuvassa Δz).
2. Lämpöä kehittäviä $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ siruja (chippejä) on asennettu vierekkäin neliön muotoiseen tasolevyyn, jonka koko on $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$. Jokainen siru tuottaa saman määrän lämpöä ja tämän seurauksena lämpövirran tiheys levyssä \approx vakio. Levyä jäähdytetään ilmavirtauksella, jonka nopeus $U_\infty = 40 \text{ m/s}$ ja lämpötila $T_\infty = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Levyn alapinta on eristetty. Ilmalle $\nu = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $k = 0.027 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$, $\text{Pr} = 0.7$.
- (a) Paljonko yksi siru voi korkeintaan tuottaa lämpöä, kun sallittu maksimilämpötila levyssä on $80 \text{ }^\circ\text{C}$? Oleta laminaari virtaus.
- (b) Mikä on lämpövirta levyistä, jos levyn pintalämpötila onkin vakio, $T_s = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, ja virtaus on turbulenti koko levyn matkalta?



3. Kuvan mukainen seinämä muodostuu kolmesta kerroksesta (A, B ja C), joiden paksuudet ovat 13 mm, 2 mm ja 20 mm. Seinämän vasempaan reunaan kohdistuu lämpövirran tiheys, q_s . Oikealta reunalta lämpö siirtyy ympäristöön konvektiolla: lämmönsiirtokerroin $h = 10 \text{ W/m}^2$ ja ympäristön lämpötila $T_\infty = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämpötilajakauma seinämän yli sekä rajapintojen lämpötilat on annettu kuvassa. Tilanne on stationääri ja johtuminen 1-ulotteista (lämpötila muuttuu vain paksuussuunnassa).

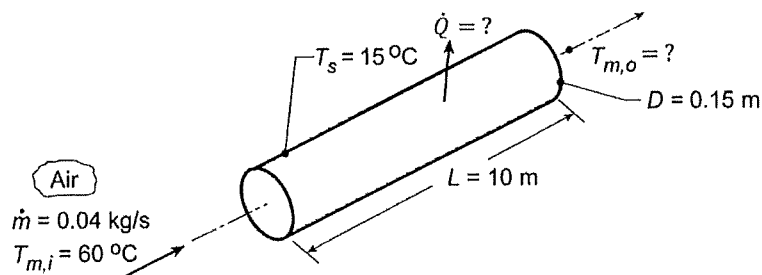


- (a) Määritä eri kerrosten, A, B ja C, lämmönjohtavuudet.
- (b) Jos keskimmäisen kerroksen paksuutta kasvatetaan kolminkertaiseksi (2 mm \rightarrow 6 mm) niin miten muuttuu lämpövirta seinämän yli? Entä miten muuttuu vasemman reunan lämpötila (alunperin 65 $^\circ\text{C}$)?
- (c) Määritä lämpövirran tiheys oikealta reunalta ympäristöön, jos lämpö siirtyy konvektion lisäksi myös säteilemällä (pinnan emissiviteetti $\varepsilon = 0.8$). Pinnan ja ympäristön lämpötilat pysyvät ennallaan, 36 $^\circ\text{C}$ ja 20 $^\circ\text{C}$ (myöskään h ei muutu).

4. Ilmaa, massavirta 0.04 kg/s ja alkulämpötila 60 $^\circ\text{C}$, jäädytetään putkessa kuvan mukaisesti. Putken pintalämpötila on vakio, $T_s = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, putken pituus on 10 m ja sisähalkaisija 0.15 m.

- (a) Mikä on lämmönsiirtokerroin putkessa?
- (b) Mihin keskilämpötilaan, $T_{m,o}$, ilma jäähtyy putkessa?
- (c) Mikä on lämpövirta ilmasta, \dot{Q} ?

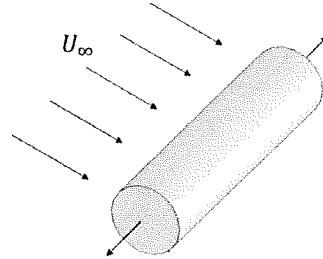
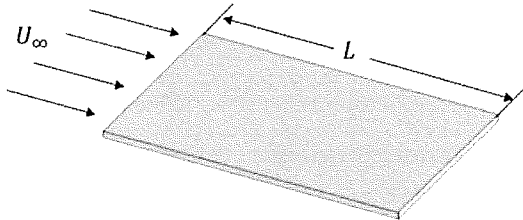
Ilmalle $\nu = 1.6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho = 1.16 \text{ kg/m}^3$, $k = 0.026 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$, $c_p = 1007 \text{ J/(kg }^\circ\text{C)}$, $\text{Pr} = 0.7$



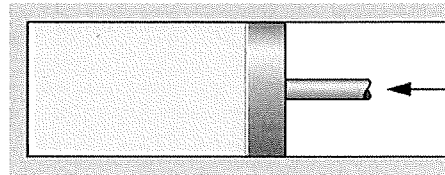
5. Tasolevyn (pituus $L = 2 \text{ m}$, leveys 1 m) ohi virtaa ilmaa molemmilta puolilta nopeudella $U_\infty = 7.5 \text{ m/s}$. Ilmalle $\nu = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$.

- (a) Määritä voima, jonka virtaus aiheuttaa levyyntä. Oleta laminaari virtaus koko levyn matkalla.
- (b) Oletus, että virtaus on laminaari koko levyn matkalla, ei pidä paikkaansa todellisuudessa; miksi näin? Hahmottele, miten kitkakerroin todellisuudessa muuttuu levyn pinnalla (ei tarvitse laskea mitään).

- (c) Ilmavirtauksessa onkin pyöreä lanka, jonka halkaisija on 2 mm; kaikki muut arvot ovat samat kuin edellä. Mikä pitää olla langan pituus, jotta virtauksesta kohdistuisi siihen sama voima kuin edellä levyyn (jos et saanut edellä laskettua voimaa, käytä tässä arvoa $F = 1 \text{ N}$).



6. Säiliössä on kuivaa ilmaa. Alkutilanteessa säiliön tilavuus $V = 1 \text{ m}^3$ ilman paineen ja lämpötilan ollessa: $p = 100 \text{ kPa}$ ja $T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$.



- (a) Säiliössä olevaa ilmaa puristetaan isentrooppisesti ($s = \text{vakio}$) siten, että ilman loppupaine on 300 kPa . Laske puristuksen jälkeiset T ja V .

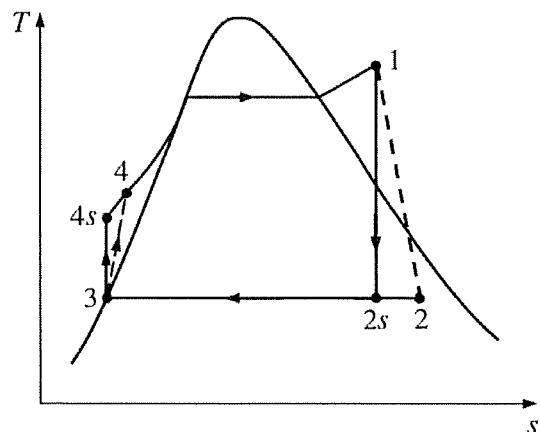
- (b) Määritä puristuksessa tehty työ.

- (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 55 % 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: $M = 18.01 \text{ kg/kmol}$.

7. Kuva esittää yksinkertaista voimalaitosprosessia lämpötila-entropia (T - s) -tasossa. Vesihöyryn massavirta on 15 kg/s . Prosessista tunnetaan seuraavat arvot: $p_1 = 3 \text{ MPa}$, $T_1 = 450 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_2 = 20 \text{ kPa}$. Isentrooppinen hyötysuhde on turbiinille 86 % ja pumpulle 80 %. Pisteessä 3 vesi on kylläistä nestettä.



- (a) Määritä entalpiat h_1 , h_{2s} , h_3 ja h_4 .

- (b) Määritä lämpötilat T_2 ja T_3 sekä höyrypitoisuus x_2 .

- (c) Lauhduttamiseen on käytettävissä 15 asteista vettä lähellä olevasta järvestä. Mikä on veden lämpötila lauhduttimen jälkeen, kun sen massavirta on 400 kg/s . Vedelle $c = 4180 \text{ J/(kg K)}$.

