



25300 LÄMMÖNSIIRRON PERUSTEET

Tentti 2.2.2004

Tentissä saa käyttää kirjallisuutta ja esimerkkejä vapaasti.

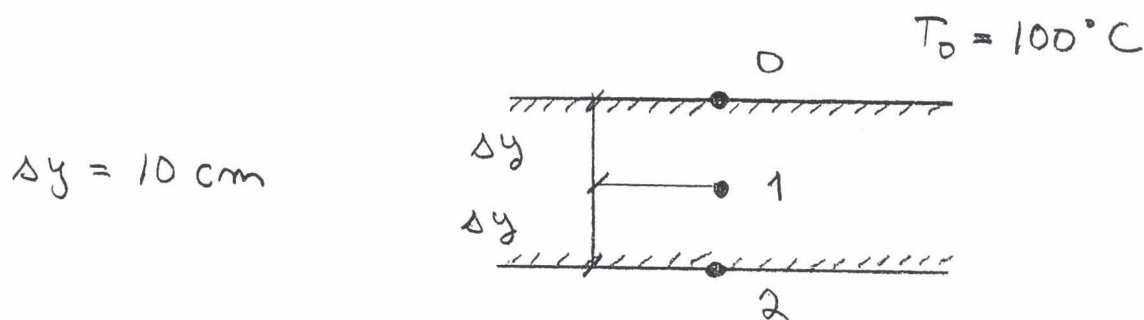
1. Kinkun massa on 10 kg ja kinkku oletetaan muodoltaan palloksi. Kinkku paistetaan uunissa, jonka lämpötila on 150 °C. Kinkun alkulämpötila on kauttaaltaan 20 °C ja kinkkua paistetaan niin kauan, että keskipisteen lämpötila on noussut arvoon 80 °C. Laske kinkun paistoaika käyttäen kuvan C.1c käyrästä. Jos haluat, voit ratkaista tehtävän myös käyttäen sarjaratkaisua.

Tehollinen lämmönsiirtokerroin uunin ilman ja kinkun pinnan välillä on 10 W/Km<sup>2</sup>. Kinkun tiheys on 1100 kg/m<sup>3</sup>, ominaislämpö 3500 J/kgK ja terminen diffusiviteetti 0,12 · 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

2. Laske implisiittisellä differenssimenetelmällä kuvan mukaisen yksiulotteisen levyn pisteen 1 lämpötila 2,5 minuutin ja 5 minuutin kuluttua siitä, kun levyssä alkaa kehittyä lämpöteho/tilavuus 1 MW/m<sup>3</sup>. Levyn yläreunan (piste 0) lämpötila pidetään jäähdytyksellä koko ajan vakiolämpötilassa 100 °C ja alapinnan (piste 2) lämpötila nousee vakionopeudella 10 K minuutissa.

Pisteiden 1 ja 2 alkulämpötilat ovat 20 °C. Solmuväli on 10 cm ja aika-askel 2,5 minuuttia. Materiaalin lämmönjohtavuus on 50 W/Km, tiheys 7500 kg/m<sup>3</sup> ja ominaislämpö 500 J/kgK.

Ohje: Tehtävän ratkaisemiseksi pisteelle 1 täytyy kirjoittaa implisiittinen differenssiyhtälö. Muokkaa pisteen 1 energiataseyhtälön kertoimet dimensiottomiksi niin, että kertoimiin tulee mukaan Fourierin luku.

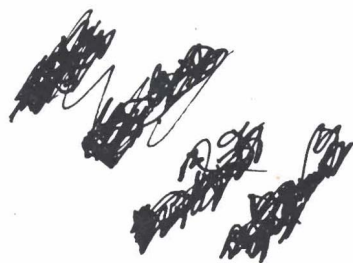


$\Delta y = 10 \text{ cm}$

$$T_2(t) = T_2(0) + \dot{T}_2 t$$

$$\dot{T}_2 = 10 \text{ K/min}$$

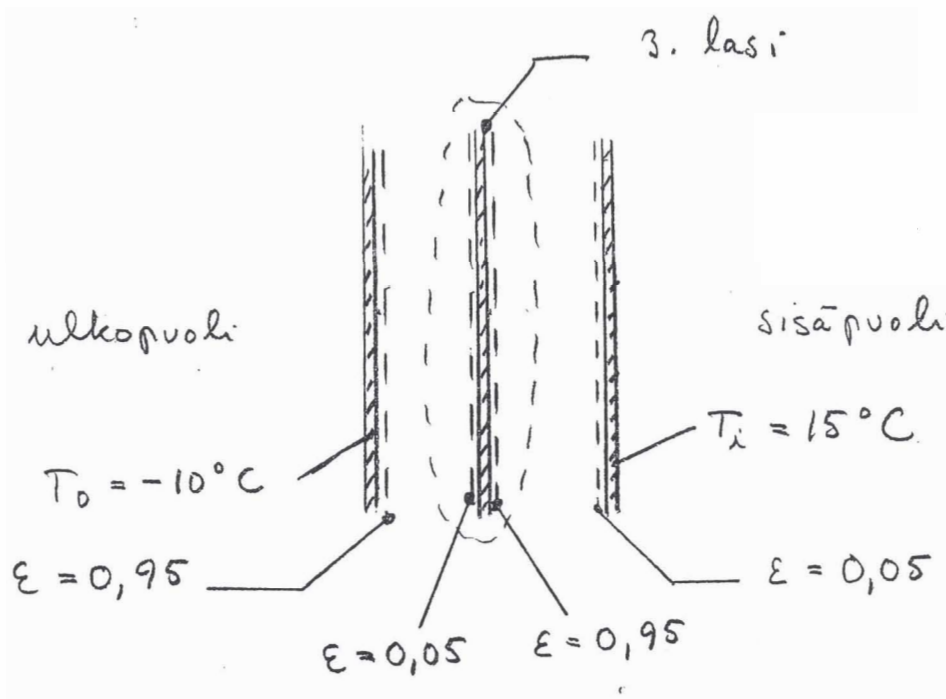
$$\frac{w/\text{cm}^2 \cdot \text{m}}{\text{m}^2/\text{s} \cdot \text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{J}/\text{kgK}}$$



3. Laske säteilylämpövirta 2-lasisen ikkunan sisälasista ulkolasiin seuraavilla tiedoilla: Lasipinta-ala  $2 \text{ m}^2$ , sisälasin lämpötila  $15 \text{ °C}$ , ulkolasin  $-10 \text{ °C}$ , sisälasin emissiviteetti  $0,05$  ja ulkolasin emissiviteetti  $0,95$ . Stefan-Boltzmannin vakio on  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{K}^4 \text{ m}^2)$ . Laske myös lasivälin säteilyn lämmönsiirtokerroin.

Jos lasiväliin laitetaan kolmas lasi, jonka sisäpuolen emissiviteetti on  $0,95$  ja ulkopuolen  $0,05$  ja sisä- ja ulkolasin lämpötilat ovat samat kuin edellä, mikä on tällöin säteilylämpövirta sisälasista ulkolasiin.

*Konvektiivista lämmönsiirtoa ei tarkastella tehtävässä.*



4. Lämpötilassa  $200 \text{ °C}$  olevaa höyryä käytetään öljyn lämmittämiseen lämmönsiirtimessä. Höyryn massavirta on  $0,051 \text{ kg/s}$  ja höyrystymislämpö ko. lämpötilassa  $1950 \text{ kJ/kg}$ . Öljyn tulolämpötila on  $10 \text{ °C}$  ja tilavuusvirta  $0,00126 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Laske lämmönsiirtimen tehokkuus (effectiveness),  $N_{tu}$ -luku (Number of Transfer Units) siirtyvä teho ja lämpöpinnan ala. Tarkista tuloksen oikeellisuus laskemalla teho kaikilla kolmella eri tavalla (höyryn luovuttama teho, öljyn vastaanottama teho, lämpöpinnan läpi siirtyvä teho).

Öljyn tiheys  $880 \text{ kg/m}^3$  ja ominaislämpö  $1800 \text{ J}/(\text{kgK})$ .

- b. Kaksilasisen ikkunan lasiosan lämmönsiirtovastukset pinta-alaa kohti ovat seuraavat: sisäpinnan lämmönsiirtovastus on  $R_i = 0,15 \text{ Km}^2/\text{W}$ , ulkopinnan lämmönsiirtovastus  $R_o = 0,05 \text{ Km}^2/\text{W}$ , lasivälin konvektion lämmönsiirtovastus  $R_c = 0,50 \text{ Km}^2/\text{W}$  ja lasivälin säteilyn lämmönsiirtovastus  $R_r = 0,20 \text{ Km}^2/\text{W}$ . Puitteen ja karmin puuosan lämmönsiirtovastus on  $R_f = 0,6 \text{ Km}^2/\text{W}$  ja niiden sisä- ja ulkopinnan lämmönsiirtovastukset ovat samat kuin lasiosassakin.

Lasiosan pinta-ala on  $1,2 \text{ m}^2$  ja puitteen ja karmin pinta-ala  $0,2 \text{ m}^2$ .

Esitä tapauksen vastusverkko ja laske koko ikkunan (lasiosa ja puitteet ja karmi) kokonaislämpövastus. Mikä on ikkunan läpi siirtyvä teho, kun sisälämpötila on  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ja ulkolämpötila  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

