

1. 9 pistettä

Kylmäainehöyrystin jonka teho on 30 kW tehdään 20:stä vaakasuorasta kupariputkesta, joiden sisähalkaisija on 13 mm ja ulkohalkaisija 15 mm. Kylmäaineena on R134a joka virtaa höyrystimeen 2°C:n lämpötilassa höyrypitoisuuden ollessa  $x = 0,2$ . Höyrystimessä tapahtuu täydellinen höyrystyminen jolloin höyrypitoisuus höyrystimen lopussa on  $x = 1$ . Höyrystimen vaippapuolella lämmönlähteenä olevan veden tilavuusvirta on 0,002 m<sup>3</sup>/s ja virtauksen poikittais- ja pitkittäisvirtausten pinta-alojen geometrinen keskiarvo  $\sqrt{A_q A_l} = 0,004 \text{ m}^2$ . Veden tulolämpötila on 12°C. Mikä on höyrystimessä tarvittava kylmäainemassavirta ja putkien pituus?

Ohje: Kylmäaineen lämmönsiirtokertoimen voi laskea joko Bo Pierren korrelaatiosta (kaava 11 monisteen sivulla 325) tai Gungor&Wintertonin mukaan käyttämällä vain yhtä keskimääräistä höyrypitoisuutta  $x = 0,6$ .

2. 9 pistettä

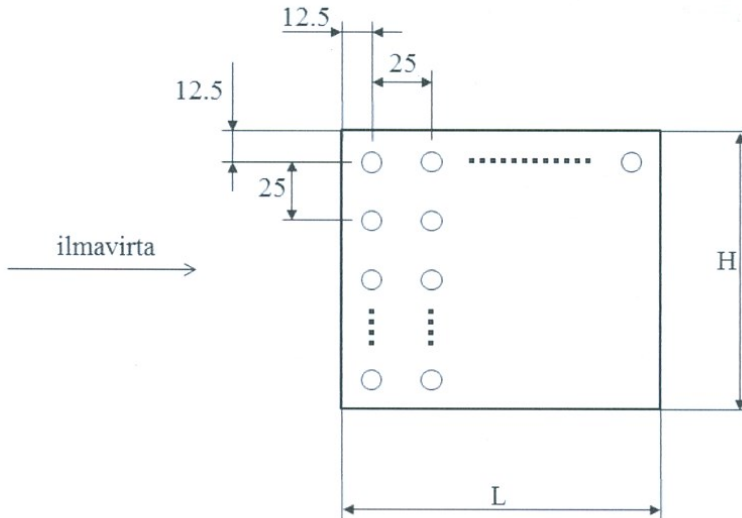
Tarkastellaan sellaisen lamellipatterin mitoitusta, jossa vesi lämmittää kuivan ilmavirran. Ilman sisääntulolämpötila on 20°C, poistumislämpötila 28°C ja tilavuusvirta sisääntulossa 1,0 m<sup>3</sup>/s. Veden sisääntulolämpötila on 40°C ja poistumislämpötila 30°C. Molemmat ainevirrat ovat likimain normaali-ilmanpaineessa.

Putket ovat kuparia, putkikoko 10 mm / 7 mm. Lamellit on tehty sileästä alumiinilevystä, m jonka paksuus on  $\delta = 0.5$  mm. Ripahyötysuhteeksi arvioidaan  $\eta_r = 0.85$ .

Lamellijako (lamellin keskeltä keskelle) on 3 mm. Alla oleva kuva esittää lämmönsiirrintä sivusta katsottuna. Putkijako sekä pysty- että vaakasuunnassa ilmenee kuvasta (mitat millimetreinä).

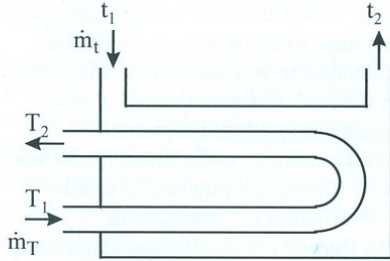
Otsapintanopeuden pitää olla suunnilleen 5 m/s ja veden nopeuden putkissa lähellä arvoa 1 m/s. Ulkopuoliselle lämmönsiirtokertoimelle pätee likimain  $\alpha_{out} = 25\sqrt{w}$  W/m<sup>2</sup>K, missä w = otsapintanopeus yksikössä m/s.

- Laske kuinka moneen rinnakkaiseen putkeen (n) vesivirta täytyy jakaa.
- Laske otsamitat: Korkeus H ja leveys W.
- Laske tarvittava putkien kokonaislukumäärä (yhden putken pituus on W).
- Laske lämmönsiirrintimen pituus L.
- Veden sisääntulolämpötila muutetaan arvoon 60°C, jolloin molemmat poistumislämpötilat muuttuvat. Ilman sisääntulolämpötila, samoin kuin molemmat massavirrat, pysyvät vakioina. Laske uusi ilman poistumislämpötila.



3. 6 pistettä

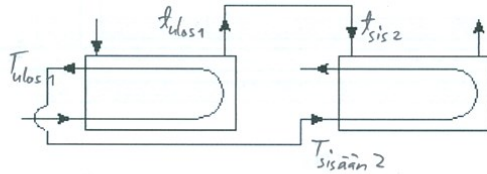
Prosessiveden lämmön talteenotto on toteutettu alla olevan kuvan mukaisella lämmönsiirtimellä, jonka diagrammi on liitteenä:



$$T_1 = 50^\circ\text{C}, T_2 = 26^\circ\text{C}, \dot{m}_T = 2 \text{ kg/s (vesivirta)}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}, \dot{m}_t = 2,5 \text{ kg/s (vesivirta)} \quad \epsilon = ?$$

- a) Mitkä ovat lämmönsiirtimen rekuperaatioaste  $\epsilon$  ja konduktanssi  $G$  liitteenä olevan diagrammin mukaan?
- b) Yhden lämmönsiirtimen sijasta harkitaan käytettäväksi allaolevan kuvan kaltaista sarjaankytkentää, jossa alkuperäinen lämmönsiirrin korvataan kahdella pienemmällä identtisellä elementillä siten että kokonaislämmönsiirtopinta-ala pysyy samana (kuva alla). Laske sarjaankytkennän rekuperaatioaste.



- c) b)-kohdan sarjaankytkennässä molemmat vesivirrat kaksinkertaistetaan mutta sisäänmenolämpötilat pysyvät samoina kuin aikaisemmin. Laske uudet ulostulolämpötilat, kun oletetaan että sarjaankytkennän konduktanssi pysyy vakiona.

4. 6 pistettä

Likaisen veden aiheuttaman likakerroksen lämpövastus ilmoitetaan yleensä lausekkeen  $\delta_k/\lambda_k$  arvona ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ), missä  $\delta_k$  = likakerroksen paksuus ja  $\lambda_k$  = likakerroksen lämmönjohtavuus. Siinä on siis oletettu likakerros niin ohueksi että sitä voidaan pitää likimain tasomaisena, vaikka se olisi putken seinämässä. Likakerroksen lämpövastusta voidaan mitata esimerkiksi kuvan mukaisella kahdesta sisäkkäisestä teräsputkesta tehdyllä lämmönsiirtimellä, jossa likainen vesi johdetaan sisempään putkeen siten että sisemmän putken sisäpinnalle muodostuu likakerros. Ulomman putken ulostulolämpötila mitataan ensin ilman likakerrosta ja sitten uudelleen likakerroksen muodostumisen jälkeen. Ulompaan putkeen johdetaan puhdasta vettä ja sisemmän putken sisäpinnalla ei ole alkutilanteessa likakerrosta. Kuvassa on lämmönsiirtimen mitat (mm), tilavuusvirrat (litraa/s) ja sisäänmenolämpötilat. Tilavuusvirrat ja sisäänmenolämpötilat pidetään vakioina. Ulomman putken ulostulolämpötila  $T_{u,out}$  ennen likakerroksen muodostumista on  $52,2^\circ\text{C}$  ja likakerroksen muodostumisen jälkeen  $53,0^\circ\text{C}$ .

- a) Laske likakerroksen konduktanssi ( $\text{W}/\text{K}$ ).  $G$   
 b) Laske likakerroksen lämpövastus  $\delta_k/\lambda_k$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ).

