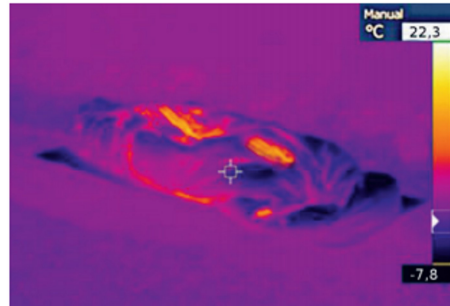


## Ratkaisut löytyvät tehtävien alapuolelta

3. a) Makuupussien lämmöneristävyyttä testattiin seuraamalla arkkupakastimessa olevan makuupussin sisälämpötilaa. Pussin sisään laitettiin keveissä muoviasiastioissa 45,0 litraa vettä. Veden lämpötila oli aluksi 37,0 °C, ja pakastimen lämpötila oli kokeen ajan -10,0 °C. Tasan tunnin kuluttua veden lämpötila oli 35,8 °C. Kuinka paljon energiaa vesi oli menettänyt?

b) Oletetaan, että a-kohdassa lämpöä siirtyi vakionopeudella makuupussista ympäristöön. Kuinka suurella teholla vettä pitäisi lämmittää, että vesi pysyisi 37,0 °C:n lämpöisenä makuupussin sisällä?

c) Makuupussien rakenteellisia eroja tutkittiin ottamalla ulkona pakkasessa olevista makuupusseista lämpökamerakuvia. Makuupussin sisällä oli koehenkilö. Miksi vetoketju on lämpimin kohta makuupussin pinnalla?



<[http://www.sll.fi/luonnonsuojelija/lehtiarkisto/2013/6-1013/copy\\_of\\_milletkk.JPG](http://www.sll.fi/luonnonsuojelija/lehtiarkisto/2013/6-1013/copy_of_milletkk.JPG)>. Luettu 20.1.2014. (muokattu)

K15

3. Matti valmistaa mökkiolosuhteissa tiskivettä. Aluksi hän hakee sangolla 6,0 litraa järvivettä, jonka lämpötila on 19 °C. Hän ottaa sangosta 1,2 litraa vettä ja lämmittää sen vedenkeittimellä lämpötilaan 95 °C. Keittimessä veden lämmitysaika on 230 s. Vedenkeittimen arvokilvessä ilmoitetaan vedenkeittimen tehoksi 2,0 kW.

a) Laske vedenkeittimen hyötysuhde. Lämmönvaihtoa ympäristön kanssa ei oteta huomioon.

b) Matti kaataa kuuman veden takaisin sankoon ja sekoittaa. Kuinka suuri on tiskiveden loppulämpötila?

S15

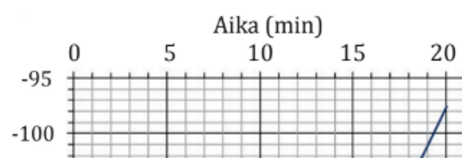
3. Kylpytynnyri täytetään juuri ennen lämmitystä pumppaamalla siihen 2 000 litraa 6 °C lämpötilassa olevaa kaivovettä. Kylpytynnyrin tulipesän teho on 30 kW. Lämmitykseen käytetään kuivia puuhalkoja, joiden lämpöarvo on 18 MJ/kg. Kuivan puun tiheys on 520 kg/m<sup>3</sup>.

a) Kuinka kauan kestää veden lämmitys 38 °C käyttölämpötilaan täydellä teholla, kun lämpöhäviöt lämmityksen aikana ovat keskimäärin 25 % lämmitystehosta? (4 p.)

b) Puun palamisessa syntyy noin 1 000 kg hiilidioksidia yhtä puukuutiometriä kohti. Kuinka paljon hiilidioksidia (kg) syntyy kylpytynnyrin veden lämmityksestä yhden tunnin aikana? (2 p.)

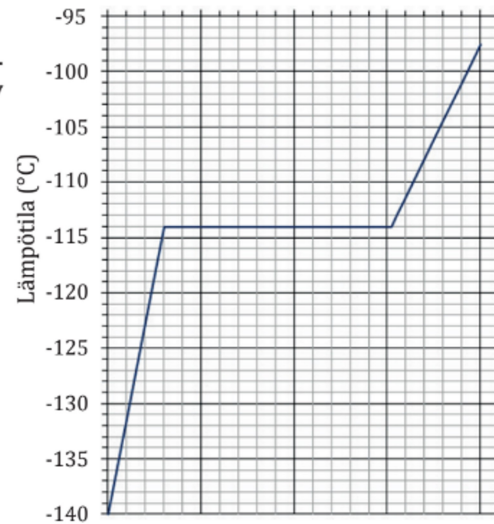
S16

3. Kylmää kiinteää kappaletta, jonka massa on 0,394 kg, aletaan lämmittää 55,0 W vakioteholla. Kappaleen lämpötila ajan funktiona on esitetty



3. Kylmää kiinteää kappaletta, jonka massa on 0,394 kg, aletaan lämmittää 55,0 W vakio teholla. Kappaleen lämpötila ajan funktiona on esitetty kuvassa.

- Jonkin ajan kuluttua lämmityksen aloittamisesta aine, josta kappale muodostuu, alkaa sulaa. Missä lämpötilassa tämä tapahtuu? (1 p.)
- Määritä aineen ominaislämpökuvaajan avulla. (2 p.)
- Määritä aineen ominaislämpökapasiteetti nesteinä. (2 p.)
- Mikä aine on kyseessä? (1 p.)



S17

K18

3. Kattilassa on 1,2 litraa kasviskeittoa. Keitto jäähdytetään jäävesiseoksessa, jonka lämpötila pysyy vakiona jäähtymisen ajan. Keiton lämpötilan muutosta tarkkaillaan jäähtymisen aikana. Havaitaan, että keiton alkulämpötila on 65,0 °C, ja se jäähtyy 25 minuutissa 8,0 °C:n lämpötilaan. Keiton voidaan olettaa olevan kokonaan vettä.
- Kuinka suuri on keskimääräinen teho, jolla keitto jäähtyy lämpötilan tarkkailun aikana?
  - Hahmottele kuvaaja keiton lämpötilasta ajan funktiona tarkkailun aikana. Selitä lyhyesti piirtämäsi kuvaajan muoto.

**Ratkaisut:**

**Tehtävä 3**

K15

- a) Veden lämpötila laskee tunnin kuluessa 1,2 °C. Oletetaan, että veden tiheys on tasan 1 kg/L. Lämpötilan laskiessa vedestä ympäristöön siirtyvä lämpö on

$$Q = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 45,0 \text{ kg} \cdot (37,0 - 35,8)^\circ\text{C} = 226260 \text{ J} \approx 226 \text{ kJ} . \quad 2 \text{ p.}$$

- b) Jotta vesi pysyisi vakio­lämpötilassa, tunnin aikana veteen on siirrettävä  $Q$ :n verran lämpöä. Keskimääräinen lämmitysteho on

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{226260 \text{ J}}{3600 \text{ s}} = 62,85 \text{ W} \approx 62,9 \text{ W} . \quad 2 \text{ p.}$$

- c) Vetoketjun kohdalla eristävää materiaalia ei ole. Metallinen vetoketju johtaa hyvin lämpöä, ja sen lämpökapasiteetti on pieni, jolloin sen lämpötila nousee helposti lähelle makuupussin sisälämpötilaa. 2 p.

**Tehtävä 3**

S15

veden kokonaismassa:  $m_1 = 6,0 \text{ kg}$   
 lämmitettävän veden massa:  $m_2 = 1,2 \text{ kg}$   
 veden ominais­lämpö­kapasiteetti:  $c = 4190 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$  (pysyy vakiona)  
 veden alkulämpötila:  $T_1 = 19 \text{ }^\circ\text{C}$   
 veden loppulämpötila:  $T_2 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$   
 lämmitysaika:  $t = 230 \text{ s}$   
 vedenkeit­timen kokonaisteho:  $P_{\text{kok.}} = 2,0 \text{ kW}$

- a) Teho, joka veden lämmittämiseen tarvitaan:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{cm_2(T_2 - T_1)}{t} \quad 1 \text{ p.}$$

Vedenkeit­timen hyötysuhde:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{kok.}}} = \frac{cm_2(T_2 - T_1)}{P_{\text{kok.}}t} \quad 1 \text{ p.}$$

$$\eta = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot (95^\circ\text{C} - 19^\circ\text{C})}{2000 \text{ W} \cdot 230 \text{ s}} = 0,83071304 \approx 83 \% \quad 1 \text{ p.}$$

Vedenkeit­timen hyötysuhde on 83 %.

- b) Lämmin vesi luovuttaa lämpö­määrän  $Q_1$  ja kylmä vesi vastaanottaa lämpö­määrän  $Q_2$ . Kylmä vesi vastaanottaa yhtä paljon lämpöä kuin kuuma vesi luovuttaa. 1 p.  
 Merkitään yhteistä loppulämpötilaa  $T_x$ : llä.

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$c(m_1 - m_2)(T_x - T_1) + cm_2(T_x - T_2) = 0 \quad 1 \text{ p.}$$

Ratkaistaan yhtälö loppulämpötilan suhteen ja sijoitetaan annetut luku­arvot:

$$T_x = \frac{(m_1 - m_2)T_1 + m_2T_2}{m_1}$$

$$T_x = \frac{(6,0 \text{ kg} - 1,2 \text{ kg}) \cdot 19^\circ\text{C} + 1,2 \text{ kg} \cdot 95^\circ\text{C}}{6,0 \text{ kg}} = 34,2^\circ\text{C} \approx 34^\circ\text{C}$$

$$T_x = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2}$$

$$T_x = \frac{(6,0 \text{ kg} - 1,2 \text{ kg}) \cdot 19 \text{ }^\circ\text{C} + 1,2 \text{ kg} \cdot 95 \text{ }^\circ\text{C}}{6,0 \text{ kg}} = 34,2 \text{ }^\circ\text{C} \approx 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tiskiveden loppulämpötila sangossa on 34 °C.

1 p.

### Tehtävä 3

### S16

a) Kun veteen siirtyy lämpö  $Q_{vesi}$ , veden lämpötilan muutos on  $\Delta T$

$$Q_{vesi} = m_{vesi} c_{vesi} \Delta T.$$

1 p.

Tulipesän teho on  $P = 30 \text{ kW}$ , joten tulipesästä vapautuu lämpöä

$$Q_{puu} = Pt.$$

1 p.

Tulipesän luovuttamasta lämmöstä 25 % menee hukkaan, joten lämmityksen hyötysuhde on  $\eta = 0,75$ .

$$Q_{vesi} = \eta Q_{puu}$$

1 p.

$$m_{vesi} c_{vesi} \Delta T = \eta Pt$$

Veden lämmitykseen kuluva aika on

$$t = \frac{m_{vesi} c_{vesi} \Delta T}{\eta P} = \frac{2000 \text{ l} \cdot 1,0 \text{ kg/l} \cdot 4190 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \cdot (38 \text{ }^\circ\text{C} - 6 \text{ }^\circ\text{C})}{0,75 \cdot 30000 \text{ W}}$$

$$= 11918,2222 \dots \text{ s} = 3,310617 \text{ h} \approx 3 \text{ h}$$

1 p.

b) Kuivan puun tiheys  $\rho_{puu} = 520 \text{ kg/m}^3$

Kuivien halkojen lämpöarvo on  $H_{puu} = 18 \text{ MJ/kg}$

Puun poltossa vapautuu lämpöä  $Q_{puu} = Pt$ .

Lasketaan poltetun puun määrä:

$$H_{puu} = \frac{Q_{puu}}{m_{puu}} = \frac{Pt}{m_{puu}}$$

$$m_{puu} = \frac{Pt}{H_{puu}} = \frac{30000 \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s}}{18 \cdot 10^6 \text{ J/kg}} = 6,0 \text{ kg}$$

Poltetun puun tilavuus on

$$V_{puu} = \frac{m_{puu}}{\rho_{puu}}$$

1 p.

Syntyneen CO<sub>2</sub>:n massa on

$$m_{\text{CO}_2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot V_{puu} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{m_{puu}}{\rho_{puu}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{6,0 \text{ kg}}{520 \text{ kg/m}^3}$$



$$m_{\text{CO}_2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot V_{\text{puu}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{m_{\text{puu}}}{\rho_{\text{puu}}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{6,0 \text{ kg}}{520 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 11,54 \text{ kg} \approx 12 \text{ kg}$$

1 p.

### Tehtävä 3 S17

- a) Sulamisen aikana kappaleen lämpötila ei muutu. Luetaan sulamispiste kuvaajan tasaiselta osuudelta. Sulamispiste on  $-114,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

1 p.

- b) Sulamisen aikana kappaleeseen siirtynyt energia menee kokonaan kappaleen olomuodon muutokseen, kun oletetaan että lämpöhäviöt ovat merkityksettömiä.

$$Q = P \cdot \Delta t = sm$$

1 p.

Sulamiseen kulunut aika on  $\Delta t = 15,2 \text{ min} - 3,0 \text{ min} = 12,2 \text{ min}$ .

Aineen ominaissulamislämmöksi saadaan

$$s = \frac{P \cdot \Delta t}{m} = \frac{55,0 \text{ W} \cdot 12,2 \cdot 60 \text{ s}}{0,394 \text{ kg}} = 102182,7411 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \approx 102 \text{ kJ/kg.}$$

1 p.

- c) Nesteeseen siirtynyt energia menee kokonaan lämpötilan nostoon.

$$Q = P \cdot \Delta t = cm \cdot \Delta T$$

1 p.

Tarkastellaan nesteen lämpenemistä aikavälillä

$$\Delta t = 20,0 \text{ min} - 15,2 \text{ min} = 4,8 \text{ min.}$$

Nesteen lämpötilan muutos on  $\Delta T = -97,5 \text{ }^\circ\text{C} - (-114,0 \text{ }^\circ\text{C}) = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Aineen ominaislämpökapasiteetiksi saadaan

$$c = \frac{P \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta T} = \frac{55,0 \text{ W} \cdot 4,8 \cdot 60 \text{ s}}{0,394 \text{ kg} \cdot 16,5 \text{ }^\circ\text{C}} = 2436,548223 \text{ J/kg }^\circ\text{C} \approx 2,4 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C.}$$

1 p.

- d) Tuntematon aine voisi olla etanolia.

1 p.

Etanolin sulamispiste on  $-114 \text{ }^\circ\text{C}$ , ominaissulamislämpö  $102 \text{ kJ/kg}$  ja ominaislämpökapasiteetti nesteenä  $2,43 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$ .

**Tehtävä 3. K18**

- a) Keitolle voidaan käyttää veden ominaislämpökapasiteetin arvoa  $c = 4,2 \text{ kJ/kg K}$  ja tiheyden arvoa  $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$ .

Keitto luovuttaa jäävesiseokselle lämpöä jäähtymisen aikana. Keiton lämpötilan muutos tarkasteluvälillä on  $\Delta T = 8,0 \text{ }^\circ\text{C} - 65,0 \text{ }^\circ\text{C} = -57 \text{ }^\circ\text{C} = -57 \text{ K}$ .

$$Q = cm\Delta T = 4,2 \text{ kJ/kg K} \cdot 1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 1,2 \text{ dm}^3 \cdot (-57 \text{ K}) = -287,28 \text{ kJ}$$

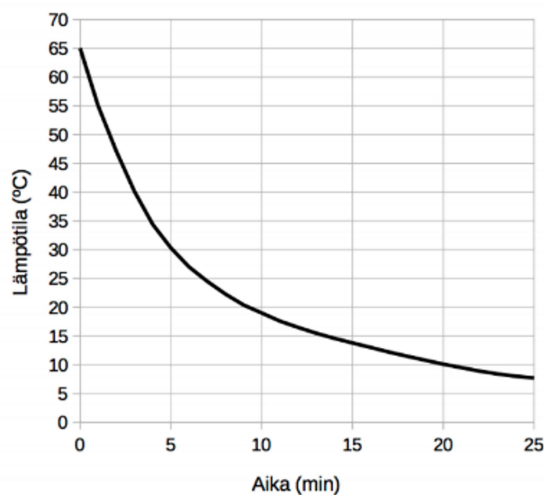
(1 p.)

Keitosta siirtyy tämän verran energiaa 25,0 minuutissa. Lasketaan keskimääräinen jäähtymisteho.

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{287,28 \text{ kJ}}{25,0 \cdot 60 \text{ s}} = 0,19152 \text{ kW} \approx 0,19 \text{ kW}$$

(2 p.)

- b) Keiton alku- ja loppulämpötila tiedetään. Jäävesiseoksen lämpötila on  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , ja se pysyy vakiona, koska jää sulaa vedessä. Jos jäähtymistä jatkettaisiin, keiton lämpötila lähestyisi jäävesiseoksen lämpötilaa. Jäähtyminen on aluksi nopeampaa, koska silloin keiton ja jäävesiseoksen lämpötilaero on suurimmillaan. Jäähtyminen kuitenkin hidastuu, kun keiton lämpötila alenee. Hahmotellaan jäähtymistä vastaava kuvaaja.



(3 p.)