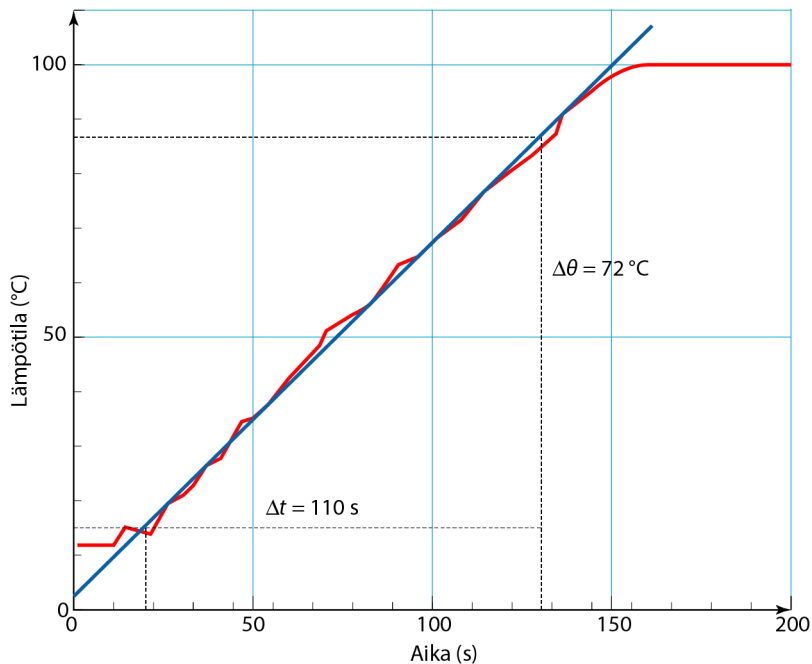


TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 9-1.** a) Ihminen on suurimmaksi osaksi vettä, joten ihmiskehon ominaislämpökapasiteetti on lähes yhtä suuri kuin veden. Tämän takia ympäristön lämpötilan muutokset eivät aiheuta nopeita kehon lämpötilan muutoksia. Sen takia esimerkiksi saunominen ja avantouinti ovat mahdollisia.
- b) Märkä hiekka lämpenee auringonpaisteessa hitaammin kuin kuiva, sillä märässä hiekassa olevan veden lämpötila kasvaa hitaasti veden suuren ominaislämpökapasiteetin takia.
- 9-2.** a) Ei ole totta. Lämpökapasiteetti on verrannollinen massaansa, joten alumiiniveneellä on suurempi lämpökapasiteetti kuin alumiinikattilalla.
- b) Totta.
- c) Ei ole totta. Lämpökapasiteetin yksikkö on 1 J/K .
- d) Totta.
- 9-3.** a) Käyrän alkupisteestä nähdään, että veden lämpötila mittauksen alussa oli noin $12 \text{ }^\circ\text{C}$.
- b) Vedenkeittimen sähkövastuksen luovuttama energia aikavälillä Δt on $Q_{\text{vastus}} = P\Delta t$, ja laitteiston vastaanottama energia on $Q_{\text{laitteisto}} = C\Delta\theta$, kun lämpötilan muutos on $\Delta\theta$. Jos lämpövuotoja ei ole, sähkövastuksen luovuttama energia on yhtä suuri kuin laitteiston vastaanottama energia eli $P\Delta t = C\Delta\theta$.
- Kuvaajan perusteella lämpötila kohoaa kiehumispisteeseen lähes tasaisesti lämmityksen aikana. Piirretään kuvioon suora, joka likimain kuvaa lämpötilan kohoamista.



Suoran fysikaalinen kulmakerroin on

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{72\text{ °C}}{110\text{ s}} \approx 0,655 \frac{\text{°C}}{\text{s}}.$$

Yhtälöstä $P\Delta t = C\Delta\theta$ saadaan laitteiston lämpökapasiteetiksi

$$C = \frac{P\Delta t}{\Delta\theta} = \frac{P}{\Delta\theta/\Delta t} = \frac{2200\text{ W}}{0,655\text{ °C/s}} \approx 3,4 \frac{\text{kJ}}{\text{°C}}.$$

Koko laitteiston lämpökapasiteetti on 3,4 kJ/°C.

- 9-4. a)** Veden lämpötilan muutos celsiusasteina on $\Delta t = 42\text{ °C} - 37\text{ °C} = 5\text{ °C}$ eli kelvineinä $\Delta T = 5\text{ K}$.

Elimistö saa energiaa lämpönä

$$Q = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 0,33\text{ kg} \cdot 5\text{ K} \approx 7\text{ kJ}.$$

- b)** Veden lämpötilan muutos celsiusasteina on

$$\Delta t = 37\text{ °C} - 10\text{ °C} = 27\text{ °C} \text{ eli kelvineinä } \Delta T = 27\text{ K}.$$

Elimistö luovuttaa energiaa lämpönä

$$Q = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 0,33 \text{ kg} \cdot 27 \text{ K} \approx 37 \text{ kJ}.$$

- 9-5.** Saavissa olevan veden lämpötilan muutos celsiusasteina on $\Delta t_1 = 37^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C} = 6^\circ\text{C}$ ja kelvineinä $\Delta T_1 = 6 \text{ K}$. Lisätyn veden lämpötilan muutos celsiusasteina on $\Delta t_2 = 55^\circ\text{C} - 37^\circ\text{C} = 18^\circ\text{C}$ ja kelvineinä $\Delta T_2 = 18 \text{ K}$. Kylmempään veteen sitoutuu yhtä suuri määrä energiaa kuin minkä kuumempi vesi luovuttaa, joten $Q_1 = Q_2$ eli $cm_1\Delta T_1 = cm_2\Delta T_2$. Lisättävän lämpimämmän veden massa on

$$m_2 = \frac{cm_1\Delta T_1}{c\Delta T_2} = \frac{m_1\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{25 \text{ kg} \cdot 6 \text{ K}}{18 \text{ K}} \approx 8 \text{ kg}.$$

- 9-6.** Teen massa on

$$m_{\text{tee}} = \rho V = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 0,200 \text{ kg}$$

ja sen ominaislämpökapasiteetti on sama kuin veden eli

$$c_{\text{vesi}} = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}).$$

Teelasin ominaislämpökapasiteetti on lasin ominaislämpökapasiteetti

$$c_{\text{lasi}} = 0,84 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}).$$

Merkitään $t_1 = 25^\circ\text{C}$ ja $t_2 = 95^\circ\text{C}$. Teen luovuttama energia on sama kuin teelasiin sitoutuva energia, joten

$$m_{\text{tee}} c_{\text{vesi}} (T_2 - T) = m_{\text{teelasi}} c_{\text{lasi}} (T - T_1) \text{ eli}$$

$$(m_{\text{teelasi}} c_{\text{lasi}} + m_{\text{tee}} c_{\text{vesi}}) T = T_1 m_{\text{teelasi}} c_{\text{lasi}} + T_2 m_{\text{tee}} c_{\text{vesi}}.$$

Tästä saadaan lämpötilalle T

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_1 m_{\text{teelasi}} c_{\text{lasi}} + T_2 m_{\text{tee}} c_{\text{vesi}}}{m_{\text{teelasi}} c_{\text{lasi}} + m_{\text{tee}} c_{\text{vesi}}} \\ &= \frac{(25 + 273,15) \text{ K} \cdot 0,150 \text{ kg} \cdot 840 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + (95 + 273,15) \text{ K} \cdot 0,200 \text{ kg} \cdot 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}{0,150 \text{ kg} \cdot 840 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + 0,200 \text{ kg} \cdot 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} \\ &= 359,001 \text{ K} \text{ eli } 85,85^\circ\text{C} \approx 86^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Vastaus b.

- 9-7. a) Veden lämpötilan muutos on celsiusasteina $\Delta t = 42\text{ °C} - 0\text{ °C} = 42\text{ °C}$ ja kelvineinä $\Delta T = 42\text{ K}$.

Lämmin vesi luovuttaa jäähtyessään energian

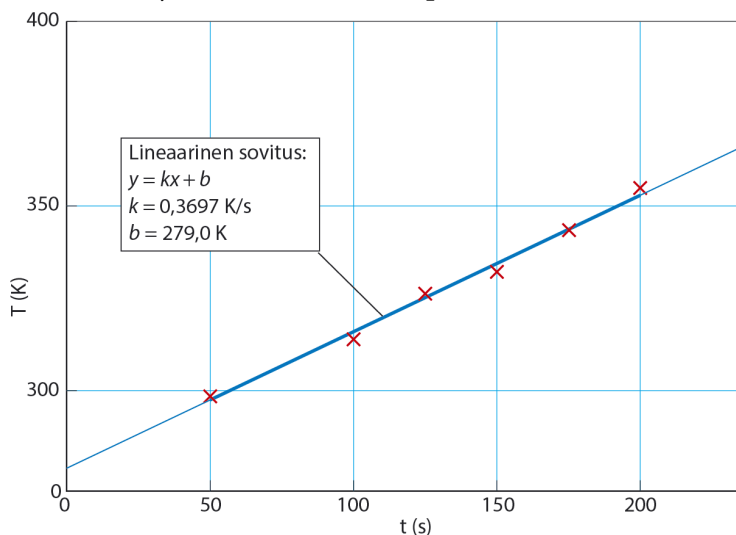
$$Q_1 = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,50 \text{ kg} \cdot 42 \text{ K} = 87,99 \text{ kJ} \approx 88 \text{ kJ}.$$

- b) Koska vesi luovuttaa nolla-asteiseksi muuttuessaan energiaa 88 kJ ja jään sulaminen vaatii $0,55 \text{ kg} \cdot 333 \text{ kJ/kg} = 166 \text{ kJ}$ energiaa, vedestä vapautuva energia ei riitä koko jäämassan sulattamiseen. Lopputuloksena on veden ja jään seos, jonka lämpötila on 0 °C .

- 9-8. Vedenkeittimen sähkövastus luovuttaa energiaa veteen teholla P_{anto} . Veden vastaanottama energia $Q_v = cm\Delta T$ on yhtä suuri kuin sähkövastuksen luovuttama energia $Q_{\text{sv}} = P_{\text{anto}}\Delta t$. Saadaan yhtälö $P_{\text{anto}}\Delta t = cm\Delta T$, josta lämmitystehoksi saadaan

$$P_{\text{anto}} = \frac{cm\Delta T}{\Delta t} = \frac{\Delta T}{\Delta t} cm.$$

Lämpötilan muutos celsiusasteina on yhtä suuri kuin muutos kelvineinä. Siirretään mittausarvot mittausohjelmaan (lämpötilat kelvineinä eli $\theta + 273,15$) ja sovitetaan mittauspisteisiin suora.



Mittausohjelma antaa suoran fysikaaliseksi kulmakertoimeksi

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} \approx 0,3697 \text{ K/s}.$$

Veden lämmitysteho on

$$P_{\text{anto}} = \frac{\Delta T}{\Delta t} cm = 0,3697 \frac{\text{K}}{\text{s}} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,000 \text{ kg} = 1,549 \text{ kW} \approx 1,5 \text{ kW}.$$

$$\text{Hyötysuhde on } \eta = \frac{P_{\text{tuotto}}}{P_{\text{otto}}} = \frac{1,549 \text{ kW}}{1,6 \text{ kW}} \approx 0,97.$$

Vedenkeittimen veden lämmitysteho 1,5 kW ja hyötysuhde 0,97 (97 %).