

# 10. Aineen lämpeneminen ja jäähtyminen

## Harjoittele

### Tehtävä 10.1.

- a) A
- b) B
- c) B
- d) C

## Tehtävä 10.2.

Lyijyn ominaislämpökapasiteetti  $c_{\text{Pb}} = 0,128 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$

Alumiinin ominaislämpökapasiteetti  $c_{\text{Al}} = 0,900 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$

Alumiinin ominaislämpökapasiteetti on suurempi kuin lyijyn eli alumiinin lämpenemiseen tarvitaan enemmän energiaa samanmassaiselle kappaleelle yhtä kelviniä kohden.

Lämpötila laskee molemmissa astioissa metallikappaleen vaikutuksesta. Lämpötila laskee kuitenkin enemmän astiassa, johon pudotetaan alumiinikappale.

### **Tehtävä 10.3.**

a) C

b) A

c) A

d) B

### Tehtävä 10.4.

Veden alkulämpötila  $T_1 = 16 \text{ °C}$

Veden loppulämpötila  $T_2 = 97,2 \text{ °C}$

Veden massa  $m = 3,5 \text{ kg}$

Veden ominaislämpökapasiteetti  $c = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

Veden lämpötilan muutos on

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 97,2 \text{ °C} - 16 \text{ °C} = 81,2 \text{ °C} = 81,2 \text{ K}.$$

Veden vastaanottama energia  $Q = cm\Delta T$

$$Q = cm\Delta T = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 3,5 \text{ kg} \cdot 81,2 \text{ K} = 1190798 \text{ J} \approx 1,2 \text{ MJ}.$$

### **Tehtävä 10.5.**

Mikroaaltouunin teho  $P = 820 \text{ W}$

Lämmitysaika  $t = 2,4 \text{ min} = 144 \text{ s}$ .

Mikroaaltouunin lämmitystehon avulla saadaan ruuan vastaanottama energia

$$Q = Pt = 820 \text{ W} \cdot 168 \text{ s} = 118\,080 \text{ J} \approx 120 \text{ kJ}.$$

## Tehtävä 10.6.

Rautanaulan massa  $m = 9,2 \text{ g} = 0,0092 \text{ kg}$

Lämmitysaika  $t = 56 \text{ s}$

Lämpötilan muutos  $\Delta T = 430 \text{ °C}$

Raudan ominaislämpökapasiteetti  $c = 450 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

Kaasupoltin lämmittää rautanaulaa teholla  $P$ , jolloin kaasupolttimen rautanaulalle luovuttama energia on yhtä suuri kuin rautanaulan vastaanottama energia

$$Q_{\text{poltin}} = Q_{\text{naula}}$$

$$Pt = cm\Delta T$$

Kaasupolttimen lämmitysteho

$$P = \frac{cm\Delta T}{t} = \frac{450 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,0092 \text{ kg} \cdot 430 \text{ K}}{56 \text{ s}} = 31,789 \text{ W} \approx 32 \text{ W}.$$

## Tehtävä 10.7.

Teejuoma on pääasiassa vettä.

Veden tilavuus  $V = 2,2 \text{ dl}$

Veden alkulämpötila  $T_1 = 64,6 \text{ °C}$

Veden loppulämpötila  $T_2 = 36,7 \text{ °C}$

Veden tiheys  $\rho = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$

Veden lämpötilan muutos

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 64,6 \text{ °C} - 36,7 \text{ °C} = 27,9 \text{ °C}.$$

Veden jäähtyessään luovuttama energia on yhtä suuri kuin ihmisen elimistön vastaanottama energia

$$Q_{\text{vesi}} = Q_{\text{ihminen}}$$

$$Q_{\text{ihminen}} = cm\Delta T$$

$$Q_{\text{ihminen}} = cm\Delta T = c\rho V\Delta T$$

$$= 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 0,22 \text{ l} \cdot 27,9 \text{ K}$$

$$= 25\,718,22 \text{ J} \approx 26 \text{ kJ}.$$

## Tehtävä 10.8.

Aineen luovuttama tai sitoma energia  $Q = cm\Delta T$ , josta ominaislämpökapasiteetiksi saadaan

$c = \frac{Q}{m\Delta T}$ . Ominaislämpökapasiteetin yksikkö on

$$[c] = \frac{[Q]}{[m][\Delta T]} = \frac{\text{J}}{\text{kgK}}.$$



## Tehtävä 10.9.

Valuraudan ominaislämpökapasiteetti  $c = 0,46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

Paistinpannun massa  $m = 2,6 \text{ kg}$

Paistinpannun lämpökapasiteetti

$$C = cm = 0,46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 2,6 \text{ kg} = 1,196 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \approx 1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

Paistinpannun lämpökapasiteetti on 1,2 kJ/K.

## **Tehtävä 10.10.**

- a) Keraaminen uunipata jäähtyy hitaasti, koska sen lämpökapasiteetti on suuri.
- b) Veden ominaislämpökapasiteetti on suuri. Siksi myös ihmisen lämpökapasiteetti on suuri. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpötilan muutoksiin tarvitaan paljon luovutettua tai vastaanotettua energiaa.
- c) Kirsikkatomaateilla on suurempi lämpökapasiteetti kuin pastalla. Tämä johtuu siitä, että kirsikkatomaatit koostuvat pääosin vedestä. Pasta ja kirsikkatomaatit ovat aluksi samassa lämpötilassa, mutta korkeamman lämpökapasiteetin vuoksi kirsikkatomaatit jäähtyvät hitaammin.

# Sovella

## Tehtävä 10.11.

a) Ketjun massa  $m = 522 \text{ g}$

Ketjun tilavuus on  $V = 73 \text{ ml}$

Ketjun massan ja tilavuuden avulla pystyy määrittämään ketjussa olevan aineen tiheyden. Aineen tiheys on

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{522 \text{ g}}{73 \text{ ml}} = 7,15068 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \approx 7,15 \frac{\text{g}}{\text{ml}}.$$

b) Koska ketju on ollut pitkään kiehuva vedessä, on ketjun lämpötila alussa  $T_{1,a} = 100 \text{ °C}$

Ketjun lämpötila lopussa  $T_{1,l} = 30,4 \text{ °C}$

Veden lämpötila alussa  $T_{2,a} = 22,0 \text{ °C}$

Veden lämpötila lopussa  $T_{2,l} = 30,4 \text{ °C}$

Ketjun lämpötilan muutos

$$\Delta T_1 = T_{1,a} - T_{1,l} = 100 \text{ °C} - 30,4 \text{ °C} = 69,6 \text{ °C}$$

Veden lämpötilan muutos

$$\Delta T_2 = T_{2,l} - T_{2,a} = 30,4 \text{ °C} - 22,0 \text{ °C} = 8,4 \text{ °C}$$

Ketjun massa  $m_1 = 522 \text{ g} = 0,522 \text{ kg}$

$$\text{Veden tiheys } \rho_2 = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$\text{Veden tilavuus } V_2 = 0,400 \text{ l}$$

$$\text{Veden ominaislämpökapasiteetti } c_2 = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

Ketjun jäähtyessä luovuttama energia siirtyy veden lämpenemiseen tarvittavaksi energiaksi

$$Q_{\text{ketju}} = Q_{\text{vesi}}$$

$$c_1 m_1 \Delta T_1 = c_2 m_2 \Delta T_2 = c_2 \rho_2 V_2 \Delta T_2 ,$$

josta ketjun aineen ominaislämpökapasiteetiksi

$$c_1 = \frac{c_2 \rho_2 V_2 \Delta T_2}{m_1 \Delta T_1} = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 0,400 \text{ l} \cdot 8,4 \text{ }^\circ\text{C}}{0,522 \text{ kg} \cdot 69,6 \text{ }^\circ\text{C}}$$
$$= 387,50 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \approx 390 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}.$$

c) Ketjussa olevan aineen tiheys  $\rho = 7,15 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$  ja

$$\text{ominaislämpökapasiteetti } c_2 = 390 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}.$$

Taulukkokirjan mukaan aine on sinkkiä, sillä sinkin arvot tiheydelle ja ominaislämpökapasiteetille on kaikista lähimpänä määritettyjä arvoja.

## Tehtävä 10.12.

Kun nesteitä lämmitetään samalla teholla, lämmityksessä nesteisiin siirtyy yhtä suuri energia. Siirtynyt energia eli lämpö on  $Q = cm\Delta T$ .

a) Kun molemmissa dekantterilaseissa on samaa nestettä, vain nesteen määrällä on merkitystä. Mitä suurempi nesteen massa on, sitä vähemmän sen lämpötila nousee. Siten mittalasi A, jossa on vain 100 ml vettä, saavuttaa ensin 60 °C:n lämpötilan.

b) Kun mittalaseissa on eri nesteitä, myös nesteiden ominaislämpökapasiteeteilla on merkitystä. Veden

ominaislämpökapasiteetti on  $c_{\text{vesi}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ ,

ja etanolin  $c_{\text{etanoli}} = 2,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ .

Etanolin tiheys on pienempi kuin veden tiheys, joten vaikka nesteiden tilavuudet ovat yhtä suuret, etanolin massa on pienempi kuin veden massa. Pienemmän ominaislämpökapasiteetin ja pienemmän massan vuoksi mittalasisissa olevaan etanoliin varastoituu vähemmän energiaa kuin veteen. Siksi mittalasisissa A olevan etanolin lämpötila nousee 60 °C:een nopeammin.

c) Etanolin tilavuus on  $V_A = 250$   
ml =  $0,250 \text{ dm}^3 = 0,250 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

ja tiheys on  $\rho_{\text{etanoli}} = 0,79 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Dekantterilasissa A olevan etanolin lämpökapasiteetti

$$\begin{aligned} C_{\text{etanoli}} &= c_{\text{etanoli}} m_{\text{etanoli}} \\ &= c_{\text{etanoli}} \rho_{\text{etanoli}} V_A \\ &= 2,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 0,79 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,250 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,4799 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \approx 0,48 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \end{aligned}$$

Veden tilavuus on  $V = 100 \text{ ml} = 0,100 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  ja tiheys on

$$\rho_{\text{vesi}} = 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Lasissa B olevan veden lämpökapasiteetti

$$\begin{aligned} C_{\text{vesi}} &= c_{\text{vesi}} m_{\text{vesi}} \\ &= c_{\text{vesi}} \rho_{\text{vesi}} V_B \\ &= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,100 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,419 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \approx 0,42 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \end{aligned}$$

Lasissa olevan veden lämpökapasiteetti on hieman pienempi kuin etanolin,  $C_{\text{etanoli}} > C_{\text{vesi}}$ , joten mittalassissa B oleva vesi lämpenee silloin hieman nopeammin  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ :een.

### Tehtävä 10.13.

a) Osa vedenkeittimen vastaanottamasta sähköverkon energiasta siirtyy keittimen lämmitysvastuksen kautta veteen ja siitä edelleen johtumalla vedenkeittimen materiaaliin. Vedenkeittimen materiaali säteilee energiaa ympäristöönsä. Näin ollen veden lämmittämisen teho on pienempi, sillä veteen ei siirry kaikki sähköverkosta otettu energia.

b) Vedenkeitin ottaa energiaa sähköverkosta teholla

$$P_{\text{otto}} = 1800 \text{ W.}$$

Vedenkeitin luovuttaa vedelle energiaa teholla

$$P_{\text{anto}} = 1600 \text{ W.}$$

Vedenkeittimen hyötysuhde on

$$\eta = \frac{P_{\text{anto}}}{P_{\text{otto}}} = \frac{1600 \text{ W}}{1800 \text{ W}} = 0,888... \approx 0,89.$$



c) Lämmitettävän veden tilavuus  $V = 7,6 \text{ dl} = 0,76 \text{ l}$

Lämmitettävän veden tiheys  $\rho = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$

Veden lämpötila alussa  $T_1 = 6,7 \text{ }^\circ\text{C}$

Veden lämpötila lopussa  $T_2 = 93 \text{ }^\circ\text{C}$

Vedenkeittimen luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden lämpenemisen vastaanottama energia

$$Q_{\text{keitin}} = Q_{\text{vesi}}$$

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

$$P_{\text{anto}}t = c\rho V(T_2 - T_1).$$

Veden lämmitysaika

$$t = \frac{c\rho V(T_2 - T_1)}{P_{\text{anto}}} = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 0,76 \text{ l} \cdot (93 \text{ }^\circ\text{C} - 6,7^\circ\text{C})}{1600 \text{ W}}$$
$$= 171,758575 \text{ s} \approx 170 \text{ s}.$$

## **Tehtävä 10.14.**

- a) Halkojen palamisessa vapautunut energia siirtyy ensin palokaasujen sisäenergiaksi. Kuuma palokaasu virtaa takan sisällä ja mm. säteilee energiaa takan materiaaliin. Osa energiasta poistuu kuljettumalla palokaasujen mukana, kun palokaasut poistuvat savupiippua pitkin ulos talosta.
- b) Takan lämpökapasiteettiin vaikuttavat takan materiaalin ominaislämpökapasiteetti ja takan massa. Mitä suurempia ne ovat, sitä suurempi on takan lämpökapasiteetti.

c) Halkojen massa  $m = 12,4 \text{ kg}$

Takan hyötysuhde  $\eta = 0,68$

Takan lämpötila alussa  $T_1 = 21 \text{ °C}$

Takan lämpötila lopussa  $T_2 = 64 \text{ °C}$

Halkojen lämpöarvo  $H = 18,3 \text{ MJ/kg?}$

Takan lämpötila muuttui

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 64 \text{ °C} - 21 \text{ °C} = 43 \text{ °C}.$$

Puun palamisessa vapautunut takkaan siirtynyt energia on yhtä suuri kuin takan vastaanottama energia

$$Q_{\text{puu, anto}} = Q_{\text{takka}}$$

$$Q_{\text{anto}} = C\Delta T.$$

Takan hyötysuhteesta saadaan puun palamisessa takkaan siirtynyt energia

$$\eta = \frac{Q_{\text{anto}}}{Q_{\text{otto}}}$$

$$Q_{\text{anto}} = \eta Q_{\text{otto}}.$$

Puun palamisessa vapautuva energia  $Q_{\text{otto}} = Hm.$

Takan lämpökapasiteetti voidaan ratkaista yhtälöstä

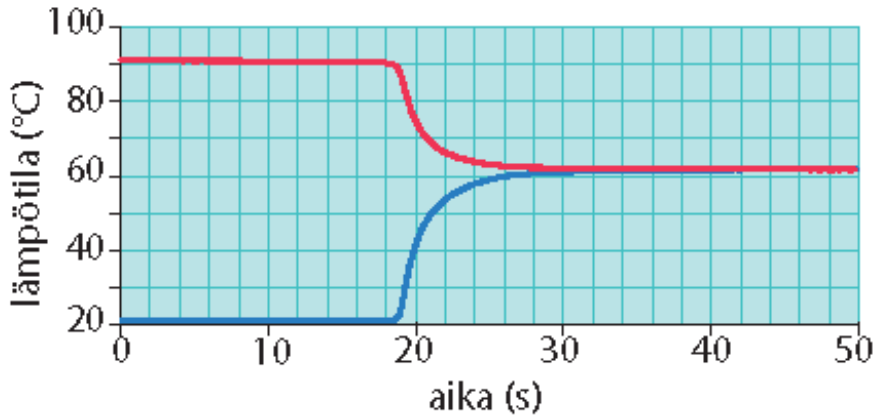
$$\eta Hm = C\Delta T$$

$$C = \frac{\eta H m}{\Delta T} = \frac{0,68 \cdot 18,3 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 12,4 \text{ kg}}{43 \text{ }^\circ\text{C}} = 3,5885 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} \approx 3,6 \frac{\text{MJ}}{^\circ\text{C}}.$$

Takan lämpökapasiteetti oli 3,6 MJ/°C eli 3,6 MJ/K.

## Tehtävä 10.15.

a) Määritetään kuvaajalta vesien lämpötilat ennen sekoittamista ja sekoittamisen jälkeen.



Kylmän veden lämpötila alussa  $T_{1,a} = 20,7 \text{ °C}$

Lämpimän veden lämpötila alussa  $T_{2,a} = 90,5 \text{ °C}$

Kylmän veden lämpötila lopussa  $T_{1,l} = 61,4 \text{ °C}$

Lämpimän veden lämpötila alussa  $T_{2,l} = 61,4 \text{ °C}$

Kylmän veden lämpötilan muutos  $\Delta T_1 = 40,7 \text{ °C}$

Lämpimän veden lämpötilan muutos  $\Delta T_2 = 29,1 \text{ °C}$

b) Kylmän veden massa  $m_1 = 243 \text{ g} = 0,243 \text{ kg}$

Lämpimän veden jäähtyessään luovuttama energia on yhtä suuri kuin kylmän veden lämmitessään vastaanottama energia

$$Q_2 = Q_1$$

$$cm_2\Delta T_2 = cm_1\Delta T_1$$

$$m_2\Delta T_2 = m_1\Delta T_1$$

Lämpimän veden massa on

$$m_2 = \frac{m_1\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{0,243 \text{ g} \cdot 40,7 \text{ }^\circ\text{C}}{29,1 \text{ }^\circ\text{C}} = 0,33987 \text{ kg} \approx 340 \text{ g}.$$

## Tehtävä 10.17.

Veden massa  $m = 0,623 \text{ kg}$

Veden ominaislämpökapasiteetti  $c = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

Ajan ja lämpötilan arvoiksi saadaan videon perusteella esimerkiksi

aika (s)	lämpötila (°C)
1,44	25,6
10,22	26,4
25,5	28,2
45,44	30,7
60,65	32,7
75,72	34,7
91,43	36,8
110,67	39,3
129,7	41,8
144,48	43,7
165	46,4
174,57	47,6

Uppokuumentimen vedelle luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia

$$Q_{\text{uppokuumentin}} = Q_{\text{vesi}}$$

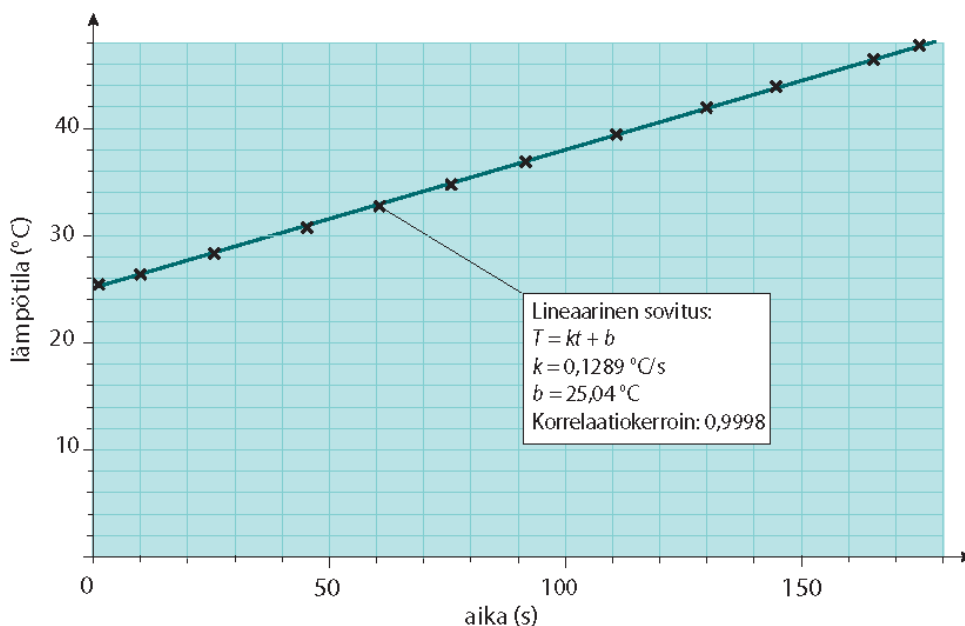
$$P\Delta t = cm\Delta T$$

## Uppokuumentimen vedenlämmitysteho

$$P = \frac{cm\Delta T}{\Delta t} = cm \frac{\Delta T}{\Delta t}.$$

$(t, T)$ -koordinaatiston fysikaalisesta kulmakertoimesta saadaan

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$ . Määritetään fysikaalinen kulmakerroin



Kulmakerroin on  $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,1289 \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}}$ . Uppokuumentimen

vedenlämmitysteho on

$$P = cm \frac{\Delta T}{\Delta t} = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,623 \text{ kg} \cdot 0,1289 \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}} = 336,4767 \text{ W} \approx 336 \text{ W}.$$



## Tehtävä 10.18.

- a) Kivitalon lämpökapasiteetti on suuri. Tämän vuoksi rakenteiden lämpötilan nousuun tarvitaan paljon energiaa. Kun rakenteiden lämpötila pysyy ulkolämpötilaa matalampana, on sisällä viileää.
  
- b) Auringosta säteilyinä siirtyvä energia lämmittää rakennuksen seiniä ja kattoja eli lisää niiden sisäenergiaa. Säteily imeytyy suurelta osin seiniin ja kattoon, minkä vuoksi rakennuksen sisäilma ei lämpene yhtä paljon.
  
- c) Helteiden jatkuessa energiaa varastoituu rakenteisiin yhä enemmän. Jos rakenteiden lämpötila nousee korkeammaksi kuin huoneilma, siirtyy energiaa lämpönä rakenteista rakennuksen sisälle yölläkin.

## Tehtävä 10.19.

a) Jotta lämpömittari saavuttaa saman lämpötilan tutkittavan kohteen kanssa, on sen luovutettava tai vastaanotettava energiaa kohteen kanssa. Siksi lämpömittarin lämpökapasiteetin tulee olla mahdollisimman matala, jottei lämpömittari itse muuta kovin paljoa mitattavan kohteen lämpötilaa.

b) Mittarin lämpökapasiteetti on  $C = 18 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ .

Etanolin massa on  $m = 32 \text{ g} = 0,032 \text{ kg}$  ja

lämpökapasiteetti  $c = 2,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = 2,43 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ .

Alussa mittarin lämpötila on  $t_{\text{mittari}} = 2,8 \text{ }^\circ\text{C}$  eli

$T_{\text{mittari}} = 275,95 \text{ K}$  ja etanolin lämpötila on  $t_{\text{etanoli}} = 23,1 \text{ }^\circ\text{C}$

eli  $T_{\text{etanoli}} = 296,25 \text{ K}$ . Lopussa mittarilla ja etanolilla on

yhteinen loppulämpötila  $T_{\text{loppu}}$ .

Kun kylmä lämpömittari asetetaan etanoliin, neste luovuttaa mittarille energian

$$Q_1 = cm\Delta T_{\text{etanoli}} = C(T_{\text{etanoli}} - T_{\text{loppu}}).$$

Mittarin vastaanottama energia on

$$Q_2 = C\Delta T_{\text{mittari}} = C(T_{\text{loppu}} - T_{\text{mittari}}).$$

Etanolin luovuttama energia on sama kuin mittarin vastaanottama energia eli

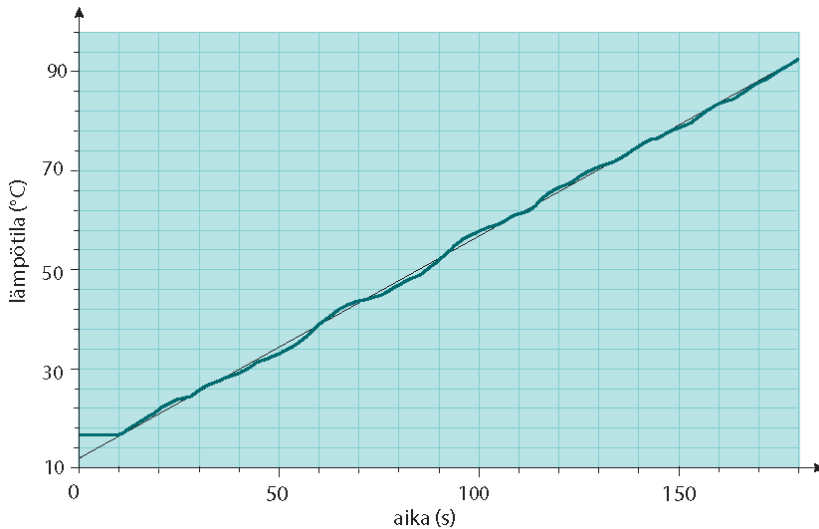
$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_2 \\
 cm(T_{\text{etanoli}} - T_{\text{loppu}}) &= C(T_{\text{loppu}} - T_{\text{mittari}}) \quad \parallel \text{poistetaan sulut} \\
 cmT_{\text{etanoli}} - cmT_{\text{loppu}} &= CT_{\text{loppu}} - CT_{\text{mittari}} \quad \parallel \text{ryhmitellään termit eri puolille yhtälöä} \\
 CT_{\text{loppu}} + cmT_{\text{loppu}} &= cmT_{\text{etanoli}} + CT_{\text{mittari}} \quad \parallel \text{otetaan } T_{\text{loppu}} \text{ yhteiseksi tekijäksi} \\
 (C + cm)T_{\text{loppu}} &= cmT_{\text{etanoli}} + CT_{\text{mittari}} \quad \parallel \text{jaetaan } T_{\text{loppu}} \text{:n kertoimella} \\
 T_{\text{loppu}} &= \frac{cmT_{\text{etanoli}} + CT_{\text{mittari}}}{C + cm} \\
 &= \frac{2,43 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 0,032 \text{ kg} \cdot 296,25 \text{ K} + 18 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 275,95 \text{ K}}{18 \frac{\text{J}}{\text{K}} + 2,43 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 0,032 \text{ kg}} \\
 &= 292,434 \text{ K} \approx 19,3 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Eli kylmä lämpömittari jäädyttää tutkittavaa etanolia yli kolme astetta. Lämpömittari antaa etanolin loppulämpötilaksi 19,3 °C.

- c) Jos lämpömittarin olisi annettu lämmitä ensin huoneenlämpöiseksi, mittausskohteesta mittariin siirtynyt energia olisi ollut huomattavasti pienempi, ja mittaukseen olisi tullut vähemmän virhettä. Myös tutkittavan etanolin määrällä on merkitystä. Tarkemman mittaustuloksen saa, jos etanolia on astiassa enemmän. Jos etanolin massa on suuri, mittariin siirtyvän energia ei juuri muuta etanolin lämpötilaa.

## Tehtävä 10.20.

a)



b) Lämmitettävän veden massa  $m = 0,965 \text{ kg}$

Veden ominaislämpökapasiteetti  $c = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

Vedenkeittimen vedelle luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia

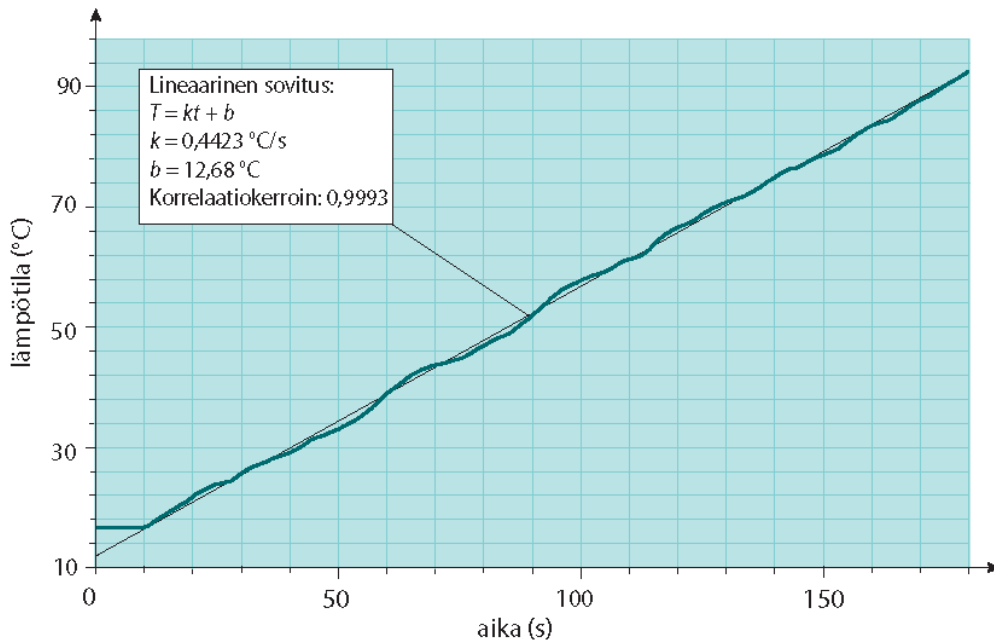
$$Q_{\text{keitin}} = Q_{\text{vesi}}$$

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

Vedenkeittimen vedenlämmitysteho

$$P = \frac{cm\Delta T}{\Delta t} = cm \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

$(t, T)$ -koordinaatiston fysikaalisesta kulmakertoimesta saadaan  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ . Määritetään fysikaalinen kulmakerroin



Kulmakerroin on  $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,4423 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}$ .

Vedenkeittimen vedenlämmitysteho on

$$P = cm \frac{\Delta T}{\Delta t} = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 0,965 \text{ kg} \cdot 0,4423 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}} = 1788,3737 \text{ W} \approx 1790 \text{ W}.$$

- c) Osa vedenkeittimen luovuttamasta energiasta siirtyy johtumalla veden kautta vedenkeittimen materiaalin sisäenergiaksi. Vedenkeittimen rakenteiden sisäenergian kasvu nostaa vedenkeittimen lämpötilaa. Lisäksi vettä höyrystyy ja osa energiasta kuljettuu vesihöyryn mukana pois vedenkeittimestä.

## Tehtävä 10.21.

Veden massa on  $m = 580 \text{ g} = 0,580 \text{ kg}$

Veden ominaislämpökapasiteetti  $c = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

Uunin sähköverkosta ottama teho  $P = 1,0 \text{ kW}$ .

Mikroaaltouunin siirtää vedelle energiaa teholla  $P_{\text{anto}}$ .

Mikroaaltouunin vedelle siirtämä energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia

$$Q_{\text{anto}} = Q_{\text{vesi}}$$

$$P_{\text{anto}} \Delta t = cm \Delta T, \text{ josta antotehoksi}$$

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

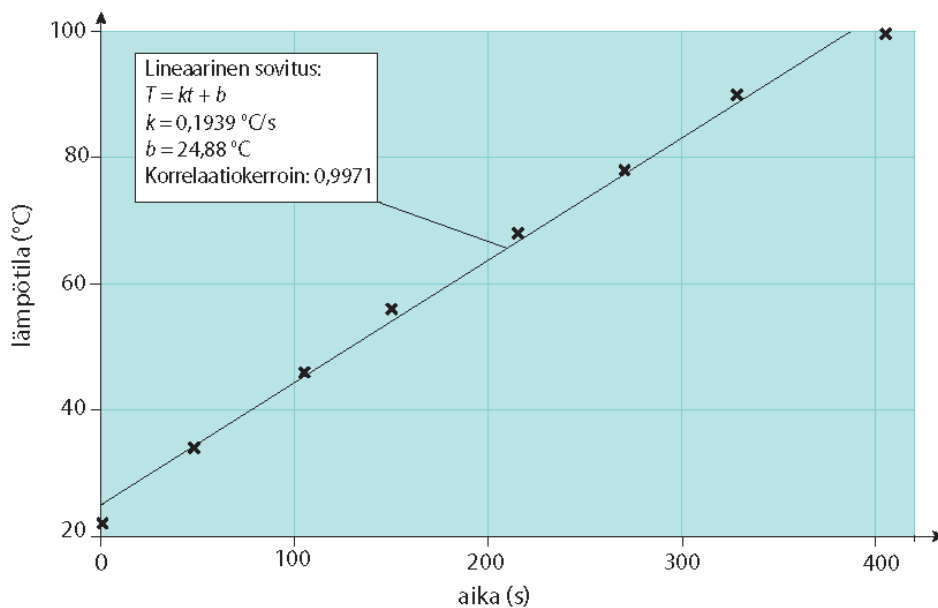
Piirretään mittaustuloksista kuvaaja  $(t, T)$ -koordinaatistoon,

jonka fysikaalisena kulmakertoimena on  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ .

Määritetään fysikaalinen kulmakerroin tasaisesti nousevalle suoran osuudelle.

Suoran fysikaalinen kulmakerroin on lämpötilan muutosnopeus

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,1978 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}$$



Hyötysuhde saadaan vertaamalla mikroaaltouunin lämmitysteho sen sähköverkosta ottamaan tehoon.

$$\eta = \frac{P_{\text{anto}}}{P_{\text{otto}}} = \frac{cm \frac{\Delta T}{\Delta t}}{P_{\text{otto}}} = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 0,580 \text{ kg} \cdot 0,1939 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}}{1000 \text{ W}} = 0,4712 \approx 47 \%$$

Mikroaaltouunin hyötysuhde on 47 %.

# Syvennä

## Tehtävä 10.22.

a) Ihmisen massa  $m_1 = 67 \text{ kg}$

Ihmisen lämpötila ennen juomista  $T_1 = 36,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Veden lämpötila ennen juomista  $T_2 = 10,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Ihmisen ominaislämpökapasiteetti

$$c_1 = 3480 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 3480 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

Veden tilavuus  $V_2 = 0,45 \text{ l}$

Veden tiheys  $\rho_2 = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$

Lopuksi ihmisen ja veden lämpötila on sama.

Merkitään loppulämpötilaa symbolilla  $T$ .

Ihmisen vedelle luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia

$$Q_{\text{ihminen}} = Q_{\text{vesi}}$$

$$c_1 m_1 \Delta T_1 = c_2 m_2 \Delta T_2$$

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 \rho_2 V_2 (T - T_2),$$



HUOM! Nyt ihmisen lämpötilan muutos lasketaan alkulämpötilan ja loppulämpötilan erotuksena. Tämä siksi, että saadaan ihmisen luovuttama energia positiiviseksi.

$$c_1 m_1 T_1 - c_1 m_1 T = c_2 \rho_2 V_2 T - c_2 \rho_2 V_2 T_2$$

$$c_2 \rho_2 V_2 T + c_1 m_1 T = c_1 m_1 T_1 + c_2 \rho_2 V_2 T_2$$

$$T(c_2 \rho_2 V_2 + c_1 m_1) = c_1 m_1 T_1 + c_2 \rho_2 V_2 T_2$$

$$T = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 \rho_2 V_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 \rho_2 V_2}$$

$$= \frac{3480 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 67 \text{ kg} \cdot 36,8 \text{ }^\circ\text{C} + 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,450 \text{ l} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 10,0 \text{ }^\circ\text{C}}{3480 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 67 \text{ kg} + 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,450 \text{ l} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}}}$$

$$= 36,58503 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Lämpötilan muutos

$$\Delta T_1 = T_1 - T = 36,8$$

$$^\circ\text{C} - 36,58503 \text{ }^\circ\text{C} = 0,21497 \text{ }^\circ\text{C} \approx 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

b) Ihmisen aineenvaihdunta päivässä

$$Q_{\text{aineenvaihdunta}} = 7\,000\,000 \frac{\text{J}}{\text{d}}$$

Ihmisen massa  $m_1 = 67 \text{ kg}$

Ihmisen ominaislämpökapasiteetti

$$c_1 = 3480 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 3480 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

Ihmisen lämpötila juomisen jälkeen a-kohdan mukaan on  $T_1 = 36,585 \text{ }^\circ\text{C}$

Ihmisen lämpötila aineenvaihdunnan tuoman energian jälkeen  $T_2 = 36,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Ihmisen lämpötilan muutos

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 36,8 \text{ }^\circ\text{C} - 36,585 \text{ }^\circ\text{C} = 0,215 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Ihmisen lämpenemiseen tarvittava energia on

$$Q_{\text{ihminen}} = c_1 m_1 \Delta T.$$

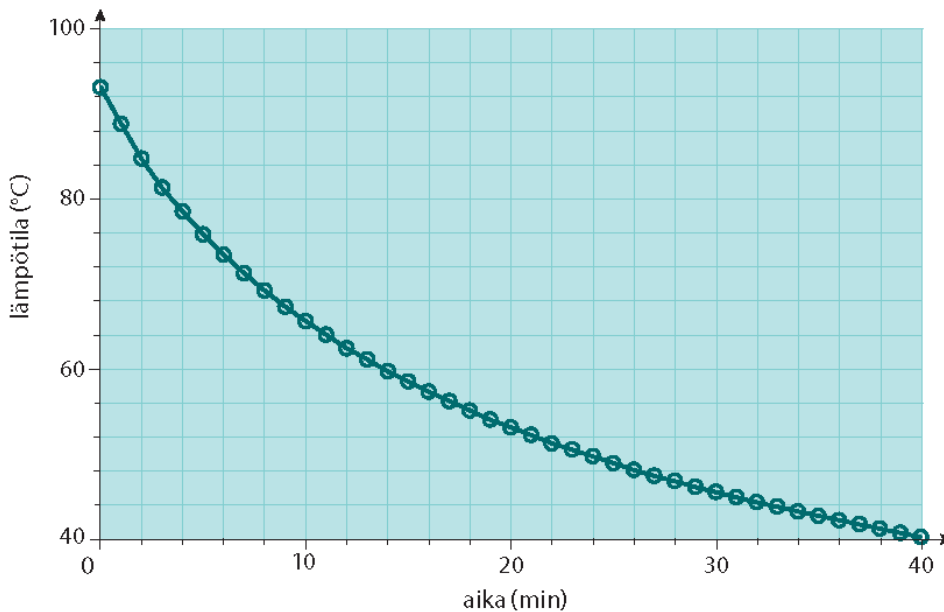
Ihmisen lämpenemisaika

$$t = \frac{Q_{\text{ihminen}}}{Q_{\text{aineenvaihdunta}}} = \frac{c_1 m_1 \Delta T}{Q_{\text{aineenvaihdunta}}} = \frac{3480 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 67,0 \text{ kg} \cdot 0,215 \text{ }^\circ\text{C}}{7\,000\,000 \frac{\text{J}}{\text{d}}}$$

$$= 0,0071613 \text{ d} \approx 10,3 \text{ min}.$$

## Tehtävä 10.23.

a)



b) Aikavälillä 2,5 min – 5,5 min kahvi jäähtyy

lämpötilasta 83,0 °C lämpötilaan 74,6 °C,

eli  $\Delta T = 83,0 \text{ °C} - 74,6 \text{ °C} = 8,4 \text{ °C} = 8,4 \text{ K}$ .

Kahvi on lämpöopillisesti samanlaista kuin vesi, jonka

ominaislämpökapasiteetti on  $c = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ .

Kahvin tilavuus  $V = 192 \text{ ml}$  ja sen tiheys on käytännössä sama kuin vedellä, joka on 80 °C lämpötilassa

$\rho = 0,97181 \text{ kg/l}$ . Kahvin tiheyden ja tilavuuden avulla voidaan laskea massa:  $m = \rho V$ .

Kahvin luovuttama lämpö on

$$Q = cm\Delta T$$

$$= c\rho V\Delta T$$

$$= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 0,97181 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 0,192 \text{l} \cdot 8,4 \text{ K}$$

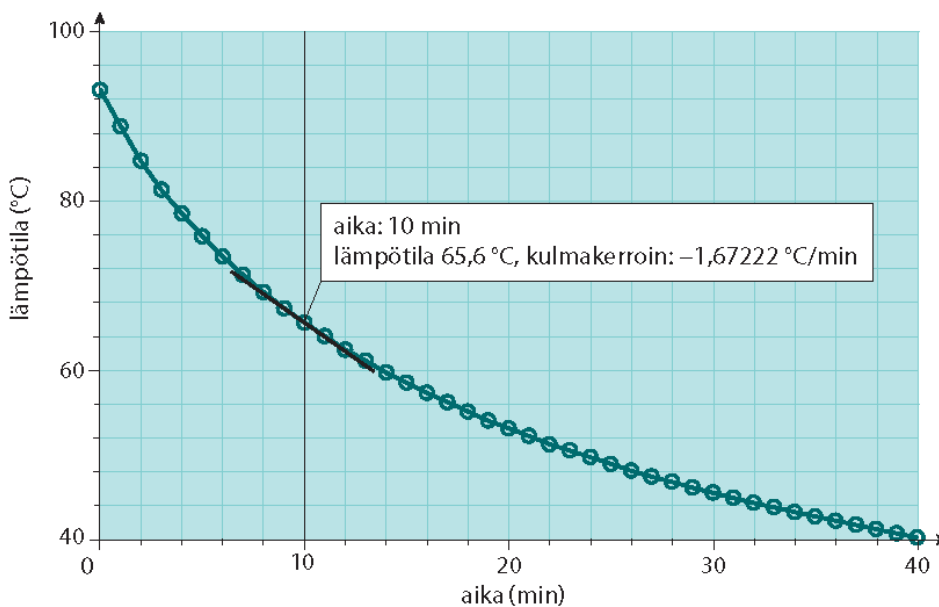
$$= 6,56713 \text{ kJ} \approx 6,6 \text{ kJ.}$$

Kahvi luovutti ympäristöönsä lämmön 6,6 kJ.

c) Määritetään kahvin lämpötilan muutosnopeus kuvaajan fyysisen kulmakertoimen avulla.

Kuvaajalle mahdollisimman lähelle 65 °C lämpötilaa piirretyn tangentin kulmakerroin on

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} \approx -1,6722 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} = -1,6722 \frac{\text{K}}{\text{min}} \approx -0,02787 \frac{\text{K}}{\text{s}}.$$



Jotta kahvi pysyisi vakio­lämpötilassa, kahvia pitää lämmittää itseisarvoltaan yhtä suurella teholla kuin millä energiaa poistuu kahvista.

Jäähtymisen teho on

$$\begin{aligned} P &= \frac{Q}{\Delta t} = cm \frac{\Delta T}{\Delta t} = c\rho V \frac{\Delta T}{\Delta t} \\ &= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 0,97181 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 0,192 \text{l} \cdot (-0,02787 \frac{\text{K}}{\text{s}}) \\ &= -0,021789 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \approx -22 \text{ W} \end{aligned}$$

Eli kahvia pitää lämmittää 22 W teholla.

## Tehtävä 10.24.

- a) Kiinteissä aineissa lämpöä siirtävät paikasta toiseen kidevärähtelyn aiheuttamat aallot sekä varauksenkuljettajat.
- b) Timantissa lämpöä siirtää timanttikiteen värähtelystä syntyvät aallot.
- c) Metallin lämmönjohtavuuden suhde sen sähkönjohtavuuteen suurenee lämpötilan kasvaessa Wiedemann-Franzin lain mukaan.
- d) Metallin sähkönjohtavuus pienenee eli sen resistanssi kasvaa, kun metalli lämpötila kasvaa. Tämä johtuu siitä, että sähköä johtavat elektronit törmäilevät enemmän kidevärähtelyaaltojen kanssa lämpötilan noustessa.

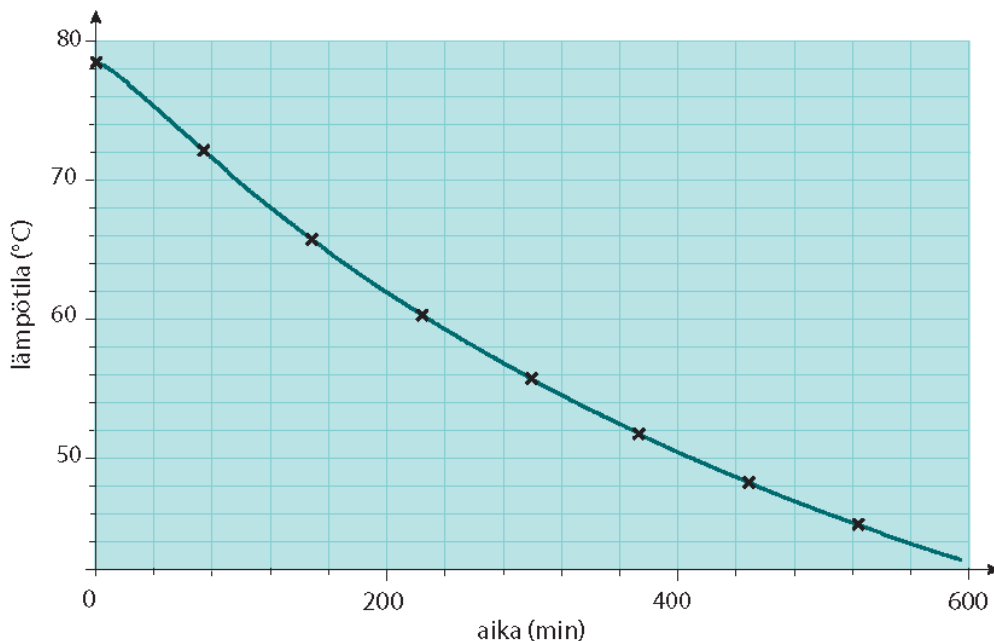
## Tehtävä 10.25.

a) Vedellä täytetyn kuumavesipullon lämpökapasiteetti on suuri, vaikka se olisi pienikokoinen (1 p) eli

pienikin kuumavesipullo luovuttaa energiaa pitkän aikaa.(1 p)

Lisäksi kuumavesipullo on helppo ja halpa valmistaa sekä pitkäikäinen. Kuumavesipullo on turvallinen lämmitysväline esimerkiksi sähköisiin lämmittämiin verrattuna. Kuumavesipullo ei aiheuta paloriskiä. (1 p)

b) Esitetään mittaustulokset  $(t, T)$ -koordinaatistossa



(akselit nimetty 1 p, akselit oikein päin 1 p kuvaaja 1 p)



c) Veden massa  $m = 0,926 \text{ g}$

Veden ominaislämpökapasiteetti  $c = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

Kuvaajasta luettuna veden lämpötila muuttui mittauksen aikana

$$\Delta T = (78,4 - 42,6) \text{ K} = 35,8 \text{ K. (1 p)}$$

Veden ympäristölle luovuttama energia

$$Q = cm\Delta T = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,926 \text{ kg} \cdot 35,8 \text{ K} = 138\,901,852 \text{ J} \approx 139 \text{ kJ.}$$

(2 p)

d) Kuumavesipullo luovuttaa energiaa ympäristöön säteilemällä ja johtumalla. (2 p)

e) Kuvaajasta havaitaan, että kuumavesipulloon laitetaan vettä, jonka lämpötila on noin  $78 \text{ }^\circ\text{C}$ . (1 p) Ellei villainen päällyste toimisi lämpöeristeenä, näin kuuma vesipullo saattaisi aiheuttaa ihmiselle palovamman. (2 p)

Eristeenä toimiva villa myös pienentää kuumavesipullon lämmitystehoa, jolloin pullo lämmittää käyttäjää pidempään. (1 p)

