

## Kertaustehtävien ratkaisuja

1. c) Hanaan kohdistuva paine on

$$p = p_1 - \rho gh$$

$$= 4,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} - 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 18 \text{ m} \approx 2,73 \cdot 10^5 \text{ Pa}.$$

$$\text{Voiman suuruus on } F = pA = 2,73 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 30 \text{ N}.$$

2. c) Keskimääräinen nostoteho oli

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{25 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2,5 \text{ m}}{90 \text{ s}} = 6,8 \text{ W}.$$

3. b) Lasketaan pituuden muutos.

$$\Delta l = \alpha l \Delta t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} \cdot 80,48 \text{ m} \cdot 20^\circ\text{C} \approx 0,02 \text{ m}$$

Pituus olisi ollut  $80,48 \text{ m} + 0,02 \text{ m} = 80,50 \text{ m}$ .

4. c) Paine merenpohjassa on

$$p_1 = p_0 + \rho gh = 0,100 \text{ MPa} + 1,00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30,0 \text{ m} \\ = 0,3943 \text{ MPa}.$$

Ratkaistaan tilavuus lähellä pintaa.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \text{ josta } V_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 p_2} = \frac{0,3943 \text{ MPa} \cdot V_1 \cdot 295 \text{ K}}{277 \text{ K} \cdot 0,100 \text{ MPa}} \approx 4,2 \cdot V_1.$$

5. d) Lasketaan hapen massa.

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT, \text{ josta saadaan}$$

$$m = \frac{pVM}{RT} = \frac{12 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 32 \text{ g/mol}}{8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot 293 \text{ K}} \approx 240 \text{ g}.$$

6. c) Uppokuumentimen luovuttama energia on

$$Q = Pt = 45 \text{ J/s} \cdot 2 \cdot 60 \text{ s} = 5400 \text{ J}.$$

Vesi ja kalorimetri ottavat tämän energian vastaan.

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{5400 \text{ J}}{35^\circ\text{C}} \approx 150 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$$

7. a) Sähkövastuksen luovuttama energia on  $E = \eta Pt$ . Veden vastaanottama energia  $Q = cm\Delta\theta$ . Energian säilymislain mukaan luovutettu energia ja vastaanotettu energia ovat yhtä suuret.

$$E = Q$$

$\eta Pt = cm\Delta\theta$  Ratkaistaan yhtälöstä aika  $t$ , jolloin saadaan

$$t = \frac{cm\Delta\theta}{\eta P} = \frac{4,19 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot 3,0 \text{ kg} \cdot (100 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})}{0,90 \cdot 2000 \frac{\text{J}}{\text{s}}}$$

$$= 559 \text{ s} \approx 9,3 \text{ min}$$

8. b) Raudan jähmettyessä vapautuu energia

$$Q = sm = 276 \text{ kJ/kg} \cdot 3,0 \text{ kg} = 828 \text{ kJ}.$$

Veden vastaanottama energia  $Q = cm\Delta t$ .

$$\Delta t = \frac{Q}{cm} = \frac{828 \text{ kJ}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5,0 \text{ kg}} \approx 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

9. c) Liike-energia  $E = \frac{1}{2}mv^2$  on suoraan verrannollinen nopeuden toiseen potenssiin. Koska

nopeuksien suhde  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{9,6 \text{ m/s}}{3,2 \text{ m/s}} = 3$ , saadaan  $v_2 = 3v_1$ .

Liike-energioiden suhde on

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{\frac{1}{2}m(3v_1)^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{9v_1^2}{v_1^2} = 9.$$

Liike-energia kasvaa 9-kertaiseksi:  $E_2 = 9E_1$ .

10. c) Vesi luovuttaa lämpöä, jonka kuparikappale ottaa vastaan. Energian säilymislain mukaan luovutettu lämpö ja vastaanotettu lämpö ovat yhtä suuret.

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{Cu}}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}}m_{\text{H}_2\text{O}}\Delta t_{\text{H}_2\text{O}} = c_{\text{Cu}}m_{\text{Cu}}\Delta t_{\text{Cu}} \quad \text{Ratkaistaan veden massa.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{c_{\text{Cu}}m_{\text{Cu}}\Delta t_{\text{Cu}}}{c_{\text{H}_2\text{O}}\Delta t_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0,387 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,200 \text{ kg} \cdot (95 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C})}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (100 \text{ }^\circ\text{C} - 95 \text{ }^\circ\text{C})} \approx 350 \text{ g}.$$

11. a) Jääkimpaleen massa  $m = 0,25$  kg, putoamiskorkeus  $h = 3,5$  m ja vakiona pysyvä putoamiskiihtyvyyden  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>.

Jääkimpaleen potentiaalienergia on

$$E_p = mgh = 0,25 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3,5 \text{ m} = 8,58375 \text{ J} \approx 8,6 \text{ J}$$

Putoamisen aikana potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi  $E_k$ , jos ilmanvastusta ei oteta huomioon. Energian säilymislain mukaisesti saadaan yhtälö

$E_k = mgh = \frac{1}{2}mv^2$ , jossa  $v$  on nopeus juuri ennen maahan osumista. Ratkaistaan nopeus, jolloin saadaan

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3,5 \text{ m}} \approx 8,3 \text{ m/s}.$$

Kun ilmanvastusta ei oteta huomioon, kappaleen massa ei vaikuta loppunopeuteen.

b) Nyt ilmanvastuksella on suuri merkitys. Silloin, kun tyynyn nopeus on vakio, tyynyn vaikuttava kokonaisvoima on nolla. Alaspäin suuntautuva voima ja ilmanvastusvoima ovat yhtä suuret, mutta vastakkaisuntaiset.

Tällöin saadaan yhtälö  $G = F_v$ , jossa  $F_v$  = ilmanvastus. Ilmanvastuksen tekemä työ muuttaa potentiaalienergian lämmöksi.

Voiman  $F_v$  tekemä työ matkalla  $h$  on

$$W = F_v h = Gh = mgh = 8,6 \text{ J} (= \text{potentiaalienergia a)-kohdassa}).$$

Vastaus voidaan antaa laskemattakin perustellen energian säilymislailla.

12. Veden nostonopeus 120 l/min on massan avulla annettuna  
 $120 \text{ kg}/60 \text{ s} = 2,0 \text{ kg/s}$ .

Pumpun tekemä työ  $W$  muuttuu veden potentiaalienergiaksi  $E_p$  ja liike-energiaksi  $E_k$ .

Lasketaan pumpun tekemä työ sekunnissa.

Veden potentiaalienergian muutos on

$$\Delta E_p = mgh = 2,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 18,0 \text{ m} = 353,16 \text{ J}.$$

Liike-energian muutos on  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , jossa  $v$  on veden poistumisnopeus.

Veden tilavuusvirta on  $2,0 \text{ l/s} = 2,0 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

Tilavuus  $V = As$ , jossa  $A$  on putken poikkipinta-ala ja  $s = \Delta s$  on veden kulkema matka sekunnissa.

$$s = V/A = 2000 \text{ cm}^3 / 7,7 \text{ cm}^2 = 259,74 \text{ cm} = 2,5974 \text{ m}.$$

$$v = \Delta s / \Delta t = 2,5974 \text{ m/s}$$

Veden liike-energian muutos on

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot 2,0 \text{ kg} \cdot (2,5974 \text{ m/s})^2 = 6,75 \text{ J}.$$

Pumpun teho on oltava vähintään

$$P = W/\Delta t = (353,16 \text{ J} + 6,75 \text{ J})/1,0 \text{ s} = 359,91 \text{ W} \approx 360 \text{ W}.$$

Poistoletku on pitkä, joten pumppu tekee työtä virtausvastuksen voittamiseksi. Lisäksi pumpun liikkuvissa osissa on kitkaa ja pumpussa tapahtuu myös sähköhäviöitä. Siksi pumpun tehon on oltava suurempi.

13. Esimerkkilasku: 500 g kevytmaitoa sisältää energiaa

$$500\text{g} \cdot 240\text{ kJ}/(100\text{ g}) = 1200\text{ kJ}.$$

Alla on taulukoituna käytetyt ravintoaineet, niiden arvioidut määrät ja lasketut energiat.

ravintoaine		massa		energia
kevytmaito		500 g		1 200 kJ
kirjolohti		200 g		1 700 kJ
kinkku	200 g		2 160 kJ	
mysli		100 g	1 820 kJ	
ruisleipä		300 g		2 280 kJ
peruna	500 g		1 500 kJ	
omena	200 g		300 kJ	
tuoremehu		500 g		850 kJ
suklaa	200 g		4 400 kJ	

Ruoka sisältää energiaa yhteensä  $16\,210\text{ kJ} \approx 16\,000\text{ kJ} = 16\text{ MJ}$

14. Seuraavia ilmiöitä voidaan tarkastella esimerkkeinä:

- eri vuodenaikojen erilaiset sääolot, vuodenaikojen vaihtelut
- tuulet
- tulivuorien purkaukset
- paine-erot eri korkeuksilla ilmakehässä
- lämpötilaerot eri korkeuksilla ilmakehässä
- lämpötilaerot eri osissa maapalloa
- erosio
- ilmastolliset erot mantereen ja meren välillä

15. a) Paine on voima pinta-alaa kohti.

Paineen perusyksikkö on  $1\text{ N}/\text{m}^2 = 1\text{ Pa}$ .

b) Paine on

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\frac{1}{4}G}{A} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 950\text{ kg} \cdot 9,81\text{ m/s}^2}{125 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2} \approx 0,19\text{ MPa}.$$

$F$  on renkaiden tienpintaan kohdistama voima, ja sen suuruus on neljäsosa auton painosta  $G$ , kun oletetaan, että paino jakautuu yhtä suurena kaikille pyörille.

c) Alipaineiset renkaat joustavat paljon. Ajettaessa muodon muutokset kuumentavat renkaita. Kuumeneminen kohottaa renkaiden ilmanpainetta, joten tilanne voi hetkeksi osittain korjaantua. Liian paljon kuumentunut rengas voi kuitenkin rikkoutua.

16. a) Ks. sivu 43.

b) Paine on yhtä suuri molemmissa männissä.

$$p_1 = p_2, \text{ joten}$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}, \text{ josta saadaan kuormamännän pinta-alaksi}$$

$$A_1 = \frac{F_1 \cdot A_2}{F_2} = \frac{920 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 4,0 \text{ cm}^2}{1,8 \text{ kN}} \approx 20 \text{ cm}^2.$$

17. a) Paine on

$$p = \rho gh, \text{ josta saadaan } h = \frac{p}{\rho g} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1,29 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \approx 8,0 \text{ km}.$$

b) Lämpötiloja vertaillaan suhteellisesti absoluuttisen nollapisteen lämpötilaan, joka on 0 K. Vertailu on tehtävä kelvineinä aina, kun tarkastellaan lämpötilojen suhteellisia muutoksia. Celsiusasteita voidaan käyttää, kun ilmoitetaan lämpötiloja tai lämpötilojen erotuksia. Celsiusasteita ei voi aina käyttää. Vertaaminen lämpötilaan 0 °C johtaisi joskus mahdottomaan tilanteeseen, koska jakajana saattaisi olla nolla. Lämpötila 0 °C ei ole termodynamiikassa lämpötilana missään erityisasemassa.

c) Muutetaan lämpötilat kelvineiksi:  $T/\text{K} = t/^\circ\text{C} + 273,15$

$$\begin{aligned} 1) \quad t &= 90 \text{ }^\circ\text{C} \\ T/\text{K} &= 90 \text{ }^\circ\text{C}/^\circ\text{C} + 273,15 \quad | \cdot \text{K} \\ T &= (90 + 273,15) \text{ K} = 363,15 \text{ K} \end{aligned}$$

Koska  $100 \text{ }^\circ\text{C} = 373,15 \text{ K}$ , saadaan tulokseksi  $(373,15 \text{ K} - 363,15 \text{ K}) / 363,15 \text{ K} \cdot 100 \cdot \% \approx 2,8 \%$ .

$$2) \quad (3,15 \text{ K} - 13,15 \text{ K}) / 3,15 \text{ K} \cdot 100 \% \approx -320 \%$$

$$3) \quad (263,15 \text{ K} - 273,15 \text{ K}) / 273,15 \text{ K} \cdot 100 \% \approx -3,7 \%$$

18. a) Ks. s. 41.

b) Sukellusveneen sisällä on normaali ilmanpaine, joka on likimain yhtä suuri kuin ilmanpaine meren pinnalla. Luokkuun kohdistuva kokonaisvoima riippuu vain hydrostaattisesta paineesta.

$$\text{Paine } p = \frac{F}{A}, \text{ josta saadaan}$$

$$F = pA = \rho gh \cdot A = 1010 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 45 \text{ m} \cdot \pi(0,33 \text{ m})^2 \approx 150 \text{ kN}.$$

19. Hydrostaattinen paine on

$$p = \rho gh = 1,00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 44,145 \text{ kPa} \approx 44 \text{ kPa}$$

Punnus kohdistaa rintakehään voiman  $F$ , joka on yhtä suuri kuin punnuksen paino  $G$ .

Paine on

$$p = \frac{F}{A} = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A}, \text{ josta saadaan}$$

$$m = \frac{pA}{g} = \frac{44,145 \text{ kPa} \cdot 0,15^2 \text{ m}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 101,25 \text{ kg} \approx 100 \text{ kg}.$$

20. Edellä puristuskestävyys on ilmoitettu paineen avulla, joten suurin mahdollinen paine on  $p = 220 \text{ N/mm}^2 = 220 \text{ N}/(10^{-3} \text{ m})^2 = 220 \text{ MN/m}^2$ . Paineen aiheuttaa palkin oma paino  $G = mg$ ,

jossa  $m$  on pylvään massa ja

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

Pylvään korkeus on  $h$ , poikkipinta-ala  $= A$  ja tiheys  $\rho = m/V$ , jossa  $V = Ah$  on pylvään tilavuus.

Paineeksi saadaan

$$p = \frac{F}{A} = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho gh.$$

Ratkaistaan pylvään korkeus  $h$ .

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{220 \text{ MN/m}^2}{2000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 11213 \text{ m} \approx 11 \text{ km}.$$

Ilmanpaine aiheuttaa saman puristuksen kuin noin 5 m:n korkuinen betonipylväs, joten sillä ei ole tässä merkitystä.

21. a) Ks. s. 53.

b) Näsideulan pituuden muutos on

$$\Delta l = \alpha l \Delta t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} \cdot 120 \text{ m} \cdot 60^\circ\text{C} \approx 8,6 \text{ cm}.$$

22. a) Ympyrän pinta-ala  $A = \pi r^2$ , jossa  $r$  on ympyrän säde. Säteen suuruus muuttuu.

Säde on  $r = r_0$ , kun  $T = (273 + 35) \text{ K} = 308 \text{ K}$  ja  $r = r_2$ , kun  $T = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = (3 \text{ K} - (273 + 35) \text{ K}) = -305 \text{ K}$$

Oletetaan, että ikkuna on lasia, jonka pituuden lämpötilakerroin on

$$\alpha = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}.$$

Säteeksi saadaan

$$r = r_0 (1 + \alpha \Delta t) = 10,0 \text{ cm} \cdot (1 + 8,0 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 305 \text{ K}) = 9,9756 \text{ cm}.$$

Pinta-alat ovat

$$A_0 = \pi r_0^2 = \pi (10,0 \text{ cm})^2 \approx 314 \text{ cm}^2 \text{ ja}$$

$$A_2 = \pi r^2 = \pi (9,9756 \text{ cm})^2 \approx 313 \text{ cm}^2$$

Pinta-alan muutos on prosentteina

$$\frac{A_2 - A_0}{A_0} \cdot 100 \% = \frac{\pi (9,9756 \text{ cm})^2 - \pi (10,0 \text{ cm})^2}{\pi (10,0 \text{ cm})^2} \cdot 100 \% \approx -0,487 \%$$

b) Aurinkokunnasta poistuvat luotaimet etenevät niin kauaksi, että Aurinko ei enää lämmitä niitä. Eri materiaaleilla on jonkin verran erilaiset lämpötilakertoimet. Tämä voi aiheuttaa jännityksiä rakenteissa ja aluksen tiiviysongelmia. Monet Maan päällä käytetyt materiaalit eivät sovellu lainkaan avaruuden kylmyyteen. Avaruusalus voi jopa tuhoutua, jos tätä ei osata

ottaa huomioon. Näin on tapahtunutkin. Maata kiertävillä satelliiteilla ja muilla Auringon läheisyydessä liikkuvilla aluksilla on ongelmana se, että Auringon puoli kuumenee ja toinen puoli jäähtyy. Tämä on ratkaistu antamalla alusten pyöriä, jolloin lämpötilaerot tasoittuvat. Maata kiertävien satelliittien lämpötila muuttuu toistuvasti, jos kiertorata on sellainen, että välillä alus on Auringon paisteessa ja välillä Maan varjossa.

**23. a)** Ks. Fysiikka 2 s. 63.

b) Boylen lain mukaan isotermisessä prosesseissa  $pV = \text{vakio}$ , joten

$$p_1V_1 = p_2V_2.$$

Kaasun tilavuus 1,0 bar:n paineessa on

$$V_2 = \frac{p_1V_1}{p_2} = \frac{100 \text{ bar} \cdot 40 \text{ l}}{1,0 \text{ bar}} = 4000 \text{ l}.$$

Kaasua on jäljellä 1,0 bar:n paineessa  $4000 \text{ l} - 800 \text{ l} = 3200 \text{ l}$ .

Käytön jälkeen pullossa vallitseva paine on

$$p_2 = \frac{p_1V_1}{V_2} = \frac{1,0 \text{ bar} \cdot 3200 \text{ l}}{40 \text{ l}} = 80 \text{ bar}.$$

**24.** Lasketaan vedyn alkutilavuus paineessa 1,02 bar.

$$p_1V_1 = p_2V_2, \text{ josta saadaan } V_1 = \frac{p_2V_2}{p_1} = \frac{150 \text{ bar} \cdot 50 \text{ l}}{1,02 \text{ bar}} \approx 7353 \text{ l}.$$

Lopputilavuus

$$V_{\text{loppu}} = \frac{p_{\text{loppu}}V_1}{p_1} = \frac{45 \text{ bar} \cdot 50 \text{ l}}{1,02 \text{ bar}} \approx 2206 \text{ l}.$$

Vetyä kuluu  $7353 \text{ l} - 2206 \text{ l} = 5147 \text{ l}$  ja aikaa  $t = \frac{5147 \text{ l}}{60 \text{ l/min}} \approx 86 \text{ min}$ .

**25.** Renkaan todellinen paine on  $2,0 \text{ bar} + 1,0 \text{ bar} = 3,0 \text{ bar}$ .

$$p_2 = \frac{p_1V_1T_2}{T_1V_2} = \frac{3,0 \text{ bar} \cdot 308 \text{ K}}{281 \text{ K} \cdot 1,045} \approx 3,1 \text{ bar}$$

Mittari näyttää lukemaa  $3,1 \text{ bar} - 1,0 \text{ bar} = 2,1 \text{ bar}$ ..

**26.** Yhtälöstä  $pV = nRT$  saadaan

$$pV = \frac{m}{M}RT. \text{ Ratkaistaan argonkaasun massa.}$$

$$m = \frac{pVM}{RT} = \frac{15 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 0,035 \text{ m}^3 \cdot 39,9 \text{ g/mol}}{8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot 294 \text{ K}} \approx 8,6 \text{ kg}.$$

**27.** Lämpötilat kelvinasteina ovat:

$$T_1 = (18,7 + 273,15) \text{ K} = 291,85 \text{ K}$$

$$T_2 = (18,7 + 8,5 + 273,15) \text{ K} = 300,35 \text{ K}$$

Ilmanpaine on  $p = 1,1 \text{ bar} = 110 \text{ kPa}$ . Luokan ilma laajeni vakiopaineessa, joten

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ josta saadaan } V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{150 \text{ m}^3 \cdot 300,35 \text{ K}}{291,85 \text{ K}} = 154,369 \text{ m}^3.$$

Tilavuuden muutos on  $\Delta V = 154,369 \text{ m}^3 - 150 \text{ m}^3 = 4,369 \text{ m}^3 \approx 4,4 \text{ m}^3$ .

Kaasu teki laajetessaan työn

$$\Delta W = p \Delta V = 110 \text{ kPa} \cdot 4,369 \text{ m}^3 = 480,59 \text{ kJ} \approx 480 \text{ kJ}.$$

**28.** Paine vappupallon sisällä on  $p_1 = 1,02 p_0 = 1,02 \cdot 0,101325 \text{ MPa}$  ja tilavuus  $V_1 = 15 \text{ dm}^3$ .

$$T_1 = (22 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$$

$$T_2 = (-3 + 273,15) \text{ K} = 270,15 \text{ K}$$

Lasketaan uusi paine  $p_2$  ja uusi tilavuus  $V_2$ .

Pallon tilavuuden muutosta ei tunneta, joten oletetaan nyt tilavuuden pysyvän vakiona.

Tällöin isokoorisessa prosessissa

$$p_1/T_1 = p_2/T_2, \text{ josta saadaan}$$

$$p_2 = p_1 T_2/T_1 = 1,02 p_0 \cdot 270,15 \text{ K}/295,15 \text{ K} \approx 0,93 p_0$$

Pallon tilavuus ei kuitenkaan pysy vakiona, vaan se painuu kasaan. Paine on normaali ilmanpaine  $p_0 = 0,101325 \text{ MPa}$ .

Lasketaan pallon tilavuus ulkona.

$$p_1 = 1,02 p_0 = 1,02 \cdot 0,101325 \text{ MPa}$$

$$T_1 = (22 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$$

$$T_2 = (-3 + 273,15) \text{ K} = 270,15 \text{ K}$$

$$p_2 = p_0 = 0,101325 \text{ MPa} \approx 0,1013 \text{ MPa}$$

$$V_1 = 15 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = ?$$

Yleinen kaasun tilanyhtälö:  $p_1 V_1/T_1 = p_2 V_2/T_2$ , josta saadaan

$$V_2 = p_1 V_1 T_2 / p_2 T_1 = 1,02 \cdot p_0 \cdot 15 \text{ dm}^3 \cdot 270,15 \text{ K} / (p_0 \cdot 295,15 \text{ K})$$

$$\approx 14 \text{ dm}^3.$$

Huom! Ensin pallo jäähtyy sekä paine laskee vakiotilavuudessa ja sitten pallo jäähtyy vakiopaineessa, jolloin tilavuus pienenee. Näin laskemalla saadaan sama lopputulos.

**29. a)** Säiliön tilavuuden kasvu oli

$$\begin{aligned} \Delta V_s &= \gamma_s V_s \Delta t = 3\alpha V_s \Delta t = 3 \cdot 11,7 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C} \cdot 20001 \cdot 35^\circ\text{C} \\ &= 2,4571 \approx 2,46 \text{ l} \end{aligned}$$

Öljyn tilavuuden kasvu oli

$$\Delta V_o = \gamma_o V_o \Delta t = 9,0 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C} \cdot 20001 \cdot 35^\circ\text{C} = 63,01.$$

Yli valuu

$$63,01 - 2,46 \text{ l} \approx 61 \text{ l}.$$

b) Mökkiä käytettäessä ihmisten läsnäolo tuo runsaasti kosteutta mökin sisälle. Tämä johtuu hengityksestä, hikoilusta, ruuan valmistuksesta ja monessa tapauksessa myös saunomisesta. Mökin lämmin sisäilma pystyy sitomaan paljon kosteutta. Kun mökki jää kylmilleen, ilman suhteellinen kosteus kasvaa suureksi. Vesi voi jopa tiivistyä pinnoille. Näin käy varsinkin silloin, jos mökin ilma ei pääse tuulettumaan tehokkaasti niin, että kuivaa ilmaa tulee tilalle. Pitkällä aikavälillä tästä voi aiheutua kosteusvaurioita mökille.

30. a) Iho haihuttaa vettä, jonka mukana poistuu lämpöä. Tuuli kuljettaa pois ihon pinnalta kostean ja lämpimän ilmakerroksen. Tällöin iho haihuttaa enemmän. Haihtuminen kuluttaa aina energiaa, jonka haihtuva vesi ottaa ihosta. Näin iho viilenee.

b) Veden haihtuminen iholta pitää ihon lämpötilan siedettävänä. Puhaltaminen vie iholta pois suunnilleen ihon lämpöisen ilman ja tuo tilalle kuumassa ilmassa lämmenneen kostean hengityshöyryn, joka tuo mukanaan energiaa.

c) Ilmassa oleva kosteus sitoo tai luovuttaa lämpöenergiaa.

31. a) Aine, jolla on suuri ominaislämpökapasiteetti, voi varastoida tai luovuttaa lämpöä massayksikköä kohti enemmän kuin aine, jolla on pieni ominaislämpökapasiteetti. Jos tällaisilla aineilla on yhtä suuri massa mutta eri lämpötila ja ne ovat ympäristöstään termisesti eristetyssä tilassa, ne päätyvät lopulta samaan lämpötilaan. Tällöin aine, jonka ominaislämpökapasiteetti on suuri, sitoo ja luovuttaa lämpöenergiaa siten, että sen oma lämpötila ei muutu niin paljon kuin aineella, jonka ominaislämpökapasiteetti on pieni.

b) Molempien lämpötila kohoaa, koska mekaaninen energia muuttuu lämpöenergiaksi. Sen aineen lämpötila kohoaa enemmän, jonka ominaislämpökapasiteetti on pienempi. Lämpötilan muutoksen erilaisuus johtuu erilaisesta ominaislämpökapasiteetista.

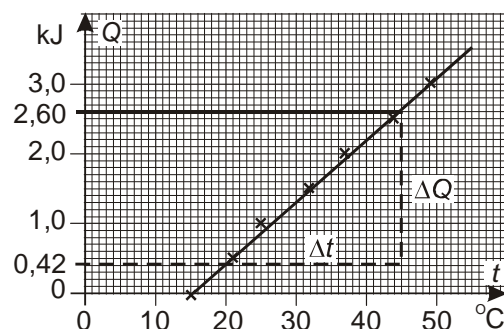
$$c_1 m \Delta t_1 = c_2 m \Delta t_2, \text{ joten } \Delta t_1 = \frac{c_2 m \Delta t_2}{c_1 m} = \frac{c_2 \Delta t_2}{c_1}.$$

Silloin  $\Delta t_1$  ja  $c_1$  ovat kääntäen verrannollisia.

32. a) Ks. s. 97.

Lämpökapasiteetti on

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{2,60 \text{ kJ} - 0,42 \text{ kJ}}{45^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} \approx 87 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}.$$



33. Kuuma vesi (1) ja kylmä vesi (2) yhdistetään, jolloin loppulämpötila on  $t_0$ .

$$m_1 = 1,5 \text{ kg} \quad m_2 = 7,5 \text{ kg}$$

$$\Delta t_1 = 80^\circ\text{C} - t_0 \quad \Delta t_2 = t_0 - 18^\circ\text{C}$$

Jos systeemi on eristetty, lämpö säilyy. Kuuma vesi luovuttaa yhtä suuren lämpömäärän kuin kylmä vesi ottaa vastaan.

$$Q_1 = Q_2$$

$$c_{\text{vesi}} m_1 \Delta t_1 = c_{\text{vesi}} m_2 \Delta t_2 \quad | : c_{\text{vesi}}$$

$$1,5 \text{ kg}(80^\circ\text{C} - t_0) = 7,5 \text{ kg}(t_0 - 18^\circ\text{C}) \quad | : \text{kg}$$

$$120^\circ\text{C} - 1,5t_0 = 7,5t_0 - 135^\circ\text{C}$$

$$9t_0 = 255^\circ\text{C}$$

$$t_0 = \frac{255^\circ\text{C}}{9} \approx 28^\circ\text{C}$$

34. a) Aineen lämpötila kohoaa, kunnes se alkaa pysyä vakiona. Silloin aine sulaa. Kuvion perusteella aineen sulamispiste on  $127^\circ\text{C}$ .

b) Aikavälillä  $\Delta t = 4,0 \text{ min} - 0 \text{ min} = 4,0 \text{ min}$  aine lämpenee, koska se saa lämpömäärän  $Q = cm\Delta\theta$ . Lämmitysteho on

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{cm\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{6,0 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,080 \text{ kg} \cdot 25^\circ\text{C}}{4,0 \cdot 60 \text{ s}} = 50 \text{ W}.$$

c) Kuvaajan vaakasuora osa kuvaa sulamisaikaa, jonka pituus on  $t = 5,0 \text{ min}$ . Vakioteholla lämmitettäessä aineeseen sitoutuvan energian suuruus on  $Q = P \cdot t$ . Tämä energia aiheuttaa aineen sulamisen, joten  $Q = s \cdot m$ .

$sm = Pt$ , josta saadaan

$$s = \frac{Pt}{m} = \frac{50 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 5,0 \cdot 60 \text{ s}}{0,080 \text{ kg}} \approx 190 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

35. Vesi oli aluksi kiehuva, joten veden vastaanottama energia kului veden höyrystymiseen. Koska veden tiheys on  $1,00 \text{ g/cm}^3$ , massojen arvot on helppo laskea taulukon perusteella.  $P$  on veden vastaanottama teho,  $t$  on aika,  $r$  on veden ominaishöyrystyslämpö  $2\,260 \text{ kJ/kg}$  ja  $m$  on höyrystyneen veden massa.

Oletetaan, että mikroaaltouunin luovuttama energia kuluu veden höyrystymiseen.

mikroaaltouunin

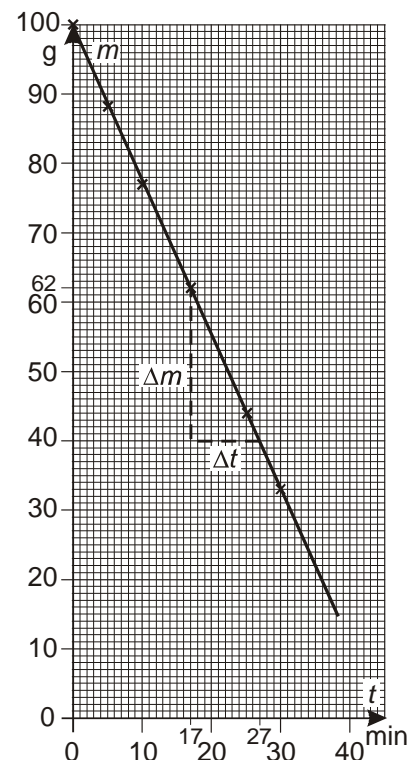
veteen luovuttama energia = höyrystymiseen kulunut energia

$$Pt = rm$$

$$P = \frac{rm}{t}$$

Veden tilavuuden arvoista saadaan vastaavat massojen arvot,

$$\text{sillä } m = \rho \cdot V = 1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot V.$$



Mitattujen arvojen avulla sovitetaan suora ( $t, m$ )-koordinaatistoon. Suoran kulmakertoimeksi saadaan kuviosta

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{0,062 \text{ kg} - 0,040 \text{ kg}}{27 \text{ min} - 17 \text{ min}} = \frac{0,022 \text{ kg}}{600 \text{ s}}$$

Teho on

$$P = \frac{r\Delta m}{\Delta t} = \frac{2260 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,022 \text{ kg}}{600 \text{ s}} \approx 83 \text{ W}$$

Mitattu teho oli pienempi kuin mikroaaltouunin valinta-asteikon ilmoittama teho, koska osa tehosta kului esimerkiksi uunin seinämien lämpenemiseen. Uunin sisälämpötila mitattiin alussa ja loppussa ja sen todettiin kohonneen noin  $20^\circ\text{C}$ .

**36.** Lämmin vesi luovuttaa jäähtyessään energiaa.

$$Q_1 = cm\Delta t = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 1,0 \text{ kg} \cdot (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 419 \text{ kJ}$$

Jään sulaminen kuluttaa energiaa.

$$Q_2 = sm = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 5,0 \text{ kg} = 1665 \text{ kJ}$$

Vapautuva energia ei riitä koko jäämassan sulattamiseen, joten jäätä jää sulamatta. Loppulämpötila on  $0^\circ\text{C}$ .

**37. a)** Tarvittavan energian määrä on

$$Q = cm\Delta t = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 1,0 \text{ kg} \cdot (95 - 15)^\circ\text{C} \approx 340 \text{ kJ}$$

b) Alumiinikattilan lämpötilan muutos saadaan yhtälöstä

$$Q = cm\Delta t, \text{ josta } \Delta t = \frac{Q}{cm} = \frac{335,2 \text{ kJ}}{0,900 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 0,57 \text{ kg}} \approx 653^\circ\text{C}$$

Loppulämpötila olisi  $15^\circ\text{C} + 653^\circ\text{C} = 668^\circ\text{C} \approx 670^\circ\text{C}$ , mutta alumiini sulaa vähän alemmassa lämpötilassa eli  $660$  asteessa, joka on siis loppulämpötila, koska sulamisen aikana lämpötila ei kohoa. Alumiinin saama energia on vain vähän suurempi kuin sen lämpötilan kohottamiseksi sulamispisteeseen tarvittavan energian. Alumiini on tässä tilanteessa alkanut sulaa pohjasta ja on siis osittain sula, osittain kiinteä. Kattilan reunojen lämpötila on todellisuudessa alempi kuin pohjan lämpötila.

**38. a)** Lämmin lounaistuuli tuo mukanaan kosteutta. Kylmän tien pinnan lähellä saavutetaan  $100\%$ :n suhteellinen kosteus (kastepiste), jolloin vesihöyry härmistyy tien pinnalle. Vesi voi siis jäättyä, vaikka ilman lämpötila olisi yli nollan, sillä tien pinta ei lämpene välittömästi.

b) Energian määrä on

$$\begin{aligned} Q &= cm\Delta t = c\rho V\Delta t = c\rho Ah\Delta t \\ &= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 338145 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 0,005 \text{ m} \cdot (7,5^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \\ &\approx 5,3 \cdot 10^{13} \text{ kJ} \end{aligned}$$

Veden jäähtyessä nolla-asteiseksi energiaa vapautuu, ja se voi sitoutua maahan tultuaan monella tavalla, sillä maanpinnan lämpötila eri puolilla Suomea on varmasti erilainen.

Erilaisia mahdollisuuksia:

- lämmittää pakkaslunta 0-celsiusasteiseksi ja sulattaa osan siitä
- sulattaa 0-asteista lunta ja jäätä
- lämmittää jäisen maanpinnan 0-asteiseksi
- imeytyy maahan ja lämmittää sitä 0-asteiseksi

**39. a)** Olkoon suolan määrä  $m = x$  kg.

Lämpöä sitoutuu

- kiinteään suolaan

$$Q_1 = c_{\text{kiinteä}} m \Delta t = x \text{ kg} \cdot 1,93 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (32 - 20) ^\circ\text{C} = x \cdot 23,2 \text{ kJ}$$

- sulamisprosessiin  $Q_2 = sm = x \cdot 243 \text{ kJ}$

- sulan suolan lämmittämiseen

$$Q_3 = c_{\text{neste}} m \Delta t = x \text{ kg} \cdot 2,83 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (45 - 32) ^\circ\text{C} = x \cdot 36,8 \text{ kJ}$$

Yhteensä  $Q_{\text{kok}} = x \cdot 303 \text{ kJ}$

Saadaan yhtälö:  $x \cdot 303 \text{ kJ} = 0,50 \cdot 10^6 \text{ kJ}$ , josta saadaan  $x = 1650 \text{ kg}$ .

b) Vesi on koko ajan nesteenä. Vettä tarvitaan  $k$ -kertainen määrä.

$$k \cdot 1650 \text{ kg} \cdot 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 25 ^\circ\text{C} = 0,50 \cdot 10^6 \text{ kJ}, \text{ josta } k = 2,9$$

**40.** Sähkökuumentimessa kuluva energia  $E = Pt = 600 \text{ J/s} \cdot 35 \cdot 60 \text{ s} = 1\,260 \text{ kJ}$ .

Vesimassa ottaa vastaan lämpömäärän

$$\begin{aligned} Q &= c m_v \Delta t + m_h r \\ &= 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 2 \text{ kg} \cdot 80 ^\circ\text{C} + 0,2 \text{ kg} \cdot 2,26 \text{ kJ/kg} \\ &= 1122 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\frac{1122 \text{ kJ}}{1260 \text{ kJ}} \cdot 100 \% = 89 \%$$

**41.** Seinämän läpi johtuvan energian määrä on

$$\begin{aligned} Q &= k \cdot A \cdot \Delta t \cdot t \\ &= 0,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 12 \text{ m}^2 \cdot 46 ^\circ\text{C} \cdot 24 \text{ h} \approx 3,3 \text{ kWh}. \end{aligned}$$

**42. a)** Kummassakin tapauksessa lämpöä siirretään alemmasta lämpötilasta ylempään. Tämä on lämpöopin II pääsäännön mukaan mahdotonta ilman ulkoista työtä.

b)  $T_{\text{alempi}} = T_a = (-18 + 273) \text{ K} = 255 \text{ K}$

$$T_{\text{ylempi}} = T_y = (26 + 273) \text{ K} = 299 \text{ K}$$

$$\text{hyötysuhde } \eta = 1 - T_a / T_y = 1 - 255 \text{ K} / 299 \text{ K} = 0,147157 \approx 0,15 = 15 \%$$

Jääkaapin hukkaenergia poistuu lämpönä huoneilmaan. Kylmillä säillä tämä energia lämmittää asuntoa ja siten pienentää lämmityskustannuksia.

43. a) Auringon säteily lämmittää maan pintaa nopeammin kuin meren pintaa. Lämmennyt ilma nousee rannan kohdalla ylös. Samalla mereltä virtaa tilalle kylmempää ilmaa ja syntyy merituuli.

Yleensä merituulta esiintyy suotuisissa olosuhteissa keskikesän tienoille asti.

b) Suolavesi jäätyy alemmassa lämpötilassa kuin suolaton vesi.

44. Aurinkopaneeli varastoi energiaa teholla

$$P_{\text{tuotto}} = \eta \cdot P_{\text{otto}} = 0,11 \cdot 1,2 \text{ m}^2 \cdot 150 \text{ W/m}^2 = 19,8 \text{ W}.$$

Viikon aikana aurinkopaneelin avulla varastoitu energia on

$$E_{\text{paneeli}} = P_{\text{tuotto}} \cdot t = 19,8 \text{ W} \cdot 5 \cdot 6 \cdot 3\,600 \text{ s} = 2,1384 \text{ MWh}.$$

(Tämä on siis varastoitu lisäenergia, joka käytetään. Akkuun pitää jäädä energiaa käytön jälkeenkin, jotta akku toimisi koko ajan normaalisti.)

Hehkulampun käyttöaika tällä energialla saadaan yhtälöstä

$$E_{\text{lamppu}} = E_{\text{paneeli}}$$

$$P_{\text{lamppu}} \cdot t_{\text{lamppu}} = E_{\text{paneeli}}, \text{ josta saadaan}$$

$$t_{\text{lamppu}} = \frac{E_{\text{paneeli}}}{P_{\text{lamppu}}} = \frac{2,1384 \text{ MWh}}{60 \text{ W}} = 35\,640 \text{ s} = 9,9 \text{ h} \approx 9 \text{ h } 50 \text{ min}.$$

45. Luistin kohdistaa jäähän voiman  $F$ , joka on yhtä suuri kuin luistelijan paino  $G$ .

$$p = \frac{F}{A} = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{86 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{750 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \approx 1,1 \text{ MPa} = 11 \text{ bar}$$

Luistimen ja jään välinen kitka on pienin, kun jään pinnan lämpötila on  $0^\circ\text{C}$  tai vähän sen alapuolella. Luistimen jäähän kohdistama paine sulattaa ohuen vesikerroksen jään ja luistimen terän väliin. Tällöin luisto on hyvä. Näin voi käydä pakkasellakin, jos Auringon säteily on lämmittänyt jään pinnan. Jos pakkasen on kova ja luistelijä kevyt, voi käydä niin, että paine ei sulata jäätä. Tällöin jään pinnan ja liukuvan luistimen välinen kitka vaikuttaa siten, että jään pinta sulaa. Luisto ei ole kuitenkaan yhtä hyvä kuin lämpimämmällä jäällä.

46. Yhdestä moukarin pudotuksesta vapautuva energia on

$$W = Fs = mgs = 1,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,0 \text{ m} \approx 14,72 \text{ J}.$$

Tämä energia on yhtä suuri kuin moukarin potentiaalienergian muutos.

Rautapala saa yhden pudotuksen vaikutuksesta puolet tästä energiasta:

$$\frac{14,72 \text{ J}}{2} = 7,36 \text{ J}.$$

Lämmitäkseen rautapala tarvitsee energian

$$Q = cm\Delta t = 0,450 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,20 \text{ kg} \cdot 60^\circ\text{C} = 5400 \text{ J}.$$

Pudotuskertojen määrä on  $\frac{5400 \text{ J}}{7,36 \text{ J}} \approx 730$ .

**Toinen tapa:**

Lasketaan kuinka suuri lämpötilan muutos aiheutuu yhdestä pudotuksesta.

$$Q = cm\Delta t$$

$$\Delta t = \frac{Q}{cm} = \frac{0,00736 \text{ kJ}}{0,450 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,2 \text{ kg}} \approx 0,082^\circ\text{C}$$

Tarvittavien pudotusten määrä on  $\frac{60^\circ\text{C}}{0,082^\circ\text{C}} \approx 730$ .

**47.** Törmäyksessä vapautuva lämpöenergia on kaksinkertainen lyijykuulan saamaan lämpöenergiaan verrattuna.  $Q = 2Q_{\text{pb}}$

$$E_k = Q$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = 2Q_{\text{pb}} \quad | \quad Q_{\text{pb}} = c_{\text{pb}}m\Delta t$$

Ratkaistaan yhtälöstä nopeus.

$$v = \sqrt{\frac{4 \cdot c_{\text{pb}}m\Delta t}{m}} = \sqrt{4 \cdot 0,13 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 290^\circ\text{C}} \approx 390 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Yksikkötarkastelu:

$$\sqrt{\frac{\text{J}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{Nm}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**48.** Paine on  $p_1 = 0,060 \text{ MPa}$  ja lämpötila  $T_1 = (20 + 273,15) \text{ K} = 293,15 \text{ K}$ .

Normaali ilmanpaine on  $p_2 = 0,101325 \text{ MPa}$ .

Lasketaan lämpötila  $T_2$ .

Tilavuus on vakio, joten prosessi on isokoorinen.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ josta saadaan}$$

$$T_2 = \frac{p_2 T_1}{p_1} = \frac{0,101325 \text{ MPa} \cdot 293,15 \text{ K}}{0,060 \text{ MPa}} = 495 \text{ K} \approx 220^\circ\text{C}$$

Kaasun ja lampun lämpötila riippuu lampun tehosta. Mitä suurempi lampun teho on, sitä enemmän syntyy lämpöä ja sitä kuumempi lamppu on. Lisäksi lampun lämpötila riippuu ympäristön lämpötilasta sekä siitä, kuinka suljetussa tai avoimessa tilassa lamppu on, eli siitä, kuinka ilma virtaa kuumen lampun ohi. Jos kaasu olisi huoneen lämpötilassa normaalipaineista, lampua käytettäessä kaasu olisi ylipaineista. Tällöin lamppu saattaa rikkoutua ja sirpaleet voivat olla vaarallisia. Myös alipaineisen lampun sirpaleet lentelevät, jos lamppu hajoaa.

**49. a)** Kylmällä säällä ikkunan sisäpinta on viileä, jolloin pinnan lähellä viileä ilma virtaa alas. Tämä viileä virtaus kohtaa pattereista ylös nousevan lämpimän virtauksen, jolloin

tapahuu sekoittumista. Kylmä ilma ei pääse lattialle. Jos patterit olisivat muualla, lattia tuntuisi kylmältä ja vetoisalta, vaikka lämpötila muuten olisi tarpeeksi korkea.

b) Lasien välillä oleva ilmakerros on hyvä lämmöneriste. Paksu kerros on hyvä, jos ilma ei pääse virtaamaan, mutta jos lasit ovat kaukana toisistaan, sisempi ikkuna lämmittää ilman, joka nousee ylös. Ilma luovuttaa lämmön ulommalle ikkunalle, ja viilentynyt ilma valuu taas alas. Syntyy kierto, joka siirtää lämpöä sisältä ulos. Sopivan kapea rako ikkunoiden välissä estää tämän kierron, joten eristys on edellistä parempi.

**50. a)** Jääkaapin ja pakastimen takana on lämmönvaihdin, joka siirtää lämpöä laitteen sisältä ulkopuolelle huoneilmaan. Mitä korkeampaan lämpötilaan lämpö siirtyy, sitä enemmän tarvitaan energiaa. Virtaava ilma pitää lämmönvaihtimen lämpötilan alhaisena.

b) Alumiinifolio heijastaa takaisin lämpimästä ruuasta tulevan lämpösäteilyn ja lisäksi alumiinin lähettämä lämpösäteily on vähäistä. Jos alumiinia on useampi kerros, väliin jäävät ilmakerrokset toimivat lämmöneristeenä. Ilma on hyvä lämmöneriste.

c) Keraamiset ja valurautaiset astiat ottavat tehokkaasti säteilylämpöä vastaan, joten niissä ruoka lämpenee uunissa hyvin niissä.

d) Kuumassa ihmisen iho hikoilee. Haihtuminen sitoo lämpöä, joka on enimmäkseen peräisin iholta, joten elimistön lämpötila pysyy vakaana. Jos ihminen ei nauti riittävästi nestettä, elimistö ei pysty muodostamaan tarpeeksi hikeä ja näin elimistön lämpötila voi kohota vaarallisen korkeaksi.

**51. a)** Kun öljyä käytetään paistamiseen tai uppopaistamiseen, sen lämpötila on yli 100 °C. Jos öljyyn tipahtaa vettä, se höyrystyy hyvin nopeasti ja kuuma öljy roiskahtaa höyrystyvän veden mukana. Tällöin syntyy yleensä palovammoja, jos kuumaa öljyä joutuu iholle.

b) Palava öljy sammutetaan tiiviillä kannella, joka tukahduttaa liekin. Kansi on oltava käden ulottuvilla esimerkiksi munkkeja paistettaessa. Jos palavaa öljyä yritetään sammuttaa vedellä, palavat öljypisarot roiskuvat ympäriinsä ja voivat sytyttää tulipalon.

c) Kiiltävä alumiini heijastaa lämpösäteilyn tehokkaasti takaisin pussiin. Pussissa oleva ilma toimii lämmöneristeenä.

d) Veden kiehumislämpötila on 100 °C riippumatta siitä, kuinka voimakkaasti vesi kiehuu. Kansi vähentää höyryn ja lämmön karkaamista kattilan ulkopuolelle. Näin kansi säästää energiaa.

**52. a)** Putkistossa kiertävä neste sitoo jääkaapin sisäpuolella lämpöä höyrystyessään. Ulkopuolella höyry jäähtyy ja luovuttaa jäähtyessään sisältä tuomansa lämmön. Ks. s. 136.

b) Kun ovi on ensin auki, pakastimeen menee lämmintä huoneilmaa ja sen mukana kosteutta. Kosteus härmistyy nopeasti kylmille pinnoille. Kun pakastimen ovi suljetaan, härmistyminen jatkuu ja höyryn paine laskee nopeasti, jolloin paine sisäpuolella tulee pienemmäksi kuin ulkopuolella. Ilman jäähtyminen vaikuttaa samalla tavalla. Pakastimen ovi on suuri, joten paine-ero aiheuttaa suuren pakastimeen päin vaikuttavan voiman. Jos ovi on kauan suljettuna, edellä kuvattu paine-ero tasoittuu vähitellen.