

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 1-1.** Aine rakentuu atomeista. Atomi koostuu ytimeistä ja elektroniverhosta. Ydin muodostuu protoneista ja neutroneista, elektroniverho elektroneista. Aine voi rakentua myös molekyyleistä tai ioneista. Ionissa atomin elektroniverhosta on poistunut elektroni tai elektroneja tai atomiin on tullut elektroni tai elektroneja.
- 1-2.**
- a) Tilaa kuvaavat suureet eli tilanmuuttujat ovat lämpötila T , paine p , tilavuus V ja ainemäärä n .
 - b) Makrotasolla tarkastellaan silmin nähtäviä tai muilla aisteilla havaittavia ilmiöitä.
 - c) Mikrotasolla tarkastelun kohteena ovat atomit ja molekyylit.
 - d) Aineen mikrotason malleilla selitetään aineen makrotason ilmiöitä.
- 1-3.**
- a) Styroksista valmistettu kylmälaukku on (lähes) eristetty termodynaaminen systeemi.
 - b) Jos jääkaapin ovi on suljettu, jääkaappi on suljettu systeemi.
 - c) Auto on avoin systeemi.
- 1-4.**
- a) Tilaa kuvaavat suureet ovat pullossa olevan kaasun paine sekä nesteen ja kaasun tilavuus ja lämpötila.
 - b) Kun pulloa ravistellaan, paine pullon sisällä kasvaa, samoin lämpötila voi hieman kohota. Pullon tilavuus ei juuri muutu.
- 1-5.**
- a) Makrotason tarkastelussa heliumin tilaa kuvataan lämpötilan, paineen ja tilavuuden avulla.

b) Heliumpallon makroskooppiset ominaisuudet selitetään mikrotasolla rakennehiukkasten liikkeen avulla. Kaasun paine aiheutuu sen rakenneosasten törmäyksistä. Mitä suurempi rakennehiukkasten nopeus on, sitä suurempi on paine ja sitä enemmän törmäyksiä pallon kuoreen tapahtuu aikayksikössä. Pallon sisällä oleva helium vaatii tietyn tilavuuden tietyssä lämpötilassa ja paineessa.

1-6. Koska lämpötila on suoraan verrannollinen aineen rakenneosasten liikkeeseen, on luontevaa ajatella, että on olemassa alin mahdollinen lämpötila. Siinä rakenneosasten liike olisi kokonaan pysähtynyt. Absoluuttinen nollapiste on lämpötilan teoreettinen alaraja, jota ei voida koskaan saavuttaa.

1-7. Lämpötilan muutos celsiusasteina on $\Delta t = 18\text{ °C} - (-7\text{ °C}) = 25\text{ °C}$ ja kelvineinä $\Delta T = 25\text{ K}$. Lämpötilan muutos kelvineinä ja celsiusasteina on yhtä suuri.

1-8. a) $T = (14,4 + 273,15)\text{ K} \approx 288\text{ K}$.

b) $\Delta t = 14,4\text{ °C} - (-18\text{ °C}) \approx 32\text{ °C}$ ja kelvineinä $\Delta T = 32\text{ K}$.

1-9. Lämpötilat ovat

a) $T = (37 + 273,15)\text{ K} \approx 310\text{ K}$

b) $T = (-18 + 273,15)\text{ K} \approx 255\text{ K}$

c) $t = (90 - 273,15)\text{ °C} \approx -183\text{ °C}$.

1-10. a) Suureyhtälö on $\frac{t}{\text{°C}} = \frac{5}{9} \left(\frac{t}{\text{°F}} - 32 \right)$.

b) Muunnetaan lämpötila $-25\text{ }^{\circ}\text{F}$ celsiusasteiksi:

$$\frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{5}{9} \left(\frac{t}{^{\circ}\text{F}} - 32 \right) = \frac{5}{9} (-25 - 32)^{\circ}\text{C} = -31,667^{\circ}\text{C} \approx -32^{\circ}\text{C}.$$

- 1-11.** Esimerkiksi ihmisen kehon lämpötila näyttäisi olevan noin $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lattian lämpötila on hieman alle $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

2-1. Samasta painosta johtuva kosketusvoima aiheuttaa sieneen erisuuruiset painautumat, koska voiman vaikutus jakautuu erikokoisille pinta-aloille.

2-2. Työpöydän kanteen kohdistuva voima F on kartonkiin kohdistuvan painon G suuruinen. Kartongin työpöytään kohdistavan paineen suuruus on

$$p = \frac{F}{A} = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{0,11 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{1,3 \text{ m} \cdot 0,80 \text{ m}} \approx 1,0 \text{ Pa}.$$

2-3. a) Paine on

$$p = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{68 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{0,18 \text{ m} \cdot 0,53 \text{ m}} \approx 7,0 \text{ kPa}.$$

b) Artun kengänpohjan pinta-ala on 210 cm^2 . Näin ollen yhdellä jalalla seisoessaan paine on

$$p = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{68 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{210 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \approx 32 \text{ kPa}.$$

Ero kohtaan a verrattuna on noin 4,5-kertainen.

2-4. a) Lentokoneen lastiruumassa paineen ja lämpötilan muutokset ovat lennon aikana suuret verrattuna tilanteeseen maanpinnalla. Kosmetiikka, kuten sampoopullot ja hoitoaineet, on hyvä pakata muovipusseihin, koska pullot voivat vuotaa matkan aikana ilmanpaineen vaihtelujen takia (pullon sisällä olevaa ympäristöä korkeampipaineista ilmaa ja nestettä pyrkii ulos pullosta) ja näin liata muita matkatavaroita.

b) Kun ilmanpaine välikorvassa eroaa ympäristön paineesta, ei tärykalvo värähtele normaalilla tavalla. Tuntuu kuin korvat olisivat "lukossa".

Korkeuden nopea muuttuminen aiheuttaa sen, että välikorvan paine ei ehdi sopeutua ympäristön ilmanpaineeseen ja vallitseva paine-ero aiheuttaa voiman, joka kohdistuu tärykalvoon. Paine-eron syntymistä voi estää haukottelemalla tai nieleskelemällä. Myös purukumin pureskelu auttaa.

- 2-5.** a) Silmääläkärin silmänpainemittari ilmoittaa silmässä vallitsevan ylipaineen, eli tässä tapauksessa ylipaine silmässä on 17 mmHg. Lukema on normaali.

b) Paineen yhtälöstä $p = \frac{F}{A}$ silmään kohdistuva voiman suuruus on

$$F = pA = 101,3 \text{ kPa} \cdot 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 22,286 \text{ N} \approx 22 \text{ N}.$$

c) Punnuksen massa olisi

$$m = \frac{G}{g} = \frac{22,286 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} \approx 2,3 \text{ kg}.$$

- 2-6.** a) Pulpetin pintaan kohdistuva voima on kirjaan kohdistuvan painon suuruinen. Näin ollen paine on

$$p = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{0,33 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{0,184 \text{ m} \cdot 0,239 \text{ m}} \approx 74 \text{ Pa}.$$

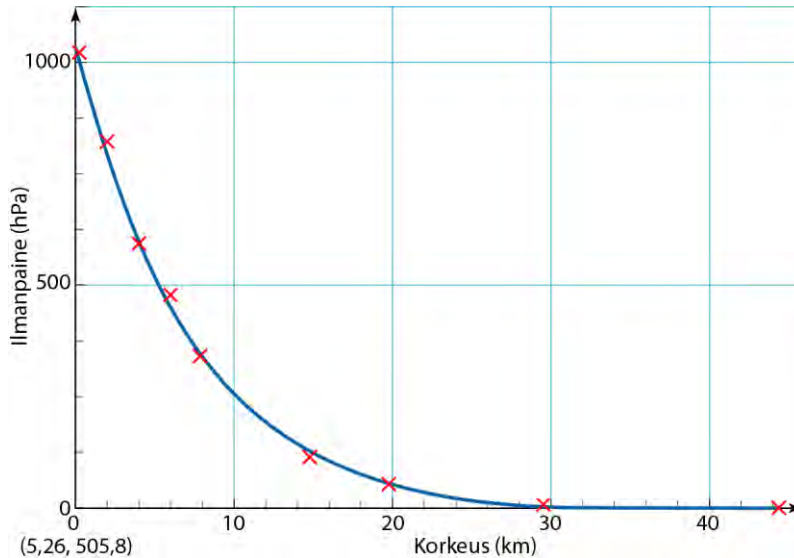
b) Ilmanpaine kohdistaa kirjan kanteen voiman, jonka suuruus on

$$F = pA = 101,3 \text{ kPa} \cdot (0,184 \text{ m} \cdot 0,239 \text{ m}) \approx 4,5 \text{ kN}.$$

(Huomaa, että tämä voima on yhtä suuri kuin noin 450 kg massaiseen kappaleeseen vaikuttava paino.)

c) Pöydällä olevan kirjan takakansi ei ole täysin tiiviisti kiinni pulpetin kannessa, vaan kirjan kannen ja pulpetin kannen välissä on ilmaa, joten kirjan kumpaankin kanteen kohdistuu (likimain) yhtä suuri ilmanpaine. Näin ollen kirjan takakanteen kohdistuu myös (likimain) yhtä suuri voima kuin etukanteen, ja voimat (likimain) kumoavat toistensa vaikutukset.

2-7. a) Ilmanpaine korkeuden funktiona.



b) Ilmanpaine on puolet alkuperäisestä 5,3 km:n korkeudella.

c) Ilmanpaine 10 km:n korkeudella on 260 hPa.

2-8. a) Hydrostaattinen paine vedessä on sitä suurempi mitä syvemmälle sukeltaa. Kun paine välikorvassa eroaa ympäristön paineesta, paine-ero aiheuttaa kivun tunteen.

b) Kuvaajan mukaan kokonaispaine 73 cm:n syvyydellä on 109 kPa. Koska mittauksen aikana ilmanpaine oli 102 kPa, hydrostaattinen paine on $109 \text{ kPa} - 102 \text{ kPa} = 7 \text{ kPa}$.

Kuvaajan mukaan suoran fysikaalinen kulmakerroin on $9,679 \text{ kPa/m}$. Tämän perusteella voi arvioida, että jokaista metriä kohden hydrostaattinen paine lisääntyy noin $9,679 \text{ kPa}$:lla eli 10 metrin syvyydellä hydrostaattinen paine olisi noin $96,79 \text{ kPa} \approx 100 \text{ kPa}$, joka likimain vastaa normaalia ilmanpainetta. Näin ollen vedessä 10 m:n syvyydellä vallitseva hydrostaattinen paine on likimain yhtä suuri kuin normaali ilmanpaine. (Huomaa, että 10 m:n syvyydellä vallitseva kokonaispaine on noin 200 kPa.)

TESTAA, OSAATKO S. 23

1. a b c 2. b 3. a b 4. a b 5. b 6. b c 7. a b c 8. a b 9. a b 10. c 11. a b c 12. a b

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 3-1.** Energian säilymislain mukaan energian kokonaismäärä pysyy muuttumattomana. Energia voi luonnonilmiöissä siirtyä tai muuntua muodosta toiseen. Energia ei lisäänny eikä vähene, eikä sitä voi luoda eikä hävittää.
- 3-2.** Vapaa energia on välittömästi hyödynnettävissä esimerkiksi lämmittämään asuntoja tai tuottamaan sähköä. Esimerkiksi Auringon säteilyenergia lämmittää säteilyn kohdetta ja tuulen ja virtaavan veden energia muuntuu sähköksi generaattoreissa. Sidottu energia pitää vapauttaa ennen kuin se voidaan käyttää hyödyksi. Esimerkiksi puun kemiallinen energia vapautetaan puusta lämmöksi polttamalla. Vapaita energialajeja ovat esimerkiksi maalämpö, tuulen ja virtaavan veden energia, aaltojen energia sekä säteilyenergia. Sidottuja energialajeja ovat esimerkiksi massaansa sisältävä energia ($E = mc^2$), kemiallinen energia, atomiytimen sidosenergia ja kappaleiden ja vesivaraston paikkaan liittyvä potentiaalienergia.
- 3-3.** Sisäenergia on mikrotasolla tarkasteltuna systeemin rakenneosasten etenemiseen, värähtelyyn ja pyörimiseen liittyvää liike-energiaa sekä niiden välisten sidosten potentiaalienergiaa.
- 3-4.**
- a) Kappaleen potentiaalienergia on kappaleen asemaan (sijaintiin) liittyvää energiaa.
 - b) Kappaleen liike-energia on kappaleen liikkeeseen liittyvää energiaa.
 - c) Kappaleen mekaaninen energia on kappaleen ja Maan vuorovaikutukseen liittyvän potentiaalienergian ja kappaleen liike-energian summa.

3-5. Liike-energia on $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. Kaavan mukaan liike-energia on verrannollinen nopeuden neliöön.

a) Jos nopeus kolminkertaistuu, liike-energia yhdeksänkertaistuu: $3^2 = 9$.

b) Jos nopeus pienenee puoleen, liike-energia pienenee neljäsosaan:

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}.$$

3-6. a) Potentiaalienergia voi olla negatiivinen. Jos kappale sijaitsee valitun nollatason alapuolella, kappaleen potentiaalienergia on negatiivinen. Potentiaalienergia on nolla valitulla nollatasolla.

Jos pulpetin pinnan taso valitaan potentiaalienergian nollatasoksi, pulpetin tasolla olevan kirjan potentiaalienergia on nolla ja lattialla olevan koululaukun potentiaalienergia on negatiivinen. Fysiikan ilmiöiden kannalta vain potentiaalienergian muutoksella on merkitystä, ja potentiaalienergia voi olla negatiivinenkin.

b) Kappaleen liike-energia ei voi olla negatiivinen, koska massa m on aina positiivinen ja samoin nopeuden neliö v^2 . Liike-energia on nolla, jos kappaleen nopeus on nolla.

Sadan metrin juoksukilpailussa juoksijalla on liike-energiaa. Kun juoksija on pysähtynyt, hänen nopeutensa on nolla. Silloin hänen liike-energiansa on nolla.

3-7. a) Uimahyppääjän potentiaalienergia 10,9 m:n korkeudella potentiaalienergian nollatasosta on

$$E_p = mgh = 77 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 10,9 \text{ m} = 8233,533 \text{ J} \approx 8,2 \text{ kJ}.$$

b) Koska vedenpinnan taso on potentiaalienergian nollataso, uimahyppääjän potentiaalienergia vedenpinnan tasolla on nolla.

c) Uimahyppääjän potentiaalienergian muutos on

$$\Delta E_p = \Delta E_{p,\text{loppu}} - \Delta E_{p,\text{alku}} = 0 \text{ J} - 8233,533 \text{ kJ} \approx -8,2 \text{ kJ}.$$

d) Uimahyppääjän liike-energia on

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 77 \text{ kg} \cdot \left(14 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \approx 7,5 \text{ kJ}.$$

3-8. a) Auton liike-energia on

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1300 \text{ kg} \cdot \left(\frac{120 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}\right)^2 \approx 720 \text{ kJ}.$$

b) Liike-energia alussa on

$$E_1 = \frac{1}{2}mv_1^2.$$

Liike-energia lopussa on

$$E_2 = \frac{1}{2}mv_2^2.$$

Liike-energioiden suhde on

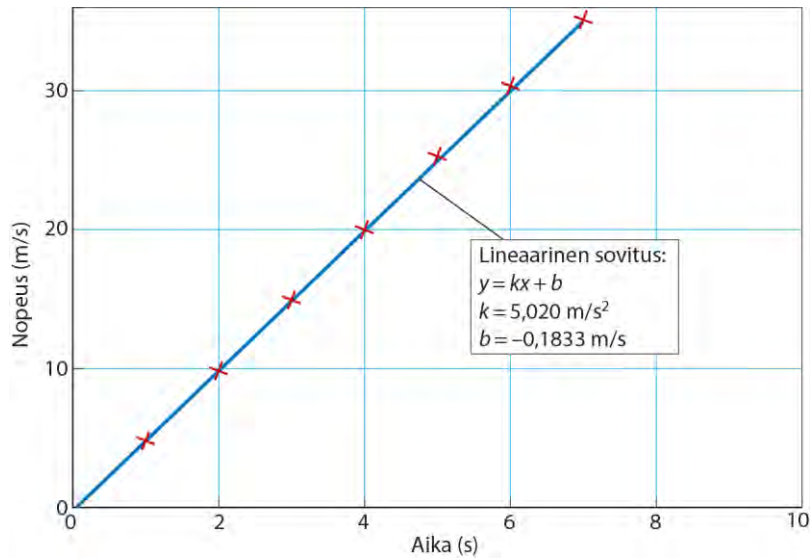
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{\left(\frac{40 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}\right)^2}{\left(\frac{50 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}\right)^2} = \left(\frac{40}{50}\right)^2 = 0,64.$$

Näin ollen liike-energia pienenee $1 - 0,64 = 0,36 = 36 \%$.

3-9. Lentokoneen mekaaninen energia on sen potentiaalienergian ja liike-energian summa:

$$\begin{aligned} E_{\text{mek}} &= E_p + E_k = mgh + \frac{1}{2}mv^2 \\ &= 310\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10,5 \cdot 10^3 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 310\,000 \text{ kg} \cdot \left(\frac{980 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}\right)^2 \\ &\approx 43 \text{ GJ}. \end{aligned}$$

3-10. a) Nopeuden kuvaaja.

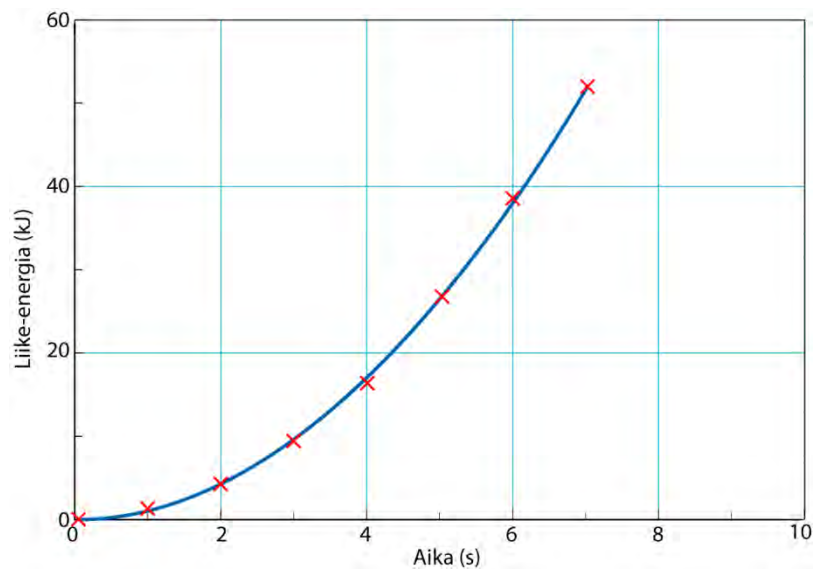


Kiihtyvyys on $5,0 \text{ m/s}^2$.

b) Lasketaan taulukkoon liike-energiat:

$t \text{ (s)}$	$v \text{ (m/s)}$	$E_k \text{ (kJ)}$
1,0	4,8	0,979
2,0	9,7	3,998
3,0	14,8	9,309
4,0	19,7	16,493
5,0	25,1	26,775
6,0	30,2	38,761
7,0	34,8	51,469

Liike-energian kuvaaja:



c) Kuvaaja ei ole lineaarinen.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 4-1.** a) Palomiehet jarruttavat vauhtiaan puristamalla metallitankoa käsillään. Kitkan tekemä työ ilmenee käsien mikroskooppisten rakenneosasten liikkeen voimistumisena, joten kädet lämpenevät.
- b) Kun auton pyörät lukkiutuvat, kumi liukuu pitkin tien pintaa. Kitkan tekemä työ ilmenee renkaiden mikroskooppisten rakenneosasten liikkeen voimistumisena, joten renkaat kuumenevat. Jos pyörät eivät pyöri, kitka kuumentaa koko ajan samaa kohtaa renkaan pinnasta, joka voi alkaa savuta.
- 4-2.** a) Vasemmanpuoleinen kuva:
Työtä tekevät työntävä voima, kitka ja ilmanvastus. Voiman tekemä työ on vastakkaismerkkinen kitkan ja ilmanvastuksen tekemään työhön nähden.
Oikeanpuoleinen kuva:
Työtä tekevät paino ja ilmanvastus.
- b) Skootterin jarruttaessa työtä tekee renkaan ja maanpinnan välinen kitka.
- 4-3.** a) Työ on $W = Fs = 25 \text{ N} \cdot 150 \text{ m} \approx 3,8 \text{ kJ}$.
- b) Kaisan käsien kosketusvoima, kitka ja ilmanvastus tekevät työtä kelkkaan.
- 4-4.** a) Työ on $W = Gh = mg\Delta h = 5,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,95 \text{ m} \approx 47 \text{ J}$.
- b) Koska kahvakuula ei liiku käden kosketusvoiman suunnassa, voiman tekemä työ on nolla.
- c) Käden kosketusvoima ei tee työtä, koska voima on kohtisuorassa siirtymää vastaan.

- 4-5.** Koska liikkeen suunta ja voima ovat vastakkaissuuntaiset, jarruttavan voiman tekemä työ on

$$W = Fs = -46 \text{ N} \cdot 5,2 \text{ m} \approx -240 \text{ J}.$$
- 4-6.** a) Työ on $W = Gh = mg\Delta h = 42 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,5 \text{ m} \approx 620 \text{ J}.$
 b) Käden kosketusvoiman suunta on vastakkainen liikkeen suunnalle. Työ on $-620 \text{ J}.$
- 4-7.** A4, B3, C2, D7, E5, F6.
- 4-8.** a) Mikään laite ei voi luovuttaa energiaa enempää kuin se vastaanottaa, ei edes samaa määrää. Kaikissa koneissa on liikkuvia osia, joihin liittyvä kitka aiheuttaa koneen osien lämpenemistä, mikä vie osan energiasta. Lisäksi koneissa esiintyy usein ympäristöä korkeampia lämpötiloja, jolloin lämpötilaeron takia energia poistuu koneesta lämpönä.
 b) Jos laitteen hyötysuhde olisi yksi, laite tuottaisi energiaa yhtä paljon kuin se käyttää, joten se voisi käyttää luovuttamansa energian uudelleen. Tällaista laitetta kutsutaan ikiliikkujaksi.
 c) Jos koneen teho kasvaa, työntekoaika lyhenee.
 d) Polttomoottorissa suurin osa polttoaineen kemiallisesta energiasta muuntuu lämmöksi.
 e) Jos lampun hyötysuhde on 60 %, vain 60 % lampun ottamasta energiasta muuntuu valoksi.
- 4-9.** a) Koneen hyötysuhde on

$$\eta = \frac{P_{\text{tuotto}}}{P_{\text{otto}}} = \frac{21 \text{ W}}{54 \text{ W}} \approx 0,39 = 39 \text{ } \%$$

 b) Koneen ottoteho vastaa 100 % ja tuottoteho on siitä 39 %, joten hukatehon osuus on $100 \% - 39 \% = 61 \text{ } \%$.

4-10. a) Hyötysuhteen yhtälön $\eta = \frac{P_{\text{tuotto}}}{P_{\text{otto}}}$ mukaan moottorin sähköverkosta

ottama teho on

$$P_{\text{otto}} = \frac{P_{\text{tuotto}}}{\eta} = \frac{850 \text{ W}}{0,91} = 934 \text{ W} \approx 930 \text{ W}.$$

b) Hukkateho on $P_{\text{otto}} - P_{\text{tuotto}} = 934 \text{ W} - 850 \text{ W} = 84 \text{ W}$.

4-11. a) Keho tarvitsee nukkumisen aikana energiaa esimerkiksi verenkierron, hengityksen, ruuansulatuksen ja kehon lämpötilan ylläpitämiseen.

b) Koska $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$, on $1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$.

$$1800 \text{ kcal} = 1800 \cdot 4,1868 \text{ kJ} = 7536,24 \text{ kJ} \approx 7,5 \text{ MJ}.$$

4-12. Sydämen hyötysuhde on

$$\eta = \frac{E_{\text{tuotto}}}{E_{\text{otto}}} = \frac{62 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 1,1 \text{ J}}{350 \text{ kJ}} \approx 0,28.$$

4-13. a) Sydämen toimintaan kuluu energiasta $\frac{350 \cdot 10^3 \text{ J}}{14,0 \cdot 10^6 \text{ J}} \cdot 100 \% = 2,5 \%$.

b) Hyötysuhde tehojen avulla on $\eta = \frac{P_{\text{tuotto}}}{P_{\text{otto}}}$, josta saadaan ottotehoksi

$$P_{\text{otto}} = \frac{P_{\text{tuotto}}}{\eta} = \frac{1,14 \text{ W}}{0,28} = 4,07143 \text{ W} \approx 4,1 \text{ W}.$$

Hukkatehoksi saadaan

$$P_{\text{hukka}} = P_{\text{otto}} - P_{\text{tuotto}} = 4,07143 \text{ W} - 1,14 \text{ W} \approx 2,9 \text{ W}.$$

c) Hukkateho kuluu mm. elimistön sisäisen energian ja äänen tuottamiseen.

4-14. a) Joonaksen keskimääräinen teho koulupäivän aikana on

$$P = 78 \text{ kg} \cdot 3,3 \text{ W/kg} = 257,4 \text{ W}.$$

Hänen koulupäivän aikana tarvitsemansa energia on

$$E = Pt = 257,4 \text{ W} \cdot 5,0 \cdot 3600 \text{ s} \approx 4,6 \text{ MJ}.$$

b) Marian keskimääräinen teho on $P = \frac{E}{t}$ ja ominaisteho (teho massayksikköä kohti) on

$$\frac{P}{m} = \frac{\frac{E}{t}}{m} = \frac{E}{mt} = \frac{12 \text{ MJ}}{57 \text{ kg} \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} \approx 2,4 \text{ W/kg}.$$

4-15. a) Urheilijan ominaisteho urheilusuorituksen aikana on

$$\frac{P}{m} = \frac{72 \frac{\text{ml}}{\text{min} \cdot \text{kg}}}{1 \text{ l}} \cdot 21 \text{ kJ} = \frac{72 \frac{\text{ml}}{60 \text{ s} \cdot \text{kg}}}{1000 \text{ ml}} \cdot 21 \cdot 10^3 \text{ J} = 25,2 \text{ W/kg} \approx 25 \text{ W/kg}.$$

b) Urheilusuorituksessa käytetty energia yhden minuutin aikana on

$$E = 25,2 \text{ W/kg} \cdot 60 \text{ s} \cdot 84 \text{ kg} \approx 130 \text{ kJ}.$$

4-16. Oletetaan, että vuorokautinen energiankulutus on 12 MJ. Tällöin kahdessa tunnissa energian kulutus on 1 MJ. Tästä määrästä aivojen osuus on $0,20 \cdot 1 \text{ MJ} = 200 \text{ kJ}$.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 5-1.** a) Ei, luonnossa ei näytä näin tapahtuvan. Energia siirtyy itsestään aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan.
- b) Naula tuntuu polttavalta, koska metalli on hyvä lämmönjohde ja energiaa johtuu metallinaulasta ihoon. Puu taas on melko hyvä lämmöneriste. Kun iho jäähdyttää puun pinnan, energiaa siirtyy vain hitaasti puun sisältä jäähtyneeseen pintaan. Iho ei kuumene liikaa.
- 5-2.** Kyse on
- a) lämmön johtumisesta ja säteilystä,
- b) lämmön säteilystä,
- c) lämmön kulkeutumisesta.
- 5-3.** Ihminen aistii lämmön siirtymisen ihollaan. Kylpyhuoneen laattalattia voi tuntua paljaissa jaloissa kylmältä, koska jalkapohjasta johtuu lämpöä laattalattiaan. Vastaavasti samassa lämpötilassa oleva puulattia tuntuu lämpimältä, koska puu ei johda lämpöä läheskään yhtä hyvin kuin keraaminen laatta.
- 5-4.** Alussa veden lämpötila on korkeampi kuin jään. Veden molekyylit liikkuvat melko vapaasti toistensa lomitse. Jäässä molekyylit värähtelevät. Veden ja jään molekyylien väliset törmäykset veden ja jään rajapinnassa saavat jään molekyylien värähtelyn voimistumaan, kunnes jään molekyylien väliset sidokset rikkoutuvat ja jää alkaa sulaa. Jään lämmitessä sen sisäenergia kasvaa. Samalla jäätä ympäröivän veden molekyylien lämpöliike heikkenee, jolloin vesi jäähtyy ja sen sisäenergia pienenee. Lopulta jääpala sulaa kokonaan ja lämpötilaerot veden sisällä tasoittuvat.

5-5. Jos kuumaa metallia kosketetaan kädellä, metallista johtuu lämpöä käteen nopeasti, joten metalli tuntuu kosketettaessa polttavan kuumalta. Jos metallin kanssa samassa lämpötilassa olevaa puuta kosketetaan kädellä, energiaa siirtyy käteen hitaasti. Kädensija on puuta, koska metalli tuntuu kuumassa saunassa polttavan kuumalta, mutta puu ei.

5-6. a) Keraamiset astiat kuumentuvat uunissa nopeasti, koska ne vastaanottavat tehokkaasti uunin sähkövastusten ja sisäpinnan lähettämää lämpösäteilyä. Kuumat keraamiset astiat lähettävät tehokkaasti lämpösäteilyä myös astian sisälle, ja astiassa oleva ruoka kypsyy sekä lämmön johtumisen että lämpösäteilyn vaikutuksesta. Keraamiset astiat varaavat hyvin energiaa, joten uunista pois ottamisen jälkeen ruoka pysyy niissä lämpimänä ja jopa jatkaa kypsymistään hetken aikaa.

Kiiltävä teräs heijastaa sähkömagneettista säteilyä, joten se ottaa vastaan huonosti lämpöä säteilynä. Lisäksi kattilan kiiltävä sisäpinta lähettää vain vähän lämpösäteilyä astian sisään. Ruoka lämpenee ja kypsyy hitaasti kiiltävässä teräsastiassa.

b) Kupari ja alumiini ovat hyviä lämmönjohteita. Energia siirtyy johtumalla tehokkaasti sähkölevystä kattilaan hyvän lämmönjohteen läpi. Kiiltäväpintaiset kattilat ovat hyviä, koska kiiltävä pinta säteilee vähemmän lämpösäteilyä ympäristöön kuin mattapintainen tai eristepintainen kattila, eli kiiltäväpintaiset metallikattilat säästävät energiaa muihin kattiloihin verrattuna.

c) Kuuman puuron voi kaataa toiselle, viileämmälle lautaselle. Silloin kuumasta puurosta johtuu lämpöä viileään lautaseen ja puuro jäähtyy. Myös puuroon puhaltaminen nopeuttaa puuron jäähtymistä.

d) Pannulappuja käytetään siksi, että lämpö ei johtuisi astiasta suoraan käden iholle. Pannulappu toimii lämmön eristeenä. Pannulapun tulee olla monikerroksinen, paksu, jotta se eristää hyvin lämpöä.

e) Pääasiassa säteilylämpöä ruuanvalmistuksessa hyödyntäviä laitteita ovat esimerkiksi erilaiset sähkö- ja hiiligrillit grillauksessa sekä tulen käyttö loimutuksessa. Loimutettaessa esimerkiksi siika tai lohi asetetaan tulen viereen sopivalle etäisyydelle. Lämmin ilma nousee ylös, mutta säteilyn energia kuumentaa kalan ja kypsyttää sen.

5-7. Huokoiset vaatteet kuten untuva- ja villavaatteet tuntuvat lämpimiltä, koska niiden sisältämä ilma toimii lämmöneristeenä ja estää kehon lämmön johtumisen ihosta kylmään ulkoilmaan. Villasukkien sisältämä ilma estää lämmön johtumisen jalasta kylmään lattiaan.

5-8. a) Rasva on hyvä lämmöneriste, joten rasvakerros hidastaa lämmön siirtymistä hylkeen elimistöstä esimerkiksi kylmään veteen.

b) Höyheniä pöyhittäessä niiden väliin jää ilmaa, jolloin höyhenpeite estää paremmin lämmön siirtymisen pois linnun elimistöstä.

c) Kun eläimellä on pitkäkarvainen turkki, karvojen väliin jää ilmaa. Ilmakerros toimii eristeenä. Joillakin eläimillä, esimerkiksi poroilla, karvat ovat onttoja.

5-9. Kuuman hiilen lyhytaikainen kosketus ilman palovammoja on mahdollista, koska lämpö ei johdu nopeasti ihmisen ihoon. Juuri hehkunsa aloittaneet hiilet polttavat kuitenkin hiilillä kävelijän jalkapohjat varmasti. Kun hiilet ovat hehkuneet niin kauan, että pinnalla on ohut (harmaa) lämpöä eristävä tuhkerkerros, kävely on mahdollista, joskin jalkapohjat varmasti lämpenevät. Mutta kun kävelee reippaasti, voi selvittää jalkapohjien ihon punertumisella.

5-10. a) Energia siirtyy patterista ympäristöön johtumalla, kuljettumalla ja säteilemällä. Patterissa kiertävästä lämpimästä vedestä energia siirtyy lämpönä johtumalla patterin metallikuoreen ja edelleen ulkopintaan.

Kuumasta patterista lämpö siirtyy johtumalla ilman ja patterin rajapinnan lähellä olevaan ilmaan. Lämmennyt kevyt ilma saa huoneessa aikaan ilmavirtauksia, joiden mukana lämpö siirtyy muualle huoneeseen. Tällöin kyse on lämmön kuljettumisesta.

Kuuman patterin pinnan lämpötila on korkeampi kuin huoneen lämpötila, joten patterin pinnasta poistuu lämpösäteilynä enemmän energiaa kuin pinta ottaa sitä vastaan ympäristöstä. Patterin pinnan säteily lämmittää niitä pintoja, joihin säteily osuu. Ilma ottaa lämpösäteilyä vastaan huonosti.

b) Patterissa kiertävän kuuman veden molekyylit törmäilevät patterin kuoren sisäpintaan, jolloin alemmassa lämpötilassa olevan patterin kuoren metallihilan rakenneosasten ja metallin vapaiden elektronien satunnainen lämpöliike voimistuu ja patterin lämpötila kohoaa. Lämpöpatterin kuori on lämmönjohde, joten rakenneosasten liikkeen voimistuminen saavuttaa nopeasti patterin pinnan. Rakenneosasten voimistunut liike patterin pinnassa saa pinnan kanssa vuorovaikutuksessa olevat ilman molekyylit liikkumaan nopeammin.

5-11. Väite pitää paikkansa. Lämpö johtuu ja säteilee liedessä olevasta levystä kattilaan (lämpölaajenemisen takia pohjan muoto muuttuu ja kosketuspinta-ala voi olla lämpenemisen eri vaiheissa hyvin pieni, jolloin säteilyn merkitys kasvaa). Kattilan lämmin reuna ja vesi säteilevät lämpöä. Vesihöyryn ja ilman mukana lämpöä kulkeutuu muualle ympäristöön (keittiöön).

5-12. Sauvan yläpään lämpötilaan vaikuttavat mm.

- sauvan lämmönjohtavuus, joka riippuu sauvan materiaalista
- astian nestepinnan yläpuolella olevan sauvan osan pituus
- sauvan paksuus, sillä ohuesta sauvasta lämpö poistuu helposti
- ilmavirtaukset sauvan lähellä

- ilmanpaine, koska korkeammassa paineessa vesi kiehuu korkeammassa lämpötilassa; paineella on myös vaikutusta ilman tiheyteen ja kykyyn siirtää lämpöä
- sauvan pinta, koska pinnan laatu vaikuttaa sauvan kykyyn luovuttaa säteilemällä energiaa
- sauvaan ympäristöstä saapuva lämpösäteily.

5-13. Pakkaslumen lämmöneristyskyky on hyvä sen sisältämän ilman takia. Lumen luominen talon seinustalle estää vesijohtoputkien ja talon alapohjan jäätymisen.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 6-1.** a) Väite on väärin. Sisäenergia voi muuttua kahden eri prosessin – työn ja lämmön – seurauksena.
- b) Väite on tosi. Veden lämpötilaa voi nostaa sekoittamalla vettä esimerkiksi sähkövatkaimella.
- c) Väite on tosi. Jos vesi jäätyy, veden sisäenergia pienenee ja jäätyvä vesi voi tehdä työtä: kivi halkeaa.
- d) Väite on väärä. Hankaamisen seurauksena käsien lämpötila nousee.
- 6-2.** a) Ilman sisäenergia kasvaa, koska ilmaan tehdään työtä.
- b) Ilman sisäenergia pienenee. Tarkalla mittarilla voi todeta lämpötilan alentumisen. Ilma tekee työtä laajetessaan.
- 6-3.** a) Sähkövatkaimessa energiaa muunnetaan sähköön avulla mekaaniseksi energiaksi. Tehty työ varastoituu taikinan sisäenergiaksi. Sisäenergian muutos $\Delta U > 0$.
- b) Vappuilmapalloja täytettäessä kaasu purkautuu kaasusäiliöstä ja laajenee. Tällöin kaasu tekee työtä ja jäähtyy. Työn tekemiseen tarvittava energia saadaan systeemin sisäenergiasta. Sisäenergian muutos $\Delta U < 0$.
- 6-4.** Energian säilymislaki sallisi sen, että liennut muste muodostaisi itsestään uuden pisaran, mutta lämpöopin II pääsäännön mukaan mustepisara ei voi muodostua uudelleen.
- 6-5.** a) Tasapainotilaan pyrkiminen näkyy esimerkiksi siinä, että lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan.

b) Tarkastellaan esimerkiksi savupiipusta tulevaa savua. Sen ja ympäristön lämpötilaero pyrkii tasoittumaan. Lisäksi savu hajaantuu ja leviää ympäristöön. Savun aineosien pitoisuus kuutiometrissä ilmaa pienenee. Samalla saasteiden puhdistus pois luonnosta käy vaikeaksi.

c) Kaikki luonnon prosessit vähentävät systeemin kykyä tehdä työtä. Tästä käytetään nimitystä energian huononeminen. (Energia ei tee työtä, vaan energia muuntuu työtä tehtäessä muodosta toiseen.)

6-6. Kuuma puuro jäähtyy ja viileä maito lämpenee. Lopulta puuron lämpötila on yhtä suuri joka kohdassa. Lämpöopin toisen pääsäännön vastainen tapahtuma olisi esimerkiksi se, että kuuma puuro kuumentuisi entisestään ja viileä maito kylmenisi. Tällainen tapahtuma olisi energian säilymislain mukaan mahdollinen.

6-7. Prosessi on isobaarinen, joten paine pysyy vakiona. Kaasu tekee laajetessaan työn

$$p\Delta V = 4,0 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot (2,0 \text{ m}^3 - 0,5 \text{ m}^3) = 6,0 \cdot 10^5 \text{ J} = 0,60 \text{ MJ}.$$

6-8. Prosessi on isobaarinen. Kaasun tilavuuden kasvu on

$$\Delta V = \frac{1,2 \text{ kJ}}{p} = \frac{1,2 \text{ kJ}}{2,0 \text{ bar}} = \frac{1200 \text{ Nm}}{2,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2} = 0,0060 \text{ m}^3 = 6,0 \text{ dm}^3.$$

6-9. Työ on

$$p\Delta V = 1,013 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 3,5 \text{ m}^3 \approx 350 \text{ kJ}.$$

TEHTÄVIEN RATKAISUT

7-1. T_1 on lämpösäiliön ja T_2 kylmäsäiliön lämpötila, Q_1 koneen ottama energia ja Q_2 koneen kylmäsäiliöön luovuttama energia. W on koneen tekemä työ.

7-2. Lämpötilaväli $25\text{ °C} - 540\text{ °C}$ on kelvineinä $298,15\text{ K} - 813,15\text{ K}$. Hyötysuhteen teoreettinen yläraja on

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{813,15\text{ K} - 298,15\text{ K}}{813,15\text{ K}} \approx 0,63 = 63\text{ \%}.$$

7-3. Turpeen lämpöarvo on $H = 11\text{ MJ/kg}$. Yhtälöstä $Pt = \eta Q$ lämpövoimalaitoksen tehoksi saadaan

$$P = \frac{\eta Q}{t} = \frac{\eta H m}{t} = \frac{0,43 \cdot 11\text{ MJ/kg} \cdot 35000\text{ kg}}{24 \cdot 3600\text{ s}} \approx 1,9\text{ MW}.$$

7-4. Lämmönsiirtokone siirtää energiaa lämpönä kylmemmästä säiliöstä lämpimämpään ja käyttää tähän siirtoon mekaanista energiaa. Prosessi jäähdyttää kylmäsäiliötä ja lämmittää lämpösäiliötä. Lämmönsiirtokone tarvitsee toimiakseen ulkopuolista energiaa. Koneen tekemä työ on $W = Q_1 - Q_2$.

7-5. a) Jääkaapin lämpösäiliö on huone (keittiö) ja kylmäsäiliö jääkaapin sisus.

b) Olomuodonmuutoksia tapahtuu, kun

- nestemäinen kylmäaine höyrystyy jääkaapin sisällä höyrystimessä ja
- kompressori puristaa höyryn korkeaan paineeseen ja kuuma höyry tiivistyy lauhduttimessa.

c) Kylmäaineeseen sitoutuu energiaa höyrystymisessä.
Kaasumaisesta kylmäaineesta vapautuu energiaa, kun kuuma höyry tiivistyy lauhduttimessa nesteeksi.

7-6. Q_1 ja Q_2 ovat koneen ja lämpösäiliöiden välillä siirtyviä energioita.
Lämpösäiliöiden lämpötilat ovat T_1 ja T_2 ($T_1 > T_2$).

a) Kaavio 1 esittää lämpövoimakonetta.

Kone ottaa korkeammasta lämpötilasta energian Q_1 ja tekee työn $W = Q_1 - Q_2$. Kone luovuttaa alempaan lämpötilaan T_2 energian Q_2 .

b) Kaavio 3 esittää lämpöpumppua. Lämpöpumppu on jäähdytyskone. Kone siirtää ulkoisen työn W avulla energiaa alemmasta lämpötilasta T_2 korkeampaan lämpötilaan T_1 . Kone siirtää energian Q_1 kuumasäiliöön: $Q_1 = Q_2 + W$.

c) Kaavio 3 esittää jääkaappia. Jääkaappi on jäähdytyskone.

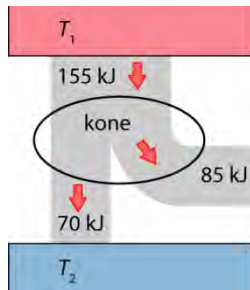
Kone siirtää ulkoisen työn avulla alemmasta lämpötilasta energian Q_2 ja luovuttaa korkeampaan lämpötilaan jääkaapin ulkopuolelle energian $Q_1 = Q_2 + W$.

d) Kaavio 4 on lämpöopin 2. pääsäännön vastainen. Lämpö siirtyy itsestään korkeammasta lämpötilasta matalampaan, ei kylmäsäiliöstä lämpösäiliöön ilman koneen tekemää työtä.

7-7. Kiertoprosessi vaiheittain:

- Ensimmäisessä vaiheessa kaasun paine kasvaa, kun tilavuus pienenee. Systeemiin tehdään työtä. Lämpötila on vakio.
- Toisessa vaiheessa kaasun tilavuus ei muutu, mutta paine kasvaa. Tällöin kaasuun tuodaan lämpöä.
- Kolmannessa vaiheessa kaasun tilavuus kasvaa ja paine pienenee. Kaasu tekee työtä. Lämpötila on vakio.
- Neljännessä vaiheessa kaasun tilavuus ei muutu, mutta paine pienenee. Kaasu luovuttaa lämpöä ympäristöön.

7-8. Lämpövoimakoneen energiavirtojen kaavio:



7-9. a) Ilmalämpöpumpun maksimaalinen suorituskyky

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{293,15\text{K}}{293,15\text{K} - 275,15\text{K}} = 16,2861 \approx 16.$$

b) Todellinen suorituskyky on $0,20 \cdot 16,2861 \approx 3,3$. Tämä tarkoittaa sitä, että huoneen lämmittämiseen saatu energia on 3,3-kertainen sähköverkosta otettuun energiaan verrattuna.

TESTAA, OSAATKO S. 67

1. a b c 2. b 3. a b 4. a b c 5. a c 6. c 7. a b c 8. a c 9. a 10. b 11. a b 12. b c

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 8-1.** Eiffelin torni on monimutkainen teräsrakennelma. Mallinnetaan sitä 324 m pitkällä terästangolla. Teräksen pituuden lämpötilakerroin on $\alpha_{\text{teräs}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Lämpötilan vaihtelu on $\Delta T = (25 - 2) \text{ K} = 23 \text{ K}$. Ei ole tiedossa, missä lämpötilassa ilmoitettu tornin korkeus on mitattu, mutta tekemättä lopputuloksen kannalta merkittävää virhettä voimme olettaa, että se on tornin korkeus lämpötilassa $+2 \text{ °C}$. Eiffel-tornin pituuden vaihteluksi voimme siis arvioida

$$\Delta l = \alpha_{\text{teräs}} l_0 \Delta T = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K} \cdot 324 \text{ m} \cdot 23 \text{ K} = 0,089424 \text{ m} \approx 9 \text{ cm}.$$

- 8-2.** Oikea vaihtoehto on c.

- 8-3.** Raudan pituuden lämpötilakerroin on $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ja messingin $19 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Koska messingillä on suurempi pituuden lämpötilakerroin kuin raudalla, rautarengas irtoaa, kun osa jäähdytetään. Jäähdytettäessä messinki supistuu enemmän kuin rauta.

- 8-4.** a) Kaksoismetallimitarissa on kaksoismetalliliuska, joka taipuu lämmön vaihdellessa, koska metalleilla on eri lämpötilakerroin. Taipuminen on suoraan verrannollinen lämpötilan muutokseen.

b) Kuparin pituuden lämpötilakerroin on $17 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ja teräksen $11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Koska kuparin lämpötilakerroin on suurempi kuin teräksen, kuparinen suikale eli ruskea suikale laajenee enemmän kuin teräksinen eli harmaa suikale. Kaksoismetalliliuskan päät kaareutuvat alaspäin.

- 8-5.** Videon tietojen perusteella $t_1 = 21,4 \text{ °C}$, $t_2 = 100,6 \text{ °C}$, $l_0 = 0,500 \text{ m}$, $\Delta l = 0,44 \text{ mm}$.

Pituuden lämpölaajenemisen yhtälöstä $\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$ voidaan ratkaista lämpötilakerroin:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T} = \frac{0,44 \text{ mm}}{500 \text{ mm} \cdot (100,6 - 21,4) \text{ K}} \approx 1,1 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} \approx 11 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}.$$

Taulukkokirjan mukaan raudan lämpötilakerroin on $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Metalliputki on todennäköisesti rautaa.

- 8-6.** a) $t_1 = -12,0 \text{ °C}$, $t_2 = +78,0 \text{ °C}$, $l_0 = 912 \text{ mm}$, $\alpha_{\text{kupari}} = 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$.

Vaihtoehto 1:

Sijoitetaan suureiden arvot pituuden lämpölaajenemisen yhtälöön:

$$\begin{aligned} l &= l_0 (1 + \alpha_{\text{kupari}} \Delta T) \\ &= 912 \text{ mm} \cdot \left(1 + 16,8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot (78,0 - (-12,0) \text{ K}) \right) \\ &= 913,38 \text{ mm} \\ &\approx 913 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Vaihtoehto 2:

Akselin pituuden lämpölaajeneminen saadaan yhtälöstä $\Delta l = \alpha_{\text{kupari}} l_0 \Delta T$.

Lämpötilan muutos on celsiusasteina $78,0 \text{ °C} - (-12,0 \text{ °C}) = 90 \text{ °C}$ ja kelvineinä $\Delta T = 90 \text{ K}$. Pituuden muutokseksi saadaan

$$\Delta l = \alpha_{\text{kupari}} l_0 \Delta T = 16,8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 0,912 \text{ m} \cdot 90 \text{ K} \approx 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,38 \text{ mm}.$$

Akselin pituus lämpötilassa $+78,0 \text{ °C}$ on silloin

$$l = l_0 + \Delta l = 912 \text{ mm} + 1,38 \text{ mm} \approx 913 \text{ mm}.$$

b) Rautatiekiskon pituuden muutos saadaan yhtälöstä $\Delta l = \alpha_{\text{teräs}} l_0 \Delta T$.

Lämpötilan muutos on $-25,0 \text{ °C} - (+18,0 \text{ °C}) = -43,0 \text{ °C}$ ja kelvineinä $\Delta T = -43,0 \text{ K}$. Pituuden muutokseksi saadaan

$$\Delta l = \alpha_{\text{teräs}} l_0 \Delta T = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 20 \text{ m} \cdot (-43 \text{ K}) \approx -0,01 \text{ m} = -1 \text{ cm}.$$

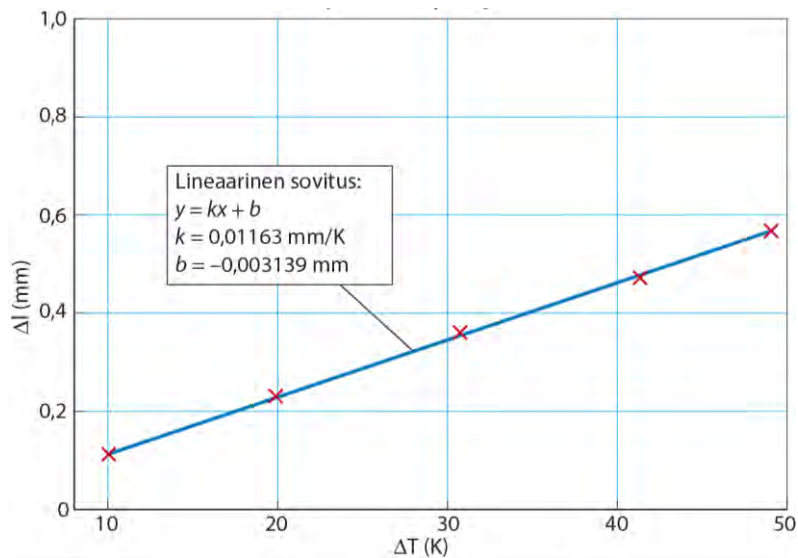
Kiskon pituus $-25,0 \text{ °C}$:n lämpötilassa on

$$l = l_0 + \Delta l = 2000 \text{ cm} + (-1 \text{ cm}) = 1999 \text{ cm}.$$

8-7. Täydennetään taulukko lisäämällä siihen kutakin mittauspistettä vastaava lämpötilan muutos $\Delta T \text{ (K)} = \Delta t \text{ (}^\circ\text{C)} = (t \text{ (}^\circ\text{C)} - 8,2)$:

$t \text{ (}^\circ\text{C)}$	18,2	28,0	39,0	49,5	57,3
$\Delta T \text{ (K)}$	10,0	19,8	30,8	41,3	49,1
$\Delta l \text{ (mm)}$	0,11	0,23	0,36	0,47	0,57

Luetaan taulukon ΔT - ja Δl -arvot mittausohjelmaan, joka tekee niistä graafisen esityksen. Tehdään ohjelman avulla mittauspisteisiin lineaarinen sovitus.



Mittausohjelma antaa suoran yhtälöksi

$$\Delta l = 0,01163 \frac{\text{mm}}{\text{K}} \cdot \Delta T - 0,003139 \text{ mm},$$

jonka mukaan kulmakerroin on $\alpha l_0 = 0,01163 \frac{\text{mm}}{\text{K}}$. Tästä saadaan

kyseisen metallin pituuden lämpötilakertoimeksi

$$\alpha = \frac{0,01163 \frac{\text{mm}}{\text{K}}}{l_0} = \frac{0,01163 \frac{\text{mm}}{\text{K}}}{982 \text{ mm}} \approx 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}.$$

Taulukkokirjan mukaan raudan lämpötilakerroin on $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ (1/K)}$, joten metallitanko on rautaa.

- 8-8.** Akselin halkaisija kasvaa lämpötilan kasvaessa, joten halkaisijan pituuden kasvu on

$$\Delta l = \alpha l \Delta T = 21 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K} \cdot 65,00 \text{ mm} \cdot 75 \text{ K} \approx 0,10 \text{ mm}.$$

Huoneen lämpötilassa akseli oli 0,10 mm alimittainen.

- 8-9.** $m = 0,35 \text{ g}$, $\Delta T = 40 \text{ K}$, $V_0 = 55,48 \text{ ml}$, $\rho = 0,9832 \text{ g/ml}$,
 $\gamma_{\text{vesi}} = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$.

Veden tilavuuden muutos on

$$\Delta V_{\text{vesi}} = \gamma_{\text{vesi}} \cdot V_0 \cdot \Delta T = 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{K} \cdot 55,48 \text{ ml} \cdot 40 \text{ K} = 0,466032 \text{ ml}.$$

Astiasta ylivirranneen veden tilavuus on

$$V_{\text{yli}} = \frac{m}{\rho_{\text{vesi}}} = \frac{0,35 \text{ g}}{0,9832 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 0,355980 \text{ ml}.$$

Astiaan lämmityksen jälkeen jääneen veden tilavuus on silloin

$$\begin{aligned} V_{\text{vesi}} &= V_0 + \Delta V_{\text{vesi}} - V_{\text{yli}} \\ &= 55,48 \text{ ml} + 0,466032 \text{ ml} - 0,355980 \text{ ml} \\ &= 55,5901 \text{ ml}. \end{aligned}$$

Astian tilavuus on kasvanut

$$\Delta V_{\text{astia}} = 55,5901 \text{ ml} - 55,48 \text{ ml} = 0,110100 \text{ ml}.$$

Yhtälöstä $\Delta V_{\text{astia}} = \gamma_{\text{astia}} V_0 \Delta T$ saadaan astian tilavuuden lämpötilakertoimeksi

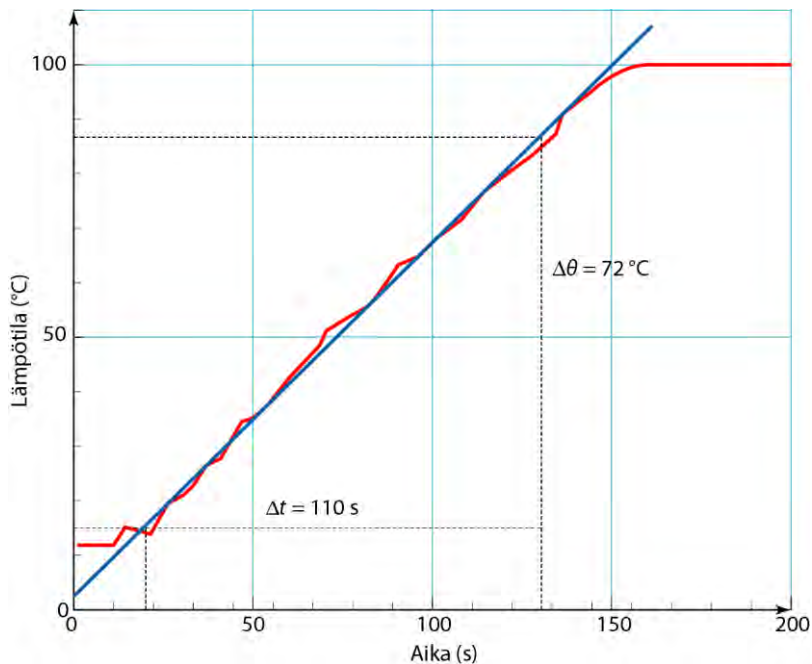
$$\gamma_{\text{astia}} = \frac{\Delta V_{\text{astia}}}{V_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,1101 \text{ ml}}{55,48 \text{ ml} \cdot 40 \text{ K}} \approx 50 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}.$$

Kuparin pituuden lämpötilakerroin on $16,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, joten kuparin tilavuuden lämpötilakerroin on noin $3 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K} = 50,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$.

Astia on todennäköisesti kuparia.

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 massaun, 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°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

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

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

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

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

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

- 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

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

Teelasin ominaislämpökapasiteetti on lasin ominaislämpökapasiteetti

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

Merkittään $t_1 = 25^\circ\text{C}$ 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 keltvineinä $\Delta T = 42\text{ K}$.

Lämmin vesi luovuttaa jäähtyessään energian

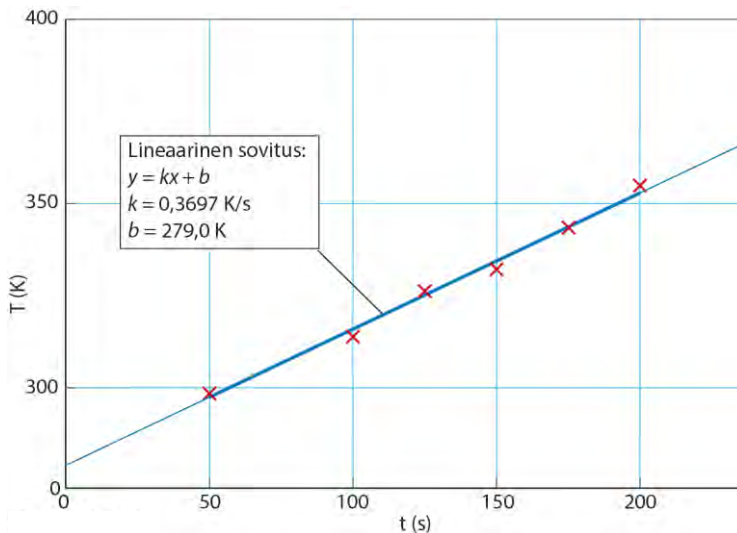
$$Q_1 = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,50 \text{ kg} \cdot 42 \text{ K} = 87,99 \text{ kJ} \approx 88 \text{ kJ}.$$

- 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 keltvineinä. Siirretään mittausarvot mittausohjelmaan (lämpötilat keltvineinä eli $\theta + 273,15$) ja sovitetaan mittauspisteisiin suora.



Mittausohjelma antaa suoran fysikaaliseksi kulmakertoimeksi

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

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 %).

TEHTÄVIEN RATKAISUT

10-1. a) Oikein.

b) Oikein.

c) Väärin. Kun ainetta on yhden moolin verran, aineen massa on ko. aineen moolimassa kertaa ainemäärä mooleina.

d) Väärin. Happi ja otsoni ovat kaksi eri kaasua, ja moolissa niitä kumpaakin on sama määrä molekyylejä.

e) Väärin. Normaaliolosuhteissa mooli kaasua on tilavuudeltaan 22,4 l, joten vappupallossa on noin yksi mooli heliumia.

10-2. Reaalikaasun molekyyleillä on äärellinen koko ja sisäinen rakenne, ideaalikaasun molekyylit oletetaan pistemäisiksi. Reaalikaasun molekyyleillä on etävuorovaikutuksia keskenään, jotka vaikuttavat kaasun käyttäytymiseen varsinkin silloin, kun paine on suuria ja molekyylit ovat pakkautuneet lähelle toisiaan. Ideaalikaasun molekyyleillä ei ole muita vuorovaikutuksia kuin törmäykset toisiinsa ja astian seinämiin.

10-3. Normaaliolosuhteissa kaasun lämpötila on 273,15 K ja paine 101 325 Pa.

10-4. Tilanyhtälöstä $pV = nRT$ saadaan paineella jakamalla tilavuudelle yhtälö

$$V = \frac{nRT}{p}.$$

Normaaliolosuhteissa lämpötila on $T = 273,15$ K ja paine 101 325 Pa.

Baareina ilmaistuna paine on $p = 1,013$ bar. Ainemäärä on yksi mooli eli $n = 1$ mol. Moolinen kaasuvakio on $R = 0,08314510$ bar · dm³ / (mol · K). Sijoittamalla nämä yhtälöön saadaan tilavuudeksi

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 0,08314510 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273,15 \text{ K}}{1,013 \text{ bar}} = 22,420 \text{ l} \approx 22,4 \text{ l}.$$

Yhden kaasumoolin tilavuus normaaliolosuhteissa on 22,4 l.

- 10-5.** Vetykaasun moolimassa on $M_{\text{H}_2} = 2,016 \text{ g/mol}$, joten 12 g:ssa on

$$n = \frac{m}{M_{\text{H}_2}} = \frac{12 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol}} = 5,95 \text{ mol} \approx 6,0 \text{ mol}.$$

Yhdessä moolissa on Avogadron vakion mukainen määrä molekyylejä, joten molekyylejä on kaikkiaan

$$n \cdot N_A = 5,95 \text{ mol} \cdot 6,0221367 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{\text{mol}} \approx 3,6 \cdot 10^{24} \text{ molekyylejä}.$$

- 10-6.** Kaasujen yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ saadaan paineeksi

$$p_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 V_2} = \frac{101,3 \text{ kPa} \cdot 75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot (273,15 + 37) \text{ K}}{(273,15 + 18) \text{ K} \cdot 33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} \approx 0,25 \text{ MPa}.$$

- 10-7.** Koska lasisen pullon tilavuus ei muutu, kaasujen yleisestä tilanyhtälöstä

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ seuraa } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \text{ Tästä voidaan ratkaista paine } p_2, \text{ kun}$$

$$\text{sijoitetaan } p_1 = 101,3 \text{ kPa}, T_1 = (273,15 + 25) \text{ K} = 298,15 \text{ K ja}$$

$$T_2 = (273,15 - 25) \text{ K} = 248,15 \text{ K:}$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{101,3 \text{ kPa} \cdot 248,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} = 84,31 \text{ kPa} \approx 84 \text{ kPa}.$$

Koska paine pullon ulkopuolella on suurempi kuin pullon sisäpuolella, muovipullo painuisi jonkin verran kasaan, jolloin paine-ero tasoittuisi.

10-8. Ideaalikaasun tilanyhtälöstä $pV = nRT$ saadaan hapen ainemääräksi

$$\begin{aligned} n &= \frac{pV}{RT} \\ &= \frac{10,0 \text{ MPa} \cdot 40,0 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 290,15 \text{ K}} = \frac{100 \text{ bar} \cdot 40,0 \text{ dm}^3}{0,083145 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 290,15 \text{ K}} \\ &\approx 165,806 \text{ mol}. \end{aligned}$$

Koska 1 mooli happea vaatii tilavuuden $22,4141 \text{ dm}^3$, $165,806 \text{ mol}$ happea vaatii tilavuuden $165,806 \cdot 22,4 \text{ dm}^3 = 3714,05 \text{ dm}^3$. Näin ollen tiheyden yhtälöstä saadaan hapen massaksi

$$m = \rho V = 1,43 \text{ g/dm}^3 \cdot 3714,05 \text{ dm}^3 \approx 5,3 \text{ kg}.$$

10-9. Tarkastellaan tiettyä ilmamäärää, jonka massa m pysyy vakiona.

Tiheyden määritelmästä $\rho = \frac{m}{V}$ saadaan ilman alkutilavuudeksi $V_1 = \frac{m}{\rho_1}$

ja lopputilavuudeksi $V_2 = \frac{m}{\rho_2}$. Sijoitetaan tilavuudet kaasujen yleiseen

$$\text{tilanyhtälöön } \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \text{ jolloin saadaan yhtälö } \frac{p_1 m}{T_1 \rho_1} = \frac{p_2 m}{T_2 \rho_2}.$$

Ilman tiheydeksi 20 km korkeudella saadaan

$$\rho_2 = \frac{T_1 p_2 \rho_1}{T_2 p_1} = \frac{273,15 \text{ K} \cdot 53 \text{ mbar} \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3}{213,15 \text{ K} \cdot 1013 \text{ mbar}} \approx 0,086 \text{ kg/m}^3.$$

10-10. $p_1 = 350 \text{ kPa}$, $T_1 = 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_2 = p_0 = 101,3 \text{ kPa}$, $T_2 = 19 \text{ }^\circ\text{C}$.

Olkoon ilmakuplan tilavuus järven pohjalla V_1 . Kirjoitetaan tilavuus veden pinnalla muodossa $V_2 = xV_1$, jossa x on kysytty tilavuuden suurenemistekijä.

Lämpötila järven pohjalla on $T_1 = (5,0 + 273,15) \text{ K} = 278,15 \text{ K}$ ja pinnalla $T_2 = (19 + 273,15) \text{ K} = 292,15 \text{ K}$.

Kaasun tilanyhtälö $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ saadaan muotoon $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot x V_1}{T_2}$, josta

saadaan

$$x = \frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1 V_1} = \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} = \frac{350 \text{ kPa} \cdot 292,15 \text{ K}}{101,3 \text{ kPa} \cdot 278,15 \text{ K}} \approx 3,60.$$

Ilmakuplan tilavuus kasvaa 3,6-kertaiseksi.

10-11. Kaasujen yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ saadaan

$$T_2 = \frac{T_1 p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{291,15 \text{ K} \cdot (1 - 0,40) p_1 \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right) V_1}{p_1 V_1} = 232,92 \text{ K} \approx -40 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

10-12. $V = 11 \text{ l}$, $p_{m1} = 0 \text{ Pa}$, $p_{m2} = 2,00 \cdot 10^7 \text{ Pa}$, $t_1 = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_2 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$,

$$M_{\text{ilma}} = 28,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}.$$

Sovelletaan ideaalikaasun tilanyhtälöä. Tilanyhtälöä varten muutetaan lämpötilat kelvineiksi, ja paine saadaan lisäämällä mittapaineeseen normaali ilmanpaine $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Moolimäärä ennen täyttöä on

$$n_1 = \frac{(p_{1m} + p_0)V}{RT_1} = \frac{(0 + 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \cdot 11,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (22 + 273,15) \text{ K}} = 0,454182 \text{ mol}.$$

Moolimäärä täytön jälkeen on

$$\begin{aligned} n_2 &= \frac{(p_{2m} + p_0)V}{RT_2} = \frac{(2,0 \cdot 10^7 \text{ Pa} + 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \cdot 11,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (40 + 273,15) \text{ K}} \\ &= 84,9236 \text{ mol}. \end{aligned}$$

Moolimäärän lisäys on $84,9236 \text{ mol} - 0,454182 \text{ mol} = 84,4694 \text{ mol}$.

Tämä vastaa massaa

$$M_{\text{ilma}} \cdot 84,4694 \text{ mol} = 28,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol} \cdot 84,4694 \text{ mol} = 2,43 \text{ kg} \approx 2,4 \text{ kg}.$$

Sukeltajan painepullon massa kasvaa 2,4 kg.

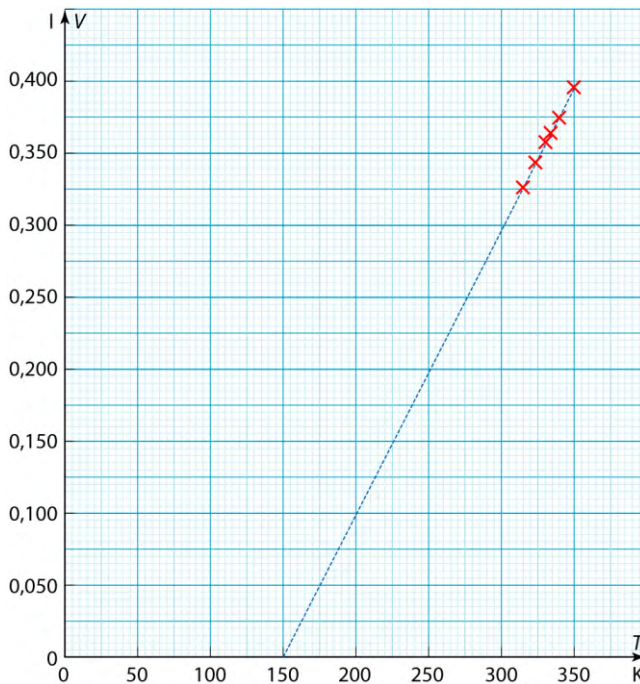
TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 11-1.** Kun lämpötila ei muutu, kaasujen yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

seuraa Boylen lain mukaan yhtälö $p_1 V_1 = p_2 V_2$. Säiliössä olevan kaasun loppupaineen suuruus on

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{220 \text{ kPa} \cdot 250 \text{ dm}^3}{150 \text{ dm}^3} \approx 370 \text{ kPa}.$$

- 11-2.** a) Kun mittaustulokset siirretään T , V -koordinaatistoon, kuvaajaksi tulee suora. Näin ollen suureiden välillä on lineaarinen riippuvuus $V \sim T$.
- b) Suoran pitäisi leikata T -akseli absoluuttisessa nollapisteessä. Nyt suora leikkaa T -akselin kohdassa 150 K. Kyseessä on jokin systemaattinen mittausrvirhe.



11-3. $V_1 = 2,0 \text{ l}$, $t_1 = 22 \text{ °C}$, $V_2 = 2 V_1$.

Vakiopaineessa yleisestä kaasulaista

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ seuraa } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},$$

jossa lämpötilat ovat kelvineissä. Lämpötila alussa on

$T_1 = (273,15 + 22) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$, joten kaasun lämpötila lopussa on

$$T_2 = \frac{T_1 \cdot V_2}{V_1} = \frac{295,15 \text{ K} \cdot (1,25 \cdot 2 \text{ l})}{2 \text{ l}} = 368,938 \text{ K}.$$

Kaasun lämpötila lopussa on celsiusasteina

$(368,938 - 273,15) \text{ °C} = 95,7875 \text{ °C}$ eli kaasun lämpötila on lopussa

$95,7875 \text{ °C} - 22 \text{ °C} \approx 74 \text{ °C}$ korkeampi kuin alussa.

11-4. $T_1 = (20 + 273,15) \text{ K} = 293,15 \text{ K}$, $T_2 = (85 + 273,15) \text{ K} = 358,15 \text{ K}$.

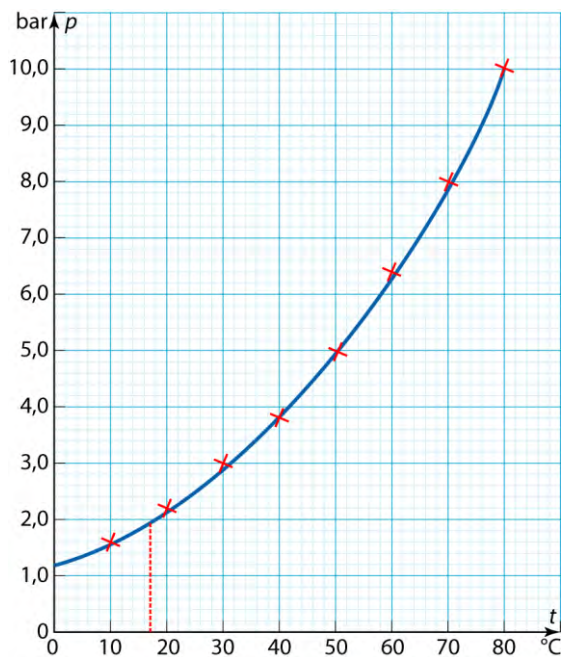
Vakiotilavuudessa yleisestä kaasulaista $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ seuraa $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, josta

saadaan

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{358,15 \text{ K}}{293,15 \text{ K}} \approx 1,22.$$

Kaasun tilavuus on kasvanut 22 %.

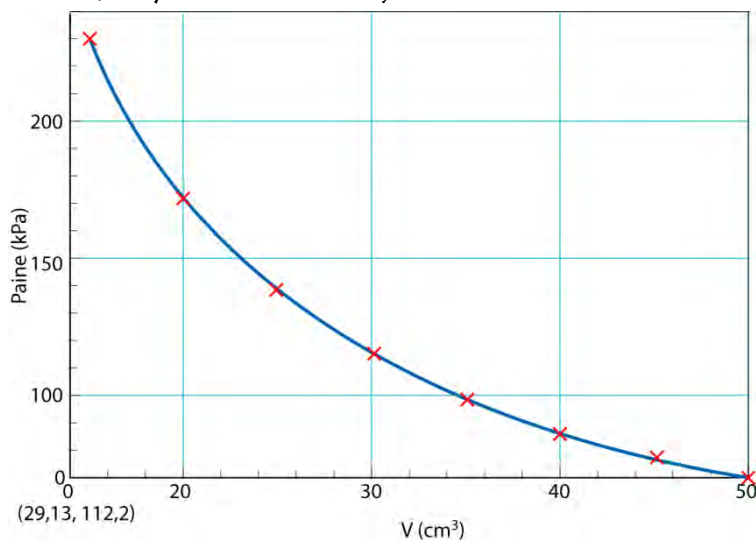
11-5. a) Kaasun paineen riippuvuus kaasun lämpötilasta:



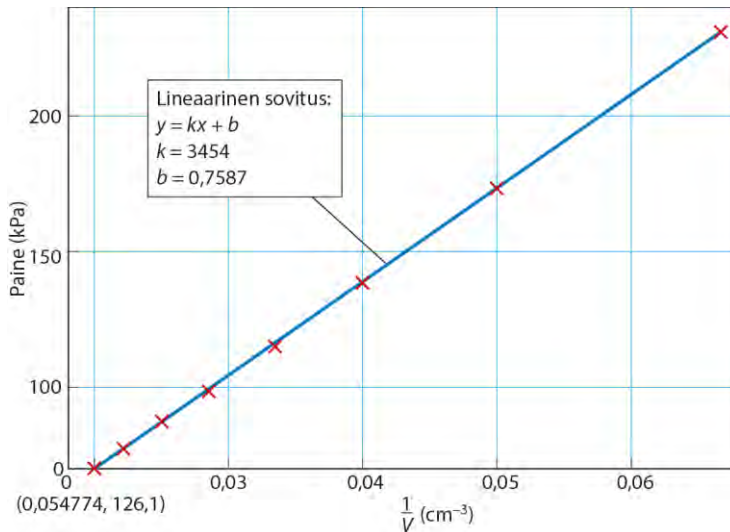
b) Kun kaasun lämpötila on 17 °C, kaasun paine on 1,9 bar.

c) Paine alenee nestekaasupulloon liitettyssä paineenalennusventtiilissä
 $1900 \text{ mbar} - 1013 \text{ mbar} - 30 \text{ mbar} = 857 \text{ mbar} \approx 0,9 \text{ bar}$.

11-6. a) Käytetään mittausohjelmaa.



11 Kaasun tilan muuttuminen



Ensimmäisessä kuvassa mittausohjelman sovitus $p = \text{vakio} / V$ sopii

hyvin mittauspisteisiin. Jälkimmäisessä kuvassa paineen p ja suureen $1/V$ välinen riippuvuus on lineaarinen eli $p \sim 1/V$.

Molemmat kuvaajat osoittavat, että $pV = \text{vakio}$ eli vakiolämpötilan kaasulaki on voimassa.

b) Ensimmäisestä kuvasta voi mittausohjelman avulla lukea, että kun tilavuus on $42,0 \text{ cm}^3$, paine on $85,6 \text{ kPa}$.

c) Ensimmäisestä kuvasta voi lukea, että kun paine on 120 kPa , tilavuus on 29 cm^3 .

11-7. Koska pullon tilavuus ei muutu, yleisen kaasulain $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

perusteella pullossa olevalle ilmalle on voimassa yhtälö $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$. Tästä

saadaan pullossa olevan ilman paineeksi

$$p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{102,1 \text{ kPa} \cdot (273,15 - 18) \text{ K}}{(273,15 + 25) \text{ K}} = \frac{102,1 \text{ kPa} \cdot 255,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} \approx 87,375 \text{ kPa}.$$

Korkkiin kohdistuva voima on ulkoisen ilmanpaineen korkkiin kohdistaman voiman F_1 ja pullon sisällä olevasta paineesta aiheutuvan voiman F_2 erotus:

$$\begin{aligned} F &= F_1 - F_2 = p_1 A - p_2 A = (p_1 - p_2) A \\ &= (101,325 \text{ kPa} - 87,375 \text{ kPa}) \cdot 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ &\approx 6,0 \text{ N}. \end{aligned}$$

Voiman suunta on pulloon päin.

11-8. a) Luokassa olevan ilman massa on

$$\begin{aligned} m &= \rho V \\ &= 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot 11 \text{ m} \cdot 8,5 \text{ m} \cdot 2,7 \text{ m} \\ &= 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot 252 \text{ m}^3 \\ &\approx 330 \text{ kg}. \end{aligned}$$

b) Luokan tilavuus on $V_1 = 252 \text{ m}^3$. Koska paine oletettiin vakioksi,

seuraa yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ yhtälö $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, josta saadaan

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{252 \text{ m}^3 \cdot 298,15 \text{ K}}{292,15 \text{ K}} \approx 257,2 \text{ m}^3.$$

Näin ollen luokasta on poistunut ilmaa

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 257,2 \text{ m}^3 - 252 \text{ m}^3 \approx 5,2 \text{ m}^3.$$

11-9. Kun pullosta poistetaan pumpulla ilmaa, ilmanpaine pullon sisällä laskee pienemmäksi kuin ilmapallon sisällä. Ilmapallo laajenee, jolloin paine sen sisällä pienenee Boylen lain $pV = \text{vakio}$ mukaisesti.

TESTAA, OSAATKO S. 103

1. c 2. b, c 3. b 4. c 5. a, c, d 6. a, b, c, d 7. b 8. c 9. a, b, c 10. a, b 11. a, c 12. c

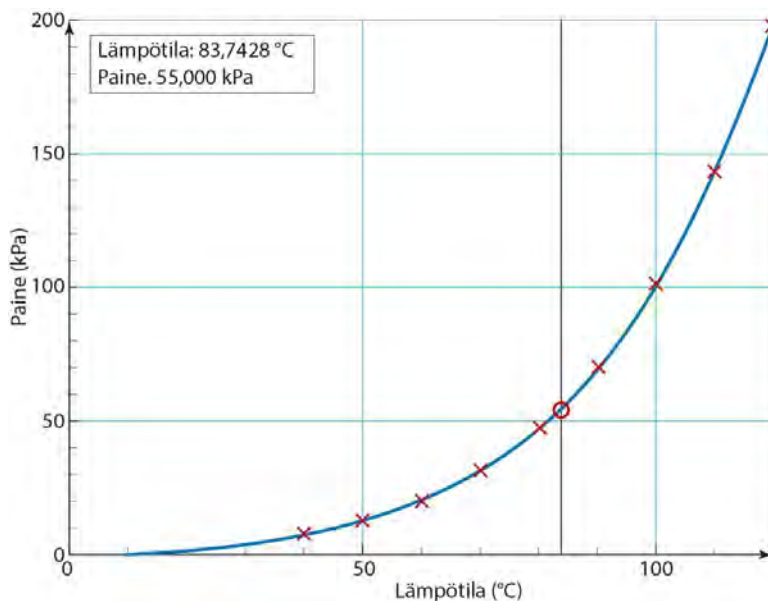
TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 12-1.** a) Aineen B höyrystämiseen tarvitaan kuvion mukaan enemmän energiaa kuin aineen A (koska aineen B ylin vaakasuora tasanne on pitempi kuin aineen A).
- b) Aineen B sulattamiseen tarvitaan enemmän energiaa kuin aineen A sulattamiseen, koska kuvaajan perusteella B:n sulattamiseen tarvittava energia ΔQ on suurempi kuin aineen A sulattamiseen tarvittava vastaava energia.
- c) Aineen A sulamis- ja kiehumispisteiden ero on suurempi kuin aineella B, koska kuvaajan perusteella aineen A sulamis- ja kiehumispisteiden väli ΔT on suurempi kuin aineen B vastaava lämpötilaväli.
- d) Aine B luovuttaa jäähtyessään kiehumispisteestään sulamispisteeseen enemmän energiaa kuin aine A, koska kuvaajan perusteella aineen B luovuttama energia ΔQ on suurempi kuin aineen A luovuttama vastaava energia.
- 12-2.** a) Alueet liittyvät aineen olomuotoihin ja ovat kiinteä (ruskea), neste (sininen) ja kaasu (harmaa).
- b) Nuoli 1 kuvaa olomuodonmuutosta kiinteästä aineesta kaasuksi (sublimoituminen), nuoli 2 kiinteästä nesteeksi (sulaminen) ja nuoli 3 nesteestä kaasuksi (höyrystyminen).
- c) Aineiden A ja B sulamiskäyrät kaartavat eri suuntiin. Aineen A tapauksessa paineen kasvaessa sulamispiste alenee. Aineen B tapauksessa paineen kasvaessa sulamispiste kohoaa.
- 12-3.** a) Keittolevystä johtuu energiaa kattilaan ja edelleen kattilasta veteen. Kiehumisen aikana veden lämpötila ei muutu, koska energia kuluu olomuodon muutokseen nesteestä höyryksi.

b) Ilman maksimikosteus pienenee, kun lämpötila laskee. Kylmän virvoitusjuomapullon ympärillä oleva ilma jäähtyy alle kastepisteen, jolloin se ei pysty sitomaan kaikkea siinä alun perin ollutta kosteutta. Osa vesihöyrystä tiivistyy tämän takia pullon pinnalle vedeksi.

- 12-4.** a) 1) Normaalipaineessa $101,3 \text{ kPa} = 0,1013 \text{ MPa}$ vesi voi olla olomuodoltaan kiinteätä (jäätä), kun lämpötila $T < 273,15 \text{ K}$.
2) Normaalipaineessa $101,3 \text{ kPa} = 0,1013 \text{ MPa}$ vesi voi esiintyä nesteinä, kun lämpötila $273,15 \text{ K} < T < 373,15 \text{ K}$.
3) Kaasumaista ainetta kutsutaan höyryksi, jos sen lämpötila on enintään yhtä suuri kuin kyseisen aineen kriittinen lämpötila. Näin ollen vesi voi esiintyä höyrynä, kun lämpötila $373,15 \text{ K} < T < 647,4 \text{ K}$.
4) Vesi voi esiintyä kaasuna, kun lämpötila $T > 647,4 \text{ K}$. Kaasun lämpötila on suurempi kuin kyseisen aineen kriittinen lämpötila.
- b) Vesi voi esiintyä nesteinä, kun paine $p > 0,00061 \text{ MPa}$.
- c) 1) Vesi muuttuu lämpötilan laskiessa kaasusta höyryksi ja härmistyy höyrystä kiinteäksi.
2) Vesi muuttuu kaasusta höyryksi, tiivistyy höyrystä nesteeksi ja jähmettyy sitten nesteestä kiinteäksi.
- d) Lämpötilan $370 \text{ °C} = 643 \text{ K}$ ja paineen $0,2 \text{ MPa}$ arvot sijoittuvat faasidiagrammissa höyryn alueelle; veden olomuoto on siis höyry.

- 12-5.** a) Sijoitetaan arvot mittausohjelmaan, joka sovittaa käyrän mittauspisteisiin



- b) Käyrä antaa kiehumispisteeksi 84 °C, kun paine on 55 kPa.

- 12-6.** a) Lämpötilassa 19 °C taulukkokirjan mukaan kylläisen vesihöyryn tiheys on 16,30 g/m³. Koska ilman suhteellinen kosteus on 49 %, yhdessä kuutiometrissä ilmaa on vettä $0,49 \cdot 16,30 \text{ g} = 7,987 \text{ g} \approx 8,0 \text{ g}$.
- b) Veden määrä huoneilmassa on $53 \text{ m}^3 \cdot 7,987 \text{ g/m}^3 \approx 420 \text{ g}$.
- c) Jos yhdessä kuutiometrissä ilmaa on 8,0 g vettä, taulukkokirjan mukaan tiheyttä 8,0 g/m³ vastaava kastepiste on lämpötilojen 7 °C ja 8 °C välillä. Kastepiste on likimain 7,5 °C.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

13-1. a) Kostealta iholta haihtuu vettä. Haihtuminen tarvitsee energiaa, joka on osittain lähtöisin ihosta. Tästä seuraa viileä olo.

b) Iholta haihtuva neste (kynsilakanpoistoaine) ottaa haihtumiseen tarvittavan energian lämpimästä ihosta. Tällöin ihon pinta viilenee.

c) Märästä pyyhkeestä haihtuu vettä. Haihtumiseen tarvitaan energiaa, joka on peräisin osittain virvoitusjuomapullostas, jolloin virvoitusjuomapullo ja juoma jäähtyvät.

13-2. Kullan sulattamiseen tarvittu energia on $Q_{\text{tuotto}} = sm$. Sulatusuunin

ottama energia on Q_{otto} . Uunin hyötysuhde on $\eta = \frac{Q_{\text{tuotto}}}{Q_{\text{otto}}}$. Uunin

tarvitsema energia kullan sulattamiseen on

$$Q_{\text{otto}} = \frac{Q_{\text{tuotto}}}{\eta} = \frac{sm}{\eta} = \frac{64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 30,0 \text{ kg}}{0,58} \approx 3300 \text{ kJ}.$$

13-3. a) Veden ominaissulamislämpö on 333 kJ/kg, eli jättä sulaa yhden kilogramman verran, kun sulamispisteessä olevaan jäähän tuodaan energiaa 333 kJ.

b) Raudan ominaishöyrystymislämpö on 6,80 MJ/kg, eli rautaa höyrystyy puoli kilogrammaa, kun kiehumispisteessä olevaan rautaan tuodaan energiaa 3,40 MJ.

13-4. a) Jää on sulamispisteessä. Sulattamiseen tarvittava energia on $Q = sm = 0,15 \text{ kg} \cdot 333 \text{ kJ/kg} \approx 50 \text{ kJ}$.

b) Rauta on kiehumispisteessä. Höyrystämiseen tarvittava energia on $Q = rm = 0,012 \text{ kg} \cdot 6,80 \text{ MJ/kg} \approx 0,082 \text{ MJ} = 82 \text{ kJ}$.

- 13-5.** Veden höyryttämiseen tarvittava energia on $Q = rm$, joka on yhtä suuri kuin sähkölevyn luovuttama energia $Q = Pt$ eli $Pt = rm$. Höyryttämiseen kuluva aika on

$$t = \frac{rm}{P} = \frac{2260 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot 0,25 \text{ kg}}{850 \text{ W}} \approx 664,706 \text{ s} = \frac{664,706}{60} \text{ min} \approx 11 \text{ min.}$$

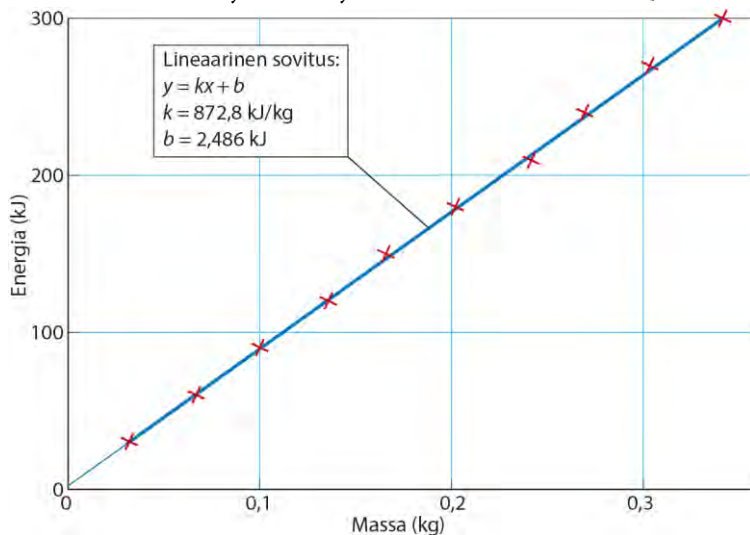
- 13-6.** Oletetaan, että lämpöhäviöt ovat vähäisiä, joten sähkövastuksen tuottama energia on likimain yhtä suuri kuin sulamiseen tarvittava energia. Aineen sulattamiseen tarvitaan energiaa $Q = sm$, jossa s on aineen ominaissulamislämpö. Kuvion mukaan sähkövastuksen tuottama energia sulattamisen aikana on 33 kJ, joten aineen ominaissulamislämpö on

$$s = \frac{Q}{m} = \frac{33 \text{ kJ}}{0,185 \text{ kg}} \approx 180 \text{ kJ/kg.}$$

Taulukkokirjan mukaan glyserolin ominaissulamislämpö on 176 kJ/kg (ja sulamispiste 17,9 °C, kuviossa 18 °C). Aine on glyserolia.

Ominaislämpökapasiteetin arvon poikkeaminen taulukkoarvosta johtuu energiahäviöistä, eli osa energiasta ei lämmitä glyserolia vaan mittaussysteemin muita osia ja ilmaa.

- 13-7.** Höyrystyneen etanolin massa ja uppokuumentimen ottama energia vietiin mittausohjelmaan ja tulokset esitettiin m, Q -koordinaatistossa.



Siirtyvän energian ja massan välinen yhteys on lineaarinen ja sitä kuvaavan suoran yhtälö on $Q = rm$. Suoran fysikaalinen kulmakerroin $r = \Delta Q / \Delta m$ on tutkittavan aineen ominaishöyrystyslämpö. Mittausohjelmasta saadaan etanolin ominaishöyrystyslämmöksi 870 kJ/kg. Tulos on liian suuri, koska osa energiaa siirtyi etanolista ympäristöön.

13-8. a) Veden lämpötilan muutos on celsiusasteina

$\Delta\theta = 100\text{ °C} - 25\text{ °C} = 75\text{ °C}$ ja kelvineinä $\Delta T = 75\text{ K}$. Jos lämpöhäviöitä ei oteta huomioon, veden kuumentamiseen ja höyrystämiseen tarvittava energia $Q = cm\Delta T + rm$ on yhtä suuri kuin lämmitystehon tuottama energia $Q = P\Delta t$, eli yhtälöstä $P\Delta t = cm\Delta T + rm$ lämmitysteho on

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

$$= \frac{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 2500 \text{ kg} \cdot 75 \text{ K} + 2260 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 2500 \text{ kg}}{1,0 \text{ s}}$$

$$\approx 6,4 \text{ GW}.$$

b) Lämmitystehon pitää olla laskettua suurempi, koska höyry kuumennetaan korkeaan lämpötilaan (290 °C). Kuumalla höyryllä on myös liike-energiaa, koska korkeapaineinen, kuuma, nopeasti virtaava höyry pyörittää voimalaitoksen turbiineja.

13-9. Kuparin lämpötilan muutos on celsiusasteina

$\Delta t_{\text{kupari}} = 21\text{ °C} - (-195,8\text{ °C}) = 216,8\text{ °C}$ ja kelvineinä $\Delta T_{\text{kupari}} = 216,8\text{ K}$.

a) Kuparikappale jäähtyy nestetyypen lämpötilaan (−195,8 °C) ja luovuttaa energiaa. Vapautuva energia aiheuttaa typen höyrystymistä. Typpi kiehuu voimakkaasti, kunnes kuparikappale on jäähtynyt.

b) Oletetaan, että typpeä on riittävästi ja lämpöhäviöt ovat vähäisiä. Typen vastaanottama energia on yhtä suuri kuin kuparin lämpönä luovuttama energia, joten

$$Q_{\text{typpi}} = Q_{\text{kupari}} \text{ eli } r_{\text{typpi}} m_{\text{typpi}} = c_{\text{kupari}} m_{\text{kupari}} \Delta T_{\text{kupari}}.$$

Yhtälöstä $r_{\text{typpi}} m_{\text{typpi}} = c_{\text{kupari}} m_{\text{kupari}} \Delta T_{\text{kupari}}$ typen massaksi saadaan

$$m_{\text{typpi}} = \frac{c_{\text{kupari}} m_{\text{kupari}} \Delta T_{\text{kupari}}}{r_{\text{typpi}}} = \frac{0,387 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,102 \text{ kg} \cdot 216,8 \text{ K}}{200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \approx 43 \text{ g}.$$

TESTAA, OSAATKO S. 123

1. b 2. a 3. a,b,c 4. b 5. b 6. a, c 7. c 8. a, c, d 9. b, d 10. b,d,e, 11. c

TEHTÄVIEN RATKAISUT

14-1. a) Energian käyttäminen tarkoittaa energian muuntamista tarvittavaan muotoon. Esimerkiksi bensiinin kemiallinen energia muunnetaan moottoripyörän liike-energiaksi.

b) Primäärienergia tarkoittaa jalostamatonta energiaa siinä muodossa, jossa se on ennen energiantuotantoprosessia. Esimerkiksi kivihiilen kemiallinen energia on primäärienergiaa.

c) Sekundäärienergia tarkoittaa tuotantoprosessissa tuotettua energiaa. Esimerkiksi bensiinissä oleva energia on sekundäärienergiaa.

14-2. a) Väärin. Energian kulutus tarkoittaa energian muuntamista tarvittavaan muotoon.

b) Väärin. Energian tuottamisessa energian määrä ei muutu. Energian tuottaminen tarkoittaa energian muuntamista yhteiskunnan ja kotitalouksien tarvitsemaan muotoon.

c) Oikein.

14-3. a) Generaattori tuottaa voimalaitoksessa sähköä.

b) Lämpö- ja vesivoimalaitoksissa höyryn tai veden liike-energia muuntuu turbiinissa pyörimisen energiaksi. Turbiini on kytketty pyörittämään sähkögeneraattoria.

c) Tuulivoimalaitoksessa tuulen liike-energia muuntuu roottorissa pyörimisen energiaksi. Roottori on kytketty pyörittämään sähkögeneraattoria.

14-4. a) Kivihiilivoimalaitos on lämpövoimalaitos, joka käyttää energianlähteenä hiiltä. Siinä korkeapaineisen höyryn avulla pyöritetään turbiinia, joka on liitetty sähköä tuottavaan generaattoriin. Vastapainevoimalaitoksissa osa höyryssä olevasta energiasta otetaan talteen paikallisessa kaukolämpöverkossa käytettäväksi. Energiaa voidaan siirtää myös höyrynä lähiympäristön teollisuuslaitosten käyttöön.

b) Lauhdevoimalaitoksessa paineesta hyödynnetään suurempi osa höyryturbiinin pyörittämiseen kuin vastapainevoimalaitoksessa. Näin lauhdevoimalaitoksen generaattorista saadaan suuri sähköteho. Lauhdevoimalaitoksen lauhdevesi poistuu hukkalämpönä vesistöön tai ilmaan. Lauhdevoimalaitos tuottaa vain sähköä.

14-5. a) Kivihiilivoimalaitoksen ja ydinvoimalaitoksen samankaltaisuuksia ovat seuraavat:

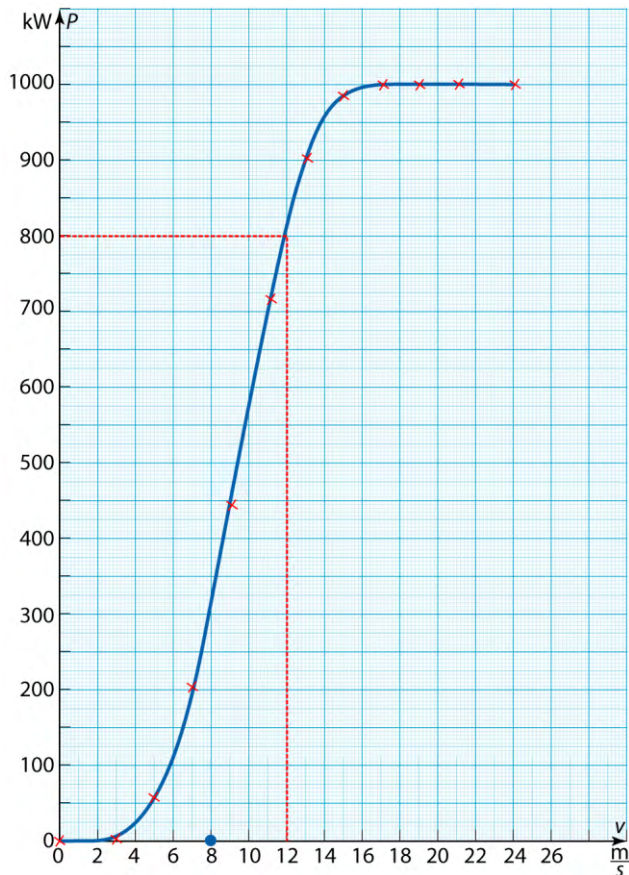
1. Molemmat voimalaitokset ovat lämpövoimalaitoksia.
2. Kummassakin voimalaitoksessa kuuma, korkeapaineinen höyry pyörittää turbiinia, joka on liitetty sähköä tuottavaan generaattoriin.
3. Ydinvoimalaitos on lauhdevoimalaitos, jossa turbiinin jälkeen vapautuvaa hukkaenergiaa ei hyödynnetä, vaan höyry haihdutetaan ilmaan tai se lauhdutetaan lauhdevedellä. Myös kivihiilivoimalaitos voi olla lauhdevoimalaitos.
4. Kumpikin voimalaitos käyttää uusiutumatonta energialähdettä.

b) Kivihiilivoimalaitoksen ja ydinvoimalaitoksen eroavaisuuksia ovat seuraavat:

1. Kivihiilivoimalaitoksen energiantuotanto perustuu polttoprosessiin, jossa polttoaineena on kivihiili. Ydinvoimalaitoksen energia on peräisin uraaniydinten halkeamisesta.
2. Kaikki ydinvoimalaitokset ovat lauhdevoimalaitoksia. Kivihiilivoimalaitokset voivat olla myös vastapainevoimalaitoksia.

3. Kivihiilivoimalaitos tuottaa päästöinä mm. hiilidioksidia ja rikkiyhdisteitä. Toimiva ydinvoimalaitos tuottaa päästöinä ilmakehään vain vesihöyryä. Ydinvoimalaitoksissa tapahtuneet onnettomuudet ovat vapauttaneet luontoon radioaktiivisia aineita.

14-6. a) Voimalaitoksen teho P riippuu tuulen nopeudesta v kuvaajan mukaisesti.



b) Kuvaajan mukaan tehoa $P = 800$ kW vastaavaksi tuulen nopeudeksi saadaan $v \approx 12$ m/s.

c) Voimalaitoksen keskimääräinen teho vuonna 2006 oli

$$P_k = \frac{E}{t} = \frac{2517 \text{ MWh}}{365 \cdot 24 \text{ h}} = 0,287329 \text{ MW} \approx 290 \text{ kW}.$$

14-7. Taulukko on otsikoitu ”Energian kokonaiskulutus energialähteittäin”, joka samalla kuvaa likimain energian kokonaistuotantoa. Tuontisähkön osuus on vain 5 % kokonaiskulutuksesta.

a) Öljyn käyttö on vähentynyt 3 %, hiilen 11 % ja maakaasun 14 %. Muutokset ovat merkittäviä kokonaiskulutuksen kannalta. Öljy, hiili ja maakaasu ovat fossiilisia polttoaineita ja merkittäviä energialähteitä Suomessa. Uusiutuvien energialähteiden osuus kulutuksessa ei kuitenkaan ole kasvanut läheskään yhtä suuressa määrin. Vesivoimalaitosten osuus energian kokonaiskulutuksesta on vain 4 % ja kasvu samoin 4 %. Fossiilisia polttoaineita on korvattu lisäämällä sähkön tuontia sekä turpeen ja muiden energialähteiden käyttöä energian tuotannossa.

b) Tuulienergian kasvu (44 %) on voimakasta, mutta sen osuus koko energiankulutuksesta on vain 0,3 % (laskettu taulukon arvoista). Tuulienergian osuus on edelleen vuonna 2014 kokonaiskulutuksen kannalta hyvin vähäinen.

14-8. $P = 1400 \cdot 10^6 \text{ W}$, $t = 1 \text{ d} = 86\,400 \text{ s}$.

Uraanin tuottama energia vuorokaudessa on

$$Q = Pt = 1400 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 86\,400 \text{ s} = 1,2096 \cdot 10^{14} \text{ J}.$$

Uraanin massa pienenee yhtälön $E = \Delta mc^2$ mukaisesti, kun $E = Q$ ja c valonnopeus.

Energiaksi muuttuva massa vuorokaudessa on

$$\Delta m = \frac{Q}{c^2} = \frac{1,2096 \cdot 10^{14} \text{ J}}{(2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} \approx 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 1,3 \text{ g}.$$

14-9. $\eta = 0,84$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $h = 32,4 \text{ m}$, $P_{\text{tuotto}} = 120 \text{ MW}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Ratkaistaan tuottotehoyhtälöstä $P_{\text{tuotto}} = \eta \frac{\rho V g h}{t}$ virtaama $\frac{V}{t}$ eli

$$\frac{V}{t} = \frac{P_{\text{tuotto}}}{\eta \rho g h} = \frac{120 \cdot 10^6 \text{ W}}{0,84 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 32,4 \text{ m}} \approx 450 \text{ m}^3/\text{s}.$$

14-10. $\eta = 0,32$, $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$, $r = 30,0 \text{ m}$, $P_{\text{tuotto}} = 53 \text{ kW}$.

Ratkaistaan tuulivoimalaitoksen tuottoteho yhtälöstä

$$P_{\text{tuotto}} = \eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \text{ tuulen nopeus:}$$

$$P_{\text{tuotto}} = \eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3$$

$$v^3 = \frac{P_{\text{tuotto}}}{\eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2}$$

$$v = \sqrt[3]{\frac{P_{\text{tuotto}}}{\eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2}} = \sqrt[3]{\frac{53 \cdot 10^3 \text{ W}}{0,32 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3 \cdot \pi \cdot (30,0 \text{ m})^2}} \approx 4,5 \text{ m/s}.$$

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 15-1.** a) Oikein.
b) Oikein.
c) Oikein.
d) Väärin. Muovit on tehty öljystä, joten se on alkuperältään fossiilinen polttoaine.
- 15-2.** a) Biomassalla tarkoitetaan kasvien yhteyttämisen tuloksena syntyvää ainesta.
b) Bioenergialla tarkoitetaan biomassasta saatavaa energiaa.
- 15-3.** a) Maalämpö on maaperän pintakerrokseen sitoutunutta Auringon energiaa. Geoterminen energia on peräisin maan sisällä tapahtuvista radioaktiivisista hajoamisista.
b) Suora aurinkoenergia on muutettavissa suoraan lämmöksi aurinkokeräimissä tai sähköksi aurinkopaneelien fotokennoissa. Epäsuoralla aurinkoenergialla tarkoitetaan kaikkea muuta energiaa paitsi ydinenergiaa, geotermistä energiaa ja suoraa aurinkoenergiaa. Epäsuoraa aurinkoenergiaa ovat esimerkiksi fossiiliset polttoaineet, energiakasvit, tuulen liike-energia ja veden liike- ja potentiaalienergia.
- 15-4.** a) Aurinkokennossa Auringon säteily muunnetaan suoraan sähköksi. Sähkön avulla voidaan käyttää erilaisia laitteita tai sähkö voidaan varastoida akkuihin myöhempää käyttöä varten.
b) Aurinkokeräimissä kiertää neste, jonka Auringon säteily kuumentaa. Kuumenneen nesteen avulla voidaan lämmittää haluttuja kohteita tai lämpö voidaan siirtää varastoon, esimerkiksi vesisäiliöön.

15-5. Ei malliratkaisua.

15-6. Yhdyskuntajäte sisältää esimerkiksi puuta, joka on uusiutuvaa energiaa. Jätteen joukossa on myös muovia, jonka alkuperä on fossiilinen ja siten uusiutumaton.

15-7. Energiaa voidaan varastoida kemiallisena energiana akuissa, potentiaalienergiana esimerkiksi tekojärvissä ja lämpönä lämpövarastoissa kuten vesisäiliöissä.

15-8. Vedyn etuja fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna ovat esimerkiksi seuraavat:

1. Vedyn energiasisältö massayksikköä kohti on lähes kolminkertainen bensiiniin ja dieselöljyyn verrattuna.
2. Vedyn palamisessa ei synny hiilipäästöjä, palamisessa syntyy vain vettä.
3. Jos vedyn valmistukseen käytetään esimerkiksi vesi-, tuuli- tai aurinkoenergiaa, vetyä voidaan valmistaa vähäisillä hiilipäästöillä.
4. Vetyä on saatavilla runsaasti.
5. Vety on myrkytön.
6. Vetyautojen moottorit ovat lähes äänettömiä.

Vedyn käyttö polttoaineena yleistyy sitä mukaa, kun vedyn valmistus- ja varastointimenetelmät kehittyvät.

15-9. $E = 200 \text{ kWh}$, sähkön hinta on 15 snt/kWh
Jos keräimen energia korvataan sähköllä, sen arvo on
 $200 \text{ kWh} \cdot 0,15 \text{ €/kWh} = 30 \text{ €}$.

15-10. Fuusioreaktiossa vapautuu massaan sitoutunutta energiaa, joka voidaan laskea kaavasta $E = mc^2$.

Sekunnissa vapautunut energia on

$$E = mc^2 = 4 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot (2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ J} (= 400 \text{ YJ}).$$

15-11. $E = 83 \text{ TWh} = 83 \cdot 10^{12} \text{ Wh}$, $P = 3,0 \text{ MW} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ W}$, $t = 1 \text{ a}$.

Yhden tuulivoimalaitoksen tuottama sähkö vuodessa on

$$E = Pt = 3,0 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 1 \text{ a} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 365 \cdot 24 \text{ h} = 2,628 \cdot 10^{10} \text{ Wh}.$$

Tarvittava määrä tuulivoimalaitoksia on

$$\frac{83 \cdot 10^{12} \text{ Wh}}{2,628 \cdot 10^{10} \text{ Wh}} \approx 3200.$$

15-12. a) Teho on

$$P = \eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 = 0,32 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (32 \text{ m})^2 \cdot \left(4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \approx 61 \text{ kW}.$$

b) Teho on

$$P = \eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 = 0,32 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (75 \text{ m})^2 \cdot \left(8,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \approx 2000 \text{ kW}.$$

15-13. Vastauksessa voidaan tarkastella ainakin seuraavia seikkoja:

- Auringon energiaa saadaan eniten kesällä lämpiminä ja valoisina kuukausina ja vähiten talvella kylminä kuukausina ja pimeänä kautena.
- Edellisen takia aurinkopaneelit eivät sovi ympärivuotiseen sähköntuotantoon Suomessa. Aurinkopaneeleista saadaan energiaa vähiten silloin, kun sitä tarvitaan eniten.
- Etelässä Auringon säteilyenergia on 20 % suurempi kuin pohjoisessa.
- Muuta asiaan liittyvää pohdintaa.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

16-1. Auringosta maanpinnalle tuleva sähkömagneettinen säteily sisältää ultraviolettisäteilyn, näkyvän valon sekä koko infrapunasäteilyn aallonpituusalueen. Maanpinta lähettää vain pitkäaaltoista infrapunasäteilyä.

16-2. a) Kasvihuoneilmiö selitetään seuraavasti:

- Auringon säteily lämmittää maaperää, joka ottaa vastaan osan Auringon lähettämästä sähkömagneettisesta säteilystä.
- Lämmennyt maaperä lähettää pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, joka ei läpäise ilmakehän kasvihuonekaasuja yhtä hyvin kuin lyhyet aallonpituudet.
- Kaasut lämpenevät ja lähettävät säteilyä takaisin maahan.
- Maapallon keskilämpötila olisi 20–30 °C alempi, jos kasvihuonekaasuja ei olisi.
- Ilmiötä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi.
- Aikojen kuluessa on syntynyt tasapainotila, jolloin maapallon lämpötila pysyy likimain vakiona, koska maapallolle tulee yhtä paljon säteilyenergiaa kuin samassa ajassa energiaa poistuu.

b) Kasvihuoneilmiö voimistuu kun pitkäaaltoista infrapunasäteilyä vastaanottavien kaasujen määrä kasvaa ilmakehässä. Tällöin avaruuteen poistuvan säteilyn osuus pienenee, ja maanpinnalle palautuvan säteilyn osuus kasvaa. Ilmakehän ja koko maapallon lämpötila kohoaa vähitellen.

c) Kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä ovat kasvaneet, mikä voimistaa kasvihuoneilmiötä ja lämmittää ilmastoja. Tätä lämpenemistä ja siitä aiheutuvia ilmaston häiriöitä kutsutaan ilmastomuutokseksi. Ilmakehän häiriöitä ovat esimerkiksi tuulten voimistuminen, myrskyjen yleistyminen ja voimistuminen ja sateiden muuttuminen niin, että rankkasateet tietyillä alueilla ovat lisääntyneet.

Toisaalta joillakin alueilla on haittaa sateiden vähenemisestä ja tämän aiheuttamasta kuivuudesta.

d) Ihminen voi omalta osaltaan estää kasvihuoneilmiön voimistumista mm. seuraavasti:

- Liikkumisessa tulee suosia kävelemistä, polkupyöräilyä ja joukkoliikennettä mopediin, moottoripyörien ja henkilöautojen sijasta.
- Osa automatkoista ja lentomatkoista voidaan korvata junamatkoilla. Junien kasvihuonekaasupäästöt ovat vähäisiä muihin vaihtoehtoihin verrattuna.
- Lomamatkailussa kotimaisia kohteita pitäisi suosia enemmän lentokoneilla tehtävän kaukomatkailun sijaan.
- Kertakäyttötuotteiden kulutusta tulee vähentää. Joitakin kertakäyttötuotteita voi ottaa toistuvaan käyttöön. Esimerkiksi monet muoviset elintarvikkeiden pakkausrasiat sopivat pakastamiseen.
- Kotona harvoin tarvittavat työkalut ja muut laitteet tai tavarat voi monissa tapauksissa vuokrata tai lainata.
- Nykyään useimmat kulutustavarat tehdään helposti kierrätettäviksi. Esimerkiksi käytöstä poistetut sähkölaitteet, kuten matkapuhelimet, tulee viedä elektroniikkaromun kierrätyspisteisiin. Samalla kun luonnon raaka-aineita säästyy, myös valmistusmateriaalien käsittelyssä säästyy energiaa ja siten kasvihuonekaasujen päästöt ilmakehään vähenevät.

Ruokaan liittyviä tapoja on mahdollista muuttaa ilmakehää vähemmän rasittaviksi:

- Ruokaa tulee hankkia sen verran kuin sitä syödään. Ruuan poisheittäminen aiheuttaa vauriassa maissa paljon kasvihuonekaasujen päästöjä.
- Ravintona kannattaa käyttää lähellä tuotettua ruokaa kuljetusten aiheuttamien haittojen vähentämiseksi.
- Kasvikunnan tuotteiden lisääminen ruokavalioon ja samalla lihan vähentäminen on ilmakehän kannalta hyvä ratkaisu.

- Myös kasvikunnan eri tuotteiden tuotannon välillä on eroja kasvihuonekaasujen päästöissä. Esimerkiksi kotimainen peruna on lähellä tuotettua ruokaa, lisäksi perunan tuotanto aiheuttaa selvästi vähemmän kasvihuonekaasujen päästöjä kuin riisin tuotanto. Riisipellot ovat merkittäviä metaanilähteitä.

16-3. a) Oikein.

b) Oikein.

c) Oikein.

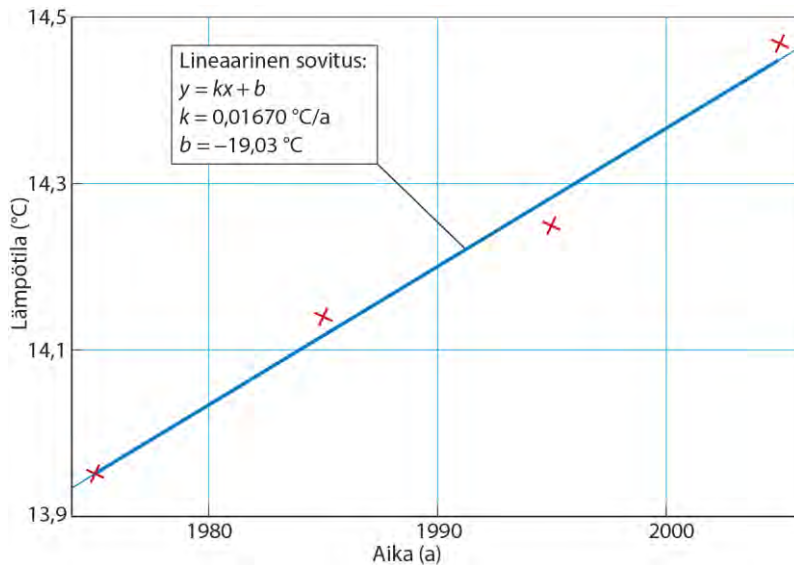
d) Oikein.

16-4. a) Mittausten mukaan keskilämpötila vaihtelee vuosittain ja myös pitemmissä jaksoissa. Esimerkiksi vuosien 1880 ja 1940 tienoilla on ollut lämpimiä vuosia. Viileät ajanjaksot osuvat vuosien 1910 ja 1970 tienoille. Kuviosta havaitaan, että pitkällä aikavälillä maapallon keskilämpötila kohoaa, ja kohoamisnopeus kasvaa koko ajan viileämpien kausien välillä. Huomataan, että 13 vuosikymmenen aikana 1881–2010 lämpötila on kohonnut keskimäärin $0,0579\text{ °C}/10\text{a}$ eli $0,00579\text{ °C/a}$ ja neljän vuosikymmenen aikana 1971–2010 selvästi edellistä ajanjaksoa nopeammin (kohta b).

b) Vuosikymmenien 1971–2010 keskilämpötilat ovat kuvaajan mukaan likimain seuraavat (suluissa vuosikymmentä esittävä vuosiluku kuvaajassa):

Vuosikymmen	1971– (1975)	1981– (1985)	1991– (1995)	2001– (2005)
Keskilämpötila t (°C)	13,95	14,12	14,25	14,47

Viedään taulukon arvot mittausohjelmaan ja sovitetaan pisteiden kautta suora:



Mittausohjelman mukaan lämpötila kohosi vuosina 1971–2010 keskimäärin $0,01670 \text{ } ^\circ\text{C/a}$.

16-5. Ilmaston lämpenemisellä on esimerkiksi seuraavia haitallisia vaikutuksia:

- Mannerjäätiköt sulavat, minkä seurauksena merenpinta nousee ja asuttuja rannikkoalueita ja kokonaisia saariryhmiä jää veden alle.
- Vuoristojen pysyvät jääpeitteet vähenevät ja katoavat, ja samoin käy vuorten rinteiden sulamisvesille. Nykyään elinkelpoiset alueet vuorten rinteillä vähenevät vesipulan takia.
- Pohjoisen napa-alueen jäiden sulaminen aiheuttaa jään olemassaolosta riippuvien eläinten elinalueiden pienenemisen ja eläinten määrän vähenemisen. Samalla esimerkiksi Grönlannin ihmisten elinolosuhteet muuttuvat, kun osa ravinnosta katoaa.
- Tuulet lisääntyvät ja hirmumyrskyt muuttuvat yhä tavallisemmiksi ja voimakkaammiksi.
- Trooppiset taudit lisääntyvät ja leviävät entistä laajemmille alueille.
- Esimerkiksi edellä mainituista syistä elinkelpoinen maa-ala pienenee, ja ihmiset joutuvat jättämään kotiseutunsa.

- Ilmaston lämpeneminen sulattaa ikirouta-alueita, jolloin esimerkiksi Siperian valtavat suoalueet vapauttavat lisää kasvihuonekaasuja ilmakehään. Sama voi tapahtua myös merenpohjassa sen lämmetessä.

16-6. Auringon säteily enimmäkseen heijastuu tai siroaa puhtaasta lumesta. Heijastumisessa ja siroamisessa aallonpituus ei muutu, joten säteilyn lyhytaaltainen osuus läpäisee suurimmaksi osaksi ilmakehän ja poistuu avaruuteen.

Lumen pinnalla oleva hiilipöly lisää maapallon ilmaston lämpenemistä seuraavasti:

- Hiilipöly sitoo tehokkaasti säteilyenergiaa joka muuntuu lämmöksi.
- Hiilipölyn lähettämä pitkäaaltonen infrapunasäteily sitoutuu ilmakehään, jolloin ilmakehä lämpenee enemmän kuin säteilyn heijastuessa ja sirotessa puhtaasta lumesta.
- Hiilipölyn vastaanottama energia sulattaa lunta ja jäätä, jolloin lumettoman maan ja jäätönnän veden pinta-ala kasvaa. Tämä vähentää tulevan säteilyn heijastumista ja siroamista.
- Lumen ja jään peittämän pinta-alan väheneminen lisää edelleen säteilyenergian sitoutumista maanpintaan ja veteen, ja samalla pitkäaaltoisen infrapunasäteilyn voimistumista.

16-7. a) Biopolttoaineiden kuten palmuöljyn hyvä puoli on, että ne ovat peräisin uusiutuvista energialähteistä. Biopolttoaineilla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Öljypalmujen käytöllä energian tuotannossa on kasvihuonekaasupäästöjen kannalta etua verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin vain jos palmut istutetaan ennestään avoimille paikoille. Öljyä poltettaessa ilmakehään vapautuu hiilidioksidiä, jota palmut sitovat kasvaessaan. Palmuöljyä saadaan öljypalmun siemenistä. Hehtaarin viljelmältä saadaan noin 10000 kg:n siemensato, josta saadaan öljyä noin 3000 kg. Palmuöljyä tuotetaan pääasiassa Kaakkois-Aasian maissa öljypalmuplantaaseilla.

Palmuöljyn tuotannossa huono puoli on, että kasvava palmuöljyn tuotanto vaatii paljon lisää palmujen kasvatukseen sopivaa maa-alaa. Tämä on johtanut sademetsien hävittämiseen palmujen tieltä. Sademetsät ovat tehokkaimpia hiilen (hiilidioksidin) sitojia, joten sademetsien väheneminen vapauttaa hiiltä ja samalla hiilidioksidia ilmakehään ja näin nopeuttaa kasvihuoneilmiötä ja siten ilmakehän lämpenemistä. Sademetsien korvaaminen öljypalmuplantaaseilla ja niillä tuotetun öljyn käyttö polttoaineena on esimerkiksi ilmakehän kannalta huomattavasti vaihtoehto kuin fossiilisten polttoaineiden käyttö.

b) Suomalaiset tutkijat ovat kehittäneet tavan tuottaa autoihin soveltuvia biopolttoaineita metsäteollisuuden jätteistä, kuten risuista, kannoista ja mäntyöljystä, jota syntyy sellun valmistuksessa.

c) Metsäteollisuuden jätteiden käyttö ei aiheuta metsän hakkuita, kuten palmuöljyn tuotannossa tehdään. Metsäteollisuuden jätteet ovat uusiutuvaa energiaa. Jätteet hajotessaan tuottaisivat joka tapauksessa hiilidioksidipäästöjä. Polttoaineina käytettäessä päästöt eivät lisäännä verrattuna luonnossa tapahtuvaan hajoamiseen. Metsäjätteiden käyttö on kestävä kehityksen kannalta parempi vaihtoehto kuin palmuöljyn käyttö.

16-8. a) Kivihiilivoimalaitosten haittoja ovat suuret rikki-, hiilidioksidi- ja typpioksidipäästöt. Päästöt aiheuttavat ilmakehän lämpenemistä, maaperän ja vesistöjen happamoitumista sekä terveydellisiä haittoja.

b) Ydinvoimalaitoksen suurin haitta on onnettomuuksien riski. Onnettomuuden tapahtuessa reaktorista voi päästä ympäristöön radioaktiivisia aineita, joilla on terveydellisiä vaikutuksia ihmisiin ja haittavaikutuksia luontoon. Ydinsäteily aiheuttaa perimän muutoksia ja lisää syövän riskiä. Ydinvoimalaitosten käytetyn polttoaineen varastointi on myös haittatekijä. Radioaktiiviset jätteet pitää varastoida syväälle maaperään hyvin pitkiksi ajoiksi.

Ainoa päästö, jonka ydinvoimala toimiessaan tuottaa, on lämmin vesi, joka lämmittää vesistöjä, tai vesihöyry, joka kohoaa ilmakehään. Vesihöyry on kasvihuonekaasu. Toisaalta vesihöyry pilvimuodostelmina heijastaa Auringon säteilyä takaisin avaruuteen joten vesihöyryllä voi olla myös ilmakehää viilentävä vaikutus.

c) Tuulivoimalaitoksesta syntyy päästöjä ilmakehään vain sen valmistusprosesseissa. Käytön aikana tuulivoimalat tuottavat meluhaittaa, joten niiden rakentamista asutusten lähelle vältetään.

d) Vesivoimalaitoksesta syntyy päästöjä vain sen rakennusvaiheessa. Vesivoimalaitoksen haittoja ovat veden varastoaltaiden valtaama tila maa-alueilta. Padot estävät kalojen nousun ylävirtaan, mistä on haittaa kalataloudelle. Tätä haittaa on vähennetty rakentamalla kaloille patojen vierelle kalaportaita, joiden kautta kalat voivat liikkua patojen ohi jokien ylävirroilla oleville lisääntymispaikoilleen.

KERTAUSTEHTÄVIEN RATKAISUT

1.
 - a) Termodynaaminen systeemi on
 - eristetty, jos se ei vaihda ympäristönsä kanssa ainetta eikä energiaa;
 - eristetty systeemi ei siis ole vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa
 - suljettu, jos se vaihtaa ympäristönsä kanssa energiaa mutta ei ainetta
 - avoin, jos se vaihtaa ympäristönsä kanssa sekä ainetta että energiaa.
 - b) Eristetyn systeemin muodostaa lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna esimerkiksi termospullo.
Suljetun systeemin muodostaa esimerkiksi kaukolämpöverkko.
Avoimen systeemin muodostavat esimerkiksi kahvikupissa oleva kahvi ja kerma.
 - c) Termodynamiikassa makrotasolla tarkastelun kohteena on koko kappale. Mikrotason mallit selittävät makrotason ilmiöitä. Lämpötila on esimerkki makrotason ilmiöstä, mikrotasolla selvitetään lämpötilan aiheutuvan aineen rakenneosasten liikkeestä.
2. Lämpötila on $T = (-12 + 273) \text{ K} = 261 \text{ K}$.
3.
 - a) Ilmanpaine aiheutuu maapallon ilmaan kohdistamasta gravitaatiovoimasta eli painosta. Se puristaa ilmakehää Maata vasten.
 - b) Hydrostaattinen paine aiheutuu nesteen omasta painosta.
4.
 - a) Imukuppia käytettäessä imukupin ja lasin väliin muodostuu alipaine. Ulkoinen ilmanpaine puristaa imukupin suurella voimalla lasipintaan, jolloin imukuppi pysyy kiinni lasissa ja lasin siirtäminen on mahdollista.
 - b) Jos veitsen terä on ohut, veistä painettaessa paine terän alla muodostuu suuremmaksi kuin paksun terän tapauksessa.

c) Viemäriputkessa on vesilukon kohdalla U-kirjaimen muotoinen osa, jonka vesi täyttää. Tällöin ilmavirtaus ei pääse etenemään putkessa ja likakaivosta tulevat kaasut eivät pääse huoneilmaan.

5. Luistimen terä kohdistaa jäähän voiman F , joka on yhtä suuri kuin luistelijaan kohdistuva paino G , joten jäähän kohdistuva keskimääräinen paine on

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

6. Bernoullin yhtälöstä saadaan paineen muutokseksi

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\left(22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) = 312,18 \text{ Pa}.$$

Paine-erosta aiheutuva voima on $F = pA = 312,18 \text{ Pa} \cdot 450 \text{ m}^2 \approx 140 \text{ kN}$, voiman suunta on katosta ulospäin. Huomaa, että kyseinen voima vastaa reilun 14 000 kg:n kuormaa (14 keskikokoista perheautoa)!

7. a) Energian säilymislain mukaan energian kokonaismäärä pysyy kaikissa tapahtumissa muuttumattomana. Energia ei lisäännä eikä vähene, eikä sitä voi luoda eikä hävittää.
- b) Gravitaatiokenttään liittyvän kappaleen potentiaalienergian ja liikeenergian summaa kutsutaan kappaleen mekaaniseksi energiaksi.
- c) Systeemin sisäenergia on sen rakenneosasten liikkeeseen ja vuorovaikutuksiin liittyvää energiaa. Rakenneosasten etenemis-, värähtely- ja pyörimisliikkeistä muodostuu mikroskooppisten rakenneosasten liike-energia. Rakenneosasten potentiaalienergia on rakenneosasten kemiallisten sidosten ja rakenneosasten välisten kemiallisten sidosten energiaa.

8. a) Uimahyppääjän potentiaalienergia 10,9 m:n korkeudella potentiaalienergian nollassa on

$$E_p = mgh = 77 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 10,9 \text{ m} = 8,2 \cdot 10^3 \text{ J} = 8,2 \text{ kJ}.$$

- b) Uimahyppääjän liike-energia on

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 77 \text{ kg} \cdot \left(14 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \approx 7,5 \text{ kJ}.$$

9. Liike-energia $E = \frac{1}{2}mv^2$ on suoraan verrannollinen nopeuden toiseen potenssiin. Koska nopeus kolminkertaistuu, liike-energia kasvaa 3^2 -kertaiseksi eli yhdeksänkertaiseksi.

10. Lentokoneen mekaaninen energia on sen potentiaalienergian ja liike-energian summa, eli

$$\begin{aligned} E_{\text{mek}} &= E_p + E_k = mgh + \frac{1}{2}mv^2 \\ &= 310\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10,5 \cdot 10^3 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 310\,000 \text{ kg} \cdot \left(\frac{980}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \\ &\approx 43 \text{ GJ}. \end{aligned}$$

11. a) Jennan käsien kosketusvoima ja painovoima tekevät punnukseen mekaanista työtä noston aikana.

- b) Ilman vastus on vähäinen, joten kosketusvoiman punnukseen tekemä mekaaninen työ on likimain yhtä suuri kuin potentiaalienergian muutos eli

$$W \approx E_p = mgh = 5,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,95 \text{ m} \approx 47 \text{ J}.$$

(Painon tekemä työ on yhtä suuri kuin potentiaalienergian muutos vastakkaismerkkisenä eli -47 J . Huomaa, että painon suunta on vastakkainen liikkeen suuntaan nähden.)

12. a) Vaijerin tukivoima tekee noston aikana työtä teholla

$$P_{\text{tuotto}} = \frac{W}{t} = \frac{F\Delta h}{t}. \text{ Oletetaan, että elementti nostetaan tasaisella}$$

nopeudella, jolloin nostamiseen tarvittavan vaijerin tukivoiman $\bar{F}$ suuruus on yhtä suuri kuin elementtiin kohdistuvan painon $\bar{G}$ suuruus.

Nostamiseen tarvittava teho on

$$\begin{aligned} P_{\text{tuotto}} &= \frac{F\Delta h}{t} = \frac{G\Delta h}{t} = \frac{mg\Delta h}{t} \\ &= \frac{2600 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 27 \text{ m}}{35 \text{ s}} = 19,6761 \cdot 10^3 \text{ W} \approx 20 \text{ kW}. \end{aligned}$$

b) Hyötysuhde on $\eta = \frac{P_{\text{tuotto}}}{P_{\text{otto}}}$,

joten moottorin sähköverkosta ottama teho on

$$P_{\text{otto}} = \frac{P_{\text{tuotto}}}{\eta} = \frac{19,6761 \text{ kW}}{0,93} \approx 21 \text{ kW}.$$

Nostotyön tekemiseen tarvittava teho on 20 kW ja moottorin sähköverkosta ottama teho 21 kW.

13. Tuulin teho nukkumisen aikana on $P = 53 \text{ kg} \cdot 1,1 \text{ W/kg}$.

Hänen nukkumisen aikana tarvitsema energia on

$$Q = Pt = 53 \text{ kg} \cdot 1,1 \text{ W/kg} \cdot 8,0 \cdot 3600 \text{ s} \approx 1,7 \text{ MJ}.$$

14. a) Lämpötila on tilastollinen suure, jonka arvo riippuu kappaleen rakenneosasten lämpöliikkeestä.

Lämpötila määritellään rakennehiukkasten etenemisliikkeen keskimääräisen liike-energian avulla. Mitä nopeammin aineen rakenneosaset keskimäärin liikkuvat, sitä korkeampi on aineen lämpötila.

b) Lämmöllä tarkoitetaan lämpötilaerosta aiheutuvaa energian siirtymistä.

c) Lämpömäärä tarkoittaa siirtyvän energian määrää.

- 15** a) Iho haihduttaa vettä, jonka mukana kehosta poistuu energiaa. Tuuli kuljettaa kostean ja lämpimän ilmakerroksen pois ihon pinnalta. Tällöin iho haihduttaa enemmän. Haihtumiseen tarvitaan energiaa, jonka haihtuva vesi ottaa ihosta. Näin iho viilenee.
- b) Veden haihtuminen poistaa energiaa ihon pinnalta ja pitää ihon lämpötilan siedettävänä. Puhaltaminen vie ihon pinnalta pois suunnilleen ihon lämpöisen ilman ja tuo tilalle kuumaa ilmaa ja kuumassa ilmassa lämmennyt kostea hengityshöyryä. Kuuma ilma ja kuuma vesihöyry tuovat iholle energiaa lämpönä. Ihon pinta aistii kuumuuden.
- 16.** Energia siirtyy patterista ympäristöön johtumalla, kuljetuksessa ja säteilemällä. Patterissa kiertävästä lämpimästä vedestä energia siirtyy lämpönä johtumalla patterin metallikuoreen ja edelleen ulkopintaan. Kuumasta patterista lämpö siirtyy johtumalla ilman ja patterin rajapinnan lähellä olevaan ilmaan. Lämmennyt kevyt ilma saa huoneessa aikaan ilmavirtauksia, joiden mukana lämpö siirtyy muualle huoneeseen. Tällöin kyse on lämmön kuljetuksesta.
- Kuuman patterin pinnan lämpötila on korkeampi kuin huoneen lämpötila, joten patterin pinnasta poistuu lämpösäteilyä enemmän energiaa kuin pinta ottaa ympäristöstä vastaan. Patterin pinnan säteily lämmittää niitä pintoja, joihin säteily osuu. Ilma ottaa lämpösäteilyä huonosti vastaan.
- 17.** Systeemiin tehty mekaaninen työ kasvattaa systeemin sisäenergiaa. Pumpatessa käden kosketusvoima tekee männän välityksellä työtä ja ilman ja pumpun ulkokuoren sisäenergia kasvaa. Energiaa siirtyy ympäristöstä systeemiin.
- Systeemin ympäristöön tekemä työ pienentää sisäenergiaa. Systeemi tekee työtä ympäristöön esimerkiksi silloin, kun se laajetessaan työntää tieltään ilmaa tai muuta ympäristössä olevaa ainetta. Näin tapahtuu, kun painepullosta purkautuu paineilma esimerkiksi ilmapalloon sitä täytettäessä. Systeemistä siirtyy energiaa ympäristöön.

18. Prosessi on isobaarinen. Kaasun tilavuuden kasvu on

$$\Delta V = \frac{2,6 \text{ kJ}}{p} = \frac{2,6 \text{ kJ}}{3,0 \text{ bar}} = \frac{2600 \text{ Nm}}{3,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2} \approx 8,7 \text{ dm}^3.$$

19. Lämpöopin II pääsääntö:

1. Kaikki termodynaamiset prosessit suuntautuvat kohti tasapainoa.
2. Eristetyn termodynaamisen systeemin entropia kasvaa, kunnes systeemi saavuttaa tasapainotilan.
3. Ei ole olemassa lämpövoimakonetta, joka muuntaisi kaiken lämpönä ottamansa energian mekaaniseksi työksi.

20. a) Lämpötilat T_1 ja T_2 ovat lämpösäiliöiden lämpötilat, $T_1 > T_2$.
 Q_1 ja Q_2 ovat koneen ja lämpösäiliön välillä siirtyviä energiamääriä.
 W tarkoittaa koneen tekemää työtä.

b) Kaavio 4 on lämpöopin 2. pääsäännön vastainen: kaaviossa 4 lämpö siirtyisi itsestään kylmästä lämpösäiliöstä lämpösäiliöön.

c) Kaavio 3 esittää maalämpöpumpun, joka on jäähdytyskone. Kone siirtää ulkoisen työn W avulla energiaa alemmasta lämpötilasta T_2 korkeampaan lämpötilaan T_1 . Kone siirtää energian Q_1 kuumasäiliöön:
 $Q_1 = Q_2 + W$.

d) Kaavio 1 esittää kivihiilivoimalaitosta.

Kone ottaa korkeammasta lämpötilasta energian Q_1 ja tekee työn $W = Q_1 - Q_2$. Kone luovuttaa alempaan lämpötilaan T_2 energian Q_2 .

21. a) Kummassakin tapauksessa lämpöä siirretään alemmasta lämpötilasta ylem্পään. Tämä on lämpöopin II pääsäännön mukaan mahdotonta ilman ulkoista työtä.

b) Jääkaapin Carnot-hyötysuhteeksi saadaan

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{255,15 \text{ K}}{299,15 \text{ K}} \approx 0,15.$$

Jääkaapin hukkaenergia lämmittää huoneilmaa. Kylmillä ilmoilla se siten pienentää lämmityskustannuksia.

- 22.** Lämpövoimakoneita ovat esimerkiksi höyrykoneet, auton polttomoottori ja suuri osa lentokoneiden suihkumoottoreista. Koneen toiminta edellyttää, että energia siirtyy itsestään koneen läpi. Tällöin osa tästä energiasta muuntuu koneessa mekaaniseksi työksi.

Lämmönsiirtokone, kuten jääkaappi ja lämpöpumput, toimii päinvastaiseen suuntaan kuin lämpövoimakone. Se ottaa energiaa ulkoilmasta, maaperästä tai vedestä ja siirtää sen huoneilmaan.

Lämmönsiirtokone vaatii toimiakseen työtä tekevän koneen, yleensä sähköllä toimivan pumpun, joka tarvitsee energiaa.

- 23.** a) Nestelämpömittarin toiminta perustuu nesteen lämpölaajenemiseen.

b) Kaksoismetallilämpömittarissa on kaksi metalliliuskaa kiinnitetty päällekkäin toisiinsa. Kun metalleilla on erilainen pituuden lämpötilakerroin, kaksoismetalliliuska taipuu lämpötilan mukaan.

- 24.** Näsinneulan pituuden muutos on

$$\Delta l = \alpha l \Delta T = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 120 \text{ m} \cdot 60 \text{ K} \approx 9,0 \text{ cm}.$$

- 25.** Säiliön tilavuuden kasvu oli

$$\Delta V_s = \gamma_s V_s \Delta T = 3 \alpha V_s \Delta T = 3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 2100 \text{ l} \cdot 35 \text{ K} = 2,646 \text{ l}.$$

Öljyn tilavuuden kasvu oli

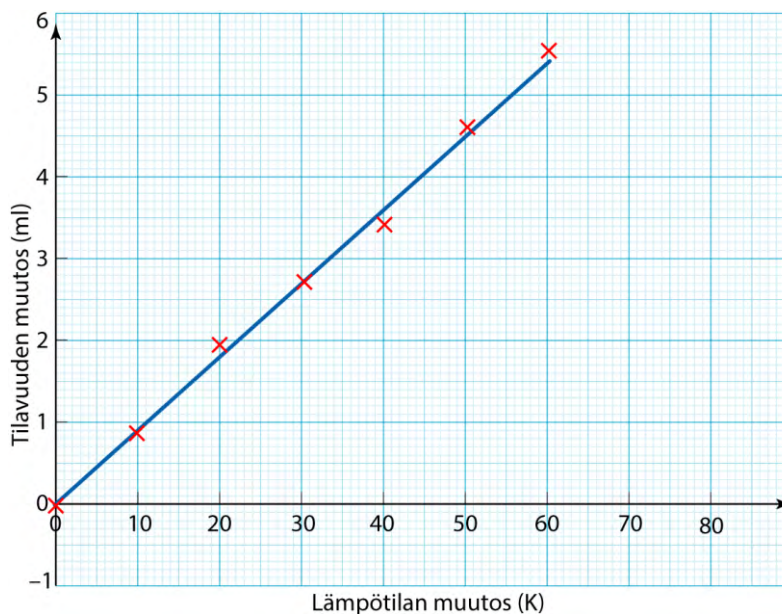
$$\Delta V_o = \gamma_o V_o \Delta T = 9,0 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{K}} \cdot 2100 \text{ l} \cdot 35 \text{ K} = 66,15 \text{ l}.$$

Öljyä valui yli $66,15 \text{ l} - 2,646 \text{ l} \approx 64 \text{ l}$.

26. Nesteen lämpölaajeneminen noudattaa yhtälöä $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$, jossa ΔV on nesteen tilavuuden muutos. Nesteen tilavuus alussa on $V_0 = 100,0 \text{ ml}$. Lasketaan taulukkoon nesteen tilavuuden ja lämpötilan muutokset:

$t \text{ (}^\circ\text{C)}$	30	40	50	60	70	80	90
$\Delta t \text{ (}^\circ\text{C)}$	0	10	20	30	40	50	60
$\Delta T \text{ (K)}$	0	10	20	30	40	50	60
$V \text{ (ml)}$	100,0	100,8	101,9	102,7	103,4	104,6	105,5
$\Delta V \text{ (ml)}$	0	0,8	1,9	2,7	3,4	4,6	5,5

Esitetään mittaustulokset $\Delta T, \Delta V$ -koordinaatistossa.



Suoran $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$ fysikaalinen kulmakerroin on

$$\gamma V_0 = \frac{5,4 \text{ ml}}{59 \text{ K}} \approx 0,0915254 \frac{\text{ml}}{\text{K}},$$

joten nesteen tilavuuden lämpötilakerroin on

$$\gamma = \frac{0,0915254 \frac{\text{ml}}{\text{K}}}{100,0 \text{ ml}} \approx 0,00092 \frac{1}{\text{K}}.$$

27. Yhtälöstä $Q = cm\Delta T$ ratkaistaan ominaislämpökapasiteetti c :

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{6,5 \text{ kJ}}{10 \text{ kg} \cdot 5,0 \text{ K}} = 0,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}.$$

28. Kuparin ominaislämpökapasiteetti on $c_k = 0,387 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ja veden

$$c_v = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}. \text{ Kuparin lämpötilan muutos on } \Delta T_k = 95 \text{ K} \text{ ja veden } 5 \text{ K}.$$

Veden luovuttama energia on $Q_v = c_v m_v \Delta T_v$ ja kuparin vastaanottama energia $Q_k = c_k m_k \Delta T_k$. Jos energiaa ei poistunut ympäristöön eikä kalorimetrin lämpökapasiteettia oteta huomioon, luovutettu ja vastaanotettu energia ovat yhtä suuret:

$$Q_v = Q_k \text{ eli } c_v m_v \Delta T_v = c_k m_k \Delta T_k.$$

Ratkaistaan yhtälöstä veden massa:

$$m_v = \frac{c_k m_k \Delta T_k}{c_v \Delta T_v} = \frac{0,387 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,200 \text{ kg} \cdot 95 \text{ K}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 5 \text{ K}} \approx 0,35 \text{ kg}.$$

29. Raudan jähmettyessä vapautuu energiaa $Q_{\text{rauta}} = c_{\text{rauta}} m_{\text{rauta}} \Delta T_{\text{rauta}}$, jossa c_{rauta} on raudan ominaislämpökapasiteetti $0,45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Veden vastaanottama energia on $Q_{\text{vesi}} = c_{\text{vesi}} m_{\text{vesi}} \Delta T_{\text{vesi}}$, jossa c_{vesi} on veden ominaislämpökapasiteetti $4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

Oletetaan, että lämpöhäviöitä ei ole, joten raudan luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia eli

$$c_{\text{rauta}} m_{\text{rauta}} \Delta T_{\text{rauta}} = c_{\text{vesi}} m_{\text{vesi}} \Delta T_{\text{vesi}}. \text{ Yhtälöstä ratkaistaan}$$

lämpötilamuutosten suhde:

$$\frac{\Delta T_{\text{vesi}}}{\Delta T_{\text{rauta}}} = \frac{c_{\text{rauta}} m_{\text{rauta}}}{c_{\text{vesi}} m_{\text{vesi}}} = \frac{0,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3,0 \text{ kg}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 50,0 \text{ kg}} \approx 6,44391 \cdot 10^{-3}.$$

Jos T on loppulämpötila, on

$$\Delta T_{\text{vesi}} = T - 273,15 \text{ K ja}$$

$$\Delta T_{\text{rauta}} = (1535 + 273,15) \text{ K} - T = 1808,15 \text{ K} - T,$$

jossa $1535 \text{ }^{\circ}\text{C}$ on taulukkokirjasta saatu raudan sulamispiste.

$$\text{Yhtälöstä } \Delta T_{\text{vesi}} = 6,44391 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T_{\text{rauta}} \text{ saadaan}$$

$$T - 273,15 \text{ K} = 6,44391 \cdot 10^{-3} \cdot (1808,15 \text{ K} - T) \text{ eli}$$

$$(1 + 6,44391 \cdot 10^{-3})T = 6,44391 \cdot 10^{-3} \cdot 1808,15 \text{ K} + 273,15 \text{ K} = 284,80 \text{ K}.$$

Tästä saadaan loppulämpötilaksi

$$T = \frac{284,80 \text{ K}}{1 + 6,44391 \cdot 10^{-3}} \approx 283,0 \text{ K}.$$

Veden (ja raudan) lämpötila lopussa on $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 30.** Koska lämpötila ei muutu, seuraa yleisestä kaasulaista $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ yhtälö

$$p_1 V_1 = p_2 V_2. \text{ Kaasun tilavuus } 1,0 \text{ bar:n paineessa on}$$

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{100 \text{ bar} \cdot 40 \text{ l}}{1,0 \text{ bar}} = 4000 \text{ l}.$$

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

Käytön jälkeen pullossa vallitseva paine on

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{1,0 \text{ bar} \cdot 3200 \text{ l}}{40 \text{ l}} = 80 \text{ bar}.$$

- 31.** a) Painemittarin lukemaan pitää lisätä vallitseva ilmanpaine, joka on normaalioloissa noin $1,0 \text{ bar}$. Renkaan sisällä vallitsee siis noin $3,0 \text{ bar:n}$ paine.
- b) Koska huoltoaseman painemittari näyttää ylipainetta, renkaan todellinen paine on
- $$p_1 = 1,6 \text{ bar} + 1,0 \text{ bar} = 2,6 \text{ bar}.$$

Kaasun yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ renkaassa olevaksi paineeksi

saadaan

$$p_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 V_2} = \frac{2,6 \text{ bar} \cdot V_1 \cdot 308,15 \text{ K}}{281,15 \text{ K} \cdot 1,045 \cdot V_1} = 2,727 \text{ bar}.$$

Mittari näytti lukemaa $2,727 \text{ bar} - 1,0 \text{ bar} \approx 1,7 \text{ bar}$.

32. Vaihtoehto a on oikein.

33. a) Isobaari on systeemiä kuvaava T, V -koordinaatiston käyrä, joka vastaa vakioaineessa tapahtuvia muutoksia.

b) Isotermisessä muutoksessa lämpötila ei muutu.

c) Isokoorisessa muutoksessa ei muutu tilavuus.

34. Aineen tiheys saadaan jakamalla aineen massa tilavuudella eli $\rho = \frac{m}{V}$.

Kaasun määrän ei oleteta muuttuvan eli sen massa ja ainemäärä n eivät muutu. Tiheyden muutoksen selvittämiseksi pitää siis selvittää tilavuuden

muutos. Ideaalikaasun tilanyhtälöstä $\frac{pV}{T} = nR$ seuraa $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

Tästä saadaan tilavuuksien suhteelle

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}.$$

Paine ja lämpötila kaksinkertaistuvat, ts. $p_2 = 2p_1$ ja $T_2 = 2T_1$.

Tällöin saadaan

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} = \frac{2p_1 \cdot T_1}{p_1 \cdot 2T_1} = 1.$$

Kaasun tilavuus ei siis muutu, joten kaasun tiheys säilyy entisellään eli on $1,70 \text{ kg/m}^3$.

35. Ideaalikaasun tilanyhtälö on $pV = nRT$. Koska $n = \frac{m}{M}$, yhtälö saadaan

muotoon $pV = \frac{m}{M}RT$. Tästä saadaan kaasun massaksi

$$m = \frac{pVM}{RT} = \frac{15 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 0,035 \text{ m}^3 \cdot 39,9 \text{ g/mol}}{8,3145 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot 294,15 \text{ K}} \approx 8,6 \text{ kg}.$$

36. Alussa paine on $p_1 = 0,060 \text{ MPa}$ ja lämpötila

$$T_1 = (20,0 + 273,15) \text{ K} = 293,15 \text{ K}.$$

Normaali ilmanpaine on $p_2 = 101,325 \text{ kPa} = 0,101325 \text{ MPa}$. Koska lampun tilavuus ei merkittävästi muutu, prosessi on isokoorinen.

Yhtälöstä $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ saadaan lämpötilaksi

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

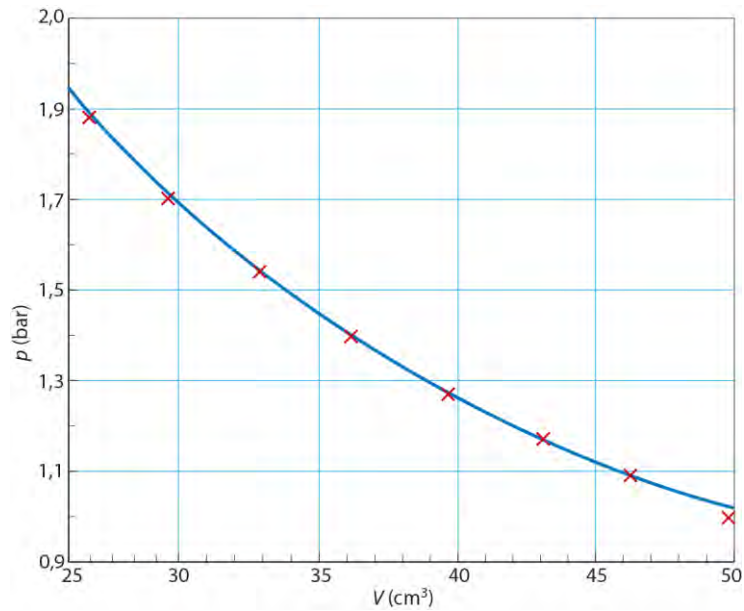
37. Kun valitaan jokin lämpötilan arvo, huomataan että kuvaaja A vastaa korkeampaa painetta kuin kuvaaja B tässä lämpötilassa. Koska lämpötila on sama, päätellään painetilavuuslaista $pV = \text{vakio}$, että käyrällä A tilavuus on pienempi kuin käyrällä B. Käyrä B siis vastaa suurempaa tilavuutta.

38. Videon mittaustulokset taulukoitiin.

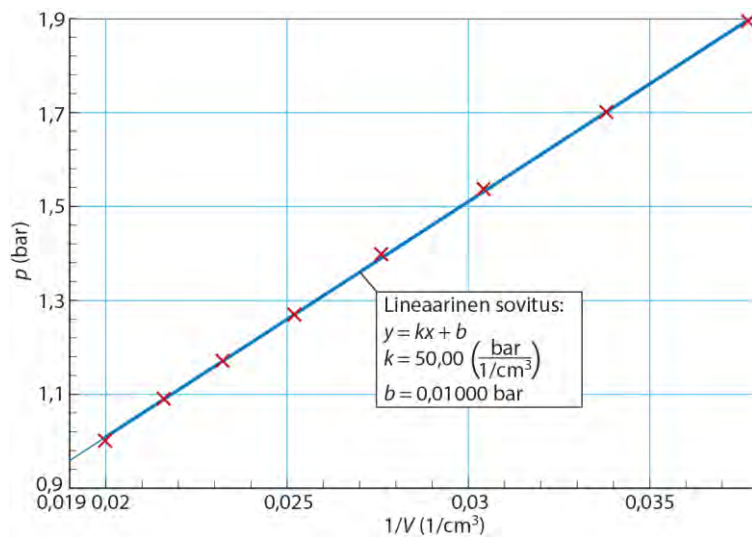
$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$p \text{ (bar)}$	$pV \text{ (bar} \cdot \text{cm}^3\text{)}$	$1/V \text{ (1/cm}^3\text{)}$
50	1,0	50	0,02
46,3	1,09	50,5	0,0216
43,1	1,17	50,4	0,0232
39,7	1,27	50,4	0,0252
36,2	1,40	50,7	0,0276
32,9	1,54	50,7	0,0304
29,6	1,70	50,3	0,0338
26,5	1,90	50,5	0,038

Mittaustarkkuuden rajoissa tulo $pV = \text{vakio}$. Näin ollen Boylen laki on voimassa.

Esitetään ensin mittaustulokset V, p -koordinaatistossa:



Mittaustulokset $\frac{1}{V}, p$ -koordinaatistossa:



Koska kuvaaja $\frac{1}{V}$, p -koordinaatistossa on suora, $p \sim \frac{1}{V}$ eli $p = \text{vakio} \cdot \frac{1}{V}$

ja edelleen $pV = \text{vakio}$. Boylen laki toteutuu.

39. Kalorimetrin ja siinä olevan veden lämpötilan muutos celsiusasteina on $\Delta t_{\text{kal}} = \Delta t_v = 24,0\text{ }^\circ\text{C} - 21,0\text{ }^\circ\text{C} = 3,0\text{ }^\circ\text{C}$ ja kelvineinä $\Delta T_{\text{kal}} = \Delta T_v = 3,0\text{ K}$. Kalorimetriin pantavan kappaleen lämpötilan muutos celsiusasteina on $\Delta t_k = 100,0\text{ }^\circ\text{C} - 24,0\text{ }^\circ\text{C} = 76,0\text{ }^\circ\text{C}$ ja kelvineinä $\Delta T_k = 76,0\text{ K}$. Kalorimetri ja siinä oleva vesi ottavat vastaan energian, jonka kuuma kappale luovuttaa. Energiahäviöt oletetaan merkityksettömiksi, jolloin luovutettu ja vastaan otettu energia ovat yhtä suuret:

$$Q_{\text{kalorimetri}} + Q_{\text{vesi}} = Q_{\text{kappale}} \text{ eli } C\Delta T_{\text{kal}} + c_v m_v \Delta T_v = c_k m_k \Delta T_k.$$

Kappaleen ominaislämpökapasiteetti on

$$c_k = \frac{C\Delta T_{\text{kal}} + c_v m_v \Delta T_v}{m_k \Delta T_k} \\ = \frac{72 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 3,0\text{ K} + 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,650\text{ kg} \cdot 3,0\text{ K}}{0,21\text{ kg} \cdot 76,0\text{ K}} \approx 0,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}.$$

40. a) Aineen sulamispiste on $40\text{ }^\circ\text{C}$ ja kiehumispiste $140\text{ }^\circ\text{C}$.
b) Sulamispistettä vastaavan käyrän vaakasuoran osan pituus kuvaa sulamiseen tarvittavaa energiaa. Tämä on noin kaksinkertainen verrattuna energiaan, joka tarvitaan lämpötilan kohottamiseen sulamispisteestä kiehumispisteeseen. Aineen sulattamiseen tarvitaan enemmän energiaa kuin lämpötilan kohottamiseen sulamispisteestä kiehumispisteeseen.

- 41.** a) Paine kattilassa on normaalia ilmanpainetta suurempi ja veden kiehumislämpötila korkeampi kuin $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ruoka valmistuu painekattilassa nopeammin kuin tavallisessa kattilassa, koska ruoka-aineissa ja kattilassa oleva vesi ovat siellä kuumempia kuin tavallisessa kattilassa.
- b) Korkealla vuoristossa veden pintaan vaikuttava ilmanpaine on pienempi kuin meren pinnan tasolla. Kun vettä lämmitetään vuoristossa, veden sisäinen höyrönpaine saavuttaa ulkoisen paineen arvon alhaisemmassa lämpötilassa kuin meren pinnan tasolla, joten vesi kiehuu alle $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa.
- c) Vuoristokiipeilijät voivat käyttää ruoan kypsentämiseen painekattilaa.
- 42.** a) Virvoitusjuomapullon kylmän lasipinnan lähellä ilman lämpötila laskee kastepisteen alapuolelle, ilmassa oleva vesihöyry muuttuu kylläiseksi ja tiivistyy vedeksi kylmän pullon pinnalle.
- b) Jos ilman kastepiste laskee alemmas kuin veden jäätymispiste, vesihöyry muuttuu suoraan kuuraksi eli kylmille pinnoille kuten ruohon pintaan syntyy jäähileitä.
- 43.** a) Faasikaaviossa tasapainokäyrät sulamiskäyrä, höyrystymiskäyrä ja sublimoitumiskäyrä kohtaavat pisteessä, jota kutsutaan kolmoispisteeksi. Kolmoispisteen lämpötilassa ja paineessa kaikki kolme olomuotoa ovat tasapainossa ja aine voi esiintyä samanaikaisesti kaikissa kolmessa olomuodossaan.
- b) Veden kolmoispiste on tarkasti mitattavissa. Absoluuttisen lämpötila-asteikon eli kelvinasteikon toiseksi peruspisteeksi on valittu veden kolmoispisteen lämpötila, jolle on sovittu arvo $273,16\text{ K}$. Toinen peruspiste on absoluuttinen nollalämpötila. Molemmat peruspisteet ovat olosuhteista riippumattomia toisin kuin esimerkiksi celsiusasteikon peruspisteet, veden sulamis- ja kiehumispisteet, jotka riippuvat paineesta.

44. Kuvaajista ylempi on veden ja alempi hiilidioksidin faasikaavio.
- a) Alhaisessa lämpötilassa hiilidioksidi on kiinteässä olomuodossa, joten lämpötilan kohotessa normaalipaineessa kiinteä hiilidioksidi muuttuu kaasuksi.
- b) Kun vettä puristetaan kokoon lämpötilassa $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, veden olomuoto muuttuu kaasusta nesteeksi.
- c) Kun paine kasvaa, veden sulamispiste laskee, mutta hiilidioksidin kasvaa.

45. Veden höyrystymiseen tarvitaan energiaa määrä $Q = rm$, joka on yhtä suuri kuin sähkölevyn luovuttama energia $Q = Pt$ eli $Pt = rm$. Höyrystymiseen kuluva aika on

$$t = \frac{rm}{P} = \frac{2260 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot 0,25 \text{ kg}}{850 \text{ W}} \approx 664,706 \text{ s} = \frac{664,706}{60} \text{ min} \approx 11 \text{ min.}$$

46. Sähkövastus ottaa sähköverkosta energian

$$E = Pt = 650 \text{ J/s} \cdot 35 \cdot 60 \text{ s} = 1\,365 \text{ kJ.}$$

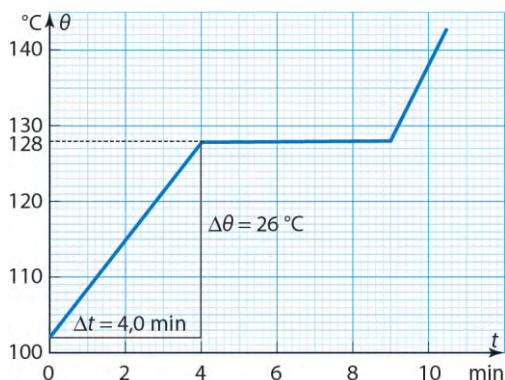
Vesi lämpenee kiehumispisteeseen ja osa vedestä höyrystyy. Veden vastaanottama energia on

$$\begin{aligned} Q &= c m_v \Delta T + m_h r \\ &= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 2,0 \text{ kg} \cdot 80 \text{ K} + 0,24 \text{ kg} \cdot 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 1212,8 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

Sähköverkosta otetusta energiasta siirtyvä osa prosentteina on

$$\frac{1212,8 \text{ kJ}}{1365 \text{ kJ}} \cdot 100 \% \approx 89 \%.$$

47.



a) Aineen lämpötila kohoaa, kunnes aine alkaa sulaa, jolloin kaikki energia menee olomuodon muutokseen eikä lämpötila kohoaa. Kuvion perusteella aineen sulamispiste on 128 °C.

b) Aikavälillä 0 ... 4,0 min aine lämpenee. Vakioteholla lämmitettäessä aineeseen sitoutuva energia on $Q = P\Delta t$. Tämä energia aiheuttaa aineen lämpenemisen, joten toisaalta $Q = cm\Delta T$. Kuvion mukaan lämpötilan nousu on $\Delta\theta = 128\text{ °C} - 102\text{ °C} = 26\text{ °C}$, joten $\Delta T = 26\text{ K}$.

Yhtälöstä $P\Delta t = cm\Delta T$ lämmitysteho on

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{cm\Delta T}{\Delta t} = \frac{6,0 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,080 \text{ kg} \cdot 26 \text{ K}}{4,0 \cdot 60 \text{ s}} = 52 \text{ W}.$$

c) Kuvaajan vaakasuora osa kuvaa sulamisaikaa, jonka pituus on $t = 5,0 \text{ min}$. Vakioteholla lämmitettäessä aineeseen sitoutuva energia on $Q = Pt$. Tämä energia aiheuttaa aineen sulamisen, joten toisaalta $Q = sm$. Yhtälöstä $sm = Pt$ ratkaistaan aineen ominaissulamislämpö:

$$s = \frac{Pt}{m} = \frac{52 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 5,0 \cdot 60 \text{ s}}{0,080 \text{ kg}} = 195 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

48. Kuuma vesi luovuttaa jäähtyessään energiaa. Lämpötila voi alentua korkeintaan 100 K, jolloin vesi voi luovuttaa energiaa enintään määrän

$$Q_1 = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,0 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K} = 419 \text{ kJ}.$$

Jää ottaa sulassaansa vastaan energiaa määrän

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

Vapautuva energia ei riitä koko jäämassan sulattamiseen, joten jäätä jää sulamatta.

Loppulämpötila on 0,0 °C.

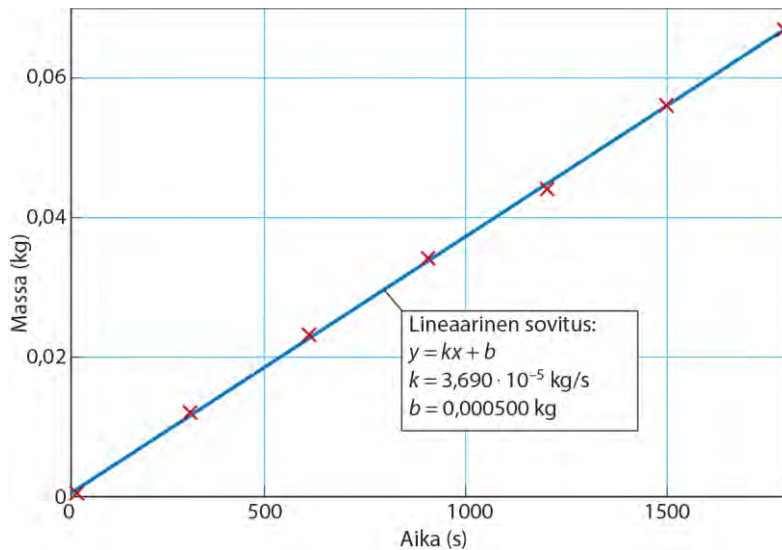
49. Lasketaan veden tilavuuden avulla vastaavat veden massojen arvot yhtälöstä

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

Lasketaan taulukkoon myös höyrystyneen veden massa kilogrammoina ja aika sekunteina.

t (min)	0	5	10	15	20	25	30
t (s)	0	300	600	900	1200	1500	1800
V (cm³)	100,0	88	77	66	56	44	33
Veden massa m (g)	100,0	88	77	66	56	44	33
Höyrystyneen veden massa m (g)	0	12	23	34	44	56	67
Höyrystyneen veden massa m (kg)	0	0,012	0,023	0,034	0,044	0,056	0,067

Asetetaan mitatut arvot t, m -koordinaatistoon ja sovitetaan pistejoukkoon suora.



Suoran kulmakerroin on $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 3,690 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$.

Vesi oli aluksi kiehuva, joten veden vastaanottama energia kului veden höyrystymiseen. Mikroaaltouuni luovuttaa veden höyrystämiseen energian $Q = Pt$. Toisaalta höyrystämiseen tarvittava energia saadaan yhtälöstä $Q = rm$, joten $Pt = rm$ eli $P\Delta t = r\Delta m$. Mikroaaltouuni höyrystää vettä teholla

$$P = \frac{r\Delta m}{\Delta t} = r \frac{\Delta m}{\Delta t} = 2260 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 3,690 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx 83 \text{ W}.$$

Mitattu teho oli pienempi kuin mikroaaltouunin valinta-asteikon ilmoittama teho, koska osa tehosta kului mm. uunin seinämien lämpenemiseen. (Uunin sisälämpötila mitattiin alussa ja lopussa ja sen todettiin kohonneen noin 20 °C.)

50. a) Yhtälöstä $P = \eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3$ nähdään, että tuulivoimalaitoksen teho on verrannollinen siiven pituuden toiseen potenssiin. Kun siiven pituus kasvaa kaksinkertaiseksi, teho kasvaa 2^2 -kertaiseksi eli 4-kertaiseksi.
- b) Kun siiven pituus kasvaa 25 metristä 35 metriin, siiven pituus kasvaa $\frac{35}{25}$ -kertaiseksi. Kohdan a perusteella teho kasvaa $\left(\frac{35}{25}\right)^2$ -kertaiseksi eli noin 2,0-kertaiseksi.
- c) Yhtälöstä $P = \eta \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3$ nähdään, että tuulivoimalaitoksen teho on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin. Kun tuulen nopeus kasvaa arvosta 3,5 m/s arvoon 7,0 m/s, nopeus kasvaa 2,0-kertaiseksi. Näin ollen tuulivoimalaitoksen teho kasvaa $2,0^3$ -kertaiseksi eli 8,0-kertaiseksi.

51. a) Ydinvoimalaitoksen vuodessa tuottama energia on
 $Q = Pt = 1200 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 37,8432 \cdot 10^{15} \text{ J} \approx 38 \text{ PJ}.$

b) Fissiossa vapautuu energiaa yhtälön $E = \Delta m c^2$ mukaisesti, jossa c on valonnopeus ja Δm halkeavan ytimen ja halkeamistuotteiden massojen erotus.

Massa pienenee:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{37,8432 \cdot 10^{15} \text{ J}}{\left(2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} \approx 0,42 \text{ kg}.$$

c) Kivihiilen lämpöarvo on $H = 29 \text{ MJ/kg}$ (vaihtelee välillä 26 MJ/kg – 32 MJ/kg).

Kivihiilen tuottama energia on $Q = Hm$.

Kivihiiltä tarvitaan:

$$m = \frac{Q}{H} = \frac{37,8432 \cdot 10^{15} \text{ J}}{29 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} \approx 1,3 \cdot 10^9 \text{ kg} = 1,3 \text{ Mt.}$$

- 52.** Simulaatiossa on kuvattu vastapainevoimalaitoksen toiminta. Vastapainevoimalaitokset on suunniteltu sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Höyrykattilassa poltetaan esimerkiksi kivihiiltä, josta vapautunut energia kuumentaa ja höyrystää vettä. Korkeapaineinen höyry ohjataan höyryturbiiniin, joka pyörittää sähkögeneraattoria. Generaattorin tuottama sähkö johdetaan sähköverkkoon.

Turbiinin läpi mennyt höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa on kaukolämpöverkkoon liitetty vesiputki. Putkessa kiertävä vesi ottaa vastaan osan voimalaitoksen tuottamasta energiasta. Kuumenneen veden mukana energiaa siirretään paikalliseen kaukolämpöverkkoon tai lähiympäristön teollisuuslaitosten käyttöön.

- 53.** a) Epäsuoraa aurinkoenergiaa ovat esimerkiksi liikkuvan veden ja tuulen energia, fossiilisten polttoaineiden energia, maalämpö, energiakasvien kuten esimerkiksi rapsin, pajun, palmun ja sokeriruohon energia, aaltoenergia, lämpöpumppujen ilmasta tai vedestä ottama energia ja aurinkotornien käyttämä energia.
- b) Ydinenergia ja geoterminen energia eivät ole peräisin Auringosta.
- c) Maapallon kaikki energiavarat ovat peräisin ydinenergiasta, sillä ydinvoimaloiden energia on peräisin raskaiden atomiytimien halkeamisista (fissioista), Auringon energia on kevyiden ytimien

yhdistymisistä (fuusioista) peräisin ja geoterminen energia on peräisin radioaktiivisuuteen liittyvistä ydinreaktioista.

54. a) Kasvihuoneilmiö selitetään seuraavasti:

- Auringon säteily lämmittää maaperää, joka ottaa vastaan osan Auringon lähettämästä sähkömagneettisesta säteilystä.
- Lämmennyt maaperä lähettää pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, joka ei läpäise ilmakehän kasvihuonekaasuja yhtä hyvin kuin lyhyet aallonpituudet.
- Kaasut lämpenevät ja lähettävät säteilyä takaisin maahan.
- Maapallon keskilämpötila olisi 20–30 °C alempi, jos kasvihuonekaasuja ei olisi.
- Ilmiötä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi.
- Aikojen kuluessa on syntynyt tasapainotila, jolloin maapallon lämpötila pysyy likimain vakiona, koska maapallolle tulee yhtä paljon säteilyenergiaa kuin samassa ajassa energiaa poistuu.

b) Kasvihuoneilmiö voimistuu, kun pitkäaaltoista infrapunasäteilyä vastaanottavien kaasujen määrä kasvaa ilmakehässä. Tällöin avaruuteen poistuvan säteilyn osuus pienenee, ja maanpinnalle palautuvan säteilyn osuus kasvaa. Ilmakehän ja koko maapallon lämpötila kohoaa vähitellen.

c) Kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä ovat kasvaneet, mikä voimistaa kasvihuoneilmiötä ja lämmittää ilmastoa.

Tätä lämpenemistä ja siitä aiheutuvia ilmaston häiriöitä kutsutaan ilmastonmuutokseksi. Ilmakehän häiriöitä ovat esimerkiksi tuulten voimistuminen, myrskyjen yleistyminen ja voimistuminen ja sateiden muuttuminen niin, että rankkasateet tietyillä alueilla ovat lisääntyneet. Toisaalta joillakin alueilla on haittaa sateiden vähenemisestä ja tämän aiheuttamasta kuivuudesta.

55. a) Auringosta saapuu maanpinnalle ultravioletti- eli UV-säteilyä, näkyvää valoa ja infrapuna- eli IP-säteilyä. Maanpinta lähettää lämpösäteilyä pitkäaaltoista infrapunasäteilyä.

b) Puhtaaseen lumeen osuva Auringosta tuleva sähkömagneettinen säteily heijastuu ja siroaa suureksi osaksi takaisin ilmakehään. Sironnut näkyvä valo ja UV- ja lyhytaaltainen IP-säteily poistuvat suureksi osaksi avaruuteen. Lumettomilla alueilla mainitut säteilylajit suureksi osaksi absorboituvat maanpintaan tai veteen, jolloin pinnalta ilmakehään lähtevä säteily on enimmäkseen pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, joka läpäisee huonosti ilmakehän kasvihuonekaasuja, joten ilmakehä lämpenee. Kun lumettomat alueet lisääntyvät, Auringon säteilystä palautuu ilmakehään entistä enemmän pitkäaaltoisena säteilyä, jolloin ilmakehän lämpeneminen kiihtyy.

56. a) Osa aerosolihiukkasista kohoaa ilmakehän ylempiin kerroksiin, jossa ne heijastavat Auringon säteilyä avaruuteen ja siten viilentävät ilmakehää.

b) Myös nokihiukkaset ovat aerosolihiukkasia. Nokihiukkaslaskeumat sulattavat lunta ja jäätiköitä, koska noki sitoo tehokkaasti Auringon säteilyä. Tummut jäätiköt ja niiden sulaminen lisäävät Auringon säteilyn sitoutumista maapalloon ja siten lämmittävät maapalloa.

VANHAT YLIOPPILASTEHTÄVÄT

S2006/1

$$v_{\text{kävelijä}} = 2,0 \text{ m/s}, v_{\text{juoksija}} = 4,5 \text{ m/s}, v_{\text{pyöräilijä}} = 8,0 \text{ m/s}, E = 1150 \text{ kJ}$$

Kävelijän, juoksijan ja polkupyöräilijän energiankulutus metriä kohden tietyssä nopeudessa saadaan kuvaajan kolmen käyrän avulla.

- a) Kävelijä kuluttaa kuvion mukaan energiaa 240 J/m nopeudella 2,0 m/s. Energian 1150 kJ kuluttamiseksi on käveltävä

$$\frac{1150 \text{ kJ}}{0,240 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}} \approx 4800 \text{ m.}$$

- b) Energian 1150 kJ kuluttamiseksi tarvittava juoksumatka on

$$\frac{1150 \text{ kJ}}{0,280 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}} \approx 4100 \text{ m.}$$

- c) Energian 1150 kJ kuluttamiseksi tarvittava pyöräilymatka on

$$\frac{1150 \text{ kJ}}{0,120 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}} \approx 9600 \text{ m.}$$

S2009/2

- a) Korkein lämpötila on 285 K–290 K korkeudella 0 km.

Matalin lämpötila on 185 K–190 K korkeudella 85 km–95 km.

- b) Paine 20 km korkeudella on noin 80 mbar.

- c) Otsoni on molekyyli O_3 , joka koostuu kolmesta happiatomista. Otsoni suojaa Auringon ultraviolettisäteilyltä.

d) Lämpötila laskee maan pinnalta noustaessa välillä 0...10 km, koska ilman tiheys on alempana suurempi kuin ylempänä.

Lämpösäteily absorboituu tiheämpään ilmaan voimakkaammin kuin harvempaan ilmaan.

S2015/3

a) $m_1 = 6,0 \text{ kg}$, $m_2 = 1,2 \text{ kg}$, $c = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,

$$T_1 = (19 + 273,15) \text{ K} = 292,15 \text{ K},$$

$$T_2 = (95 + 273,15) \text{ K} = 368,15 \text{ K},$$

$$\Delta T = 368,15 \text{ K} - 292,15 \text{ K} = 76,00 \text{ K},$$

$$t = 230 \text{ s}, P = 2,0 \text{ kW}, c_{\text{vesi}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Energianvaihtoa ympäristön kanssa ei oteta huomioon, joten vedenkeittimen luovuttama energia on energian säilymislain perusteella yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia:

$$Q_{\text{keitin}} = Q_{\text{vesi}} \text{ eli } P_{\text{luovutettu}} t = cm_2 \Delta T.$$

Vedenkeitin luovuttaa energiaa teholla

$$P_{\text{luovutettu}} = \frac{cm_2 \Delta T}{t} = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot 76,00 \text{ K}}{230 \text{ s}} = 1661,426 \text{ W}.$$

Vedenkeittimen hyötysuhde on

$$\eta = \frac{P_{\text{luovutettu}}}{P} = \frac{1661,426 \text{ W}}{2000 \text{ W}} \approx 0,83.$$

b) Kun kuuma vesi kaadetaan sankoon, kuumen veden luovuttama energia on yhtä suuri kuin kylmän veden vastaanottama energia:

$Q_{\text{luovutettu}} = Q_{\text{vastaanotettu}}$. Kun T on veden loppulämpötila ja m_3 sangossa jäljellä olevan kylmän veden massa, on $Q_{\text{luovutettu}} = cm_2(T_2 - T)$ ja

$Q_{\text{vastaanotettu}} = cm_3(T - T_1)$, joten saadaan yhtälö

$$cm_2(T_2 - T) = cm_3(T - T_1) \text{ eli}$$

$$m_2 T_2 - m_2 T = m_3 T - m_3 T_1 \text{ eli}$$

$$m_2 T_2 + m_3 T_1 = m_3 T + m_2 T = (m_3 + m_2) T.$$

Sangossa jäljellä olevan veden määrä on

$$m_3 = m_1 - m_2 = 6,0 \text{ kg} - 1,2 \text{ kg} = 4,8 \text{ kg}.$$

Veden loppulämpötilaksi saadaan

$$T = \frac{m_2 T_2 + m_3 T_1}{m_2 + m_3} = \frac{1,2 \text{ kg} \cdot 368,15 \text{ K} + 4,8 \text{ kg} \cdot 292,15 \text{ K}}{1,2 \text{ kg} + 4,8 \text{ kg}} = 307,35 \text{ K}.$$

Tiskiveden loppulämpötila on $(307,35 - 273,15)^\circ\text{C} \approx 34^\circ\text{C}$.

K2015/3

$$m = 45,0 \text{ kg}, T_1 = 310,15 \text{ K}, T_2 = 308,95 \text{ K},$$

$$c = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}), t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

a) Veden lämpötila oli aluksi $37,0^\circ\text{C} = 310,15 \text{ K}$ ja tunnin kuluttua $35,8^\circ\text{C} = 308,95 \text{ K}$, joten lämpötilaero on $\Delta T = 1,2 \text{ K}$. Kun veden lämpötila laskee, vedestä ympäristöön siirtyvä energia on

$$Q = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 45,0 \text{ kg} \cdot 1,2 \text{ K} = 226260 \text{ J} \approx 226 \text{ kJ}.$$

b) Jotta veden lämpötila ei muutu, veteen on tuotava sama määrä energiaa joka vedestä siirtyy tunnissa ympäristöön. Veden keskimääräinen lämmitysteho on

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{226260 \text{ J}}{3600 \text{ s}} \approx 63 \text{ W}.$$

c) Vetoketju on paljon huonompi lämmöneriste kuin makuupussin täyte, ja sen lämpökapasiteetti on pieni. Koska vetoketjun kohdalla ei ole eristävää materiaalia, sen lämpötila nousee helposti lähelle makuupussin sisällä vallitsevaa lämpötilaa. Pussin muu osa eristää lämpöä paremmin kuin vetoketju, joten niiden lämpötila on alhaisempi kuin vetoketjun lämpötila.

S2014/3

$$T_0 = (22,0 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}, \quad T_1 = (15,0 + 273,15) \text{ K} = 288,15 \text{ K},$$

$$T_2 = (55,0 + 273,15) \text{ K} = 328,15 \text{ K}, \quad \alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}, \quad l_0 = 15,00 \text{ m}$$

a) Kiskon pituus asennuslämpötilassa T_1 on

$$l_1 = l_0 + \alpha l_0 \Delta T = l_0 + \alpha l_0 (T_1 - T_0)$$

$$= 15,00 \text{ m} + 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 15,00 \text{ m} \cdot (288,15 \text{ K} - 295,15 \text{ K}) = 14,99874 \text{ m}.$$

Kiskon suurin pituus, kun lämpötila on T_2 :

$$l_2 = l_0 + \alpha l_0 \Delta T = l_0 + \alpha l_0 (T_2 - T_0)$$

$$= 15,00 \text{ m} + 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 15,00 \text{ m} \cdot (328,15 \text{ K} - 295,15 \text{ K}) = 15,00594 \text{ m}.$$

Kiskojen väliin jätettävän raon suuruus on

$$\Delta l = l_2 - l_1 = 15,00594 \text{ m} - 14,99874 \text{ m} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 7,2 \text{ mm}.$$

b) Ratakisko on pisimmillään lämpötilassa $55,0 \text{ }^\circ\text{C} = 328,15 \text{ K}$. Kohdan a perusteella kiskon pituus on $15,00594 \text{ m}$. Ratakisko on lyhimmillään

lämpötilassa $-35,0 \text{ }^\circ\text{C} = 238,15 \text{ K}$. Äärlämpötilojen ero on

$\Delta T = 238,15 \text{ K} - 328,15 \text{ K} = -90 \text{ K}$ ja kiskon pituuden muutos

$$\Delta l = \alpha l_2 \Delta T = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 15,00594 \text{ m} \cdot (-90 \text{ K}) \approx -16 \text{ mm}.$$

Pituuden muutos on enimmillään 16 mm .

K2009/3

$t_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $m_{\text{vesi}} = 0,540 \text{ kg}$, $m_{\text{jää}} = 0,820 \text{ kg}$, $m_{\text{nestekaasu}} = 0,022 \text{ kg}$,

$$c_{\text{vesi}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, \quad s_{\text{jää}} = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Seos kuumennettiin kiehumispisteeseen, joten $t_f = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $\Delta t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ eli $\Delta T = 100 \text{ K}$.

Jään olomuodon muutos (sulaminen) sitoo energiaa

$$Q_1 = s_{\text{jää}} m_{\text{jää}} = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,820 \text{ kg} = 273,06 \text{ kJ}.$$

Sulamisen jälkeen vesi (massa $m = m_{\text{vesi}} + m_{\text{jää}}$) lämpenee, lämpeneminen sitoo energiaa

$$Q_2 = c_{\text{vesi}} m \Delta T = c_{\text{vesi}} (m_{\text{vesi}} + m_{\text{jää}}) \Delta T$$
$$= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (0,540 \text{ kg} + 0,820 \text{ kg}) \cdot 100 \text{ K} = 569,84 \text{ kJ}.$$

Kaikkiaan jään sulaminen ja veden lämpeneminen sitovat energiaa

$$Q = Q_1 + Q_2 = 273,06 \text{ kJ} + 569,84 \text{ kJ} = 842,90 \text{ kJ}.$$

Kun systeemi oletetaan eristetyksi, nestekaasun polttamisessa vapautuva energia on $Q = 842,90 \text{ kJ}$. Nestekaasun polttamisessa vapautuva energia Q riippuu nestekaasun massasta sekä nestekaasun lämpöarvosta H eli $Q = H m_{\text{nestekaasu}}$.

Nestekaasun lämpöarvo on

$$H = \frac{Q}{m_{\text{nestekaasu}}} = \frac{842,90 \text{ kJ}}{0,022 \text{ kg}} \approx 38 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}.$$

Laskettu lämpöarvo on todennäköisesti liian pieni, koska retkikeitin ei ole täysin eristetty systeemi mm. astian lähettämän lämpösäteilyn vuoksi. Osa keittimen lämmittämästä kuumasta ilmasta ohjautuu astian ohi. Astian lämpökapasiteettia ei myös ole huomioitu, vaikka astia kuitenkin lämpenee. Lisäksi lämmittämisen aikana osa vedestä höyrystyy.

K2013/3

a) Näytteen sulaessa lämpötila pysyy vakiona, vaikka näytteeseen tuodaan energiaa. Näytteen sulaessa kuvaaja on ensimmäisen kerran vaakasuora. Näytteen 3 ensimmäinen vaakasuora osa on alimmassa lämpötilassa. Näytteellä 3 on alhaisin sulamispiste.

b) Näytteen lämpötila pysyy vakiona höyrystymisen aikana, vaikka näytteeseen tuodaan energiaa. Kun näyte höyrystyy, kuvaaja on toisen kerran vaakasuora. Höyrystymiseen tarvittava energia on $Q = r m$, jossa r on aineen ominaishöyrystymislämpö ja m massa. Kun näytettä lämmitetään teholla P , on näytteeseen viety energia $Q = P \Delta t$, jossa P on

lämmitysteho ja Δt lämmitysaika. Kun energiahäviöitä ei oteta huomioon, on $rm = P\Delta t$, josta saadaan ominaishöyrystyslämmöksi $r = \frac{P}{m} \Delta t$. Koska näytteitä lämmitetään samalla teholla ja niillä on samat massat, suurin ominaishöyrystyslämpö on aineella, jonka höyrystyminen kestää pisimmän ajan. Näytteellä 1 on suurin ominaishöyrystyslämpö.

c) Käyrien keskimmäiset nousevat osat kuvaavat näytteen lämpenemistä nesteinä. Näytteen lämmittämiseen käytetty energia on $Q = P\Delta t$. Näytteen vastaanottama energia on $Q = cm\Delta T$, jossa c on näyteaineen ominaislämpökapasiteetti nesteinä. Kun energiahäviöitä ei oteta huomioon, on $P\Delta t = cm\Delta T$. Aineen ominaislämpökapasiteetti on

$$c = \frac{P\Delta t}{m\Delta T} = \frac{P}{m \frac{\Delta T}{\Delta t}}.$$

Koska näytteitä lämmitetään samalla teholla ja niillä on samat massat, pienin ominaislämpökapasiteetti on aineella, jota vastaavan suoran kulmakerroin $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ on suurin. Näytteen 3 aineen ominaislämpökapasiteetti nesteinä on suurin.

S2011/3

a) $m = 1,8 \text{ kg}$, $c_{\text{vesi}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Hauen lämpökapasiteetti on

$$C = c_{\text{vesi}}m = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 1,8 \text{ kg} \approx 7,5 \text{ kJ/K}.$$

b) $V = 2,0 \text{ dl}$, $m = 0,20 \text{ kg}$, $P = 750 \text{ W}$, $t = 30 \text{ s}$, $c = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Mikroaaltouuni luovuttaa energiaa ($E = Pt$), vesi ottaa vastaan energian ja lämpenee ($Q = cm\Delta T$). Oletetaan lämpövuodot vähäisiksi, joten energian säilymislain mukaan $Pt = cm\Delta T$. Veden lämpötilan muutos on

$$\Delta T = \frac{Pt}{cm} = \frac{750 \text{ W} \cdot 30 \text{ s}}{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,20 \text{ kg}} \approx 27 \text{ K}.$$

Veden lämpötila nousee $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

c) $V = 1,8 \text{ dl}$, $m = 0,18 \text{ kg}$, $\Delta T_{\text{vesi}} = 20 \text{ K}$, $\Delta T_{\text{jää}} = 18 \text{ K}$,
 $c_{\text{vesi}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $c_{\text{jää}} = 2,09 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $s = 333 \text{ kJ/kg}$

Energiaa on poistettava vedestä sen jäähtymisen, jäätymisen ja jään jäähtymisen vuoksi.

Vesi jäähtyy:

$$Q_1 = c_{\text{vesi}} m \Delta T_{\text{vesi}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,18 \text{ kg} \cdot 20 \text{ K} = 15,084 \text{ kJ}.$$

Vesi jäätyy:

$$Q_2 = sm = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,18 \text{ kg} = 59,94 \text{ kJ}.$$

Jää jäähtyy lämpötilaan $-18 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_3 = c_{\text{jää}} m \Delta T_{\text{jää}} = 2,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,18 \text{ kg} \cdot 18 \text{ K} = 6,7716 \text{ kJ}.$$

Vedestä on poistettava energia

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 15,084 \text{ kJ} + 59,94 \text{ kJ} + 6,7716 \text{ kJ} \approx 82 \text{ kJ}.$$