

14. Lämpöopin sovelluksia

Harjoittele

Väittämistä ovat oikein a), c) ja e).

Korjaukset vääriin väittämiin:

- b) Vesihöyry pyörittää turbiinia, joka on kytketty generaattoriin.
- d) Jos ilma on kostea, hien haihtuminen iholta vähenee.
- f) Kasvihuoneilmiö pitää maapallon pintalämpötilan suhteellisen tasaisena ja eliöille riittävän lämpimänä.

Tehtävä 14.2.

Poltettavan aineen palaessa vapautuu palavan aineen kemiallista energiaa, joka johtuu lämpövoimakoneen kuumasäilön veden sisäenergiaksi.

Tehtävä 14.3.

Sähköntuotannossa lämpövoimalaitoksen hyötysuhde on yleensä alle 45%. Jos samaa voimalaitosta voidaan hyödyntää myös kaukolämmön tuotantoon, niin laitoksen hyötysuhde paranee jopa 90%:iin.

Tehtävä 14.4.

a) Ideaalinen hyötysuhde on teoreettinen yläraja, jota lämpövoimakoneen hyötysuhde ei voi ylittää. Mikään todellinen lämpövoimakone ei voi saavuttaa ideaalista hyötysuhdetta, vaan todellinen hyötysuhde on aina ideaalista hyötysuhdetta pienempi.

b) Kuumasäiliön lämpötila

$$T_1 = 540 \text{ °C} = (540 + 273,15) \text{ K} = 813,15 \text{ K}$$

Kylmäsäiliön lämpötila

$$T_2 = 25 \text{ °C} = (25 + 273,15) \text{ K} = 298,15 \text{ K}$$

Lämpövoimakoneen ideaalinen hyötysuhde on

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{813,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}}{813,15 \text{ K}} = 0,633339482 \approx 0,63.$$

Tehtävä 14.5.

Auringon säteilyn intensiteetti

$$I = 320 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Pellon pinta-ala $A = 7,6 \text{ ha} = 76000 \text{ m}^2$

Pellolle tulevan säteilyn teho saadaan intensiteetin avulla

$$I = \frac{P}{A}$$

$$P = IA = 320 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 76000 \text{ m}^2 = 24320000 \text{ W} \approx 24 \text{ MW}.$$

Tehtävä 14.6.

Kun kasvihuonekaasujen pitoisuudet suurenevat ilmakehässä, ne absorboivat yhä enemmän infrapunasäteilyä. Tämä nostaa ilmakehän lämpötilaa. Maapallon pinnan lähellä lämpötila nousee, jolloin vesihöyryä haihtuu vesistöistä yhä enemmän ilmakehään. Mitä enemmän ilmakehässä on vesihöyryä, sitä enemmän infrapunasäteilyä absorboituu ja sitä enemmän lämpötila nousee. Veden höyrystyminen lisääntyy. Tämä tarkoittaa usein voimistunutta kasvihuoneilmiötä.

Sovella

Tehtävä 14.7.

Voimalaitoksen tuottama sähköteho $P_1 = 70 \text{ MW}$

Voimalaitoksen tuottama lämpöteho $P_2 = 200 \text{ MW}$

Voimalaitoksen hyötysuhde $\eta = 0,82$

a) Tuottoaika $t = 7,5 \text{ h} = 27\,000 \text{ s}$

Voimalaitoksen tuottama energia

$$E = P_1 t + P_2 t = (P_1 + P_2) t =$$

$$(70 \cdot 10^6 \text{ W} + 200 \cdot 10^6 \text{ W}) \cdot 27\,000 \text{ s}$$

$$= 7,29 \cdot 10^{12} \text{ J} = 7,3 \text{ PJ.}$$

b) Biokaasun lämpöarvo on vähintään $H = 15 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

Biokaasusta vapautuva energia on yhtä suuri kuin voimalaitoksen kuumasäiliön ottoenergia.

$$E_{\text{kaasu}} = E_{\text{otto}}$$

Määritetään kuumasäiliön ottoenergia hyötysuhteen avulla.

$$\eta = \frac{E_{\text{anto}}}{E_{\text{otto}}} = \frac{(P_1 + P_2)t}{E_{\text{otto}}}$$

$$E_{\text{otto}} = \frac{(P_1 + P_2)t}{\eta}$$

Poltettavan biokaasun massa

$$E_{\text{kaasu}} = \frac{(P_1 + P_2)t}{\eta}$$

$$Hm = \frac{(P_1 + P_2)t}{\eta}$$

$$m = \frac{(P_1 + P_2)t}{H\eta}$$

$$m = \frac{(70 \cdot 10^6 \text{ W} + 200 \cdot 10^6 \text{ W}) \cdot 27\,000 \text{ s}}{15 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,82} = 592\,682,93 \text{ kg} \approx 590\,000 \text{ kg}.$$

Tehtävä 14.8.

- a) Energiaa siirtyy kuljettumalla esimerkiksi verenkierron mukana ja ihmisen hikoillessa. Energiaa siirtyy myös hengitysilman mukana.
- b) Hengityksessä tapahtuu kaasun tilanmuutoksia. Sisäänhengityksessä ilmanpaine keuhkoissa laskee, jolloin keuhkoihin virtaa ilmaa ympäristöstä, jossa ilmanpaine on suurempi. Keuhkoissa ilman lämpötila nousee ja ilman tilavuus suurenee hieman.
- c) Iholla oleva hiki haihtuu, mikä laskee elimistön lämpötilaa.

Tehtävä 14.9.

Auringon säteilyteho neliometriä kohden (eli intensiteetti)

$$P_A = 270 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Jään pinta-ala $A_{\text{jää}} = 0,85 \text{ m}^2$

Jään paksuus $h = 3,0 \text{ cm} = 0,030 \text{ m}$

Jään tiheys $\rho_{\text{jää}} = 915 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Auringon jälle luovuttama energia on yhtä suuri kuin jään sulamiseen tarvittava energia

$E_{\text{Aurinko}} = Q_{\text{jään sulaminen}}$

$$Pt = sm$$

$$P_A t A_{\text{jää}} = s \rho_{\text{jää}} V$$

$$P t A_{\text{jää}} = s \rho_{\text{jää}} A_{\text{jää}} h$$

$$t = \frac{s \rho_{\text{jää}} \cancel{A_{\text{jää}}} h}{P \cancel{A_{\text{jää}}}} = \frac{333000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 915 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,030 \text{ m}}{270 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 33855 \text{ s} = 9,404 \text{ h} = 9,4 \text{ h.}$$

Tehtävä 14.10.

- a) Haihtuminen on veden pinnalta tapahtuvaa höyrystymistä. Haihtumista voi tapahtua kaikissa lämpötiloissa.
- b) Veden höyrystymisaika $t = 4,3 \text{ h} = 4,3 \cdot 3600 \text{ s} = 15\,480 \text{ s}$

Höyrystyneen veden massa $m = 8\,930 \text{ kg}$.

Veden ominaishöyrystymislämpö

$$r = 2\,260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2\,260\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

Auringon veden haihtumiseen luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden höyrystymisen vastaanottama energia

$$E = Q$$

$$Pt = rm$$

Aurinko haihdutti vettä teholla

$$P = \frac{rm}{t} = \frac{2\,260\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 8\,930 \text{ kg}}{15\,480 \text{ s}} = 1\,303\,733,85 \text{ W} \approx 1,3 \text{ MW}.$$

Aurinko haihduttaa vettä 1,3 MW teholla.

Tehtävä 14.11.

- a) Hydrostaattinen paine aiheuttaa verenpaine-eron esimerkiksi reisivaltimon ja kaulavaltimon välillä, kun henkilö seisoo. Hydrostaattinen paine $p = \rho gh$, missä ρ on veren tiheys, g on putoamiskiihtyvyys ja h nestepatsaan korkeus. Putoamiskiihtyvyyttä ja veren tiheyttä voidaan pitää muuttumattomana. Tällöin paine-ero riippuu siis nestepatsaan korkeuden erosta kehon eri osissa. Makuuasennossa kehon osat ovat samassa korkeudessa maahan nähden, jolloin verenpaineessa ei ole suuria eroja.
- b) Kun roikutaan pää alaspäin, hydrostaattinen paine aiheuttaa eron verenpaineeseen ylä- ja alavartalon välille. Paine-ero on kuitenkin päinvastainen kuin seisottaessa. Verenpaine on siis korkeampi kaulavaltimossa kuin reisivaltimossa.

Tehtävä 14.12.

Veden tilavuus $V = 2000 \text{ l}$

Veden lämpötila alussa $T_1 = 6,0 \text{ °C}$

Tulipesän teho 30 kW

Puiden lämpöarvo $H = 18 \text{ MJ/kg}$

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

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

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

a) Veden loppulämpötila $T_2 = 38 \text{ °C}$

Veden lämpötilan muutos $\Delta T = T_2 - T_1 = 38 \text{ °C} - 6,0 \text{ °C} = 32 \text{ K}$

Kylpytynnyrin veden lämmittämisen hyötysuhde
 $\eta = 0,75$

Kylpytynnyrin luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia

$$E_{\text{kylpytynnyri}} = Q_{\text{vesi}}$$

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

$$\eta Pt = cm\Delta T$$

Lämmitysaika

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

$$t = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 2000 \text{ l} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 32 \text{ K}}{0,75 \cdot 30000 \text{ W}} = 11918,222 \text{ s} \approx 3 \text{ h.}$$

b) Poltetun puun määrä

$$Q_{\text{puu}} = Hm$$

$$m_{\text{puu}} = \frac{Q_{\text{puu}}}{H} = \frac{Pt}{H}$$

$$\text{Poltetun puun tilavuus } V_{\text{puu}} = \frac{m_{\text{puu}}}{\rho_{\text{puu}}}.$$

Syntyneen hiilidioksidin määrä

$$m_{\text{CO}_2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} V_{\text{puu}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{m_{\text{puu}}}{\rho_{\text{puu}}}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{Pt}{H\rho_{\text{puu}}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{30000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}}{18 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 520 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 11,538 \text{ m}^3 \approx 12 \text{ m}^3.$$

Tehtävä 14.13.

a) Reaktorin lämpöteho $P_1 = 2500$ MW

Reaktorin sähköntuotannon hyötysuhde $\eta = 0,34$

Reaktorin sähköntuotannon teho saadaan hyötysuhteen avulla

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_2 = \eta P_1 = 0,34 \cdot 2500 \text{ MW} = 850 \text{ MW}.$$

b) Reaktorin kuumasäiliönä toimii ydinreaktori, lämpövoimakoneena generaattori ja kylmäsäiliönä meri.

c) Meriveden lämpötilan muutos $\Delta T = 9,8 \text{ }^\circ\text{C} = 9,8 \text{ K}$

Sähköntuotannon aika $t = 24 \text{ h} = 24 \cdot 3600 \text{ s} = 86400 \text{ s}$.

Reaktorin kylmäsäiliöön siirtynyt energia on yhtä suuri kuin energia, jonka merivesi on ottanut lämmitessään vastaan.

Lasketaan reaktorin kylmäsäiliöön siirtynyt energia

$$E = E_1 - E_2 = P_1 t - P_2 t = (P_1 - \eta P_1) t.$$

Reaktorin jäähdyttämiseen tarvittavan veden massa

$$E = Q$$

$$(P_1 - \eta P_1) t = cm \Delta T$$

$$m = \frac{(P_1 - \eta P_1) t}{c \Delta T}$$

$$m = \frac{(2500000000 \text{ W} - 0,34 \cdot 2500000000 \text{ W}) \cdot 86400 \text{ s}}{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 9,8 \text{ K}} = 3471823097 \text{ kg} = 3,5 \cdot 10^9 \text{ kg}.$$

Tehtävä 14.14.

- a) Kuulohavainnon mukaan nestetyppi alkoi poreilla voimakkaasti, kun ruusu kastettiin nestetyyppeen. Huoneenlämpöinen ruusu luovutti nestetyypelle energiaa ja nestetyppi alkoi kiehua.
- b) Ruusun läheisyydessä oleva ilma on huomattavasti huoneilmaa viileämpää. Ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy pieniksi pisaroiksi ruusun lähellä. Ilmassa oleva valkoinen aine on siis vettä.
- c) Ruusun terälehtien lämpötila laski nopeasti ja terälehdissä ollut vesi jäättyi. Kun terälehtiä rutistettiin, terälehtien rakenne rikkoutui ja rikkoutuneet terälehdet putosivat pöydälle.

Tehtävä 14.15.

Mallivastauksen mittaustulokset on saatu oikeasta mittauksesta.

Veden massa $m = 3,204 \text{ kg}$

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

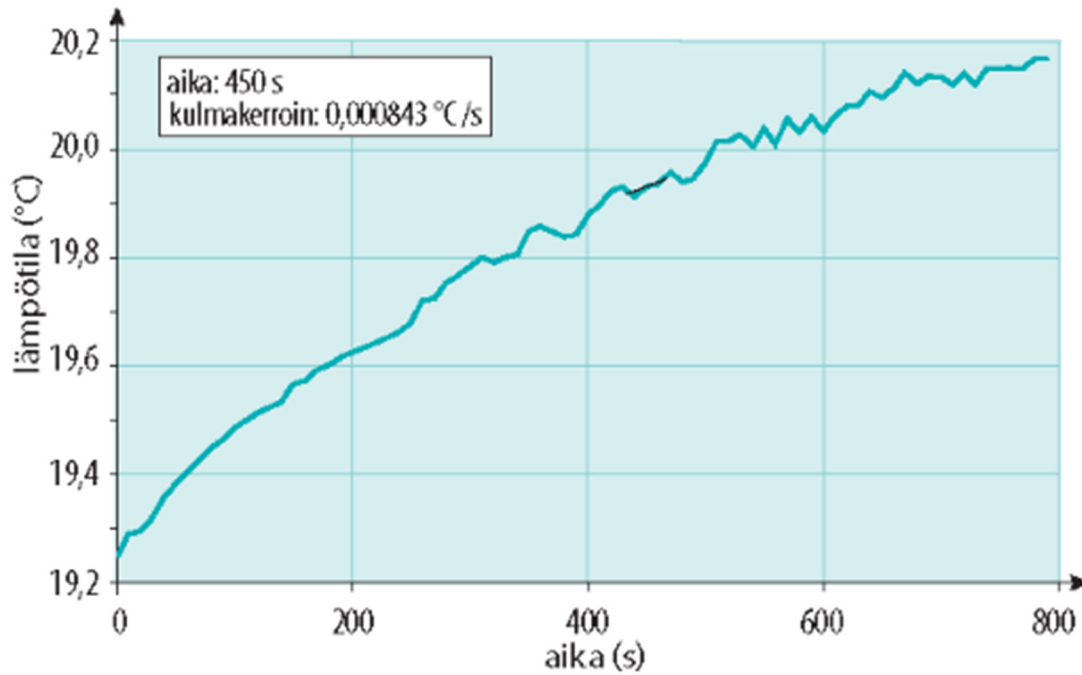
Suoritetaan mittaus upottamalla jalka veteen. Jalan luovuttaa energiaa vedelle teholla P . Oletetaan, että mittauksen aikana energiaa ei mene hukkaan. Tällöin

$$E_{\text{jalka}} = Q_{\text{vesi}}$$

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

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

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



$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,000843 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}.$$

Jalan vedenlämmittämisteho on

$$P = cm \frac{\Delta T}{\Delta t} = 4190 \frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}} \cdot 3,204 \text{ kg} \cdot 0,000843 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}} = 11,317 \text{ W} \approx 11 \text{ W}.$$

Tehtävä 14.16.

a) Jos ympäristö on selvästi kehoa viileämpi, kehon lämpötila laskee, kun energiaa siirtyy kehosta ympäristöön. Energian siirtymistä voi vähentää pukeutumalla.

Keho säteilee energiaa ympäristöönsä. Kun vaatekerros on lämmennyt kehon vaikutuksesta, se säteilee energiaa takaisin iholle. Näin lämmön siirtyminen säteilemällä vähenee.

Vaatteen kuitujen ja vaatekerrosten väliin jäävä ilma toimii eristeenä, joka estää lämmönjohtumista. Tämä hidastaa energian poistumista kehosta.

Tuulisella säällä ihon lähellä olevan ilman mukana energiaa kuljettuu pois iholta. Tuulenpitävä vaatekerros vähentää energian kuljettumista kehosta ympäristöön.

b) Eristävät vaatteet vähentävät energian johtumista kehosta ympäristöön. Veden lämmönjohtavuus on ilmavaa vaatekerrosta huomattavasti parempi, joten vaatteiden kastuessa energiaa siirtyy iholle suuremmalla teholla. Iho viilenee ja ihminen alkaa palella.

c) Merkitään lämpötiloja seuraavasti:

$$T_0 = 30 \text{ °C} = (30 + 273,15) \text{ K} = 303,15 \text{ K}$$

$$T_1 = -25 \text{ °C} = (-25 + 273,15) \text{ K} = 248,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 0 \text{ °C} = (0 + 273,15) \text{ K} = 273,15 \text{ K}$$

Pään säteilemä teho pinta-alayksikköä kohden on verrannollinen pään lämpötilan neljänteen potenssiin eli

$$\frac{P_0}{A} \sim T_0^4. \text{ Voidaan kirjoittaa } \frac{P_0}{A} = \text{vakio} \cdot T_0^4, \text{ josta}$$

$$P_0 = \text{vakio} \cdot A \cdot T_0^4.$$

Ympäristö säteilee energiaa takaisin teholla, joka riippuu

ulkolämpötilasta.

Takaisin säteily teho on joko $\frac{P_1}{A} \sim T_1^4$ tai $\frac{P_2}{A} \sim T_2^4$.

Näistä yhtälöistä saadaan vastaavasti

$$P_1 = \text{vakio} \cdot A \cdot T_1^4 \text{ ja } P_2 = \text{vakio} \cdot A \cdot T_2^4.$$

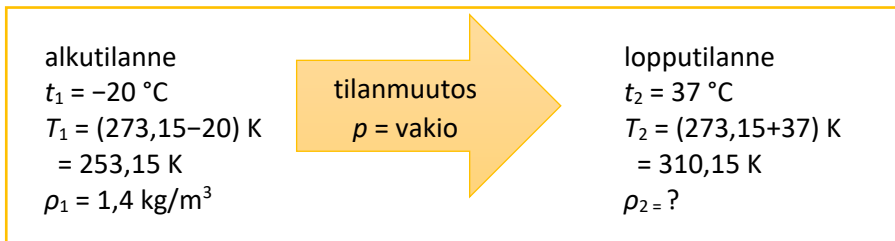
Merkitään pään säteilemää tehoa positiivisena, ja pään ympäristöstä vastaanottaman säteilyn tehoa negatiivisena. Tehon yhtälöissä esiintyvä vakio ja pään pinta-ala ovat molemmissa tilanteissa samat, joten ne supistuvat yhtälöstä pois.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P_{\text{pakkanen}}}{\Delta P_{\text{lauha}}} &= \frac{P_0 - P_1}{P_0 - P_2} = \frac{\cancel{\text{vakio}} \cdot \cancel{A} \cdot T_0^4 - \cancel{\text{vakio}} \cdot \cancel{A} \cdot T_1^4}{\cancel{\text{vakio}} \cdot \cancel{A} \cdot T_0^4 - \cancel{\text{vakio}} \cdot \cancel{A} \cdot T_1^4} \\ &= \frac{T_0^4 - T_1^4}{T_0^4 - T_2^4} = \frac{(303,15 \text{ K})^4 - (248,15 \text{ K})^4}{(303,15 \text{ K})^4 - (273,15 \text{ K})^4} = 1,6165 \approx 1,6 \end{aligned}$$

Eli säteilyn kautta poistuva teho on $-25 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa yli 1,6-kertainen verrattuna $0 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilaan.

Tehtävä 14.17.

a) Jos paine pysyy samana, kyseessä on isobaarinen tilanmuutos



Tiheydelle voidaan kirjoittaa $\rho = \frac{m}{V}$, jossa $V = \frac{m}{\rho}$.

Tilanmuutosta kuvaa yhtälö $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$. Tilanteessa tarkastellaan koko ajan samaa ilmamäärää, joten

voidaan kirjoittaa: $\frac{\cancel{m}}{T_1} = \frac{\cancel{m}}{T_2}$ ja edelleen sieventää $\frac{1}{\rho_1 T_1} = \frac{1}{\rho_2 T_2}$
eli $\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$.

Tiheydeksi saadaan

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 T_1}{T_2} = \frac{1,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 253,15\text{ K}}{310,15\text{ K}} = 1,1427 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 1,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Ilman tiheys keuhkoissa on 37 °C lämpötilassa on 1,1 kg/m³.

b) Ilman lämpötilan muutos on

$$\Delta T = 37\text{ °C} - (-20\text{ °C}) = 57\text{ °C} = 57\text{ K}.$$

Taulukkokirjasta saadaan ilman

$$\text{ominaislämpökapasiteetti } c = 1,01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = 1,01 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}.$$

Yhdellä hengenvedolla ilmaa vedetään keuhkoihin $m = 0,56\text{ g} = 0,56 \cdot 10^{-3}\text{ kg}$ ja tunnissa hengitetään yhteensä

$$N = 20 \frac{\text{kertaa}}{\text{min}} \cdot 60\text{ min} = 120\text{ kertaa}.$$

Tunnissa ilman kehosta sitoma energia on

$$Q = Ncm\Delta T = 120 \cdot 1,01 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 0,56 \cdot 10^{-3}\text{ kg} \cdot 57\text{ K} = 3868,704\text{ J}.$$

Keho lämmittää ilmaa teholla

$$P = \frac{E}{t} = \frac{Q}{t} = \frac{3868,704\text{ J}}{3600\text{ s}} = 0,179106\text{ W} \approx 0,18\text{ W}.$$

Tehtävä 14.18.

Merkitään mehujään massaa m ,

ominaislämpökapasiteettia kiinteänä jäänä $c_{\text{jää}} = 2,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

ja nesteeksi sulaneena $c_{\text{vesi}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$.

Mehujään ominaissulamislämpö on $s = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

Mehujään energiasisältö on $e = 80 \text{ kJ}/100 \text{ g} = 800 \text{ kJ}/\text{kg}$.

Mehujään alkulämpötilaa T_a ei tiedetä, mutta lopussa mehujää lämmennyt kehon lämpötilaan $T_1 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kun mehujää syödään, siihen sitoutuu energiaa kehosta energiaa seuraavissa vaiheissa:

- 1) Mehujää lämpenee alkulämpötilasta sulamispisteen lämpötilaan eli $0 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Merkitään tätä lämpötilan muutosta ΔT_a . Sitoutunut energia on $Q_1 = c_{\text{jää}} m \Delta T_a$.
- 2) Mehujään sulaa $Q_2 = sm$.
- 3) Mehujäästä sulanut vesi lämpenenee kehon lämpötilaan eli $\Delta T_1 = 37 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C} = 37 \text{ }^\circ\text{C} = 37 \text{ }^\circ\text{K}$. Sitoutunut energia on $Q_3 = c_{\text{vesi}} m \Delta T_1$.

Mehujäästä saatava energia on $E = me$

Oletetaan, että kaikki mehujäästä saatava energia käytetään kehossa mehujään lämmittämiseen ja sulattamiseen, jolloin $E = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$E = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$me = c_{\text{jää}} m \Delta T_a + sm + c_{\text{vesi}} m \Delta T_1$$

$$c_{\text{jää}} \Delta T_a = e - s - c_{\text{vesi}} \Delta T_1$$

$$\Delta T_a = \frac{e - s - c_{\text{vesi}} \Delta T_1}{c_{\text{jää}}} = \frac{800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 37 \text{ K}}{2,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}} = 149,268 \text{ K} \approx 150 \text{ K}$$

Eli mehujään alkulämpötilan pitää olla 150 kelviniä alhaisempi kuin veden sulamispiste eli $-150 \text{ }^\circ\text{C}$. Mehujää pitäisi syödä, kun sen lämpötila on $-150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tehtävä 14.19.

a) Puhtaan jään tai lumipeitteen albedo $a = 0,90$.

b) SäteilYTEHO $P = 210 \text{ W}$.

Lumipeite absorboi energiaa teholla

$$P_{\text{abs}} = 0,10 \cdot 210 \text{ W} = 21 \text{ W}.$$

c) Kun jää- ja lumipeite vähenee, absorboituu maapallon pinnalle enemmän energiaa, sillä maapallon tumma pinta absorboi energiaa enemmän kuin jää ja lumi. Tällöin maapallon pintakerroksen lämpötila kasvaa, mikä edistää jää- ja lumipeitteen sulamista entisestään.

Syvennä

Tehtävä 14.20.

meriveteen sitoutunut energia $E = 1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}$,

merien pinta-alaa $A = 3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2 = 3,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ ja

syvyyttä $h = 3\,700 \text{ m}$. Meriveden tiheys on $\rho = 1\,030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,

tilavuuden lämpötilakerroin $\gamma = 1,37 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{K}}$ ja

ominaislämpökapasiteetti $c = 3,96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = 3\,960 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$.

Meriveden massa saadaan tiheyden avulla: $m = \rho V$, jossa tilavuus V voidaan arvioida valtamerien pinta-alan ja syvyyden avulla: $V = Ah$. Nämä yhdistämällä saadaan $m = \rho Ah$.

Meriin sitoutuvan lämpömäärän vaikutusta merien keskimääräiseen lämpötilaan voidaan arvioida seuraavasti:

$$Q = cm\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{Q}{c\rho Ah} = \frac{1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}}{3\,960 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1\,030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 \cdot 3\,700 \text{ m}}$$
$$= 2,39280 \cdot 10^{-3} \text{ K} \approx 0,0024 \text{ K}$$

Meriveden keskimääräinen lämpötila kohoaa siten vuodessa 0,0024 kelviniä tai celsiusastetta.

Meriveden lämpeneminen aiheuttaa lämpölaajenemisen $\Delta V = \gamma V \Delta T$, jossa alkuperäinen tilavuus on $V = Ah$ ja tilavuuden muutos on $\Delta V = A\Delta h$. Pinta-ala pysyy samana, joten se supistuu lausekkeesta pois:

$$\Delta V = \gamma V \Delta T$$

$$A\Delta h = \gamma Ah \Delta T$$

$$\Delta h = \gamma h \Delta T = 1,37 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{K}} \cdot 3\,700 \text{ m} \cdot 2,39280 \cdot 10^{-3} \text{ K} = 1,2129 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 1,2 \text{ mm}$$

Merenpinnan korkeus nousee 1,2 mm vuodessa.

Huom. Jos otetaan huomioon tekijät, jotka vaikuttivat lämpötilan muutokseen, saadaan

$$\Delta V = \gamma V \Delta T$$

$$A\Delta h = \gamma Ah \frac{Q}{c\rho Ah}$$

$$\Delta h = \frac{\gamma Q}{c\rho A},$$

eli meriveden pinnannousu ei riipu merien syvyydestä. Sillä kuinka syvään kerrokseen lämpömäärä sitoutuu ei siis ole merkitys meriveden lämpölaajenemisen kannalta.

Tehtävä 14.21.

- a) Kun siirrännäinen upotetaan kylmähauteeseen sen lämpötila laskee 37 °C :sta $4,0\text{ °C}$:een. Siirrännäinen vapauttaa energiaa jäähtyessään.

Kylmähauteessa oleva jää sulaa, ja jäästä sulanut vesi lämpenee $0,0\text{ °C}$:sta $4,0\text{ °C}$:een. Myös kylmähauteen neste lämpenee $0,0\text{ °C}$:sta $4,0\text{ °C}$:een. Nämä prosessit sitovat energiaa.

Merkitään siirrännäisen ja nesteiden

ominaislämpökapasiteettia $c = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ ja jään

ominaissulamislämpöä $s = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

Siirrännäisen massa on $m_S = 1,5\text{ kg}$, ja sen lämpötilan muutos on $\Delta T_S = 37\text{ °C} - 4,0\text{ °C} = 33\text{ °C} = 33\text{ K}$.

Jään massa on $m_J = 0,5\text{ kg}$.

Vedenkaltaisen nesteen tilavuus oli $V = 3,0\text{ l}$ ja tiheys kuten vedellä $\rho = 1,0\text{ kg/l}$, joten nesteen massa on $m_N = 3,0\text{ kg}$. Nesteen ja jäästä sulaneen veden lämpötilan muutos on

$\Delta T_N = 4,0\text{ °C} = 4,0\text{ K}$.

Siirrännäisen luovuttama energia on

$$\begin{aligned}Q_{\text{luovutettu}} &= Q_S \\&= cm_S \Delta T_S \\&= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 1,5 \text{ kg} \cdot 33 \text{ K} \\&= 207,405 \text{ kJ}.\end{aligned}$$

Jään ja nesteen vastaanottama energia on

$$\begin{aligned}Q_{\text{vastaanotettu}} &= Q_{J,1} + Q_{J,2} + Q_N \\&= sm_J + cm_J \Delta T_N + cm_N \Delta T_N \\&= sm_J + c(m_J + m_N) \Delta T_N \\&= 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,5 \text{ kg} + 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (0,5 \text{ kg} + 3,0 \text{ kg}) \cdot 4,0 \text{ K} \\&= 225,16 \text{ kJ}.\end{aligned}$$

Koska $Q_{\text{vastaanotettu}} > Q_{\text{luovutettu}}$, täytyy kylmähaudetta lämmittää.

b) Lämpöelementin teho on $P = 1\,058\text{ W}$ ja lämmitystilassa sen hyötysuhde on $\eta = 0,82$.

Edellisen kohdan perusteella kylmähauteeseen on tuotava vielä energia

$$Q_{\text{elementti}} = Q_{\text{vastaanotettu}} - Q_{\text{luovutettu}}$$

$$= 225,16\text{ kJ} - 207,405\text{ kJ} = 17,755\text{ kJ} = 17\,755\text{ J.}$$

Energian ja tehon avulla saadaan

$$Q_{\text{elementti}} = \eta Pt$$

$$t = \frac{Q_{\text{elementti}}}{\eta P} = \frac{17\,755\text{ J}}{0,82 \cdot 1\,058\text{ W}} = 20,465\text{ s} \approx 20\text{ s}$$

Kylmähaudetta on lämmitettävä 20 sekunnin ajan.

c) Oletetaan, että kehon ja siirrännäisen ominaislämpökapasiteetti on sama kuin veden eli

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

Potilaan massa on $m_p = 41 \text{ kg}$ ja siirrännäisen $m_s = 1,5 \text{ kg}$.

Kun elinsiirto on tehty, potilaan kehon lämpötila laskee ΔT :n verran $37 \text{ }^\circ\text{C}$:sta. Siirrännäinen lämpenee $4,0 \text{ }^\circ\text{C}$:sta loppulämpötilaan, joka on $37 \text{ }^\circ\text{C} - \Delta T$. Siirrännäisen lämpötilan muutos on

$$\Delta T_{S,\text{uusi}} = 37 \text{ }^\circ\text{C} - \Delta T - 4,0 \text{ }^\circ\text{C} = \Delta T_S - \Delta T, \text{ jossa}$$
$$\Delta T_S = 37 \text{ }^\circ\text{C} - 4,0 \text{ }^\circ\text{C} = 33 \text{ }^\circ\text{C} = 33 \text{ K}.$$

Kun viileä elinsiirre siirretään potilaaseen, siirrännäinen vastaanottaa energiaa kehosta ja keho luovuttaa energiaa. Jos systeemi on eristetty ympäristöstä, voidaan siirtyneet energiat merkitä yhtä suuriksi

$$Q_p = Q_s$$

$$\varkappa m_p \Delta T = \varkappa m_s \Delta T_{S,\text{uusi}}$$

$$m_p \Delta T = m_s (\Delta T_S - \Delta T)$$

$$m_p \Delta T = \Delta T_S m_s - m_s \Delta T$$

$$m_p \Delta T + m_s \Delta T = \Delta T_S m_s$$

$$(m_p + m_s) \Delta T = \Delta T_S m_s$$

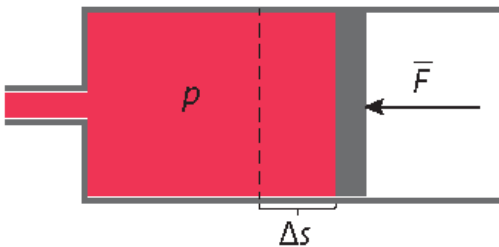
$$\Delta T = \frac{\Delta T_S m_s}{m_p + m_s} = \frac{33 \text{ K} \cdot 1,5 \text{ kg}}{41 \text{ kg} + 1,5 \text{ kg}} = 1,1647 \text{ K} \approx 1,2 \text{ K}$$

Eli potilaan kehon lämpötila laskee $1,2 \text{ K}$ tai $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tehtävä 14.22.

- a) Kun mäntäpumppua puristetaan voimalla \bar{F} ja mäntä siirtyy matkan Δs , tehdään työ $W = F\Delta s$. Paineen määritelmän avulla saadaan puristamiseen vaadittavan voiman suuruudeksi: $p = \frac{F}{A}$, joten $F = pA$. Kun mäntä siirtyy matkan Δs , siirtyy nestettä tilavuuden $\Delta V = A\Delta s$ verran (lieriön tilavuus).

Yhdistämällä edelliset saadaan: $W = pA\Delta s = p\Delta V$.



b) tilavuuden muutos ja $\Delta V = 70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ja

verenpaine $p = 120 \text{ mmHg} = 120 \cdot 133,322 \text{ Pa}$

Vasemman kammion yhden syklin aikana tekemä työ:

$$W_{\text{vasen}} = p\Delta V = 120 \cdot 133,322 \text{ Pa} \cdot 70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 1,11990 \text{ J}.$$

Koko sydämen tekemä työ:

$$\begin{aligned} W &= W_{\text{vasen}} + W_{\text{oikea}} = W_{\text{vasen}} + \frac{W_{\text{vasen}}}{6} = \frac{7}{6} W_{\text{vasen}} \\ &= \frac{7}{6} \cdot 1,11990 \text{ J} = 1,30656 \text{ J} \approx 1,3 \text{ J}. \end{aligned}$$

Sydämen tekemä työ on 1,3 J.

c) Sydämen keskimääräinen teho:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{1,30656 \text{ J} \cdot 76}{60 \text{ s}} = 1,65497 \text{ W} \approx 1,7 \text{ W}.$$

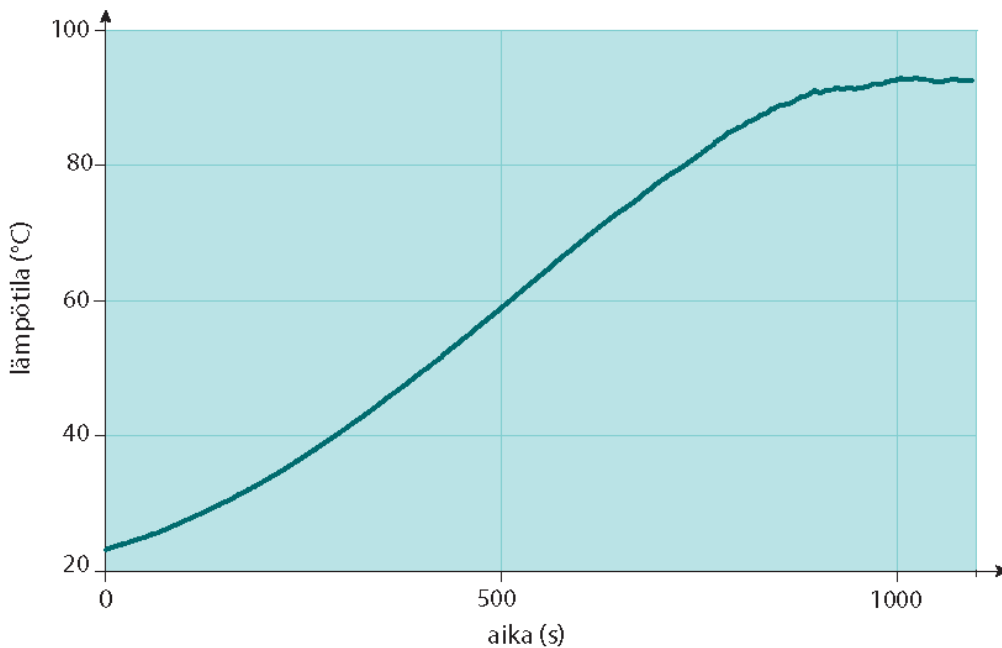
Sydämen keskimääräinen teho on 1,7 W.

Tehtävä 14.23.

- a) Generaattorit tuottavat liike-energian avulla sähköä yhteiskunnan käyttöön.
- b) Kun generaattoria jäähdytetään, sen hyötysuhde paranee ja käyttöikä pitenee. Energiaa menee vähemmän hukkaan.
- c) Vedyn pieni viskositeetti esimerkiksi veteen verrattuna tarkoittaa sitä, että vety saadaan virtaamaan helposti generaattorin jäähdytysputkistossa. Tällöin vedyn kierrättäminen generaattorin suljetussa kierrossa kuluttaa vähemmän energiaa, ja pienentää siten generaattorin häviötehoa.
- d) Vaikka vedyn lämmönjohtavuus ($0,193 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$) on pienempi kuin veden lämmönjohtavuus ($0,645 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$), vedyn kaksi muuta ominaisuutta: suuri ominaislämpökapasiteetti ($14370 \frac{\text{W}}{\text{kgK}}$) ja pieni viskositeetti ($0,94 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$) ovat vastaavasti paremmat kuin vedellä ($4182 \frac{\text{W}}{\text{kgK}}$ ja $52,8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$). Tämän takia häviöteho saadaan pienemmäksi vetyjäähdytyksen avulla. Lisäksi vedyn räjähdysherkkyysoongelma pystytään ratkaisemaan nykypäivänä turvajärjestelyjen avulla. Siksi vetyä käytetään suuritehoisten generaattorien jäähdytyksessä.

Tehtävä 14.24.

a)



(akselit oikein päin 1 p., akselien nimet ja yksiköt 1 p., kuvaaja 1 p.)

- b) Auringon säteilyn energiaa siirtyy lämpösäteilynä (1 p.) Auringosta alumiinitölkin ja veden sisäenergiaksi. (1 p.) Säteily lämmittää myös ympärillä olevaa ilmaa, joten myös ilman sisäenergia kasvaa. (1 p.) Tölkki ja vesi luovuttavat sisäenergiaansa viileämpään ympäristöön säteilemällä. (2 p.) Veden pinnalta haihtuu vettä ilmaan, jolloin veden sisäenergiaa siirtyy ympäristöön kuljettumalla. (2 p.)

c) Veden massa $m = 0,267 \text{ kg}$

Aurinkokeittimen luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia.

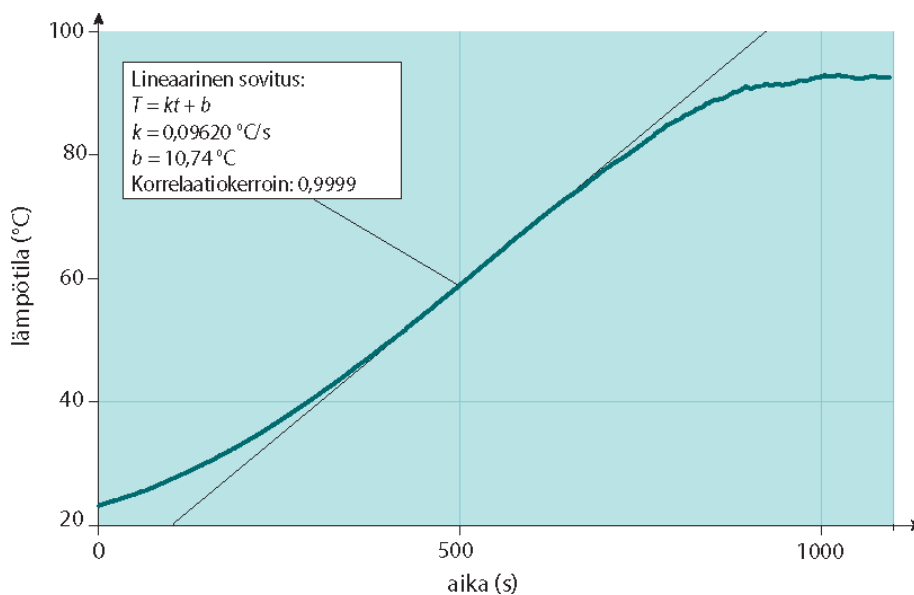
$$E_{\text{keitin}} = E_{\text{vesi}} \quad (1 \text{ p.})$$

Aurinkokeitin luovuttaa vedelle energiaa teholla P , jolloin aurinkokeittimen vedenlämmitysteho

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

$$P = \frac{cm\Delta T}{\Delta t} = cm \frac{\Delta T}{\Delta t}. \quad (1 \text{ p.})$$

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$ saadaan (t, T) -koordinaatiston fysikaalisesta kulmakertoimesta. Vedenlämmitysteho on suurimmillaan, kun kuvaaja on jyrkimmillään. (1 p.)
Määritetään kulmakerroin nousukohdasta, jossa kuvaaja on jyrkimmillään.



$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,09620 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}} \cdot (1 \text{ p.})$$

Aurinkokeittimen vedenlämmitysteho on

$$\begin{aligned} P &= cm \frac{\Delta T}{\Delta t} \\ &= 4190 \frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}} \cdot 0,267 \text{ kg} \cdot 0,09620 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}} \\ &= 107,62 \text{ W} \\ &\approx 110 \text{ W}. \end{aligned}$$

(1 p.)

Vastaus: Aurinkokeittimen vedenlämmitysteho on suurimmillaan 110 W.