

13. Lämpökoneet

Harjoittele

Tehtävä 13.1.

Väittämistä ovat oikein a), c), d) ja f).

Korjaukset vääriin väittämiin:

- b) Myös aineen rakenneosasten liike-energia kasvaa, kun aineeseen siirtyy energiaa.
- e) Lämpövoimakone muuntaa lämpöä kineettiseksi energiaksi.

Tehtävä 13.2.

Kuumasäiliöstä otettu energia $Q_1 = 13,2 \text{ MJ}$.

Lämpövoimakoneen tekemä työ $W = 2,4 \text{ MJ}$

Lämpövoimakoneen hyötysuhde

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{2,4 \text{ MJ}}{13,2 \text{ MJ}} = 0,1818 \approx 18 \%$$

Tehtävä 13.3.

Veden tilavuus $V = 2,2 \text{ dl} = 0,22 \text{ l}$

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

Veden lämpötilan muutos $\Delta T = 88 \text{ }^\circ\text{C} - 16 \text{ }^\circ\text{C} = 72 \text{ }^\circ\text{C} = 72 \text{ K}$

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

Veden sisäenergian muutos on yhtä suuri kuin energia, jonka vesi sitoo lämmitessään

$$\Delta U = Q = cm\Delta T = c\rho V\Delta T = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 0,22 \text{ l} \cdot 72 \text{ K} = 66369,6 \text{ J} \approx 66 \text{ kJ}.$$

Tehtävä 13.4.

Matemaattinen malli sylinterin kaasun tekemälle työlle on $W = p\Delta V$, jossa p on sylinterin männän ulkopuolinen paine ja ΔV on sylinterin sisällä olevan kaasun tilavuuden muutos. Jos kaasun tilavuus kasvaa, kaasu tekee työtä, ja jos tilavuus pienenee kaasun tehdään työtä.

Tehtävä 13.5.

Ruuvien ruuvaamisessa puun ja ruuvien välinen kitka tekee työtä. Kitkan tekemä työ kasvattaa ruuvien sisäenergiaa ja ruuvien lämpötila nousee.

Tehtävä 13.6.

a) Kitkan tekemä työ $W = 230 \text{ J}$

Rautalevyn ympäristöön luovuttama energia $Q = 74 \text{ J}$.

Rautalevyn sisäenergian muutos

$$\Delta U = +W - Q = 230 \text{ J} - 74 \text{ J} = 156 \text{ J}.$$

b) Rautalevyn sisäenergian muutos on positiivinen, mikä ilmenee siten, että levyn lämpötila nousee.

Tehtävä 13.7.

Kun polkupyörän pumpulla pumpataan rengasta, pumpussa olevalla männällä puristetaan kaasua kasaan eli tehdään kaasuun työtä. Tehty työ muuntuu pumpun sisällä olevan ilman sisäenergiaksi, jolloin kaasun lämpötila nousee. Lämmenneestä ilmasta energiaa siirtyy johtumalla pumpun osiin ja pumpun sisäenergia kasvaa. Pumpun sisäenergian kasvu ilmenee pumpun lämpötilan kasvuna.

Tehtävä 13.8.

Ulkoilman sisäenergia $Q_1 = 2,6 \text{ GJ}$

Kompressorin talon sisäenergian kasvattamiseksi tekemä työ $W = 1800 \text{ kWh}$.

Muunnetaan kompressorin tekemä työ jouleiksi

$$W = 1800\,000 \text{ Wh} = 1800\,000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 6,48 \cdot 10^9 \text{ J} = 6,48 \text{ GJ}.$$

Talon sisäenergian muutos

$$\Delta U = Q_1 + W = 2,6 \text{ GJ} + 6,48 \text{ GJ} = 9,08 \text{ GJ} = 9,1 \text{ GJ}.$$

Tehtävä 13.9.

Lämpövoimakoneissa energia siirtyy kuumasäiliöstä kylmäsäiliöön ja kone tekee työtä. Esimerkiksi auton ja mopon moottorit ovat lämpövoimakoneita.

Lämmönsiirtokoneissa kone siirtää energiaa kylmäsäiliöstä kohti kuumasäiliötä. Tällaisia laitteita ovat jääkaappi, pakastin ja ilmalämpöpumppu.

Sovella

Tehtävä 13.10.

Kun sylinterin sisällä olevan kaasun tilavuus suurenee, kaasun lämpötila pienenee. Samalla laajeneva kaasu tekee myös työtä. Molemmat muutokset pienentävät kaasun sisäenergiaa. Tämän muutoksen matemaattinen malli on $\Delta U = -Q - W$, jossa $-Q$ on kaasusta ympäristöön siirtyvä energia ja $-W$ on ympäristöön siirtyvä työ.

Tehtävä 13.11.

Veden massa $m = 1,4 \text{ kg}$

Vedenkeittimen lämmitysteho $P = 1750 \text{ W}$

Lämmitysaika $t = 213 \text{ s}$

Veden lämpötila alussa $T_1 = 21,2 \text{ °C}$

Veden lämpötila lopussa $T_2 = 79,8 \text{ °C}$

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

a) Veden sisäenergia kasvoi

$$\Delta U = Q = cm\Delta T = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg °C}} \cdot 1,4 \text{ kg} \cdot (79,8 \text{ °C} - 21,2 \text{ °C}) = 343747,6 \text{ J} \approx 340 \text{ kJ.}$$

b) Vedenkeitin luovuttaa sähköverkosta ottamaansa energiaa veteen, jolloin veden lämpötila nousee. Osa vedenkeittimen ottamasta energiasta siirtyy ympäristöön ja osa jää vedenkeittimen sisäenergiaksi. Kun vedenkeittimen ottamasta energiasta vähennetään veden lämpenemiseen kuluva energia, saadaan vedenkeittimen ja ympäristön sisäenergian muutos.

$$\Delta U = E_{\text{vedenkeitin}} - Q_{\text{vesi}} = Pt - cm\Delta T$$

$$\Delta U = 1750 \text{ W} \cdot 213 \text{ s} - 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg °C}} \cdot 1,4 \text{ kg} \cdot (79,8 \text{ °C} - 21,2 \text{ °C}) = 29002,4 \text{ J} \approx 29 \text{ kJ}$$

c) Kun vedenkeittimessä oleva vesi oli ympäristöään lämpimämpää, vedestä johtui energiaa vedenkeittimeen sekä ympäristöön. Kun lämmitettävän veden pinnalta höyrystyi vettä ympärillä olevaan ilmaan, veden sisäenergiaa kuljettui kuumen vesihöyryn mukana ympärillä olevan ilman sisäenergiaksi.

Tehtävä 13.12.

Kaasun sisäenergian muutoksen matemaattinen malli on $\Delta U = \Delta Q + W$. Koska tehtävän tilanteessa $\Delta Q = -W$, sisäenergian muutos on $\Delta U = -W + W = 0$. Toisin sanoen sylinterissä olevan kaasun sisäenergia ei muutu.

Tehtävä 13.13.

Bensiinin palamisessa vapautunut energia $Q_1 = 180 \text{ MJ}$

Pakokaasujen mukana ympäristöön siirtynyt energia
 $Q_2 = 76 \text{ MJ}$

Moottorin osien sisäenergia $Q_3 = 62 \text{ MJ}$.

a) Bensiinin palaessa sen sisäenergiaa vapautuu.

Vapautunut energia siirtyy pakokaasujen sisäenergiaksi. Koska palamisessa moottorin sisäosien lämpötila nousee jopa satoja asteita, osa bensiinin palamisessa vapautuneesta energiasta johtuu moottorin osien sisäenergiaksi. Pakokaasujen mukana energiaa kuljettuu moottorista ympäristöön.

b) Moottorin kuumasäiliö on moottorin sylinteri ja kylmäsäiliö on auton ympäristön ilma.

c) Auton moottorissa vapautunut energia

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + W.$$

Auton moottorin tekee lämpökoneena työn

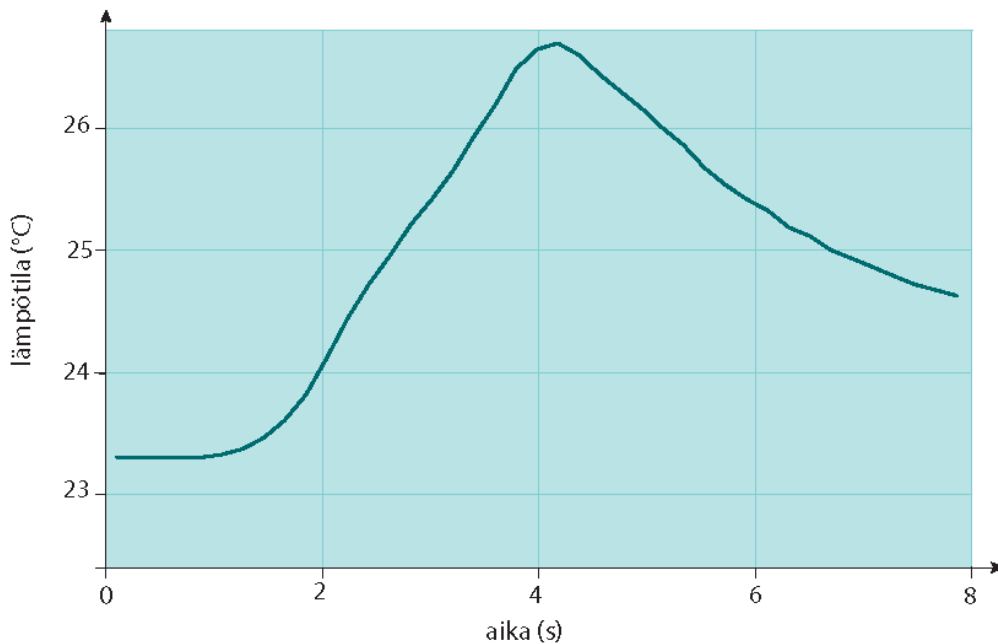
$$W = Q_1 - Q_2 - Q_3 = 180 \text{ MJ} - 76 \text{ MJ} - 62 \text{ MJ} = 42 \text{ MJ}.$$

d) Auton moottorin hyötysuhde

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{42 \text{ MJ}}{180 \text{ MJ}} = 0,2333 \approx 23 \%$$

Tehtävä 13.14.

a) 11GK_piiros_ratkaisut_41



- b) Kuvaajan perusteella ruiskun sisällä olevan ilman lämpötila kasvoi. Kun ruiskun sisällä olevaa ilmaa puristetaan kokoon, mäntä tekee kaasuun työtä, sillä kaasun tilavuus pienenee. Männän tekemä työ nostaa ruiskussa olevan ilman sisäenergiaa. Siksi ruiskussa olevan ilman lämpötila nousee.
- c) Kun ruiskun tilavuus V pysyy samana, on kaasuun tehty työ W nolla, koska $W = p\Delta V$, ja tilavuus ei muutu. Kaasu alkaa luovuttaa sisäenergiaansa ympäristöönsä. Tällöin kaasun lämpötila laskee. Alussa lämpötila laskee nopeammin kuin lopussa. Kaasu siis luovuttaa sisäenergiaansa aluksi suuremmalla teholla ympäristölle.

Tehtävä 13.15.

- a) Kokeessa lämmitetään kuminauhaa hiustenkuivaajalla. Havaitaan, mitä kauemmin kuminauhaa lämmitetään, sitä pienemmäksi vaa'an lukema muuttuu. Kun kuminauhan lämmittäminen lopetetaan, vaa'an lukema alkaa kasvaa kohti alkutilannetta.
- b) Kuminauhan voiman tekemä työ ilmenee vaa'an lukeman pienentymisenä. Tästä voidaan päätellä, että kuminauha nostaa punnuksia. Kuminauhan aiheuttama voima tekee työtä painovoimaa vastaan.
- c) Kuminauha vastaanottaa energiaa hiustenkuivaajalta, jolloin kuminauhan sisäenergia kasvaa. Kuminauhan voima nostaa punnusta, mikä näkyy vaa'an massan lukeman pienentymisenä. Tällöin kuminauhan voima tekee työtä. Kun lämmitys lopetetaan, vaa'an lukema kasvaa, jolloin kuminauhan energiaa siirtyy ympäristöön ja kuminauha palaa alkuperäiseen tilaan.

d) Lämpövoimakone ottaa energiaa ympäristöstä eli kuumasäiliöstä ja muuntaa osan energiasta työksi. Osa koneen ottamasta energiasta siirtyy konetta viileämpään ympäristöön eli kylmäsäiliöön.

Kuminauha toimii yksikertaisena lämpövoimakoneena. Kuumasäiliönä toimii hiustenkuivaaja, kuminauha on kone ja kylmäsäiliönä on ympärillä oleva ilma. Kuumasäiliöstä siirtyy energiaa kuminauhaan, jolloin kuminauha lämpenee ja sen sisäenergia kasvaa. Kuminauha nostaa punnusta ylöspäin, jolloin se tekee työtä. Kuminauha jäähtyy, kun kuminauhaa ei enää lämmitetä. Tällöin kuminauha siirtää lämpöä ympäristöön.

Tehtävä 13.16.

- a) Prosessissa A ilman tilanmuutos on isobaarinen, sillä paine ei muutu. Prosessi B on isokoorinen, sillä ilman tilavuus ei muutu.
- b) Kun ruisku on kädessä, ruiskun sisällä olevan ilman lämpötila nousee, sillä ilma vastaanottaa käden ympäristöön luovuttamaa energiaa ja ilman sisäenergia kasvaa. Lääkeruiskun tilavuutta ei muutettu eli prosessi oli isokoorinen. Kaasujen yleisen tilanyhtälön $\frac{pV}{T} = \text{vakio}$ mukaan kaasun paine kasvaa, jos lämpötila nousee.
- c) Prosessi A kuvaa kaasun puristamista, koska kaasun tilavuus pienenee. Puristuksessa kaasulle tehdään työ $W = p\Delta V$, joka kasvattaa kaasun sisäenergiaa.

Koska kaasun paine pysyy koko puristuksen ajan samana, kaasun lämpötila ei voi muuttua. Niinpä myös kaasun sisäenergian muutoksen $\Delta U = Q + W$ on oltava nolla. Kaasu siis luovuttaa ympäristöön yhtä suuren määrän energiaa kuin siihen on työssä varastoitunut. Jotta kaasu ehtisi luovuttaa sisäenergiaansa ympäristöön eikä lämpötila nousisi, puristusprosessin täytyy olla hyvin hidas.

Tehtävä 13.17.

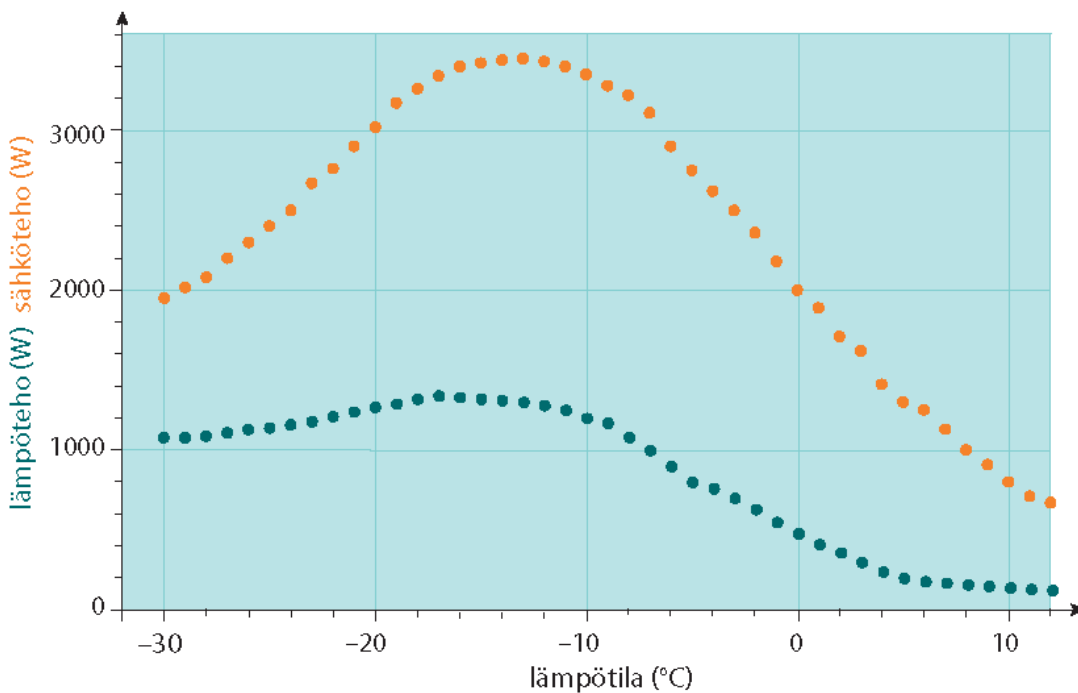
- a) Lämpövoimakone muuntaa osan kuumasäiliöstä ottamastaan energiasta Q_1 mekaaniseksi energiaksi eli työksi W . Loput energiasta, Q_2 , siirtyy kylmäsäiliöön. Lämpövoimakoneen energiakaavio on kaavio 1.
- b) Jääkaappi on lämmönsiirtokone. Lämmönsiirtokone ottaa kylmäsäiliöstä energian Q_2 ja siirtää energian Q_1 kuumasäiliöön mekaanisen energian eli työn W avulla. Jääkaapin energiakaavio on kaavio 3.
- c) Kaaviossa 4 kaikki kuumasäiliöstä otettu energia Q_1 muuttuu mekaaniseksi energiaksi eli työksi W . Tämä on mahdotonta, sillä osa energiasta menee aina hukkaan. Lämpökoneen hyötysuhde ei voi koskaan olla 100 %.

Tehtävä 13.18.

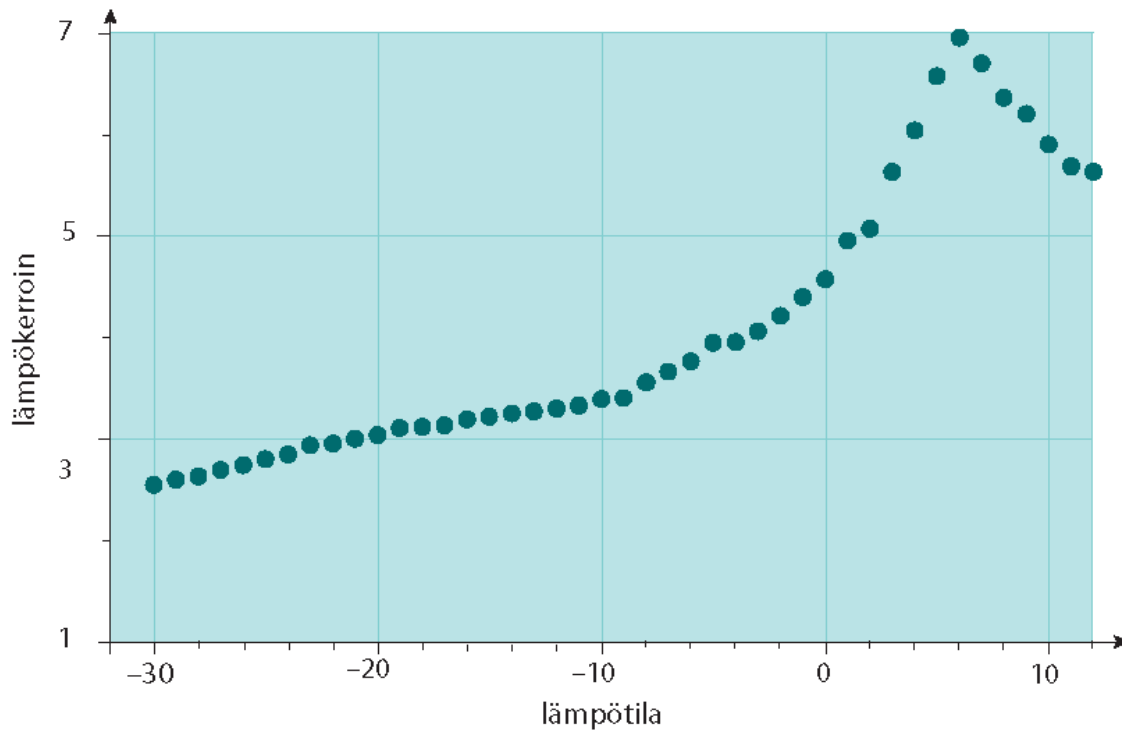
- a) Kylmäaine höyrystyy ja tiivistyy kierron eri vaiheissa.
- b) Kylmäaineen höyrystyminen sitoo energiaa jääkaapin sisältä ja nesteeksi tiivistyminen vapauttaa energiaa jääkaapin ulkopuolelle. Kylmäaineen olomuodon muutoksissa energiaa sitoutuu ja vapautuu enemmän kuin pelkillä lämpötilan muutoksilla.
- c) Olomuodon muutokset aiheutuvat erilaisesta paineesta jääkaapin kylmäaineputkiston eri osissa.
- d) Jääkaapin sisällä kylmäaineen pitää olla kylmempää kuin ympäristö, jotta energiaa siirtyisi kylmäaineeseen. Vastaavasti jääkaapin ulkopuolella kylmäaineen lämpötilan pitää olla ympäristön lämpötilaa korkeampi, jotta energiaa siirtyisi kylmäaineesta ympäristöön ja kylmäaine jäähtyisi.

Tehtävä 13.19.

- a) Ilmalämpöpumpun ulko- ja sisäyksikön puhallinmoottorit ja ulkoyksikön kompressori tarvitsevat sähköverkosta energiaa.
- b) Ilmalämpöpumpun ulkoyksikössä kiertää ulkoilmaa viileämpi kylmäaine, joka vastaanottaa energiaa ulkoilman sisäenergiasta. Ulkoilma luovuttaa sisäenergiaansa kylmäaineelle, jolloin ulkoilman lämpötila laskee ilmalämpöpumpun ulkoyksikön läheisyydessä.
- c)



d) Lasketaan ilmalämpöpumpun
lämpökerroin = lämpöteho / sähköteho ja esitetään
suhde lämpötilan funktiona



Kuvaajasta määritettynä suurin lämpökerroin on 6,0 °C
lämpötilassa.

e) Ulkoyksikön pintaan muodostunut jää toimii eristeenä, jolloin kylmäaine ei pysty vastaanottamaan ulkoilman sisäenergiaa enää yhtä tehokkaasti. Tällöin ilmalämpöpumpun lämpökerroin heikkenee ja ilmalämpöpumppu tarvitsee enemmän energiaa sähköverkosta. Lisäksi muodostunut jää saattaa aiheuttaa kosteusongelmia talon rakenteille sekä aiheuttaa epätasapainoa ilmalämpöpumpun ulkoyksikölle, jolloin ulkoyksikön tuulettimen pyöriessä tuulettimen laakerit saattavat rikkoontua. Ulkoyksikköön muodostuvaa jäätä ei saa poistaa mekaanisesti esimerkiksi hakkaamalla, jotta laitteen höyrystinkennosto ei vaurioidu.

Tehtävä 13.20.

a) Kuumasäiliönä voidaan pitää koko ihmiskehoa (1 p) tai tarkemmin niitä soluja, joissa aineenvaihdunta tuottaa energiaa ravinnosta. Kuumasäiliön energianlähde on siis ravinnosta saatava energia. (1 p). Kylmäsäiliö on ihmiskehon ulkopuolella oleva ympäristö. (1 p)

b) Kehon hyötysuhde $\eta = 0,23$

Kehon tekemä työ $W = 120 \text{ J}$.

Kehon hyötysuhteesta saadaan ihmiskehon tarvitsema energia

$$\eta = \frac{W}{E_{\text{otto}}}$$

$$E_{\text{otto}} = \frac{W}{\eta} = \frac{120 \text{ J}}{0,23} = 521,793 \text{ J} \approx 520 \text{ J}.$$

(hyötysuhteen kaava 1 p, yhtälö energialle 1 p, ratkaisu 1 p)

c) Ihmiskehon tuottaman hukkaenergian vuoksi elimistön lämpötila voisi nousta. Koska yli 41 °C:n lämpötila voi olla ihmiselle kohtalokas, keho pyrkii säätelemään lämpötilaansa poistamalla kehon tuottamaa hukkaenergiaa.

Kehosta siirtyy energiaa pois säteilemällä, johtumalla ja kuljettumalla. Myös hikoiluun liittyvä haihtuminen poistaa energiaa kehosta. Vaatetus vaikuttaa oleellisesti siirtyneen energian määrään.

- Ihmiskeho voi säteillä energiaa ympäristöönsä, kun ympäristön lämpötila on kehon lämpötilaa matalampi.
- Energiaa siirtyy ympäristöön myös johtumalla. Paksu vaatekerros voi kuitenkin haitata tätä siirtymistapaa.
- Kuljettumisessa energiaa siirtyy esimerkiksi virtaavan veren mukana kehon sisäosista iholle.
- Edellisten lisäksi hukkaenergiaa poistetaan hikoilun avulla. Kun ihon pinnalla oleva hiki haihtuu, haihtumiseen tarvittavaa energiaa siirtyy kehosta hikipisaroihin.
- Uloshengityksessä energiaa kulkeutuu kehosta pois. Sisäänhengityksessä yleensä kehon lämpötilaa viileämpää ilmaa virtaa sisään ja uloshengityksessä poistuva ilma on kehon lämpöistä. Ilma lämpenee keuhkoissa ja lämmin ilma kulkeutuu ulos kehosta.

(hukkaenergia pyrkii nostamaan kehon lämpötilaa 1 p., ja kuvailtu kolme keinoa, joilla elimistö pyrkii laskemaan lämpötilaansa, 1 p./keino)

d) Kävely aika $t = 35 \text{ min} = 35 \cdot 60 \text{ s} = 2100 \text{ s}$

Kävelyteho $P = 280 \text{ W}$.

Energiaa ravinnosta $Q_r = 2,29 \text{ MJ}$

Energiaa ympäristöön $Q_y = 1,92 \text{ MJ}$

Kävelyyn tarvittava energia

$$E_k = Pt = 280 \text{ W} \cdot 2100 \text{ s} = 588\,000 \text{ J. (1)}$$

Ihmiskehon sisäenergian muutos

$$\Delta U = +Q_r - Q_y - W$$

$$= +Q_r - Q_y - Pt$$

$$= 2,29 \cdot 10^6 \text{ J} - 1,92 \cdot 10^6 \text{ J} - 280 \text{ W} \cdot 2100 \text{ s}$$

$$= -218\,000 \text{ J}$$

$$\approx -220 \text{ kJ. (2 p)}$$

Negatiivinen sisäenergian muutos tarkoittaa sitä, että keho luovutti ympäristöönsä enemmän energiaa, kuin mitä se vastaanotti (1 p). Tällöin kehon lämpötila laskee. (1 p) Näin voi tapahtua, jos lenkkeilee sairaana.