



## Valsts izglītības satura centrs

Valņu iela 2, Rīga, LV-1050, tālr. 67216500, fakss 67223801, e-pasts: [vis@visc.gov.lv](mailto:vis@visc.gov.lv), [www.visc.gov.lv](http://www.visc.gov.lv)

### Fizikas Valsts 74. olimpiāde Otrā posma uzdevumi 11. klasei

#### 11-1 Mājas apsildīšana

Sapņotāju ģimene ir nolēmusi sākt savas mājas būvniecību, un ir pienācis laiks izvēlēties veidu, kā māja tiks apsildīta. Ir pieejami dažādi varianti – gāzes, elektrības, malkas apkure vai siltumsūkņi. Siltumsūkņim piemīt liela priekšrocība – vasarā to var izmantot arī kā kondicionieri mājas dzesēšanai.

Caur siltumu vadoša materiāla slāni, kura pretējo virsmu temperatūru starpība ir  $\Delta T$ , aizvadīto siltumu aprēķina pēc formulas

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{l} S t,$$

kur  $\lambda$  ir materiāla siltumvadīšanas koeficients,  $l$  ir materiāla biezums (siltuma vadīšanas virzienā),  $S$  ir materiāla šķēsgriezuma laukums (perpendikulāri vadīšanas virzienam), un  $t$  ir siltuma aizvadīšanai patērētais laiks.

- A. Salīdzināsim dažādus apkures veidus mājai. Zināms, ka ūdens blīvums ir  $997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , īpatnējā siltumietilpība ir  $4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ , sausas malkas īpatnējais sadegšanas siltums ir  $1 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$  un dabasgāzes īpatnējais sadegšanas siltums ir  $4.4 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ . Ģimene vēlas, lai gaisa temperatūra mājā būtu  $20^\circ\text{C}$ .

- (A.1) (1 punkts) Kad āra temperatūra ir  $0^\circ\text{C}$ , siltuma patēriņš ir  $P_1 = 0.75 \text{ kW}$ . Aprēķini siltuma patēriņu (kW), kad ārā ir  $-20^\circ\text{C}$ .

#### Atrisinājums:

Siltuma vadīšanas jauda caur materiālu, kura galu temperatūras ir  $T_1$  un  $T_2$  ir

$$P = \kappa(T_1 - T_2),$$

jo jauda raksturo, cik daudz siltuma tiek aizvadīts noteiktā laikā. Izmantojot uzdevuma ievadā doto izteiksmi un ņemot vērā, ka siltumvadošā materiāla biezums, šķēsgriezuma laukums un materiāla siltumvadīšanas koeficients nemainās, iegūstam:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda \cdot S}{l} \Delta T = \kappa \Delta T$$

Tātad neatkarīgi no mājas sienu materiāla vai formas siltuma zudums būs proporcionāls temperatūras starpībai starp iekšu un āru. Pie  $T_{\text{āra}} = -20^\circ\text{C}$  starpība līdz istabas temperatūrai  $20^\circ\text{C}$  ir divreiz lielāka, nekā pie  $T_{\text{āra}} = 0^\circ\text{C}$ , tāpēc

$$P_2 = 2 \cdot P_1 = 1.5 \text{ kW}$$

- (A.2) (1 punkts) Cik kilogramu sausas malkas būtu jāsadedzina stundā (kg/h), lai uzturētu mājā siltumu, kad ārā ir  $0^{\circ}\text{C}$ ? Pieņem, ka malkas dedzināšana ir vienīgais siltuma avots.

**Atrisinājums:**

Nepieciešamā jauda ir

$$P_1 = 750 \text{ J/s} = 2.7 \cdot 10^6 \text{ J/h}$$

Tātad nepieciešamais malkas daudzums ir

$$\frac{0.27 \times 10^7}{1 \times 10^7} = 0.27 \text{ kg/h}$$

- (A.3) (1 punkts) Cik kubikmetru dabasgāzes (istabas temperatūrā un atmosfēras spiedienā -  $10^5 \text{ Pa}$ ) jāsadedzina stundā ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), lai uzturētu mājā siltumu, kad ārā ir  $0^{\circ}\text{C}$ ? Pieņem, ka dabasgāzes dedzināšana ir vienīgais siltuma avots. Dabasgāzes vidējā molmasa ir  $\mu = 19 \text{ g/mol}$  un gāzu konstante ir  $R = 8.31 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

**Atrisinājums:**

Nepieciešamā jauda

$$P_1 = 7.5 \cdot 10^2 \text{ J/s} = 2.7 \cdot 10^6 \text{ J/h}$$

Tātad jāsadedzina

$$\frac{0.27 \times 10^7}{4.4 \times 10^7} = 61.4 \text{ g/h}$$

Lai iegūtu tilpumu, jāaprēķina dabasgāzes blīvums

$$\rho = \frac{\mu n}{V}$$

No ideālās gāzes likuma  $pV = nRT$  iegūstam

$$\rho = \frac{\mu p}{RT} = \frac{19 \cdot 10^5}{8.31 \cdot 293} = 780 \text{ g/m}^3$$

Tātad jāsadedzina

$$\frac{61.4}{780} = 0.0787 \text{ m}^3/\text{h}$$

- (A.4) (1 punkts) Cik lielai jābūt elektriskā sildelementa pretestībai ( $\Omega$ ), lai tas uzturētu mājā siltumu, kad ārā ir  $0^{\circ}\text{C}$ , ja tam pielikts līdzstrāvas spriegums  $U = 220 \text{ V}$ ? Pieņem, ka elektriskais sildelements ir vienīgais siltuma avots, kas attīsta nepieciešamo jaudu siltuma uzturēšanai mājā.

**Atrisinājums:**

Nepieciešamā jauda ir

$$P_1 = 750 \text{ W}$$

Elektrisko jaudu izsaka

$$P_{\text{el}} = IU = U^2/R$$

Tātad nepieciešamā pretestība ir

$$R = \frac{U^2}{P_1} = \frac{220^2}{750} = 64.5 \Omega$$

B. Mājā ir 5 istabas un katrā ir elektriskais sildelements (rezistors). Šie sildelementi ir saslēgti vienā elektriskajā ķēdē, kuras kopējai pretestībai jābūt  $1 \Omega$  (vērtība var atšķirties no iepriekš aprēķinātās).

(B.1) (1 punkts) Aprēķini, cik liela ir nepieciešamā sildelementa pretestība ( $\Omega$ ), ja tie vidi ir vienādi un saslēgti

- i. (0.5 punkti) virknē
- ii. (0.5 punkti) paralēli

### Atrisinājums:

Ja viena rezistora pretestība ir  $r$ , tad piecu

- i. virknē saslēgtu rezistoru pretestība ir  $R = r + r + r + r + r = 5r$ . Tātad nepieciešams  $r = 0.2 \Omega$ .
- ii. paralēli saslēgtu rezistoru pretestību aprēķina pēc  $\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{5}{r}$ . Tātad nepieciešams  $r = 5 \Omega$ .

(B.2) (1 punkts) Vienai no piecām istabām – viesistabai – ir nepieciešams divreiz vairāk siltuma nekā jebkurai no pārējām istabām. Cik lielai ir jābūt viesistabas sildelementa pretestībai ( $\Omega$ ), ja visi sildelementi ir saslēgti paralēli?

### Atrisinājums:

Istabā izdalītais siltums ir apgriezti proporcionāls sildelementa pretestībai.

$P = \frac{U^2}{R}$ , kur  $U$  ir ķēdei pieliktais spriegums. Tātad

$$r_{\text{viesistaba}} = \frac{1}{2} r_{\text{citas istabas}}$$

Lai kopējā pretestība būtu  $R = 1 \Omega$ :

$$\frac{1}{R} = \frac{4}{r_{\text{citas istabas}}} + \frac{1}{r_{\text{viesistaba}}} = \frac{3}{r_{\text{viesistaba}}}$$

$$r_{\text{viesistaba}} = 3 \Omega$$

C. Siltumsūkņi izmanto elektroenerģiju, lai "sūknētu siltumu" no āra gaisa (ar temperatūru  $T_c$ ) uz iekštelpu gaisu (ar temperatūru  $T_h$ ). Ideālam siltumsūknim attiecība starp patērēto elektroenerģiju un iekštelpām pievadīto siltumu ir  $\frac{T_h - T_c}{T_h}$

- (C.1) (1 punkts) Cik reižu vairāk elektroenerģijas siltumsūknis patērēs, kad ārā ir  $-20^{\circ}\text{C}$ , salīdzinot ar to, kad ārā ir  $0^{\circ}\text{C}$ ? Pieņem, ka siltumsūknis ir mājas vienīgais siltuma avots.

**Atrisinājums:**

Samazinoties āra temperatūrai no  $0^{\circ}\text{C}$  līdz  $-20^{\circ}\text{C}$ , temperatūras starpība starp iekšu un āru palielinās 2 reizes. Tātad, ja siltuma zudums bija  $P_1$  pie  $0^{\circ}\text{C}$ , tad tas būs  $P_2 = 2P_1$  pie  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Ņemot vērā siltumsūkņa efektivitāti, nepieciešamā elektroenerģija pie  $0^{\circ}\text{C}$  ir

$$P_{\text{sūkņa}1} = \frac{20}{T_{\text{istaba}}} P_1$$

Nepieciešamā elektroenerģija pie  $-20^{\circ}\text{C}$  ir

$$P_{\text{sūkņa}2} = \frac{40}{T_{\text{istaba}}} P_2 = 4P_{\text{sūkņa}1}$$

Tātad pie  $-20^{\circ}\text{C}$  tas patērēs 4 reizes vairāk enerģijas nekā pie  $0^{\circ}\text{C}$ .

- D. Ja apkurina ar malku, tad dažkārt malka nebūs pilnībā sausa. Pieņem, ka 100 kg slapjas malkas pēc izžāvēšanas sver 55 kg. Sausas malkas īpatnējais sadegšanas siltums ir  $q_{\text{sausai}} = 1 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$
- (D.1) (1 punkts) Aprēķini slapjas malkas īpatnējo sadegšanas siltumu ( $\text{J/kg}$ ), ja ūdens iztvaikošanas siltums ir  $2.26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ .

**Atrisinājums:**

Uzskatām, ka slapjas malkas daļa  $\alpha = 0.55$  no svara ir degviela, kas ražo tikpat daudz siltumu, cik sausa malka:

$\alpha \cdot 10^7 = 5.5 \cdot 10^6 \text{ J}$  uz katru slapjas malkas kilogramu.

Ūdens degšanas laikā tiek uzsildīts un iztvaiko. Iztvaicēšana atņem

$(1 - \alpha) \cdot 2.26 \cdot 10^6 = 1.0 \cdot 10^6 \text{ J}$  uz katru slapjas malkas kilogramu.

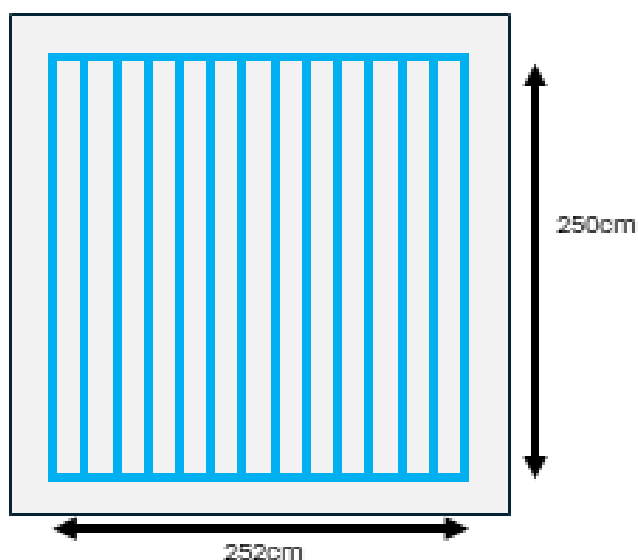
Ūdens uzsildīšanai nepieciešamais siltums nav jāņem vērā, jo siltie tvaiki palīdz sildīt istabu.

Tātad slapjas malkas īpatnējais sadegšanas siltums ir

$$q_{\text{slapjai}} = 5.5 \cdot 10^6 - 1.0 \cdot 10^6 = 4.5 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

jeb 45% no sausas malkas īpatnējā sadegšanas siltuma.

- E. Kādā istabā apsildīšanai ierīkota apsildāmā grīda. Tās galvenā komponente ir ūdens caurules, kas pievada silto ūdeni telpas apsildīšanai un to izkārtojums ir dots attēlā. Cauruļu diametrs ir 1cm, attālums starp paralēlajām caurulēm ir 20cm, tātad caurules paralēli var izvietot 14 rindās. Grīdas platība ir  $2.50 \times 2.52 \text{ m}$ .



Istaba nav sildīta un ir atdzisusi līdz  $0^{\circ}\text{C}$ . Sapņotāji vēlas to uzsildīt līdz  $20^{\circ}\text{C}$ .

- (E.1) (1 punkts) Cik liels siltuma daudzums ir nepieciešams (kJ), lai uzsildītu grīdas caurulēs esošo ūdeni līdz  $20^{\circ}\text{C}$ ?

**Atrisinājums:**

Cauruļu kopgarums ir  $L = 14 \cdot 2.5 + 2 \cdot 2.52 = 40.04\text{m}$ . Caurulēs esošā ūdens tilpums ir

$$V_{\text{ūdens caurulēs}} = L \cdot \pi (d/2)^2 = 40.04 \cdot \pi \cdot 0.005^2 = 0.00315\text{m}^3 \quad (1)$$

Ūdens masa:

$$m = \rho V = 997 \cdot 0.00315 = 3.14\text{ kg} \quad (2)$$

Ūdens uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu  $Q$  aprēķina pēc formulas:

$$Q = cm(T_2 - T_1) = 4190 \cdot 3.14 \cdot (20 - 0) = 263\text{ kJ} \quad (3)$$

- (E.2) (1 punkts) Kad trubiņas ir uzsildītas, tās silda 4cm biezu priedes koka grīdu. Pieņemiet, ka sildīšana ir homogēna pa visu grīdu. Aprēķiniet priedes koka siltumvadīšanas koeficientu  $\lambda$  ( $\frac{\text{J}}{\text{s}\cdot\text{K}\cdot\text{m}}$ ), ja istaba tika sasildīta 1 stundas laikā. Istabas uzsildīšanai nepieciešamais siltuma daudzums ir 7.86 MJ un sildīšanas laikā ūdens temperatūra trubiņās ir  $10^{\circ}\text{C}$  augstāka par istabas gaisa temperatūru.

**Atrisinājums:**

Aizvadīto siltumu aprēķina, izmantojot materiāla siltumvadītspējas koeficientu  $\lambda$ , temperatūras starpību  $\Delta T$ , laiku  $\Delta t$ , šķēsgriezuma laukumu  $S$  un materiāla biezumu  $\Delta l$ :

$$Q = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta l} \cdot S \cdot \Delta t \quad (4)$$

Pārveidojot formulu iegūstam:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \Delta l}{S \cdot \Delta T \cdot \Delta t} \quad (5)$$

Šķērsgriezuma laukumu aprēķina no sākumā dotajiem istabas izmēriem:

$$S = 2.50 \cdot 2.52 = 6.30 \text{ m}^2 \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{7.86 \cdot 10^6 \cdot 0.04}{6.30 \cdot 10 \cdot 3600} = 1.39 \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{K} \cdot \text{m}} \quad (7)$$