



## 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

Sapnotāju 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 siltumsūknis. Siltumsūknim 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

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

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

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

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

#### 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, šķērsgriezuma 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  $T_{\text{āra}} = -20^\circ C$  starpība līdz istabas temperatūrai  $20^\circ C$  ir divreiz lielāka, nekā pie  $T_{\text{āra}} = 0^\circ C$ , 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 sildelementi (rezistors). Šie sildelementi ir saslēgti vienā elektriskajā ķēdē, kurās 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. Siltumsūknis izmanto elektroenerģiju, lai ”sūknētu siltumu” no āra gaisa (ar temperatūru  $T_c$ ) uz iekštelpu gaisu (ar temepratūru  $T_h$ ). Ideālam siltumsūknim attiecība starp patērieto 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  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Nemot vērā siltumsūknja 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 energijas nekā pie  $0^{\circ}\text{C}$ .

- D. Ja apkurina ar malku, tad dažkārt malka nebūs pilnībā sausa. Pieņem, ka  $100 \text{ kg}$  slapjas malkas pēc izžāvēšanas sver  $55 \text{ kg}$ . 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:

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

$$\bar{\text{U}}\text{dens degšanas laikā tiek uzsildīts un iztvaiko. Iztvaicēšana atņem } (1 - \alpha) \cdot 2.26 \cdot 10^6 = 1.0 \cdot 10^6 \text{ J uz katru slapjas malkas kilogramu.}$$

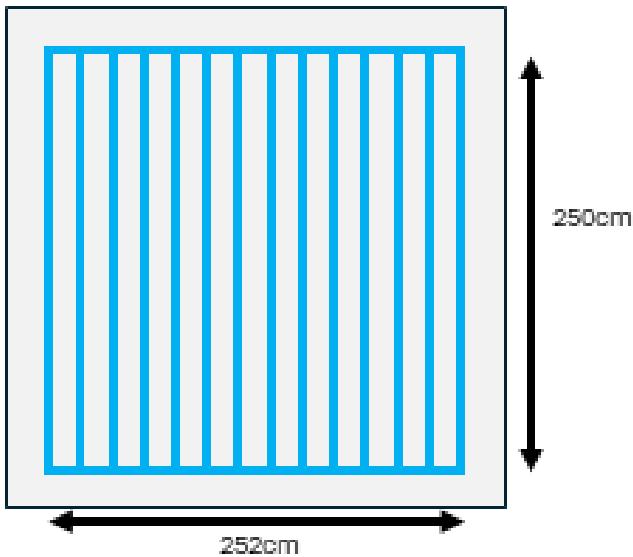
Ūdens uzsildīšanai nepieciešamais siltums nav jāņem vērā, jo siltie tvaiki palīdz sildīt istabu.

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  $1\text{cm}$ , attālums starp paralelajām caurulēm ir  $20\text{cm}$ , 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°C. Sapņotāji vēlas to uzsildīt līdz 20°C.

- (E.1) (1 punkts) Cik liels siltuma daudzums ir nepieciešams (kJ), lai uzsildītu grīdas caurulēs esošo ūdeni līdz 20°C?

**Atrisinājums:**

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

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

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 biezū 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°C augstāka par istabas gaisa temperatūru.

**Atrisinājums:**

Aizvadīto siltumu aprēķina, izmantojot materiāla siltumvadītspējas koeficientu  $\lambda$ , temperatūras starpību  $\Delta T$ , laiku  $\Delta t$ , šķērsgriezuma 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:

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

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