

Izoliacijos teorija

Techninė izoliacija

Techninis vadovas – formulės, lentelės ir skaičiavimų pavyzdžiai





Izoliacijos teorija - techninė izoliacija

Techninės izoliacijos sąvoka apibūdinamų izoliacinių medžiagų paskirtis yra apriboti šilumos nutekėjimą nepageidaujama kryptimi. Šiai sričiai priklauso objektai, kurių paviršiaus temperatūra yra nuo 0 iki 700°C. Šis didelis temperatūrų diapazonas reiškia, kad įvairių techninės izoliacijos gaminių šiluminis laidumas kinta plačiose ribose, tai savo ruožtu reiškia, kad tinkamo gaminio parinkimas yra ypač svarbi užduotis. Izoliacijos teorija aiškina ir analizuoja pagrindines termodinamikos šakas, su kuriomis mums būtina susipažinti tam, kad galėtume atlikti skaičiavimus, reikalingus kasdieniame darbe.

Izoliacijos teorija papildo kitose brošiūrose teikiamą informaciją ir padeda tuomet, kai būtina parinkti tinkamą gaminį ir teisingai suskaičiuoti reikalingą izoliacijos storį.

Turinys

Izoliacijos teorija - techninė izoliacija	1
Sąvokos, su kuriomis būtina susipažinti ir jas prisiminti.....	2
Kaip yra parenkama tinkama izoliacinė medžiaga	3
Izoliacijos storio nustatymas	4
Izoliacijos paviršiaus temperatūros skaičiavimas	7
Apsauga nuo vandens garų kondensacijos.....	10
Ekonomiškai naudingiausio izoliacijos storio nustatymas	12
Vamzdynų izoliacijos storio nustatymas, esant norminiams šilumos nuostoliams	14
Izoliacija nuo temperatūros kritimo	16
Priedai	18

Sąvokos, su kuriomis būtina susipažinti ir jas prisiminti

Norint tinkamai atlikti techninės izoliacijos skaičiavimus, būtina susipažinti su tam tikromis techninės izoliacijos sąvokomis. Toliau pateikiamos esminės sąvokos, kurios bus naudojamos skaičiavimo metodikoms.

Šilumos laidumas

Šilumos laidumas – tai medžiagos savybė praleisti šilumą, t. y. termoizoliacinė medžiagos savybė. Šią savybę apibūdina šilumos laidumo koeficientas λ . Kuo mažesnė λ vertė, tuo geresnėmis izoliacinėmis savybėmis pasižymi medžiaga. λ vertė yra išreiškiama $W/(m \cdot K)$.

Šiluminė varža

Šiluminė varža – tai tam tikro (apibrėžto) storio gaminio gebėjimas priešintis šilumos prasiskverbimui. Šiluminė varža priklauso nuo medžiagos šilumos laidumo koeficiento (λ), izoliacinio sluoksnio storio (d) ir skaičiuojama pagal formulę:

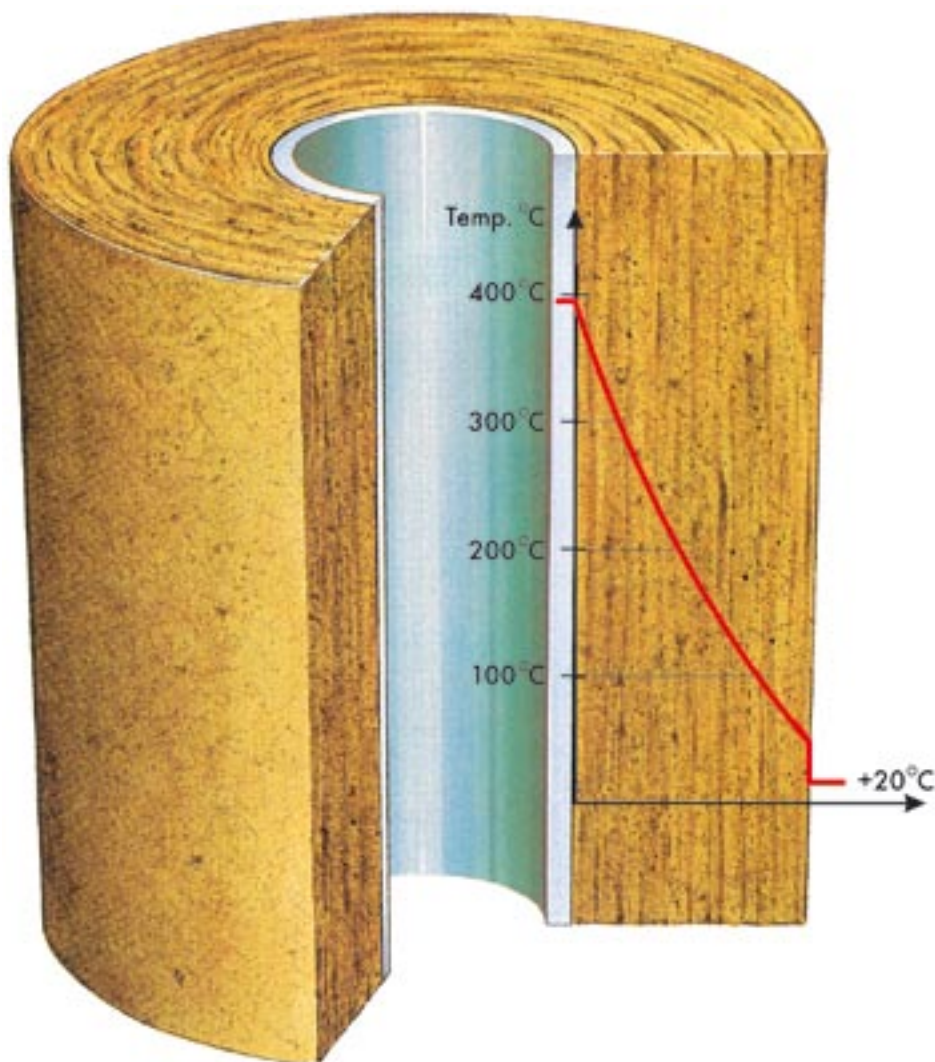
$$R = \frac{d}{\lambda}.$$

Kuo didesnė šiluminė varža, tuo geresnės yra medžiagos izoliacinės savybės. Šilumos varža R yra išreiškiama $m^2 \cdot K/W$.

Paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas

Paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas yra šilumos mainų tarp paviršiaus ir supančios aplinkos matas. Jis priklauso nuo medžiagos paviršiaus struktūros, paviršiaus temperatūros bei supančios aplinkos temperatūros ir oro judėjimo prie medžiagos paviršiaus greičio.

Paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas yra išreiškiamas $W/(m^2 \cdot K)$.



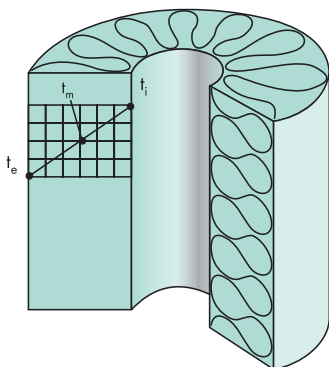
Kaip yra parenkama tinkama izoliacinė medžiaga

Kaip jau minėta, pagrindinė izoliacijos paskirtis yra sukurti pasipriešinimą šilumos tekėjimui konstrukcijoje. Tam, kad kuo geriau būtų tenkinami šie reikalavimai, būtina turėti duomenų apie gaminių, kurių ketiname naudoti, fizikines savybes. Todėl prieš atliekant reikiamus skaičiavimus būtina pasirinkti tinkamą izoliacinį gaminį.

Jūsų pasirinkimas priklausys nuo dviejų veiksnių. Pirmia, tai konstrukcijos, kurią ketinama izoliuoti, forma. Antra, izoliuojamo objekto paviršiaus temperatūra.

Vadovaujantis turima informacija apie produktus galima pasirinkti veiksmingiausias ir tinkamiausias gaminius. Tuo pat metu būtina patikrinti, ar izoliuojamo objekto temperatūra ne didesnė už maksimalią izoliacinės medžiagos naudojimo temperatūrą.

Ypatingai svarbu pasirenkant tinkamą gaminį įvertinti jo šilumos laidumą priklausomai nuo jo vidutinės temperatūros. Šilumos laidumas yra nurodomas vidutinei izoliacijos temperatūrai ir gali gana ženkliai pasikeisti priklausomai nuo gaminių tipo, pirmiausiai, aukštesiose temperatūrose. Vidutinė temperatūra yra apskaičiuojama naudojant vidurio temperatūrą (arba temperatūrą izoliacinės medžiagos viduryje (centre)) ir izoliacijos paviršiaus temperatūrą pagal lygtį (1):



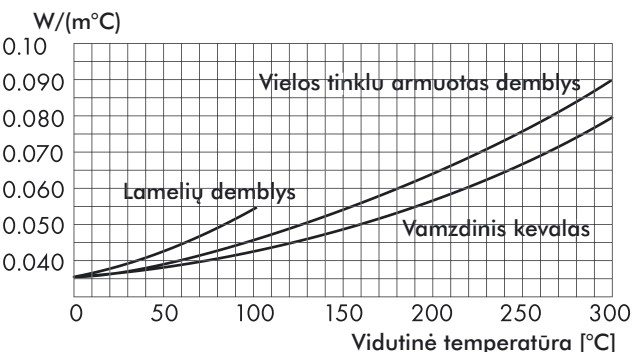
$$t_m = (t_i + t_e) / 2 \dots\dots\dots (1)$$

čia:

- t_m - vidutinė temperatūra °C;
- t_i - izoliacinės medžiagos vidinio paviršiaus temperatūra °C;
- t_e - izoliacijos išorinio paviršiaus temperatūra °C.

Jeigu yra žinoma vidutinė temperatūra, galima nustatyti gaminių šilumos laidumo koeficientą. Tai galima padaryti naudojantis žemiau pateikta diagrama arba vadovaujantis lankstinukuose esančiais duomenimis.

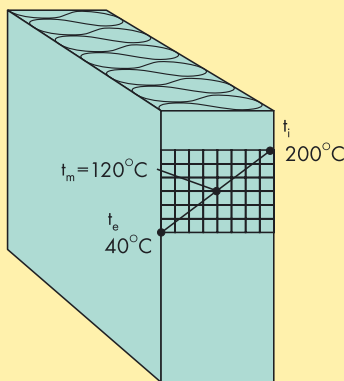
1 diagrama. Teorinis akmens vatos šilumos laidumo koeficientas



1 PAVYZDYS

Užduotis:

200°C temperatūros plokščių paviršių reikia izoliuoti naudojant plokštę PAROC PLL. Aplinkos oro temperatūra yra 20°C. Reikia nustatyti izoliacinės medžiagos šilumos laidumo koeficientą.



Sprendimas:

Priimame, kad išorinio izoliacinės medžiagos paviršiaus temperatūra yra 20°C aukštesnė už aplinkos oro temperatūrą. Žinomas reikšmes įrašome į lygtį (1)

$$t_m = (200 + 40) : 2 = 120^\circ\text{C}$$

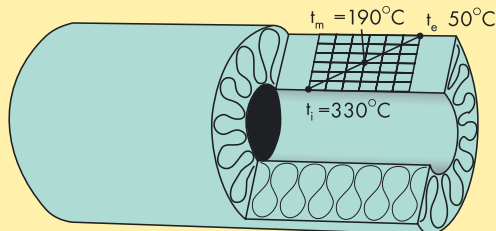
Iš 11 lentelės parenkame:

$$\lambda_{120} = 0,049 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

2 PAVYZDYS

Užduotis:

Būtina izoliuoti vamzdį naudojant vamzdinį kevalą E. Temperatūra izoliacinės medžiagos viduje (izoliuojamo paviršiaus temperatūra) yra 330°C, o oro temperatūra yra 20°C. Reikia nustatyti izoliacinės medžiagos šilumos laidumo koeficientą.



Sprendimas:

Priimame, kad išorinio izoliacinės medžiagos paviršiaus temperatūra yra 30°C aukštesnė už aplinkos oro temperatūrą. Žinomas reikšmes įrašome į lygtį (1)

$$t_m = (330 + 50) : 2 = 190^\circ\text{C}$$

Pagal 1 diagramą nustatome:

$$\lambda_{190} = 0,055 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

Pastaba: Priimtą izoliacijos paviršiaus temperatūrą patikriname kitame skyriuje pateikiamų skaičiavimų pagalba. Jeigu skirtumas tarp priimtos temperatūros vertės ir vėliau apskaičiuotosios pasirodys pernelyg didelis, reikėtų pradėti iš naujo ir pakoreguoti skaičiavimus.

Izoliacijos storio nustatymas

Izoliacijos storiui apskaičiuoti naudojamo metodo pasirinkimas priklauso nuo izoliacijos paskirties, kuri gali būti:

- apriboti šilumos nuostolius;
- užtikrinti apibrėžtą paviršiaus temperatūrą;
- užkirsti kelią vandens garų kondensacijai;
- apriboti temperatūros kritimą;
- būti ekonomiška.

Žemiau pateikiame izoliacijos storio nustatymo būdą, atsižvelgiant į minėtuosius reikalavimus.

Šilumos nuostolių skaičiavimas

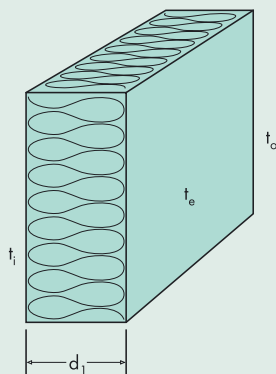
Jeigu du skirtingų temperatūrų paviršiai yra perskirti izoliacine medžiaga, iš šiltesnio paviršiaus šiluma tekės šaltesnio paviršiaus link. Šilumos srauto per tam tikrą laiko vienetą dydis priklauso nuo izoliacinės medžiagos efektyvumo t.y. nuo medžiagos sugebėjimo stabdyti šilumos pralaidumą.

Žemiau pateikiame bendras šilumos nuostolių apskaičiavimo formules.

a. Plokšti ir nedaug išlenkti paviršiai. Vienasluksnė izoliacija

$$Q = \frac{t_i - t_o}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_y}} \dots \dots \dots (2)$$

- Q - šilumos nuostoliai W/m²;
- t_i - izoliacinės medžiagos vidinio paviršiaus temperatūra °C;
- t_{yt} - izoliacinės medžiagos išorinio paviršiaus temperatūra °C;
- t_o - supančio (aplinkos) oro temperatūra °C;
- α_i - šilumos perdavimo tarp izoliacijos vidinio paviršiaus ir izoliuojamojo paviršiaus koeficientas W/(m² · °C);
- d - izoliacijos storis m;
- λ - izoliacinės medžiagos šilumos laidumo koeficientas W/(m · °C);
- α_y - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientas W/(m² · °C).



Pastaba:

Elemento 1/α_i reikšmė yra tokia maža, palyginti su likusiomis reikšmėmis, kad jos galima tiesiog nepaisyti (praleisti). Todėl izoliacijos vidinio paviršiaus temperatūra dažniausiai prilyginama izoliuojamo paviršiaus temperatūrai.

Kai izoliacija naudojama pastatų, kuriuose aplinkos oras nejuda, viduje, reikšmę α_y galima apskaičiuoti pakankamai tiksliai pagal šią formulę:

$$\alpha_y = 9,8 + 0,07 \cdot (t_{yt} - t_o) \dots \dots \dots (3)$$

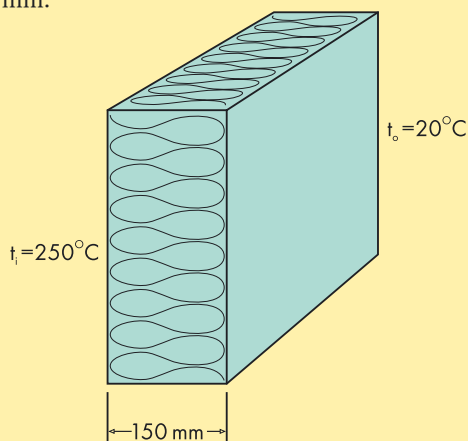
Kai izoliacija naudojama pastatų išorėje, reikšmė α_y labai priklauso nuo oro judėjimo greičio. Tokiais atvejais reikšmę α_y reikia nustatyti pagal 17 lentelę.

PAVYZDYS

Užduotis:

Nustatyti pastato viduje esančio izoliuoto plokščio paviršiaus šilumos nuostolius, esant šioms sąlygoms:

- izoliuojamo paviršiaus (termoizoliacinės medžiagos vidinio paviršiaus) temperatūra: 250°C;
- aplinkos oro temperatūra: 20°C;
- izoliacijos tipas ir storis: PAROC armuotas demblis, 150 mm.



Sprendimas:

Tarkime, kad paviršiaus temperatūra yra 30°C. Pagal (1) formulę skaičiuojame:

$$t_m = (t_i + t_o) : 2 = (250 + 30) : 2 = 140^\circ\text{C}$$

1 diagramoje šiai temperatūrai surandame:

$$\lambda_{140} = 0,053 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$$

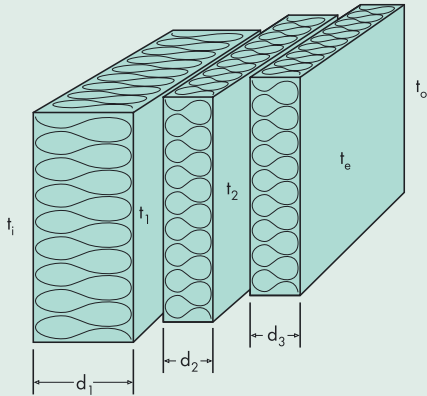
Dabar galime apskaičiuoti:

$$\alpha_y = 9,8 + 0,07 \cdot (t_o - t_o) = 9,8 + 0,07 \cdot (30 - 20) = 10,5$$

Pagal (2) formulę apskaičiuojame:

$$Q = \frac{t_i - t_o}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_y}} = \frac{250 - 20}{\frac{0,15}{0,053} + \frac{1}{10,5}} = 79 \text{ W/m}^2$$

Atsakymas: Šilumos nuostoliai yra 79 W/m²

**b. Plokšti ir nedaug išlenkti paviršiai.
Daugiasluoksnė izoliacija**


$$Q = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_y}} \dots \dots \dots (4)$$

Q - šilumos nuostoliai W/m²;

t_i - izoliacinės medžiagos vidinio paviršiaus temperatūra °C;

t₁, t₂ ir t.t. - atskirų izoliacijos sluoksnių paviršių temperatūros °C;

t_e - izoliacinės medžiagos išorinio paviršiaus temperatūra °C;

t_o - supančio (aplinkos) oro temperatūra °C;

α_i - šilumos perdavimo tarp izoliacijos vidinio paviršiaus ir izoliuojamojo paviršiaus koeficientas W/(m² · °C);

α_y - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientas W/(m² · °C);

d₁, d₂ ir t.t. - atskirų izoliacijos sluoksnių storiai m;

λ₁, λ₂ ir t.t. - atskirų izoliacijos sluoksnių šilumos laidumo koeficientai W/(m · °C).

Pastaba:

Elemento 1/α_i reikšmė yra tokia maža, palyginti su likusiomis reikšmėmis, kad jos galima tiesiog nepaisyti (praleisti). Todėl izoliacijos vidinio paviršiaus temperatūra dažniausiai prilyginama izoliuojamo paviršiaus temperatūrai.

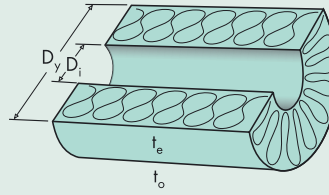
Norint nustatyti kiekvieno izoliacijos sluoksnio šilumos laidumo koeficientą, būtina žinoti vidutinę šio sluoksnio temperatūrą. Vidutinė sluoksnio temperatūra apskaičiuojama pagal (1) formulę, o priimtą temperatūros reikšmę reikėtų patikrinti pagal šias formules:

$$t_i - t_1 = Q \cdot \frac{d_1}{\lambda_1}; t_1 - t_2 = Q \cdot \frac{d_2}{\lambda_2}; t_e - t_o = Q \cdot \frac{1}{\alpha_y};$$

Kai izoliacija naudojama pastatų, kuriuose aplinkos oras nejuda, viduje, α_y reikšmę galima apskaičiuoti pakankamai tiksliai pagal šią formulę:

$$\alpha_y = 9,8 + 0,07 \cdot (t_e - t_o) \dots \dots \dots (3)$$

Kai izoliacija naudojama pastatų išorėje, α_y reikšmė priklauso nuo oro judėjimo greičio. Tokiais atvejais α_y reikšmę reikia nustatyti pagal 17 lentelę.

**c. Vamzdiniai kevalai.
Vienasluoksnė izoliacinė medžiaga**


$$q = \frac{\pi (t_i - t_o)}{\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_y}{D_i} + \frac{1}{\alpha_y D_y}} \dots \dots \dots (5)$$

q - šilumos nuostoliai W/m;

t_i - izoliacinės medžiagos vidinio paviršiaus temperatūra °C;

t_e - izoliacinės medžiagos išorinio paviršiaus temperatūra °C;

t_o - supančio (aplinkos) oro temperatūra °C;

α_i - šilumos perdavimo tarp izoliacijos vidinio paviršiaus ir izoliuojamojo paviršiaus koeficientas W/(m² · °C);

λ - izoliacijos šilumos laidumo koeficientas W/(m · °C);

D_y - išorinis izoliacijos skersmuo m;

D_i - vidinis izoliacijos skersmuo, t.y. išorinis vamzdžio skersmuo m;

α_y - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientas W/(m² · °C).

Pastaba:

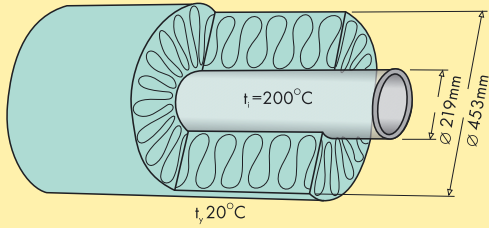
Elemento 1/α_i reikšmė yra tokia maža, palyginti su likusiomis reikšmėmis, kad jos galima tiesiog nepaisyti (praleisti). Todėl izoliacijos vidinio paviršiaus temperatūra prilyginama vamzdžio paviršiaus temperatūrai.

Kai izoliacija naudojama pastatų, kuriuose aplinkos oras nejuda, viduje, α_y reikšmę galima apskaičiuoti pakankamai tiksliai pagal šią formulę:

$$\alpha_y = 9,4 + 0,052 \cdot (t_e - t_o) \dots \dots \dots (6)$$

Kai izoliacija naudojama pastatų išorėje, α_y reikšmė priklauso nuo oro judėjimo greičio. Tokiais atvejais α_y reikšmę reikia nustatyti pagal 17 lentelę.

PAVYZDYS



Užduotis:

Nustatyti pastato viduje esančio izoliuoto vamzdžio šilumos nuostolius, esant šioms sąlygoms:

- vamzdžio skersmuo: 219 mm;
- termoizoliacinės medžiagos vidinio paviršiaus arba vamzdžio paviršiaus temperatūra: 200 °C;
- aplinkos oro temperatūra: 20 °C;
- izoliacijos tipas ir storis: vamzdinis kevalas PAROC E, 120 mm.

Sprendimas:

Tarkime, kad izoliacijos paviršiaus temperatūra yra lygi 30 °C. Pagal (1) formulę skaičiuojame:

$$t_m = (t_i + t_e) : 2 = (200 + 30) : 2 = 115^\circ\text{C}$$

Pagal šią temperatūrą 1 diagramoje surandame:

$$\lambda_{115} = 0,044 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

Dabar pagal (6) formulę galime apskaičiuoti:

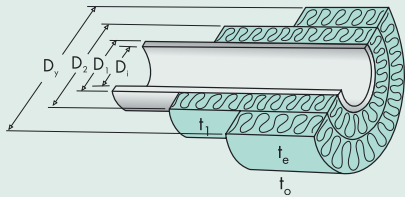
$$\alpha_y = 9,4 + 0,052 \cdot (t_e - t_o) = 9,4 + 0,052 \cdot (30 - 20) = 9,92$$

Pagal (5) formulę apskaičiuojame:

$$q = \frac{\pi(200 - 20)}{\frac{1}{2 \cdot 0,044} \ln \frac{0,453}{0,219} + \frac{1}{9,92 \cdot 0,453}} = 66,7 \text{ W}/\text{m}$$

Atsakymas: Šilumos nuostoliai yra 66,7 W/m.

d. Vamzdynai. Daugiasluoksnė izoliacinė medžiaga



$$q = \frac{\pi(t_i - t_o)}{\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_y}{D_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_y D_y}} \dots\dots\dots (7)$$

- q - šilumos nuostoliai W/m;
- t_i - izoliacinės medžiagos vidinio paviršiaus temperatūra °C;
- t_o - supančio (aplinkos) oro temperatūra °C;
- t_e - izoliacinės medžiagos išorinio paviršiaus temperatūra °C;
- α_i - šilumos perdavimo tarp izoliacijos vidinio paviršiaus ir izoliuojamojo paviršiaus koeficientas W/(m² · °C);
- α_y - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientas W/(m² · °C);
- D_y - išorinis izoliacijos skersmuo m;
- D₁, D₂, ir t.t. - atskirų izoliacijos sluoksnių skersmenys m;
- λ₁, λ₂ ir t.t. - atskirų izoliacijos sluoksnių šilumos laidumo koeficientai W/(m · °C).

Pastaba:

Elemento 1/α_i · D₁ reikšmė yra tokia maža, palyginti su likusiomis reikšmėmis, kad jos galima nepaisyti. Todėl izoliacijos vidinio paviršiaus temperatūra prilyginama vamzdžio paviršiaus temperatūrai.

Norint nustatyti kiekvieno izoliacijos sluoksnio šilumos laidumo koeficientą, būtina žinoti šio sluoksnio vidutinę temperatūrą. Sluoksnio vidutinė temperatūra apskaičiuojama pagal (1) formulę, o priimtą temperatūros reikšmę reikia patikrinti pagal šias formules:

$$t_i - t_1 = \frac{q}{\pi 2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad t_{y1} - t_o = \frac{q}{\pi \lambda_y D_y}$$

Kai izoliacija naudojama pastatų, kuriuose aplinkos oras nejuda, viduje, α_y reikšmę galima apskaičiuoti pakankamai tiksliai pagal šią formulę:

$$\alpha_y = 9,4 + 0,052 \cdot (t_e - t_o) \dots\dots\dots (6)$$

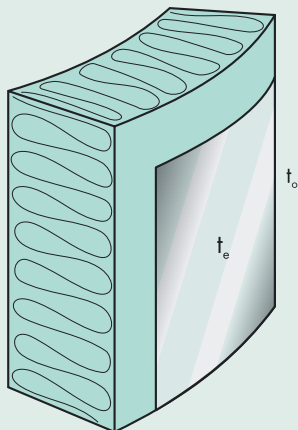
Kai izoliacija naudojama pastatų išorėje, α_y reikšmę priklauso nuo oro judėjimo greičio. Tokiais atvejais reikšmę α_y reikia nustatyti pagal 17 lentelę.

Izoliacijos paviršiaus temperatūros skaičiavimas

Išmatuota izoliacijos paviršiaus temperatūra nesuteikia tiesioginės informacijos apie šilumos nuostolių dydį. Be viso kito, ši temperatūra priklauso nuo izoliacinės medžiagos paviršiaus ir jo struktūros. Todėl dviejų tokio pat storio izoliacinių medžiagų, kurių šilumos nuostoliai yra vienodi, tačiau paviršiaus danga skirtinga, paviršiaus temperatūra taip pat skirsis. Aliuminio skarda padengtos izoliacijos paviršiaus temperatūra bus žymiai aukštesnė nei tokios pat izoliacijos, padengtos, pavyzdžiui, plastmasės danga.

Projektuojant izoliaciją atsižvelgti į jos paviršiaus temperatūrą yra būtina tik tuo atveju, jeigu tai yra esminis reikalavimas. Būtina pažymėti, kad teisingai paviršiaus temperatūrą galima nustatyti, žinant paviršiaus spinduliavimo koeficientą. Jeigu pageidaujama didesnio tikslumo, būtina atlikti skaičiavimus kitame šio vadovo skyriuje nurodytu būdu.

a. Plokšti ir nedaug išlenkti paviršiai



$$t_e = t_o + \frac{Q}{\lambda_y} \dots\dots\dots (8)$$

t_e - izoliacinės medžiagos išorinio paviršiaus temperatūra °C;

t_o - supančio (aplinkos) oro temperatūra °C;

Q - šilumos nuostoliai pagal formules (2) , (4) arba pagal lentelę W/m²;

α_y - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientas W/(m² · °C).

$$\alpha_y = \alpha_s + \alpha_k \dots\dots\dots (9)$$

$$\alpha_s = a \times C \dots\dots\dots (10)$$

$$a = \frac{\left(\frac{T_e}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_o}{100}\right)^4}{t_e - t_o} \dots\dots\dots (11)$$

$$\alpha_k = 2,56 (t_e - t_o)^{0,25}$$

vėjo greitis $v \cong 0$ m/s

$$\alpha_k = 6,2 + 4,2v$$

vėjo greitis $v \leq 5$ m/s

$$\alpha_k = 7,6 + (v)^{0,8}$$

vėjo greitis $v \geq 5$ m/s

$$\dots\dots\dots (12)$$

α_s - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficiento dėl spinduliavimo dalis W/(m² · °C);

α_k - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficiento dėl konvekcijos dalis W/(m² · °C);

a - temperatūros koeficientas;

C - dangos paviršiaus spinduliavimo koeficientas W/(m² · K⁴) (žiūrėkite 18 lentelėje);

v - vėjo greitis m/s;

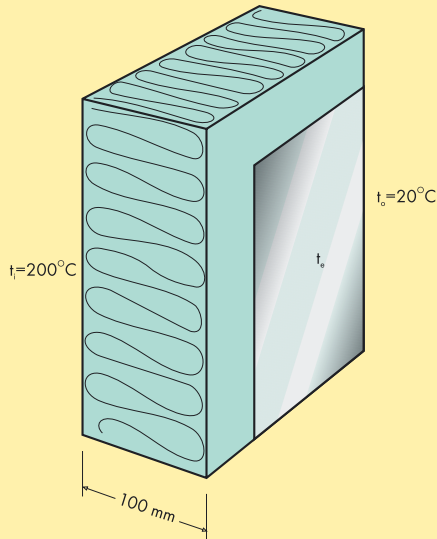
$$T_e = t_e + 273 \text{ K};$$

$$T_o = t_o + 273 \text{ K}.$$

Pastaba:

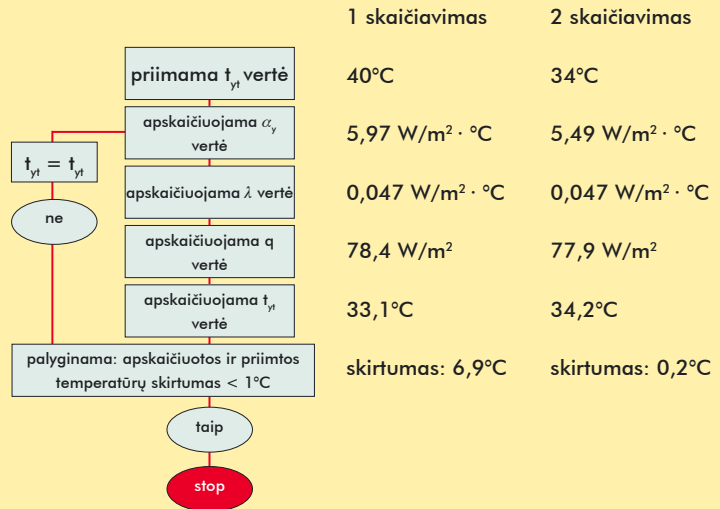
Norint nustatyti izoliacijos paviršiaus temperatūrą, pirmiausia reikia suskaičiuoti šilumos nuostolius. Po to, pagal formules nuo (9) iki (11) reikia apskaičiuoti šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientą α_y (skirtingų medžiagų spinduliavimo koeficientai yra nurodyti 18 lentelėje). Po to galima suskaičiuoti izoliacijos išorinio paviršiaus temperatūrą pagal (8) formulę. Kaip matyti, paviršiaus temperatūra skaičiavimuose buvo naudota ir anksčiau, padarius atitinkamą prielaidą. Suskaičiuotą paviršiaus temperatūrą patikrinti lyginant ją su priimta reikšme pagal (8) formulę.

1 PAVYZDYS



Sprendimas:

Norint išspręsti užduotį, reikia naudoti (1), (2), (8), (9), (10), (11), (12) formulėmis. Tarkime, kad paviršiaus temperatūra yra 40°C. Skaičiavimai atliekami pagal šią schemą:



Užduotis:

Nustatyti izoliuoto plokščio paviršiaus šilumos nuostolius ir išorinio paviršiaus temperatūrą, esant šioms sąlygoms:

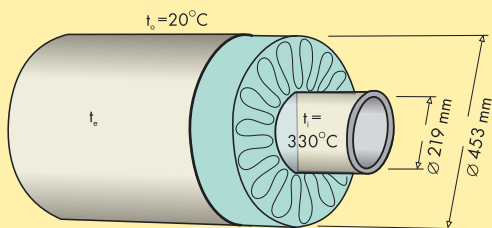
- izoliuojamo paviršiaus temperatūra: 200°C;
- aplinkos oro temperatūra: 20°C;
- izoliacijos tipas ir storis: plokštė PAROC PLL, 100 mm;
- paviršiaus danga: aliuminio lakštas (skarda), $C = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Atsakymas: Šilumos nuostoliai 77,9 W/m². Paviršiaus temperatūra 34°C.

Pastaba:

Išorinio paviršiaus temperatūra iš karto gali būti priimama klaidingai, todėl būtina pakartoti skaičiavimus, kad suskaičiuotos ir priimtos paviršiaus temperatūros reikšmių skirtumas būtų pakankamai mažas. Paprastai $\leq 1^\circ\text{C}$.

2 PAVYZDYS:



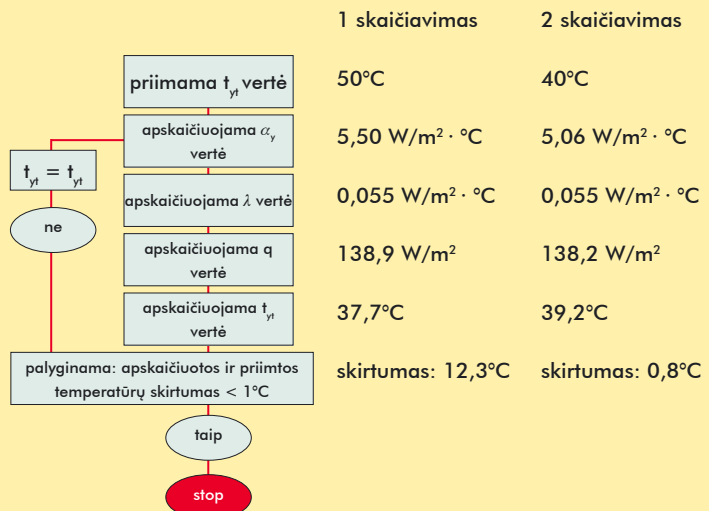
Užduotis:

Nustatyti izoliuoto vamzdžio, esančio pastato viduje, šilumos nuostolius, esant šioms sąlygoms:

- vamzdžio skersmuo: 219 mm;
- izoliacijos vidinio paviršiaus (vamzdžio paviršiaus) temperatūra: 330°C;
- aplinkos oro temperatūra: 20°C;
- izoliacijos tipas ir storis: vamzdinis kevalas PAROC E, 120 mm;
- paviršiaus danga: plieninė cinkuota skarda, $C = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

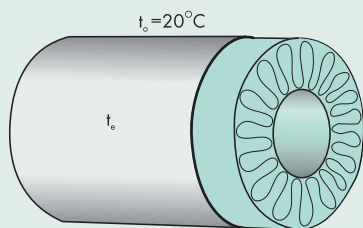
Sprendimas:

Norint išspręsti užduotį, reikia naudoti (1), (5), (9), (10), (11), (13), (14) formulėmis. Tarkime, kad izoliacijos išorinio paviršiaus temperatūra yra 50°C. Skaičiavimai atliekami pagal šią schemą:



Atsakymas: Šilumos nuostoliai 138,2 W/m². Izoliacijos išorinio paviršiaus temperatūra 39°C.

b. Vamzdynai



$$t_e = t_o + \frac{q}{\pi D_y \alpha_y} \dots\dots\dots (13)$$

- D_y - išorinis izoliacijos skersmuo m;
- t_e - izoliacinės medžiagos išorinio paviršiaus temperatūra °C;
- t_o - supančio (aplinkos) oro temperatūra °C;
- q - šilumos nuostoliai pagal (5) formulę arba pagal lentelę W/m²;
- α_y - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientas W/(m² · °C).

$$\alpha_y = \alpha_s + \alpha_k \dots\dots\dots (9)$$

$$\alpha_s = a \cdot C \text{ (pagal ankstesnį apskaičiavimą) } \dots\dots\dots (10)$$

$$a = \frac{\left(\frac{T_e}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_o}{100}\right)^4}{t_e - t_o} \dots\dots\dots (11)$$

$$\alpha_k = 1,314 \left[\frac{t_e - t_o}{D_y} \right]^{0,25} \dots\dots\dots (14)$$

kai vėjo greitis $v \cong 0$ m/s

$$\alpha_k = 4,16 \frac{(v)^{0,8}}{(D_y)^{0,2}}$$

kai vėjo greitis $v \geq 0$ m/s

α_s - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficiento dėl spinduliavimo dalis W/(m² · °C);

α_k - šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficiento dėl konvekcijos dalis W/(m² · °C);

a - temperatūros koeficientas;

C - paviršiaus dangos spinduliavimo koeficientas W/(m² · K⁴) (žiūrėkite 18 lentelėje);

v - vėjo greitis m/s;

$$T_e = t_e + 273 \text{ K;}$$

$$T_o = t_o + 273 \text{ K.}$$

Pastaba:

Norint nustatyti izoliacijos paviršiaus temperatūrą, pirmiausia reikia suskaičiuoti šilumos nuostolius. Po to, pagal formules nuo (9) iki (11) reikia suskaičiuoti šilumos perdavimo tarp izoliacijos išorinio paviršiaus ir aplinkos oro koeficientą α_y (skirtingų medžiagų spinduliavimo koeficientai yra nurodyti 18 lentelėje). Po to galima suskaičiuoti paviršiaus temperatūrą pagal (13) formulę. Kaip matyti, paviršiaus temperatūra skaičiavimuose buvo naudota ir anksčiau, padarius atitinkamą prielaidą. Gautą paviršiaus temperatūrą patikrinti lyginant ją su priimta reikšme pagal (13) formulę.



Apsauga nuo vandens garų kondensacijos

Tai atvejis, apie kurį buvo šiek tiek minėta aiškinant apie izoliacijos paviršiaus temperatūros skaičiavimus. Vandens garai kondensuojasi ant objekto tuomet, kai jo paviršiaus temperatūra yra žemesnė už supančio oro rasos taško temperatūrą.

Jeigu izoliuojama tik siekiant išvengti vandens garų kondensacijos, šią problemą galima išspręsti dviem būdais.

1 PAVYZDYS.

Užduotis:

Izoliuoti šaltą paviršių nuo vandens garų kondensacijos. Supančio oro temperatūra yra 20°C, o santykinė oro drėgmė yra 80%. Nustatyti galimą žemiausią izoliacijos paviršiaus temperatūrą.

Pagal Mollier diagramą nustatome, kad, esant tokioms sąlygoms, kubiniame metre oro yra apie 14 gramų vandens. Šis vandens kiekis atitinka santykinę oro drėgmę 100%, kai oro temperatūra yra +16,5°C, tai reiškia, kad vandens garai kondensuojasi ant žemesnės kaip 16,5°C temperatūros paviršiaus.

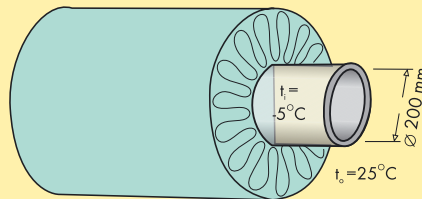
Atsakymas: Žemiausia leistina izoliacijos paviršiaus temperatūra yra 16,5 °C.

Pastaba:

Dabar, kai žinome žemiausią leistiną izoliacijos paviršiaus temperatūrą, vadovaudamiesi šia reikšme galime tęsti skaičiavimą ir parinkti izoliaciją pagal ankstesnio skyriaus „Paviršiaus temperatūros skaičiavimas“ nurodymus.

Vienas iš būdų – tai apskaičiuoti paviršiaus temperatūrą pagal ankstesnį modelį ir palyginti gautą reikšmę su rasos taško temperatūra pagal supaprastintą vandens kiekio ore priklausomybės nuo santykinio oro drėgmės ir oro temperatūros diagramą (Mollier diagramą). Taip pat galima naudotis 3 diagramoje pateiktais duomenimis. Žinoma, diagrama yra greičiausias būdas, tačiau atliekant skaičiavimus gaunami tikslesni duomenys.

2 PAVYZDYS



Užduotis:

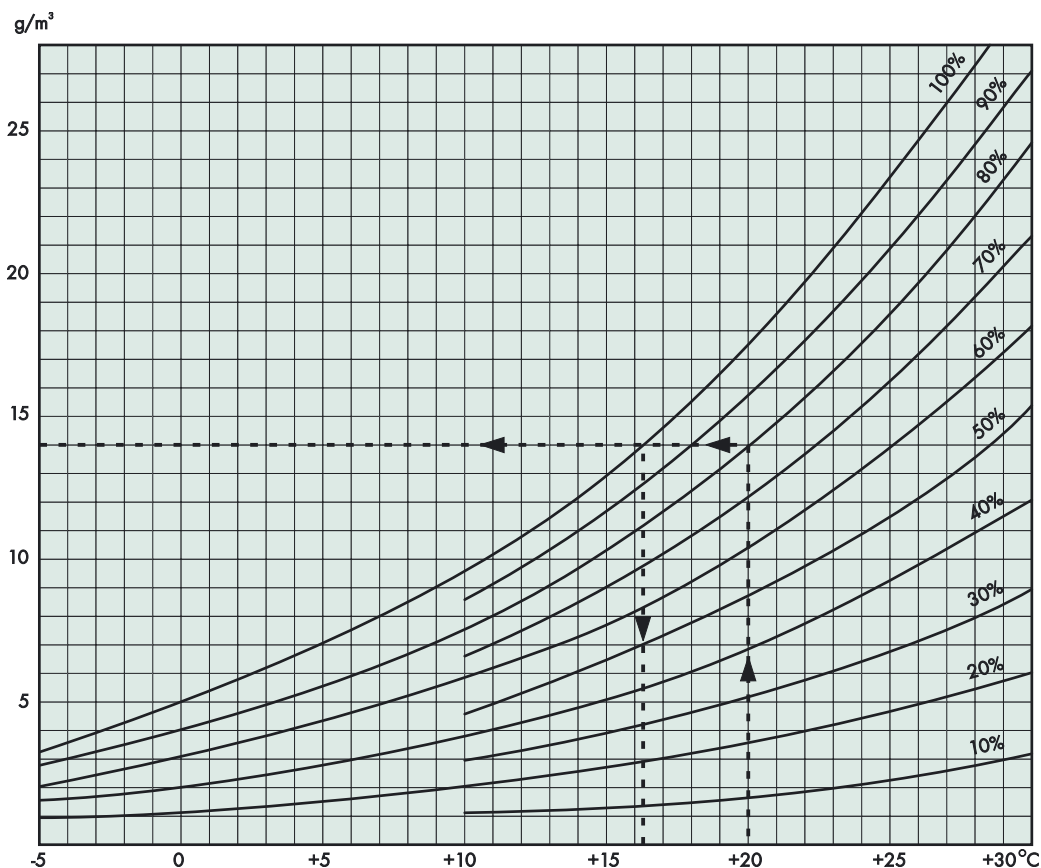
Nuo vandens garų kondensacijos izoliuoti vamzdį, kurio išorinis skersmuo yra 200 mm, o izoliacijos vidinio paviršiaus (arba vamzdžio paviršiaus) temperatūra yra -5°C. Supančio oro temperatūra yra 25°C, o santykinė oro drėgmė yra 70%.

Sprendimas:

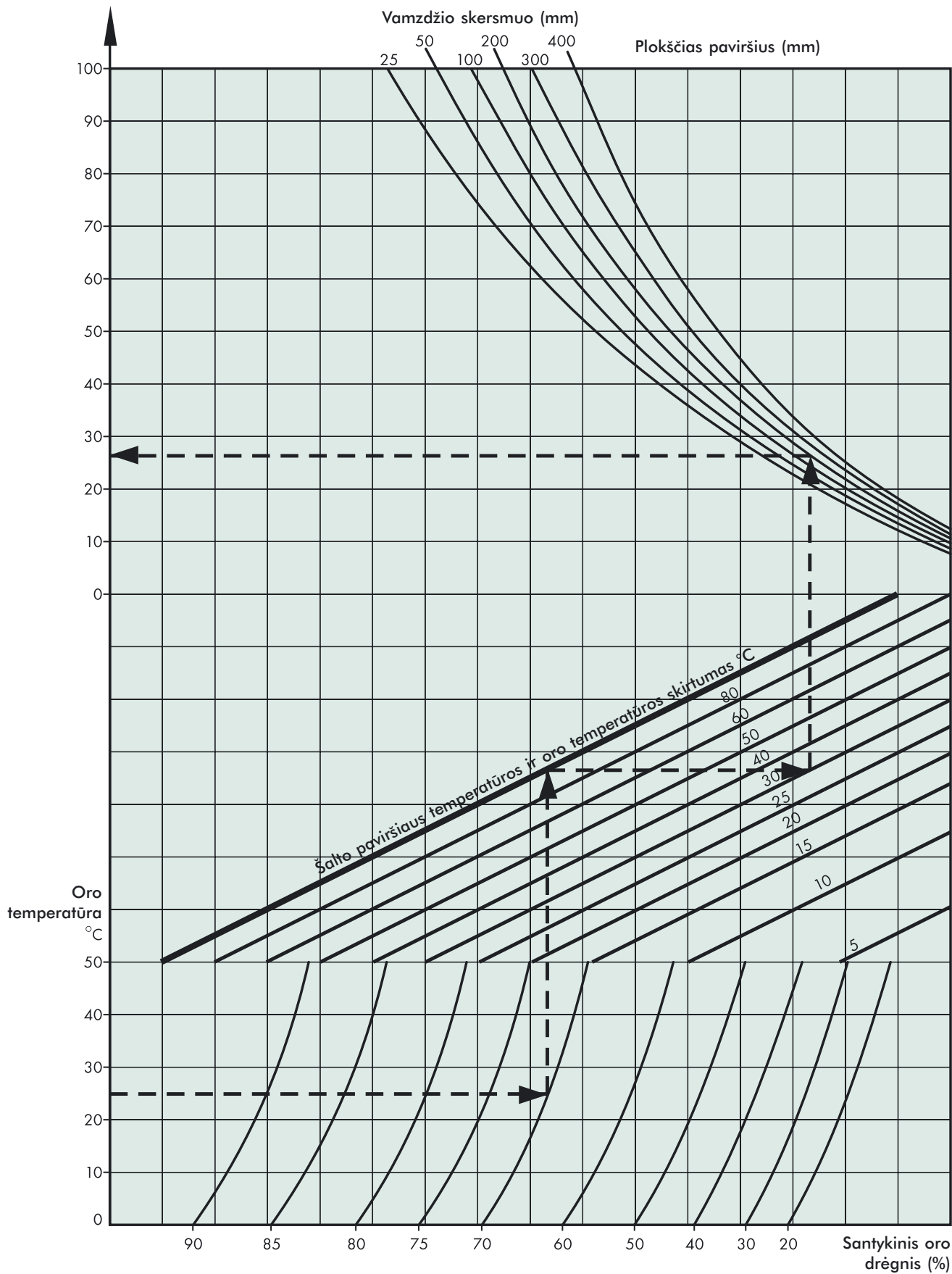
Vadovaudamiesi 3 diagramoje pateiktais duomenimis nustatome, kad būtinas izoliacijos storis yra apie 30 mm.

2 diagrama. Mollier diagrama orui supaprastinta forma.

Diagramoje pateikta vandens kiekio g/m³ oro priklausomybė nuo santykinio oro drėgmės ir temperatūros



3 diagrama. Izoliacijos storio apskaičiavimas, įvertinant vandens garų kondensaciją



Ekonomiškai naudingiausio izoliacijos storio nustatymas

Ekonomiškai naudingiausias šiluminės izoliacijos sluoksnio storis nustatomas pagal mažiausias metines visumines išlaidas C_{at} per tam tikrą nustatytą arba pasirinktą ekonomišką tarnavimo trukmę N .

Nustatomos metinių visuminių išlaidų vertės, pasirinkus keletą skirtingų storių termoizoliacinių gaminių pagal esamą nomenklatūrą pagal formulę:

• **plokšties paviršiams:**

$$C_{at} = C_{mi} + I_{1m} = Q \cdot t_{nt} \cdot E + I/N; \text{ Lt}/(\text{metus});$$

• **vamzdžiams:**

$$C_{at} = C_{mi} + I_{1m} = q \cdot t_{nt} \cdot E + I/N; \text{ Lt}/(\text{metus});$$

C_{at} - vienu iš pasirinktų termoizoliacinių gaminių apšiltinto plokštės arba vamzdžio metinė visuminių išlaidų vertė, Lt/metai;

I_{1m} - metinių išlaidų apšiltinimui kaina, Lt/($m^2 \cdot$ metai) arba Lt/ (1 m · metai);

C_{mi} - 1 m^2 plokščio paviršiaus arba 1 m vamzdžio metinių šiluminės energijos nuostolių kaina, Lt/(m^2 metai);

Q - 1 m^2 plokščio paviršiaus metiniai šiluminės energijos nuostoliai, W/ m^2 ; apskaičiuojami pagal (2) formulę;

q - 1 m vamzdžio metiniai šiluminės energijos nuostoliai, W/m, apskaičiuojami pagal (5) formulę;

t_{nt} - apšiltinamo plokščio paviršiaus arba vamzdžio eksploatacijos 1 metų eigoje trukmė, valandomis;

E - šiluminės energijos kaina Lt/Wh;

I - apšiltinimo išlaidų suma, Lt. Ją sudaro 1 m^2 plokščio termoizoliacinio gaminio arba 1 m vamzdžio izoliacinio gaminio kaina ir atitinkamai šių gaminių įrengimo kaina;

N - nustatyta arba pasirinkta ekonomišką apšiltinamo objekto tarnavimo trukmė, metais.

Nustačius mažiausią visuminių išlaidų sumą sužinome, kuris iš pasirinktų apšiltinimo gaminių storių yra ekonomiškiausias.

1 PAVYZDYS:

Užduotis:

Nustatyti plokščio paviršiaus apšiltinimo akmens vatos termoizoliacija ekonomiškiausią storį. Paviršiaus temperatūra 150°C, apšiltinamas objektas yra patalpoje, kurioje palaikoma pastovi +10°C oro temperatūra. Eksploatacijos trukmė – 300 dienų per metus. Energijos kaina 0,15 Lt/kWh. Termoizoliacijos įrengimo kaina 85 Lt/ m^2 , įskaitant pridėtines išlaidas. Termoizoliacijos kaina 500 Lt/ m^3 . Nustatytas atsipirkimo laikas – 10 metų.

Sprendimas:

Pagal (1) formulę nustatoma vidutinė termoizoliacinio sluoksnio temperatūra, priimant, kad izoliacijos išorinio paviršiaus temperatūra bus 20°C aukštesnė už aplinkos oro temperatūrą:

$$t_m = (t_i + t_o) / 2 = (150 + (10 + 20)) / 2 = 90^\circ\text{C}.$$

Pagal termoizoliacinio gaminio techninius duomenis surandame $\lambda_{90} = 0,044$ W/mK.

Pagal (2) formulę apskaičiuojame šilumos nuostolius:

$$Q = \frac{t_i - t_o}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_y}} = \frac{150 - 10}{\frac{1}{0,044} + \frac{1}{11,2}} = \frac{140}{\frac{1}{0,044} + 0,089}$$

Elemento $1/\alpha_i$ reikšmė yra tokia maža, palyginti su likusiomis reikšmėmis, kad jos galima nepaisyti. Todėl izoliacijos vidinio paviršiaus temperatūra dažniausiai prilyginama izoliuojamo paviršiaus temperatūrai.

Kai izoliacija naudojama pastatų, kuriuose aplinkos oras nejuda, viduje, reikšmę α_y galima apskaičiuoti pakankamai tiksliai pagal šią formulę:

$$\alpha_y = 9,8 + 0,07 \cdot (t_{yt} - t_o) = 9,8 + 0,07(30 - 10) = 11,2 \text{ W}/m^2\text{K}.$$

Parinkame termoizoliacinio sluoksnio storio variantus:

1. 300 mm. Įrengimo ir medžiagos kaina
85 + 500 · 0,3 = 235 Lt/ m^2 .

Šilumos nuostoliai $Q = 20,3$ W/ m^2 .

2. 400 mm. Įrengimo ir medžiagos kaina
85 + 500 · 0,4 = 285 Lt/ m^2 .

Šilumos nuostoliai $Q = 15,3$ W/ m^2 .

3. 500 mm. Įrengimo ir medžiagos kaina
85 + 500 · 0,5 = 335 Lt/ m^2 .

Šilumos nuostoliai $Q = 12,2$ W/ m^2 .

4. 600 mm. Įrengimo ir medžiagos kaina
85 + 500 · 0,6 = 385 Lt/ m^2 .

Šilumos nuostoliai $Q = 10,2$ W/ m^2 .

Nustatomos metinių visuminių išlaidų vertės:

1 var. $C_{at} = 20,3 \cdot 300 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 235 / 15 = 37,6$ Lt/($m^2 \cdot$ metai).

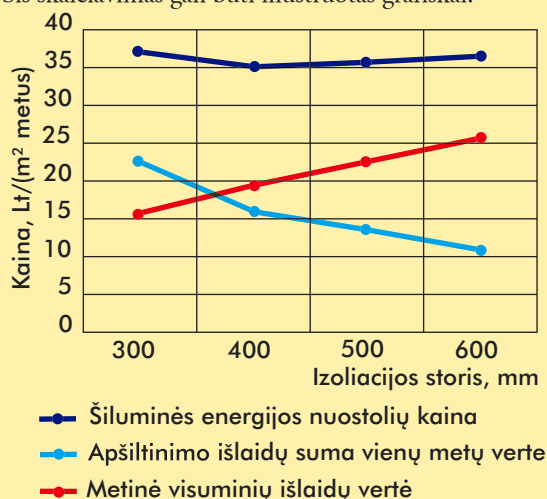
2 var. $C_{at} = 15,3 \cdot 300 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 285 / 15 = 35,5$ Lt/($m^2 \cdot$ metai).

3 var. $C_{at} = 12,2 \cdot 300 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 335 / 15 = 35,5$ Lt/($m^2 \cdot$ metai).

4 var. $C_{at} = 10,2 \cdot 300 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 385 / 15 = 36,7$ Lt/($m^2 \cdot$ metai).

Išvada: Ekonomiškiausias apšiltinimo storis 2 variantas, 400 mm.

Šis skaičiavimas gali būti iliustruotas grafiškai:



Pateiktame grafike matyti, kad izoliacijos storį didinant daugiau kaip 400 mm, metinė visuminių išlaidų vertė nemažėja, todėl dėti storesnį termoizoliacinės medžiagos sluoksnį neekonomiška.



2 PAVYZDYS

Užduotis:

Nustatyti 169 mm skersmens lauke virš žemės paviršiaus įrengto šilumos tiekimo vamzdžio ekonomiškiausią apšiltinimo akmens vatos kevalais variantą. Įrengimo darbų ir pridėtinių išlaidų kaina priimama pastovi ir lygi 60 Lt/m. 110 mm – 140 Lt/m, 120 mm – 160 Lt/m, 130 mm – 180 Lt/m, 140 mm – 205 Lt/m. Vamzdžiu tekančio vandens temperatūra +150°C. Vamzdžio eksploatacijos trukmė sutampa su šildymo sezono trukme ir yra 212 parų per metus. Vidutinė šildymo sezono išorės oro temperatūra 0°C. Energijos kaina 0,15 Lt/kWh. Priimama, kad įdėtos lėšos turi atsipirkti per 15 eksploatacijos metų.

Sprendimas:

Galimi apšiltinimo variantai:

1. kevalo sienelės storis 110 mm, termoizoliacijos įrengimo išlaidos 200 Lt/m;
2. kevalo sienelės storis 120 mm, termoizoliacijos įrengimo išlaidos 220 Lt/m;
3. kevalo sienelės storis 130 mm, termoizoliacijos įrengimo išlaidos 240 Lt/m;
4. kevalo sienelės storis 140 mm, termoizoliacijos įrengimo išlaidos 265 Lt/m.

Pagal (1) formulę nustatoma vidutinė termoizoliacinio sluoksnio temperatūra, priimant, kad izoliacijos išorinio paviršiaus temperatūra bus 10°C aukštesnė už aplinkos oro temperatūrą:

$$t_m = (t_i + t_o) / 2 = (150 + (0 + 10)) / 2 = 80^\circ\text{C}.$$

Pagal termoizoliacinio gaminio techninius duomenis surandame $\lambda_{80} = 0,048 \text{ W/mK}$.

Pagal (5) formulę apskaičiuojame vamzdžio šilumos nuostolius, esant visiems pasirinktiems termoizoliacinio sluoksnio storiams:

$$q = \frac{\pi(150-0)}{\frac{1}{2 \cdot 0,048} \ln \frac{D_y}{0,169} + \frac{1}{\alpha_y D_y}} = \frac{471}{10,42 \ln \frac{D_y}{0,169} + \frac{1}{23 \cdot D_y}}$$

Išorėje esančių paviršių šilumos perdavimo koeficientas $\alpha_y = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

1. Kevalo sienelės storis 110 mm šilumos nuostoliai $q = 53 \text{ W/m}$;
2. kevalo sienelės storis 120 mm šilumos nuostoliai $q = 50 \text{ W/m}$;
3. kevalo sienelės storis 130 mm šilumos nuostoliai $q = 48 \text{ W/m}$;
4. kevalo sienelės storis 140 mm šilumos nuostoliai $q = 46 \text{ W/m}$.

Nustatomos metinių visuminių išlaidų vertės:

- 1 var. $C_{at} = 53 \cdot 212 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 200 / 15 = 53,8 \text{ Lt}/(\text{m} \cdot \text{metai})$;
- 2 var. $C_{at} = 50 \cdot 212 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 220 / 15 = 52,9 \text{ Lt}/(\text{m} \cdot \text{metai})$;
- 3 var. $C_{at} = 48 \cdot 212 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 240 / 15 = 52,6 \text{ Lt}/(\text{m} \cdot \text{metai})$;
- 4 var. $C_{at} = 46 \cdot 212 \cdot 24 \cdot 0,15 / 1000 + 265 / 15 = 52,8 \text{ Lt}/(\text{m} \cdot \text{metai})$.

Išvada: Kadangi didinat izoliacijos storį, visuminės išlaidos didėja, parenkamas ekonomiškias izoliacijos storis 130 mm.

Vamzdynų izoliacijos storio nustatymas, esant norminiams šilumos nuostoliams

Šilumos tiekimo tinklų vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai pateikti STR 2.09.03:1999 „Šilumos tiekimo tinklų šiluminė izoliacija“.

1 lentelė. Patalpose tiesiamų šilumos tinklų vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai

Sąlyginis vamzdžio skersmuo, mm	Vidutinė metinė šilumnešio temperatūra, °C ir į ją atitinkantys norminiai šilumos nuostoliai, W/m			
	50°C	65°C	90°C	110°C
20	6	8	13	15
25	6	9	13	16
40	7	10	16	19
50	8	11	17	21
65	9	13	21	24
70	9	13	21	24
80	10	14	22	26
100	11	16	25	30
125	13	18	28	33
150	14	21	31	37
200	17	24	36	43
250	20	28	41	49
300	23	31	45	55
350	25	35	51	61
400	27	38	56	68
450	29	42	62	74
500	32	45	67	80
600	36	52	78	93
700	39	56	84	101
800	42	60	91	109
900	45	64	97	117
1000	48	68	103	124

2 lentelė. Inžinerinių tinklų kolektoriuose tiesiamų šilumos tinklų vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai

Sąlyginis vamzdžio skersmuo, mm	Vidutinė metinė šilumnešio temperatūra, °C ir į ją atitinkantys norminiai šilumos nuostoliai, W/m			
	50°C	65°C	90°C	110°C
20	4	6	11	13
25	4	7	11	14
40	5	8	13	17
50	5	9	15	18
65	6	10	17	21
70	6	10	18	22
80	6	11	19	23
100	7	13	22	26
125	8	14	24	30
150	10	16	26	33
200	11	19	31	38
250	13	21	35	43
300	15	24	39	48
350	17	27	44	54
400	18	30	48	60
450	20	32	53	66
500	21	35	58	72
600	24	41	67	83
700	26	44	72	90
800	28	47	78	97
900	30	50	83	104
1000	32	53	89	110

3 lentelė. Lauke virš žemės tiesiamų šilumos tinklų vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai

Sąlyginis vamzdžio skersmuo, mm	Vidutinė metinė šilumnešio temperatūra, °C ir į ją atitinkantys norminiai šilumos nuostoliai, W/m						
	50°C	100°C	115°C	150°C	200°C	300°C	350°C
25	9	17	22	27	37	51	57
30	9	18	23	28	38	52	59
40	11	21	24	30	40	54	65
50	12	23	25	32	42	57	64
70	13	26	28	36	46	62	70
80	15	27	30	37	48	65	73
100	18	30	32	41	52	70	78
125	20	33	36	44	56	76	85
150	23	36	39	48	61	82	92
200	28	42	45	55	69	94	105
250	32	48	51	62	77	107	118
300	36	54	57	70	86	119	131
350	41	59	63	76	93	128	141
400	44	64	68	82	100	136	151
450	47	69	74	88	107	144	162
500	51	74	79	94	114	153	172
600	58	84	90	106	128	169	193
700	62	94	101	117	141	188	208
800	64	103	112	128	154	206	224
900	67	111	122	138	166	232	238
1000	69	117	131	147	177	246	250

4 lentelė. Nepraeinamuose kanaluose tiesiamų šilumos tinklų vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai

Sąlyginis vamzdžio skersmuo, mm	Vamzdžio paskirtis					
	tiekiamasis	grįžtamas	tiekiamasis	grįžtamas	tiekiamasis	grįžtamas
	Vidutinė metinė šilumnešio temperatūra, °C ir į ją atitinkantys norminiai šilumos nuostoliai, W/m					
	65°C	50°C	90°C	50°C	110°C	50°C
20	9	7	13	6	16	6
25	10	7	14	7	16	6
40	11	8	16	8	19	7
50	12	9	17	8	20	8
65	14	10	19	9	22	8
80	15	11	21	10	24	9
100	17	12	23	11	27	10
125	19	14	26	12	31	11
150	22	15	30	13	35	12
200	25	17	37	15	43	14
250	29	20	44	17	52	16
300	32	22	51	19	60	18
350	36	24	56	20	66	18
400	41	26	61	21	71	19
450	45	28	66	22	77	19
500	49	30	70	23	83	19
600	52	32	74	25	87	20
700	57	34	81	25	96	20
800	62	35	88	25	105	19
900	66	37	96	25	114	19
1000	71	39	103	26	124	18

Šiluminės izoliacijos storis δ_{iz} apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\delta_{iz} = 0,5d \left[e^{\frac{2\pi\lambda_{iz}(t_v+t_a)}{q}} - \frac{2\lambda_{iz}}{\alpha(d+0,1)} - 1 \right], \text{ m. (E1)}$$

Šioje formulėje:

- e** - natūrinio logaritmo pagrindas;
- d** - vamzdžio išorinis skersmuo, m;
- λ_{iz} - termoizoliacinio gaminio šilumos laidumo koeficientas, įvertintas pagal vidutinę termoizoliacinio gaminio temperatūrą t_m , W/m·K;
- t_v - skaičiuotina vidutinė metinė šilumnešio temperatūra, nustatoma pagal šiluminės energijos tiekėjų duomenis;
- t_a - vidutinė vamzdžių aplinkos temperatūra, °C; Nesant tikslesnių duomenų, priimama:
 - neapšildomuose rūsiuose - +5°C;
 - inžinerinių tinklų kolektoriuose - +30°C;
 - lauke, virš žemės - +5°C;
- q** - norminiai vamzdynų šilumos nuostoliai, pateikti E1-E4 lentelėse. Kai lentelėje nėra reikiamų temperatūrų arba vamzdžių skersmenų, nuostoliai gali būti apskaičiuojami interpoliuojant lentelėse pateiktus duomenis;
- α** - šiluminės izoliacijos išorinio paviršiaus šilumos atidavimo koeficientas, apskaičiuojamas pagal (3) formulę arba, nesant tikslesnių duomenų, priimamas $\alpha=9,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

PAVYZDYS:

Užduotis:

Apšiltinamas 150 mm storio karšto vandens tiekimo vamzdis, esantis patalpoje, kurioje palaikoma 15°C temperatūra. Vandens temperatūra ištikus metus lygi 90°C. Reikalinga parinkti termoizoliacinio gaminio storį, kad vamzdžio šilumos nuostoliai nebūtų didesni už norminius.

Sprendimas:

Priimame, kad išorinio izoliacinės medžiagos paviršiaus temperatūra yra 15°C aukštesnė už aplinkos oro temperatūrą. Žinomas reikšmes įrašome į (1) lygtį:

$$t_m = (90 + 30) : 2 = 60^\circ\text{C}.$$

Pagal 1 piešinio diagramą arba naudojant konkretaus gaminio techninius duomenis nustatome:

$$\lambda_{60} = 0,039\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}).$$

Pagal 1 lentelę surandame, kad 150 mm skersmens vamzdžio norminiai šilumos nuostoliai $q=31 \text{ W}/\text{m}$. Visus turimus duomenis įstatome į E1 formulę:

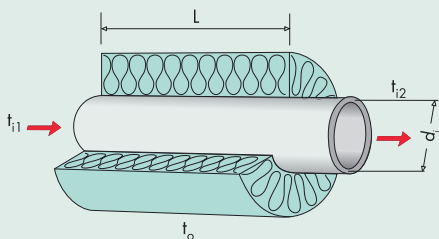
$$\delta_{iz} = 0,5 \cdot 0,15 \left[e^{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,039(90-15)}{31}} - \frac{2 \cdot 0,039}{9(0,15+0,1)} - 1 \right] = 0,056 \text{ m}$$

Pagal gaminių nomenklatūrą parenkame artimiausio storio (į didesnę pusę) gaminį, pav., kurio sienelės storis 6 cm.

Izoliacija nuo temperatūros kritimo

Vamzdžiu tekančio šilumnešio temperatūra kinta atsižvelgiant į šilumos perdavimą per vamzdžių sieneles. Tas pats sakytina ir apie šilumnešį, kuris vamzdyje nejuda arba yra saugomas kokiame nors rezervuare. Jeigu vamzdis yra izoliuotas šilumos nuostolius ribojančia izoliacija, tai atitinkamai ribojami temperatūros pokyčiai, kadangi jie tiesiogiai priklauso nuo šilumos nuostolių dydžio.

a. Vamzdžiai su judančiu (tekančiu) šilumnešiu



$$\dot{m} = \frac{\pi d_i^2}{4} \cdot v \cdot \rho \dots\dots\dots (15)$$

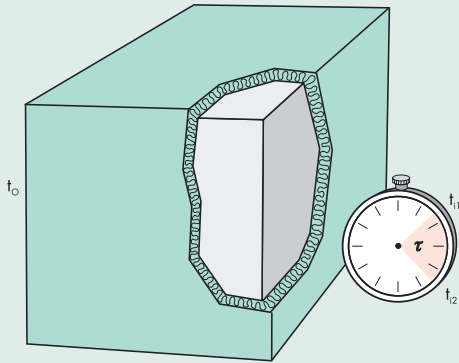
$$\ln \frac{t_{i1}-t_o}{t_{i2}-t_o} = \frac{L \cdot q}{\dot{m} c_p (t_{i1}-t_o)} \dots\dots\dots (16)$$

- \dot{m} - šilumnešio debitas kg/s;
- d_i - vidinis vamzdžio skersmuo m;
- v - šilumnešio tekėjimo greitis m/s;
- ρ - šilumnešio tankis kg/m³;
- t_{i1} - pradinė šilumnešio temperatūra °C;
- t_{i2} - galutinė šilumnešio temperatūra °C;
- q** - suskaičiuoti šilumos nuostoliai arba pagal lentelę W/m;
- L** - vamzdžio ilgis m;
- c_p - šilumnešio šiluminė talpa J/(kg · °C);
- t_o - aplinkos oro temperatūra °C;
- e** - natūrinio logaritmo pagrindas = 2,7183.

Pastaba:

Pirmausia reikia apskaičiuoti šilumos nuostolius pagal (5) arba (7) formulę. Po to reikia apskaičiuoti šilumnešio debitą pagal (15) formulę. Galiausiai reikia apskaičiuoti temperatūros kritimą pagal (16) formulę.

b. Rezervuaras su nejudančiu šilumnešiu



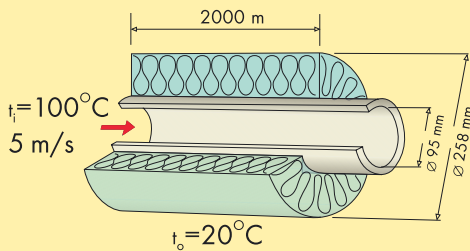
$$\ln \frac{t_{i1}-t_0}{t_{i2}-t_0} = \frac{Q \cdot Y \cdot \tau}{C_p \cdot m(t_{i1}-t_0)} \dots\dots\dots (17)$$

- t_{i1} - pradinė šilumnešio temperatūra °C;
- t_{i2} - galutinė šilumnešio temperatūra °C;
- t_0 - aplinkos oro temperatūra °C;
- Q - šilumos nuostoliai W/ m²;
- Y - rezervuaro apvalkalo paviršiaus plotas m²;
- τ - nejudrios būsenos laikas;
- C_p - šilumnešio šiluminė talpa J/(kg · °C);
- m - šilumnešio masė kg;
- e - natūrinio logaritmo pagrindas = 2,7183.

Pastaba:

Pirmiausia reikia suskaičiuoti šilumos nuostolius pagal (2) formulę. Po to reikia apskaičiuoti šilumnešio masę. Temperatūros kritimą galima apskaičiuoti pagal (17) formulę.

1 PAVYZDYS



Užduotis:

Reikia nustatyti vamzdžiu tekančio vandens temperatūros kritimą, esant šioms sąlygoms:

- vidinis vamzdžio skersmuo: 95 mm;
- vamzdžio ilgis: 2000 m;
- izoliacijos tipas ir storis: vamzdinis kevalas PAROC E, 80 mm;
- vandens temperatūra: 100°C;
- aplinkos oro temperatūra: 20°C;
- tekėjimo greitis: 5 m/s.

Sprendimas:

Norint suskaičiuoti šilumnešio debitą, reikia naudoti (15) formulę, o šilumos nuostoliams suskaičiuoti (5) formulę.

$$\dot{m} = 35,44 \text{ kg/s}$$

$$q = 20 \text{ W/m}$$

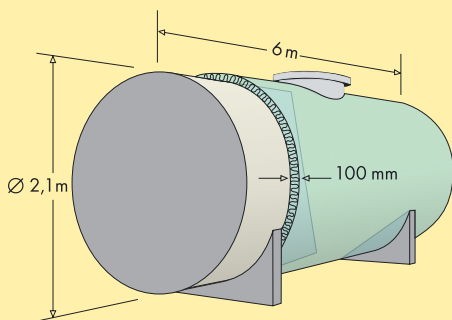
Dabar pagal (16) formulę galima suskaičiuoti temperatūros kritimą.

$$\ln \frac{100-20}{t_{i2}-20} = \frac{2000 \cdot 20}{35,44 \cdot 4187(100-20)} = 0,0034$$

$$\frac{100-20}{t_{i2}-20} = e^{0,0034} \qquad t_{i2} = 99,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Atsakymas: Temperatūros kritimas yra 0,3°C.

2 PAVYZDYS



Užduotis:

Horizontalus valcuotas 2,1 m skersmens ir 6 m ilgio rezervuaras yra pripildytas karšto vandens, kurio temperatūra yra 75°C ir izoliuotas 100 mm storio plokšte PAROC S. Reikia nustatyti temperatūrą jo viduje praėjus 10 dienų, aplinkos temperatūrai esant 20°C.

Sprendimas:

Pagal (2) formulę suskaičiuoti šilumos nuostoliai sudaro 25W/m². Suskaičiavus rezervuaro talpą bei apvalkalo paviršiaus plotą, pagal (17) formulę galima suskaičiuoti temperatūros kritimą:

$$\ln \frac{75-20}{t_{i2}-20} = \frac{25 \cdot 46,5 \cdot 864000}{4187 \cdot 20781 \cdot 55} = 0,21$$

$$\frac{75-20}{t_{i2}-20} = e^{0,21} \qquad t_{i2} = 64,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Atsakymas:

Galutinė temperatūra po 10 dienų bus 64,6°C.

Priedai

5 lentelė SI sistemos dydžiai ir vienetai

Dydis		Vienetas		
Pavadinimas	Simbolis	Pavadinimas	Simbolis	Apibrėžimas
Plokščiasis kampas	α	radianas	rad	
Ilgis, kelias	l, s	metras	m	Pagrindinis vienetas
Paviršiaus plotas	A	kvadratinis metras	m ²	
Tūris	V	kubinis metras	m ³	
Laikas	t	sekundė	s	Pagrindinis vienetas
Greitis	v	metras per sekundę	m/s	
Pagreitis	g	metras per sekundę kvadratu	m/s ²	
Masė	m	kilogramas	kg	Pagrindinis vienetas
Tankis	ρ	kilogramas kubiniam metrui	kg/m ³	
Jėga	F	Niutonas	N	1N=1kg·m/s ²
Svoris	G	Niutonas	N	
Spyruklės tamprumas	k			
Jėgos momentas	M	Niutonmetras	Nm	
Slėgis	P	Paskalis	Pa	
Mechaninis įtempimas	σ, τ	Niutonas kvadratiniam metrui, Paskalis	N/m ² Pa	
Impulsas	I	kilogramas per sekundę	kgm/s	
Masės inercijos momentas	J	Niutonsekundė	Ns	
Paviršiaus inercijos momentas	I	kilogramkvadratinis metras	kgm ²	
Išilginio elastingumo koeficientas	E	Niutonas kvadratiniam metrui	N/m ²	
Skersinio elastingumo koeficientas (susukimo modulis)	G	Niutonas kvadratiniam metrui	N/m ²	
Tūrio (apimties) elastingumo (spūdumo) koeficientas	K	Niutonas kvadratiniam metrui	N/m ²	
Spūdumas	k	Niutonas kvadratiniam metrui	N/m ²	
Trinties koeficientas	μ	(bematis dydis)		
Energija (darbas)	W	Džaulis	J	
Galia	P	Vatas	W	
Naudingo veikimo koeficientas	η	(bematis dydis)	-	
Šilumos kiekis	Q	Džaulis	J	1J=1Nm
Absoliutinė temperatūra	T(θ)	Kelvinas	K	Pagrindinis vienetas
Temperatūra (virš ledo tirpimo temperatūros)	u(t)	laipsnis Celsijaus	°C	
Linijinio plėtimosi koeficientas	α	laipsnis Celsijaus metrui	°C/m	
Šiluminė talpa (šilumos imlumas)	c	Džaulis kilogramui ir Kelvinui	J/kgK	
Šiluminė talpa	C	Džaulis kilogramui ir Kelvinui	J/kgK	
Entropija	S	Džaulis Kelvinui	JK	
Šilumos laidumas	λ	Vatas metrui ir Kelvinui	W/mK	
Paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas	α	Vatas kvadratiniam metrui ir Kelvinui	W/m ² K	
Šilumos perdavimo koeficientas	k	Vatas kvadratiniam metrui ir Kelvinui	W/m ² K	

Fizikiniai vienetai

6 lentelė. ENERGIJA

Energijos vienetas tarptautinėje matų sistemoje SI yra DŽAULIS (J)

$$1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m} = 1\text{W}\cdot\text{s}$$

	J	kJ	kW·h	kcal	KM·h	kp·m
1 J=	1	0,001	$2,78\cdot 10^7$	$2,39\cdot 10^4$	$3,77\cdot 10^7$	0,102
1 kJ=	1000	1	$2,78\cdot 10^4$	0,239	$2,78\cdot 10^4$	102
1 kW·h=	3 600 000	3600	1	860	1,36	367 000
1 kcal=	4190	4,19	0,00114	1	0,00158	427
1 PS·h=	2 650 000	2650	0,736	632	1	270 000
1 kp·m=	9,81	0,00981	$2,72\cdot 10^6$	0,00234	$3,7\cdot 10^6$	1

7 lentelė. GALIA

Galios vienetas tarptautinėje matų sistemoje SI yra VATAS (W)

$$1\text{W} = 1\text{J/s} = 1\text{N}\cdot\text{m/s}$$

	W	kW	kcal/s	kcal/h	kp·m/s	KM
1 W=	1	0,001	$2,39\cdot 10^4$	0,860	0,102	0,00136
1 kW=	1000	1	0,239	860	102	1,36
1 kcal/s=	4190	4,19	1	3600	427	5,69
1 kcal/h=	1,16	0,00116	$2,79\cdot 10^4$	1	0,119	0,00158
1 kp·m/s=	9,81	0,00981	0,00234	8,43	1	0,0133
1 PS=	736	0,736	0,176	632	75	1

8 lentelė. SLĖGIS

Slėgio vienetas tarptautinėje matų sistemoje SI yra PASKALIS (Pa)

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

	1 Pa = N/m ²	1 bar = 0,1 MPa	1 kp/m ² = 1 mm Ws	1 at = 1 kp/cm ²	1 atm = 760 Torr	1 Torr = 1/760 atm
1 Pa = 1 N/m ²	1	10 ⁵	0,102	$0,102\cdot 10^4$	$0,987\cdot 10^5$	0,0075
1 bar = 0,1 MPa	10 ⁵	1	10200	1,02	0,987	750
1 kp/m ² = 1 mm Ws	9,81	$9,87\cdot 10^5$	1	10 ⁴	$0,968\cdot 10^4$	0,0736
1 at = 1 kp/cm ²	98 100	0,981	10 000	1	0,968	736
1 atm = 760 Torr	101 325	1,013	10 330	1,033	1	760
1 Torr = 1/760 atm	133	0,00133	13,6	0,00136	0,00132	1

■ IZOLIACIJOS TEORIJA. Priedai

9 lentelė. SI sistemos matavimo vienetų ir Didžiosios Britanijos matavimo vienetų SANTYKIS

ILGIS	1 colis = 25,4 mm 1 pėda = 0,3048 m																																				
PLOTAS	1 colis ² = 645,16 mm ² 1 pėda ² = 0,0929 m ²																																				
TŪRIS	1 colis ³ = 16387 mm ³ 1 pėda ³ = 0,0283 m ³ 1 UK galonas = 4,456 l 1 USA galonas = 3,785 l																																				
MASĖ	1 uncija = 28,35 g 1 gr (grain) = 0,0648 g 1 svaras = 0,4536 kg																																				
JĖGA	1 lbf = 0,4536 kp 1 lbf = 0,00445 kN 1 kp = 0,00981																																				
SLĖGIS	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>lbf/in²</th> <th>lbf/ft²</th> <th>kp/m²</th> <th>kPa = kN/m²</th> <th>Torr = mm Hg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lbf/in² =</td> <td>1</td> <td>144</td> <td>703</td> <td>6,895</td> <td>51,71</td> </tr> <tr> <td>lbf/ft² =</td> <td>0,00694</td> <td>1</td> <td>4,883</td> <td>0,04788</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>kp/m² =</td> <td>0,00142</td> <td>0,2048</td> <td>1</td> <td>0,00981</td> <td>0,0736</td> </tr> <tr> <td>kPa = kN/m² =</td> <td>0,145</td> <td>20,886</td> <td>102</td> <td>1</td> <td>7,52</td> </tr> <tr> <td>Torr = mm Hg =</td> <td>0,0193</td> <td>2,87</td> <td>13,59</td> <td>0,133</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		lbf/in ²	lbf/ft ²	kp/m ²	kPa = kN/m ²	Torr = mm Hg	lbf/in ² =	1	144	703	6,895	51,71	lbf/ft ² =	0,00694	1	4,883	0,04788	0,36	kp/m ² =	0,00142	0,2048	1	0,00981	0,0736	kPa = kN/m ² =	0,145	20,886	102	1	7,52	Torr = mm Hg =	0,0193	2,87	13,59	0,133	1
	lbf/in ²	lbf/ft ²	kp/m ²	kPa = kN/m ²	Torr = mm Hg																																
lbf/in ² =	1	144	703	6,895	51,71																																
lbf/ft ² =	0,00694	1	4,883	0,04788	0,36																																
kp/m ² =	0,00142	0,2048	1	0,00981	0,0736																																
kPa = kN/m ² =	0,145	20,886	102	1	7,52																																
Torr = mm Hg =	0,0193	2,87	13,59	0,133	1																																
TANKIS	1 lb/ft ³ (pcf) = 16,018 kg/m ³																																				
ENERGIJA	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Btu</th> <th>kcal</th> <th>kJ</th> <th>kWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Btu =</td> <td>1</td> <td>0,252</td> <td>1,055</td> <td>0,00029</td> </tr> <tr> <td>Kcal =</td> <td>3,968</td> <td>1</td> <td>4,187</td> <td>0,001163</td> </tr> <tr> <td>kJ =</td> <td>0,948</td> <td>0,239</td> <td>1</td> <td>0,000278</td> </tr> <tr> <td>kWh =</td> <td>3412</td> <td>860</td> <td>3600</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Btu	kcal	kJ	kWh	Btu =	1	0,252	1,055	0,00029	Kcal =	3,968	1	4,187	0,001163	kJ =	0,948	0,239	1	0,000278	kWh =	3412	860	3600	1											
	Btu	kcal	kJ	kWh																																	
Btu =	1	0,252	1,055	0,00029																																	
Kcal =	3,968	1	4,187	0,001163																																	
kJ =	0,948	0,239	1	0,000278																																	
kWh =	3412	860	3600	1																																	
ŠILUMOS LAIDUMAS	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Btu/ft h °F</th> <th>Btu/in² h °F</th> <th>kcal/m h °K</th> <th>W/m °K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Btu/ft h °F =</td> <td>1</td> <td>12</td> <td>1,488</td> <td>1,73</td> </tr> <tr> <td>1 Btu/in² h °F =</td> <td>0,083</td> <td>1</td> <td>0,124</td> <td>0,144</td> </tr> <tr> <td>1 kcal/m h °K =</td> <td>0,672</td> <td>8,064</td> <td>1</td> <td>1,163</td> </tr> <tr> <td>1 W/m °K =</td> <td>0,578</td> <td>6,933</td> <td>0,860</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Btu/ft h °F	Btu/in ² h °F	kcal/m h °K	W/m °K	1 Btu/ft h °F =	1	12	1,488	1,73	1 Btu/in ² h °F =	0,083	1	0,124	0,144	1 kcal/m h °K =	0,672	8,064	1	1,163	1 W/m °K =	0,578	6,933	0,860	1											
	Btu/ft h °F	Btu/in ² h °F	kcal/m h °K	W/m °K																																	
1 Btu/ft h °F =	1	12	1,488	1,73																																	
1 Btu/in ² h °F =	0,083	1	0,124	0,144																																	
1 kcal/m h °K =	0,672	8,064	1	1,163																																	
1 W/m °K =	0,578	6,933	0,860	1																																	
ŠILUMOS PERDAVIMO KOEFICIENTAS	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Btu/in² h °F</th> <th>Btu/ft² h °F</th> <th>kcal/m² h °K</th> <th>W/m² °K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Btu/in² h °F =</td> <td>1</td> <td>144</td> <td>703</td> <td>818</td> </tr> <tr> <td>1 Btu/ft² h °F =</td> <td>0,0694</td> <td>1</td> <td>4,882</td> <td>5,678</td> </tr> <tr> <td>1 kcal/m² h °K =</td> <td>0,00142</td> <td>0,2048</td> <td>1</td> <td>1,163</td> </tr> <tr> <td>1 W/m² °K =</td> <td>0,00122</td> <td>0,1761</td> <td>0,860</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Btu/in ² h °F	Btu/ft ² h °F	kcal/m ² h °K	W/m ² °K	1 Btu/in ² h °F =	1	144	703	818	1 Btu/ft ² h °F =	0,0694	1	4,882	5,678	1 kcal/m ² h °K =	0,00142	0,2048	1	1,163	1 W/m ² °K =	0,00122	0,1761	0,860	1											
	Btu/in ² h °F	Btu/ft ² h °F	kcal/m ² h °K	W/m ² °K																																	
1 Btu/in ² h °F =	1	144	703	818																																	
1 Btu/ft ² h °F =	0,0694	1	4,882	5,678																																	
1 kcal/m ² h °K =	0,00142	0,2048	1	1,163																																	
1 W/m ² °K =	0,00122	0,1761	0,860	1																																	
ŠILUMOS SRAUTO TANKIS	<p>1 Btu/ft h = 0,8268 kcal/m h 1 Btu/ft h = 0,9615 W/m 1 kcal/m h = 1,163 W/m</p> <p>1 Btu/ft² h = 2,712 kcal/m² h 1 Btu/ft² h = 3,155 W/m² 1 kcal/m² h = 1,163 W/m²</p>																																				

10 lentelė. Celsijaus ir Farenheito temperatūros skalių santykis

Perskaičiavimas iš Celsijaus skalės į Farenheito skalę $^{\circ}\text{F} = 1,8 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$								Perskaičiavimas iš Farenheito skalės į Celsijaus skalę $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$							
C	F	C	F	C	F	C	F	F	C	F	C	F	C	F	C
0	32	225	437	450	842	675	1247	0	-18	450	232	900	482	1350	732
5	41	230	446	455	851	680	1256	10	-12	460	238	910	488	1360	738
10	50	235	455	460	860	685	1265	20	-7	470	243	920	493	1370	743
15	59	240	464	465	869	690	1274	30	-1	480	249	930	499	1380	749
20	68	245	473	470	878	695	1283	40	4	490	254	940	504	1390	754
25	77	250	482	475	887	700	1292	50	10	500	260	950	510	1400	760
30	86	255	491	480	896	705	1301	60	16	510	266	960	516	1410	766
35	93	260	500	485	905	710	1310	70	21	520	271	970	521	1420	771
40	104	265	509	490	914	715	1319	80	27	530	277	980	527	1430	777
45	113	270	518	495	923	720	1328	90	32	540	282	990	532	1440	782
50	122	275	527	500	932	725	1337	100	38	550	288	1000	538	1450	788
55	131	280	536	505	941	730	1346	110	43	560	293	1010	543	1460	793
60	140	285	545	510	950	735	1355	120	49	570	299	1020	549	1470	799
65	149	290	554	515	959	740	1364	130	54	580	304	1030	554	1480	801
70	158	295	563	520	968	745	1373	140	60	590	310	1040	560	1490	810
75	167	300	572	525	977	750	1382	150	66	600	316	1050	566	1500	816
80	176	305	581	530	986	755	1391	160	71	610	321	1060	571	1510	821
85	182	310	590	535	995	760	1400	170	77	620	327	1070	577	1520	827
90	194	315	599	540	1004	765	1409	180	82	630	332	1080	582	1530	832
95	203	320	608	545	1013	770	1417	190	88	640	338	1090	588	1540	838
100	212	325	617	550	1022	775	1427	200	93	650	343	1100	593	1550	843
105	221	330	626	555	1031	780	1436	210	99	660	349	1110	599	1560	849
110	230	335	635	560	1040	785	1445	220	104	670	354	1120	604	1570	854
115	239	340	644	565	1049	790	1454	230	110	680	360	1130	610	1580	860
120	248	345	653	570	1058	795	1463	240	116	690	366	1140	616	1590	866
125	257	350	662	575	1067	800	1472	250	121	700	371	1150	621	1600	871
130	266	355	671	580	1076	810	1490	260	127	710	377	1160	627	1610	877
135	275	360	680	585	1085	820	1508	270	132	720	382	1170	632	1620	882
140	284	365	689	590	1094	830	1526	280	138	730	388	1180	638	1630	888
145	293	370	698	595	1103	840	1544	290	143	740	393	1190	643	1640	893
150	302	375	707	600	1112	850	1562	300	149	750	399	1200	649	1650	899
155	311	380	716	605	1121	860	1580	310	154	760	404	1210	654	1660	904
160	320	385	725	610	1130	870	1598	320	160	770	410	1220	660	1670	910
165	329	390	734	615	1139	880	1616	330	166	780	416	1230	666	1680	916
170	338	395	743	620	1148	890	1634	340	171	790	421	1240	671	1690	921
175	347	400	752	625	1157	900	1652	350	177	800	427	1250	677	1700	927
180	356	405	761	630	1166	910	1670	360	182	810	432	1260	682	1710	932
185	365	410	770	635	1175	920	1688	370	188	820	438	1270	688	1720	938
190	374	415	779	640	1184	930	1706	380	193	830	443	1280	693	1730	943
195	383	420	788	645	1193	940	1724	390	199	840	449	1290	699	1740	949
200	392	425	797	650	1202	950	1742	400	204	850	454	1300	704	1750	954
205	401	430	806	655	1211	960	1760	410	210	860	460	1310	710	1760	960
210	410	435	815	660	1220	970	1778	420	214	870	466	1320	716	1770	966
215	419	440	824	665	1229	980	1796	430	221	880	471	1330	721	1780	971
220	428	445	833	670	1238	990	1814	440	227	890	477	1340	727	1790	977

11 lentelė. Kai kurių PAROC techninės izoliacijos gaminių šilumos laidumo koeficientai įvairiose temperatūrose

PAROC gaminiai	Šilumos laidumo koeficientas, esant įvairioms vidutinėms temperatūroms W/m·K						
	λ_{10}	λ_{50}	λ_{100}	λ_{150}	λ_{200}	λ_{300}	λ_{400}
PAROC plokštė SE	0,034	0,039	0,046	0,060	0,073		
PAROC plokštė S	0,033	0,037	0,043	0,052	0,064	0,093	
PAROC plokštė SKL	0,033	0,038	0,046	0,055	0,065		
PAROC plokštės IPL	0,034	0,038	0,046	0,055	0,065	0,090	0,123
PAROC plokštė PLL	0,034	0,038	0,046	0,054	0,065	0,090	
PAROC plokštė F110	0,033	0,038	0,045	0,053	0,063	0,087	0,117
PAROC armuotas demblis 100VM	0,035	0,039	0,046	0,055	0,065	0,090	0,105
PAROC armuotas demblis 80VM	0,035	0,040	0,047	0,056	0,067	0,093	0,127
PAROC lamelių demblis LAM50	0,039	0,046	0,053	0,070	0,085		
PAROC vamzdinis kevalas E	0,034	0,037	0,042	0,049	0,059	0,083	0,116
PAROC vamzdinis kevalas ACE	0,034	0,037	0,042	0,049	0,059		
PAROC vamzdinis kevalas AE	0,034	0,037	0,042	0,049	0,059		

Pastaba: Lentelėje nurodytos λ reikšmės yra skirtos metodiniams tikslams.

Jos gali skirtis nuo oficialiai deklaruojamų dydžių.

12 lentelė. Sauso oro tankis, šiluminė talpa ir šilumos laidumo koeficientas įvairiose temperatūrose

Temperatūra [°C]	Tankis [kg/m ³]	Šiluminė talpa [kJ/(kg · K)]	Šilumos laidumo koeficientas [10 ⁻³ (W/m · K)]
-180	3,8515	1,071	9,00
-160	3,1268	1,036	10,90
-140	2,6391	1,021	12,70
-120	2,2867	1,014	14,60
-100	2,0186	1,011	16,40
-80	1,8073	1,009	18,16
-60	1,6364	1,007	19,83
-40	1,4952	1,006	21,45
-20	1,3765	1,006	23,01
0	1,2754	1,006	24,54
20	1,1881	1,007	26,03
40	1,1120	1,008	27,49
60	1,0452	1,009	28,94
80	0,9859	1,010	30,38
100	0,9329	1,012	31,81
120	0,8854	1,014	33,23
140	0,8425	1,017	34,66
160	0,8036	1,020	36,07
180	0,7681	1,023	37,49
200	0,7356	1,026	38,91
250	0,6653	1,035	42,43
300	0,6072	1,046	45,01
350	0,5585	1,057	49,31
400	0,5170	1,069	52,57
450	0,4813	1,081	55,64
500	0,4502	1,093	58,48
600	0,3986	1,116	63,50
700	0,3577	1,137	67,80
800	0,3243	1,155	71,30
900	0,2967	1,171	74,30
1000	0,2734	1,185	76,80

Pavyzdys: 100 °C $\lambda=0,03181$ (W/m · K)

13 lentelė. Vandens tankis ir šiluminė talpa, esant įvairioms temperatūroms

Temperatūra (°C)	Tankis (kg/m³)	Šiluminė talpa (kJ/kgK)	Temperatūra (°C)	Tankis (kg/m³)	Šiluminė talpa (kJ/kgK)
0	999,9	4,2281	55	985,7	4,1885
5	1000	4,2110	60	983,2	4,1850
10	999,7	4,1984	65	980,6	4,1875
15	999,2	4,1900	70	977,8	4,1904
20	998,2	4,1846	75	974,9	4,1904
25	997,0	4,1808	80	971,8	4,1959
30	995,7	4,1787	85	968,7	4,1988
35	994,0	4,1778	90	965,3	4,2017
40	992,2	4,1778	95	961,9	4,2042
45	990,2	4,1787	100	958,4	4,2080
50	988,1	4,1804			

14 lentelė. Vandens šilumos laidumo koeficientas, esant įvairioms temperatūroms

Temperatūra (°C)	0	20	40	60	80	100
λ (W/mK)	0,55	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71

15 lentelė. Ledo šilumos laidumo koeficientas, esant įvairioms temperatūroms

Temperatūra (°C)	0	-20	-40	-60	-80	-100
λ (W/mK)	2,23	2,44	2,66	2,90	3,17	3,47

Ledo tirpimo šiluma	332 kJ/kg
---------------------	-----------

16 lentelė. Maisto produktų tankis ir šiluminė talpa

Medžiaga	Tankis (g/cm³)	Šiluminė talpa (kJ/kgK)	Medžiaga	Tankis (g/cm³)	Šiluminė talpa (kJ/kgK)
Obuoliai	0,3	3,85	Medus	-	1,45
Bananai	-	3,35	Sūris	-	2,70
Alus	1,02-1,04	3,75	Bulvės	0,65-0,70	3,35
Sviestas	0,95	2,50	Margarinas, skystas	-	1,45
Kiaušiniai	1,09	3,20	Margarinas, sustingęs	-	2,70
Ledas	0,90	2,15	Miltai	0,5-0,6	1,85
Ledai	-	3,30	Pienas	1,03	3,75
Žalieji žirneliai	-	3,35	Aliejus	0,91	1,65
Riebalai	0,93	2,50	Grietinė	1,005	2,85
Žuvis	1,00	3,45	Šokoladas	-	3,20
Žuvis, šaldytas	0,90	1,80	Lašiniai	0,85	2,25
Mėsa	1,00	3,10	Vynas	1,00	3,75
Mėsa, šaldyta	-	1,60	Laukinė paukštiena	-	3,35
Paukštiena	-	3,35	Laukinė paukštiena, šaldyta	-	1,65
Paukštiena, šaldyta	-	1,75	Cukrus	1,58-1,61	1,25
Vaisiai ir daržovės	0,3-0,8	3,80-3,85	Sirupas	1,20	3,20
Grūdai	0,5-0,8	2,10	Svogūnai	-	3,80

17 lentelė. Išorinio paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas vėjotomis sąlygomis

Išorinis izoliacijos skersmuo [mm]	α_y [W/(m² · °C)]				
	Vėjo greitis [m/s]				
	1	5	10	15	20
50	10,1	29,9	50,3	68,6	102,0
75	9,5	27,8	46,6	63,4	94,2
100	9,1	26,4	44,1	60,0	89,1
150	8,6	24,5	40,8	55,6	82,3
200	8,2	23,3	38,7	52,6	77,9
300	7,8	21,7	35,9	48,7	72,0
400	7,5	20,6	34,0	46,1	68,1
500	7,3	19,8	32,7	44,2	65,3
Plokščias paviršius	12,9	29,7	50,5	68,8	102,0

18 lentelė. Įvairių medžiagų šilumos spinduliavimo koeficientas

Medžiaga	Paviršiaus tipas	Spinduliavimo koeficientas [W/(m ² · K ⁴)]	Medžiaga	Paviršiaus tipas	Spinduliavimo koeficientas [W/(m ² · K ⁴)]
Juodas kūnas		5,77	Plieno skarda	Oksiduotas blizgantis sluoksnis	4,72
Metalai			Dažyti metalai		
Aliuminis	Poliruotas	0,30	Aluminio lakas		2,30
Aliuminis	Neapdirbtas	0,50	Baltas pigmentinis lakas		5,23
Švinas	Oksiduotas pilkai	1,62	Juodas blizgantis lakas	Šiurkštus	5,06
Ketus	Neseniai apdirbtas	2,51	Įvairios medžiagos		
Ketus	Liejinio paviršius neapdirbtas	4,70	Asbesto skiedros		5,54
Geležinė skarda	Surūdijęs	3,95	Ažuolo mediena	Lygus	5,16
Geležinė skarda	Nikeliuotas, poliruotas	0,31	Ruloninė stogo danga	Minkštas	5,26
Geležinė skarda	Cinkuotas, pilkas	1,59	Gipsas		5,21
Geležinė skarda	Cinkas aliuminis	1,00	Stiklas	Poliruotas	5,41
Geležinė skarda	Šviežiai nušlifuoti švitrinio popieriumi	1,40	Guma		4,95
Varis	Poliruotas	0,23	Marmuras, šviesiai pilkas		5,37
Varis	Valcuotas	3,61			
Žalvaris	Šviežiai nušlifuoti švitrinio popieriumi	1,19	Plastmasės plokštė, šviesiai pilka	Šiurkštus	2,30
Žalvaris	Neapdirbtas valcuotas paviršius	0,40	Popierius		5,37
Plieno skarda	Valcuotas kaitintas	3,79	Mineralinė vata		5,30
Plieno skarda	Šiurkštus oksiduotas sluoksnis	4,63	Plytos		5,36

19 lentelė. Rasos taško temperatūra t_s , priklausomai nuo oro temperatūros ir santykinės drėgmės

Oro temperatūra (°C)	Rasos taško temperatūra t_s , °C, esant santykinėi drėgmei φ													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

20 lentelė. Linijinis kietųjų medžiagų plėtimasis temperatūrų diapazone nuo 0 iki 100 °C

Medžiaga	Linijinis plėtimasis [mm/m]	Medžiaga	Linijinis plėtimasis [mm/m]
Metalai:		Izoliacinės medžiagos:	
Aliuminis	2,38	Plėtrus kamštis	7,80
Švinas	2,90	Šteatito stiklas	0,85
Bronza	1,75	Poliuretano putos	7,00
Chromas	0,70	Fenolio dervos putos	3,90
Duraliuminis	2,35		
Geležis	1,23	Ugniai atsparios medžiagos:	
Plienas, nelegiruotas	1,15	Boksito plytos	0,52-0,65
Chromuotas plienas	1,10	Chromito plytos	0,73-0,91
Nikeliuotas plienas 36Ni	0,15	Karborundo plytos	0,44-0,54
Ketus	1,04	Magnio plytos	1,39-1,45
Auksas	1,42	Magnezito plytos	1,37-1,45
Konstantanas	1,52	Kvarco-šamotinės plytos	0,50-0,63
Varis	1,65	Šamotinės plytos	0,55-0,63
Žalvaris	1,84	Silikatinės plytos	1,27-1,54
Nikelis	1,30		
Platina	0,90	Sintetinės medžiagos:	
Sidabras	1,96	Epoksidinė derva, armuota stiklo pluoštu 60%	1,00
Cinkas	1,65	Poliesterio derva, armuota stiklo pluoštu 60%	2,00
Alavas	2,67		
Statybinės medžiagos:		Polietilenas	15,00-23,00
Kalkingas smiltainis	0,78	Polistirenas	6,00-8,00
Kalkakmenis	0,70	Polivinilchloridas	7,00-8,00
Klinkeris	0,23-0,48	Poliuretanas	12,00
Marmuras	0,2-2,0	Perlonas	6,00-12,00
Kalkių skiedinys	0,73-0,89	Neilonas	7,00-10,00
Cemento skiedinys	0,85-1,35	Celiulioidas	10,00
Granitas	0,80-1,18		
Stiklas	0,35-0,81		
Porcelianas	0,30		
Akytbetonis	1,08		
Įprastas betonas	1,20		
Aukščiausios rūšies tinkas	0,46-0,90		
Ažuolo mediena	0,76; 5,44		
Eglių mediena	0,30; 5,80		

21 lentelė. Dažniausiai šildymui naudojamo kuro svarbiausiųjų savybių apžvalga

Kuras	Drėgnis [%]	Pelenai [%]	Lakiųjų dalelių kiekis degioje medžiagoje [%]	Kuro degimo šiluma [kJ/kg]	Tankis [kg/m³]
Koksas	4	9	1	28 900	450
Antracitas	2	4	6	32 600	750
Akmens anglis	6	7	35	29 300	800
Medžio anglis	10	1	15	29 700	160
Durpės	30	5	70	14 000	300
Kurui skirta mediena	25	1	80	14 000	-
Skystas kuras	0	0	100	40 000	-

PAROC GROUP gamina, užsiima rinkodara ir parduoda plataus pasirinkimo šilumą izoliuojančias medžiagas, kuria šiltinimo sprendimus, skirtus įvairioms statybos bei pramonės šakoms. Grupė susideda iš trijų padalinių: statybinės izoliacijos, techninės izoliacijos ir konstrukcinių elementų sistemų.



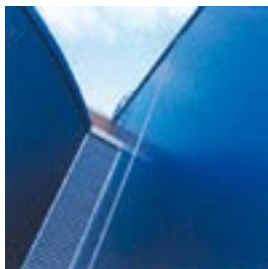
Statybinės izoliacijos padalinys:

Akmens vatos plokštės, dembliai ir biri akmens vata – gaminiai, skirti šilumos, šalčio, priešgaisrinei bei garso izoliacijai, statant arba renovuojant gyvenamuosius pastatus, komercinės bei visuomeninės paskirties statinius.



Techninės izoliacijos padalinys:

Vamzdiniai kevalai, aukštos temperatūros plokštės, armuoti ir nearmuoti dembliai, skirti šilumos, šalčio, priešgaisrinei bei garso izoliacijai. Pagrindinės šių gaminių naudojimo sritys: šildymo, vėdinimo, vandens tiekimo bei kondicionavimo sistemos, pramonės įmonių technologiniai įrenginiai ir laivai.



Konstrukcinių elementų sistemos padalinys:

Ugniai atsparūs konstrukciniai elementai, skirti išorės ir vidaus sienų bei lubų montavimui. Svarbiausios naudojimo sritys: pramonės, komercinės bei visuomeninės paskirties statiniai.



UAB Paroc
Savanorių pr. 124, Vilnius
www.paroc.lt

A MEMBER OF PAROC GROUP