



Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Tehniskā fakultāte  
Lauksaimniecības Enerģētikas institūts

**Raimunds Šeļegovskis**

# **Apsildes sistēmu elementu aprēķina metodika un piemēri**

Metodiskais līdzeklis studiju priekšmetā  
‘‘Siltumapgādes sistēmu projektēšana ‘’  
kursa projekta izstrādei

Jelgava 2008

## Satura rādītājs

Apzīmējumi.....	3
Ievads .....	6
Ūdens centrālapsildes sistēmas ar sildķermeņiem .....	7
Apsildes katla jaudas izvēle .....	10
Sildķermeņu jaudas aprēķins atsevišķai telpai.....	19
1. Telpas siltuma zudumu aprēķins.....	19
2. Sildķermeņu jaudas izvēle .....	20
Apsildes sistēmas hidrauliskais aprēķins .....	27
1. Cirkulācijas sūkņa izvēles parametru aprēķins .....	27
2. Cauruļvadu hidrauliskais aprēķins .....	30
3. Ūdens apsildes sistēmas cauruļvadu hidrauliskā aprēķina metodika pēc īpatnējo spiediena zudumu metodes.....	33
4. Regulēšanas vārstu caurplūdes koeficienta aprēķins .....	38
Termiskās kompensācijas elementu aprēķins caurulēm .....	40
Izplešanās tvertnes izvēle.....	42
1. Tilpuma aprēķins slēgtai izplešanās tvertnei.....	42
2. Tilpuma aprēķins slēgtai izplešanās tvertnei.....	43
Akumulācijas tvertnes izvēle un aprēķins.....	45
Pielikumi	

## Apzīmējumi

$p_{dc}$  - dabiskais cirkulācijas spiediens, Pa;  
 $\rho_a$  - atpakaļgaitas ūdens blīvums,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  
 $\rho_k$  - turpgaitas ūdens blīvums,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  
 $g$  - brīvās krišanas paātrinājums,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ;  
 $h_s$  - siltuma ģeneratora centra un viszemāk esošā sildķermeņa centra augstumu starpība, m.  
 $h_1^I \dots h_n^I$  - attālums pa vertikāli no viena stāva līdz nākošā stāva sildķermeņu zemākajam punktam, m;  
 $h_s$  - siltuma ģeneratora centra un viszemāk esošā sildķermeņa centra augstumu starpība, m.;  
 $\rho_k, \rho_a, \rho_{sn}$  - turpgaitas, atpakaļgaitas un attiecīgajā starpstāvu posmā sajauktā ūdens blīvums,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .  
 $\rho_{k1A} \dots \rho_{knA}$  - sajauktā ūdens blīvums pirmā līdz n-tā stāva stāvvada zarā ar plūsmu uz augšu,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  
 $\rho_{s1L} \dots \rho_{snL}$  - sajauktā ūdens blīvums pirmā, līdz n-tā stāva stāvvada zarā ar plūsmu uz leju,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .  
 $V$  - telpas iekšējā kubatūra,  $\text{m}^3$ ;  
 $q$  - īpatnējie siltuma zudumi, attiecībā pret telpas iekšējo kubatūru,  $\text{W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ;  
 $t_t$  - vidējā telpas gaisa temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $t_{A5}$  - āra gaisa apsildes sezonas piecu visaukstāko diennakšu vidējā temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$   
 $U_i$  - attiecīgā būvelementa aprēķina siltuma caurlaidības koeficients  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  
 $A_i$  - attiecīgā būvelementa virsmas laukums,  $\text{m}^2$ ;  
 $\Psi_i$  - lineārā termiskā tilta aprēķina siltuma caurlaidības koeficients  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;  
 $l_i$  - lineārā termiskā tilta projektējamais garums, m;  
 $\chi_k$  - punktveida termiskā tilta punkta aprēķina siltuma caurlaidības koeficients  $\text{W}/\text{K}$ .  
 $n$  - koeficients, kas ievērtē konstrukcijas novietojumu (ārsienas, grīdas 1, bēniņu pārsedes 0,9, ...)  
 $t_t$  - nepieciešamā telpas temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $t_{a5}$  - gada visaukstāko piecu diennakšu vidējā temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $R_0$  - konstrukcijas termiskā pretestība,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .  
 $\alpha_t$  un  $\alpha_A$  - iekšējās un ārējās sienas virsmas siltumatdeves koeficienti  
 $\delta$  - siltumu vadošā slāņa biezums, m  
 $\lambda_d$  - slāņa materiāla aprēķina siltumvadītspēja,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$   
 $\Delta\lambda_w$  - labojuma koeficients siltumizolācijas darba apstākļiem,  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ;  
 $Q_{ns}$  - nepieciešamā sildķermeņa siltuma jauda, W;  
 $Q_c$  - cauruļvadu atdotā siltuma jauda, W.  
 $F_0$  - nepieciešamais sildķermeņu sildvirsmas laukums,  $\text{ekm}$ ;  
 $g_0$  - izvēlēta sildķermeņa viena ekvivalentā kvadrātmetra siltuma atdeve,  $\text{ekm}$  ;  
 $h_A$  - ēkas viena kvadrātmetra īpatnējais siltuma patēriņš,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  
 $H_{TR}$  - normatīvais siltuma zudumu koeficients,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$\beta_1$  – koeficients, kas ievērtē sildķermeņa sekciju skaitu (to sākumā pieņem aptuveni, pēc tam, ja aprēķinātais sekciju skaits atšķiras, veic koriģēto aprēķinu).  
 $\beta_2$  – koeficients, kas ievērtē ūdens dzišanu cauruļvados;  
 $\beta_3$  – koeficients, kas ievērtē sildķermeņa uzstādīšanas shēmu;  
 $\beta_4$  – koeficients, kas ievērtē siltumnesēja pievadīšanas shēmu.  
 $k_s$  – sildķermeņa siltumpārejas koeficients,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  
 $\Delta t_v$  – temperatūru starpība starp vidējo siltumnesēja temperatūru sildķermenī un telpas gaisa temperatūru, K.  
 $G_R$  – relatīvais sildķermeņa ūdens patēriņš;  
 $G_{ks}$  – faktiskais nepieciešamais ūdens plūsmas daudzums, kg/h;  
 $k_{rs}$  – koeficients, kas ievērtē sildķermeņa veidu  
 $Q_f$  – faktiskā sildķermeņa jauda, W;  
 $Q_n$  – nominālā sildķermeņa jauda, W;  
 $k_t$  – temperatūras koeficients ( $k_t = f(\Delta T)$ );  
 $t_k$  – turpgaitas siltumnesēja vidējā temperatūra,  $^{\circ}C$ ;  
 $t_a$  – no sildķermeņa izplūstošā siltumnesēja vidējā temperatūra,  $^{\circ}C$ ;  
 $t_t$  – telpas gaisa vidējā temperatūra,  $^{\circ}C$ .  
 $Q_z$  – nepieciešamā siltuma jauda, W  
 $G_s$  – sūkņa ražīgums, kg/s;  
 $c_{H_2O}$  – ūdens īpatnējā siltumietilpība,  $J/kg^{\circ}C$ .  
 $G_v$  – sūkņa ražīgums,  $m^3/h$ ;  
 $\rho_v$  – ūdens vidējais blīvums,  $kg/m^3$ .  
 $R$  – lineārie spiediena zudumi 1 m garā cauruļvada posmā, Pa;  
 $\lambda$  - hidrauliskās pretestības koeficients, ko nosaka cauruļvada iekšējās virsmas raupjums un plūsmas režīms;  
 $d$  – cauruļvada diametrs, m;  
 $P_d$  – dinamiskais spiediens, Pa;  
 $z$  – spiediena zudumi vietējās pretestībās, Pa;  
 $\xi$  - vietējo pretestību koeficients.  
 $\xi_{ek}$  – ekvivalentais vietējo pretestību koeficients  
 $\Sigma_{ek}$  – ekvivalento cauruļvadu garumu summa, m.  
 $G$  – siltumnesēja plūsma, kg/s;  
 $S$  – posma pretestības raksturojums,  $Pa/(kg/h)^2$ ;  
 $A$  – īpatnējais dinamiskais spiediens;  
 $Q$  – siltuma jauda, kas jāpārvada dotajā posmā, W;  
 $c_{H_2O}$  – ūdens īpatnējā siltumietilpība,  $J/kg^{\circ}C$ ;  
 $P_s$  – cirkulācijas sūkņa radītais spiediens, Pa;  
 $P_{ds}$  – dabiskais cirkulācijas spiediens, kas rodas ūdenim atdziestot sildķermeņos, Pa;  
 $P_{dv}$  – dabiskais cirkulācijas spiediens, kas rodas ūdenim atdziestot cauruļvados, Pa;  
 $b$  – korekcijas koeficients.  
 $R_{or}$  – orientējošie lineārie īpatnējie spiediena zudumi, Pa/m;

$k_c$  – koeficients, kas ievērtē cirkulācijas veidu;  
 $\delta_T$  – cauruļvada garuma izmaiņa, m;  
 $\alpha_T$  – materiāla termiskās izplešanās koeficients,  $m/m \cdot K$ ;  
 $\Delta t$  – temperatūras izmaiņa, K;  
 $l$  – cauruļvada garums, m.  
 $L$  – kompensācijas cilpas garums, m;  
 $E$  – Junga elastības modulis, MPa  
 $\delta_T$  – cauruļvada garuma izmaiņa, m;  
 $\sigma$  - pieļaujamais stiepes spriegums, Mpa ;  
 $G_v$  – siltumnesēja plūsma caur vārstu, l/s;  
 $\Delta p$  = spiediena kritums uz vārsta, kPa.  
 $V_{tv}$ - tvertnes derīgais tilpums, l (t.i. tilpums, ko papildus aizņems ūdens izplešoties);  
 $V_s$ - sistēmas ūdens tilpums, l;  
 $k_{ti}$  – ūdens termiskās izplešanās koeficients,  $1/^\circ C$   
 $t_{maks}$  – maksimālā ūdens temperatūra,  $^\circ C$ ;  
 $t_{mins}$  – minimālā ūdens temperatūra,  $^\circ C$ .  
 $p_{st}$ - absolūtais statiskais spiediens sistēmā, kPa;  
 $\Delta p$ - spiedienu starpība izmainoties temperatūrai ;  
 $\Delta V_{H_2O}$ - ūdens tilpuma pieaugums mainoties temperatūrai, l  
 $G$ - ūdens masa sistēmā, kg  
 $\Delta v$ - ūdens tilpuma izmaiņa uz 1kg, l/kg

## IEVADS

Telpu apsilde cilvēku dzīvē vienmēr ir bijusi problēma, kas soli pa solim risināta arvien jaunā kvalitātē. Tās pirmsākumi, kad uguni kurināja telpas vidū, rodami 500 gadu tālā senatnē, kas uzskatāma par primitīvu tiešu gaisa sildīšanu telpā. Pie šāda telpas apsildes veida telpa tika piesārņota ar dūmiem un kvēpiem.

Pēc 1800. gada sāka mūrēt krāsnis, kas bija jau daudz racionālāks telpu apsildes variants, jo karstās dūmgāzes tika izvadītas dūmenī, tādējādi nepiesārņojot telpas, bet siltais gaiss tika akumulēts krāsns sienās, labākajos risinājumos krāsns atdeva siltumu pat vairāk kā 24 stundas ar vienu kurināšanas reizi.

Lai katrā dzīvojamās ēkas telpā nebūtu jābūvē krāns un virtuvē ar malku kurināms pavards, pēc 1900. gada, sāka būvēt mājas ar centrālu telpu apsildes sistēmu jeb centrālapkures sistēmu. Šīs sistēmas pamatideja ir darbināt vienu siltuma ģeneratoru, (kuru dažkārt sauc arī par katlu), tajā sasilda siltumnesēju – ūdeni vai gaisu, lietojot cieto, vēlākajos gados – šķidro vai gāzveida kurināmo, tādējādi centralizēti apsildot gan visas dzīvojamās ēkas telpas no viena siltuma avota, gan patērējot mazāku darbaspēku, iegūstot lielāku komfortu.

Lai pareizi izvēlētos apsildes sistēmas elementu parametrus ir nepieciešams veikt to aprēķinu.

Šajā metodiskajā līdzeklī tiks apskatītas apsildes sistēmas, kur par siltumnesēju izmanto ūdeni. Tiek dota sistēmas atsevišķu elementu aprēķinu un izvēles metodika kā arī aprēķinu piemēri.

## Ūdens centrālapsildes sistēmas ar sildķermeņiem

Ūdens centrālapsildes sistēmās kā siltumnesēju, izmanto ūdeni, ko pa cauruļvadiem nogādā no centrālā siltuma ģeneratora uz apsildāmajām telpām. Ūdens apsildes sistēmas ar sildķermeņiem telpās var iedalīt pēc vairākām pazīmēm. Iedalījums ir dots dažādos literatūras avotos atkarībā no dažādiem kritērijiem. Kā piemērs, 1. tabulā ir sniegts iedalījums pēc pazīmēm, kas ļauj identificēt dažādus ūdens apsildes sistēmu veidus [1].

1. tabula

Ūdens apsildes sistēmu klasifikācija [1]

Klasifikācijas pazīme	Sistēmas galvenās pazīmes	Sistēmas nosaukums
<b>Ūdens cirkulācijas ierosme</b>	Cirkulācijas avots: spiediens blīvuma izmaiņas dēļ.	Dabiskās cirkulācijas
	Cirkulācijas avots: sūkņa radītais vai centrālo siltumtīklu spiediens	Piespiedu cirkulācijas
<b>Cauruļvadu un sildķermeņu savienojuma shēma</b>	Sildķermeņi virknē	Viencaurules
	Sildķermeņi paralēli	Divcauruļu
<b>Sildķermeņu savienojošo cauruļvadu stāvoklis</b>	Vertikāls	Vertikālā
	Horizontāls	Horizontālā
<b>Maģistrālo cauruļvadu izvietojums</b>	Turpgaitas maģistrāle augstāk, atpakaļgaitas zemāk par sildķermeņiem	Ar augšējo sadali
	Turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrāle atrodas, zemāk par sildķermeņiem	Ar apakšējo sadali
	Turpgaitas maģistrāle zemāk, atpakaļgaitas augstāk par sildķermeņiem	Ar pretēju cirkulāciju
<b>Siltumnesēja un vides mijiedarbība</b>	Siltumnesējam ir saskare ar atmosfēru	Vaļēja
	Siltumnesējs nesaskaras ar atmosfēru	Slēgta
<b>Cirkulējošā siltumnesēja virziens</b>	Turpgaitas un atpakaļgaitas vados ir pretējs plūsmas virziens	Strupceļa
	Turpgaitas un atpakaļgaitas vados ir vienāds plūsmas virziens	Līdzgaitas
	Sildķermeņa divās daļas ir pretēja plūsma	Bifilāra (divplūsma)

Ūdens apsildes sistēmu ar sildķermeņiem galvenās pozitīvās īpašības ir sekojošas:

- ērta siltumnesēja sadale un siltuma pievade telpām;
- pareizi noregulētas un dinamiski balansētas sistēmas ir hidrauliski stabilas, tas nozīmē, ka ir efektīva un racionāla siltuma sadale;
- mazāka gaisa kustība telpā nekā gaisa apsildes sistēmām;
- efektīva iepļūstošā un infiltrētā gaisa uzsilde;
- siltums labi izplatās telpā, pateicoties konvekcijai.

Galvenie trūkumi:

- siltuma sadalījums telpā pa vertikāli nav optimāls;
- konvektīvā gaisa plūsma rada putekļu pārvietošanos;
- pastāv siltumnesēja sasalšanas problēmas;
- ilgāks vēlamās gaisa temperatūras sasniegšanas laiks telpā no kurināšanas sākuma nekā gaisa sistēmām;
- sildķermeņi var estētiski neiekļauties telpas interjerā.

Ūdens cirkulāciju dabiskās cirkulācijas sistēmā nodrošina cirkulācijas spiediens, kas rodas pateicoties ūdens blīvumu starpībai starp karsto turpgaitas un atdzisušo atpakaļgaitas ūdeni. Cirkulāciju ietekmē tādi faktori, kā augstumu starpība starp sildķermeņa un siltuma ģeneratora atrašanās stāvokli virs zemes. Jo tā lielāka, jo cirkulācijas spiediens lielāks un cirkulācija intensīvāka. Cauruļvadu diametrs nosaka sistēmas hidraulisko pretestību. Nedaudz cirkulācijas spiedienu ietekmē arī ūdens atdzišana cauruļvados, kas ir atkarīga no to virsmas laukuma un materiāla. Viencaurules sistēmā rodas papildus dabiskais spiediens, ko rada ūdens atdziestot sildķermeņos, kas ietekmē caurplūdi visā attiecīgajā stāvvadā.

**Dabisko cirkulācijas spiedienu divcauruļu sistēmā** neņemot vērā spiedienu, kas rodas cauruļvadu atdzišanas rezultātā, var noteikt pēc sekojošas sakarības:

$$p_{dc} = g * h_s * (\rho_a - \rho_k) \quad (1)$$

kur:  $p_{dc}$  - dabiskais cirkulācijas spiediens, Pa;  
 $\rho_a$  - atpakaļgaitas ūdens blīvums,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  
 $\rho_k$  - turpgaitas ūdens blīvums,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  
 $g$  - brīvās krišanas paātrinājums,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ;  
 $h_s$  - siltuma ģeneratora centra un vizzemāk esošā sildķermeņa centra augstumu starpība, m.

**Dabisko cirkulācijas spiedienu viencaurules sistēmā ar augšējo sadali,** neievērtējot ūdens atdzišanu cauruļvados, var noteikt pēc sakarības:

$$p_{dc} = g * [h_1^I * (\rho_{s1} - \rho_k) + \dots + h_n^I * (\rho_{sn} - \rho_k) + \dots + h_s * (\rho_a - \rho_k)] \quad (2)$$

kur:  $h_1^I \dots h_n^I$  - attālums pa vertikāli no viena stāva līdz nākošā stāva sildķermeņu zemākajam punktam, m;



$h_s$  - siltuma ģeneratora centra un viszemāk esošā sildķermeņa centra augstumu starpība, m.;

$\rho_k, \rho_a, \rho_{sn}$  – turpgaitas, atpakaļgaitas un attiecīgajā starpstāvu posmā sajauktā ūdens blīvums,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

**Dabisko cirkulācijas spiedienu viencaurules sistēmā ar apakšējo sadali, neievērtējot ūdens atdzišanu cauruļvados, var noteikt pēc sakarības:**

$$p_{dc} = g * [h_1^I * (\rho_{s1L} - \rho_{k1A}) + \dots + h_n^I * (\rho_{snL} - \rho_{knA}) + \dots + h_s * (\rho_a - \rho_k)] \quad (3)$$

kur:  $\rho_{k1A} \dots \rho_{knA}$  – sajauktā ūdens blīvums pirmā līdz n-tā stāva stāvvada zarā ar plūsmu uz augšu,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;

$\rho_{s1L} \dots \rho_{snL}$  – sajauktā ūdens blīvums pirmā, līdz n-tā stāva stāvvada zarā ar plūsmu uz leju,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

No šīm sakarībām ir redzams, cik būtisks ir savstarpējais sildķermeņu un siltuma ģeneratora savstarpējais novietojums, lai izbūvētu darboties spējīgu sistēmu ar dabisko cirkulāciju. Viencaurules sistēmā dabiskais cirkulācijas spiediens ir lielāks nekā divcauruļu, jo tajās rodas papildus spiediens ūdens atdzišanas dēļ atsevišķu stāvu sildķermeņos.

Iebūvējot sistēmā sūkni, tiek izveidota piespiedu cirkulācijas sistēma, jo papildus spiedienu starpība tiek radīta ar sūkņa palīdzību. Tas ļauj izmantot ievērojami mazāka diametra cauruļvadus.

# Apsildes katla jaudas izvēle

## Aptuvenis aprēķins

Pieņemts, ka apsildes katla jaudu aptuveni izvēlās pēc apsildāmās platības vai tilpuma.

Pēc platības: 70... 110 W/m<sup>2</sup>, ja telpu griestu augstums ...2,5m,  
Pēc tilpuma: 20... 50 W/m<sup>3</sup>, ja telpu griestu augstums virs 2,5m.  
Pieskaita: + 10% karstā ūdens sagatavošanai  
+20% cietam kurināmajam (mitra malka u. tml.).

Dažādas nozīmes ēkām, šie siltuma zudumi atšķiras. Aptuvenus siltuma zudumus aprēķinam var pieņemt atbilstoši pielikumos dotajai 4. tabulai.

**1. piemērs:** ēkas apsildāmā platība 200 m<sup>2</sup> un griestu augstums ir h=2,5m. Jāaprēķina aptuvenā ēkas siltuma zudumu plūsma.

Pieņem, ka slikta sienu siltumizolācija, tad izvēlas 110 W/m<sup>2</sup> un nepieciešamā apkures katla jauda ir  $Q=200*110*1,1*1,2=29,040 \text{ W} = 29 \text{ kW}$ ,

Ja siltumizolācija laba, tad izvēlas 70 W/m<sup>2</sup> un  $Q=200*70*1,1*1,2=18480 \text{ W} = 18,5 \text{ kW}$ ,

**Piezīme:** kā redzams, šāda metode ir ļoti vienkārša, bet nedod precīzu rezultātu, kas objektīvi ievērtētu reālos apstākļus. **Tādēļ praktiski nav ieteicams izmantot šo metodi siltuma zudumu noteikšanai.**

Vēl viena aptuvena aprēķinu metode ir izmantojot īpatnējos siltuma zudumus q (W/m<sup>3</sup>), kuri ir attiecināti pret telpas kubatūru. Siltuma zudumu plūsmas aprēķinu veic pēc sekojošas formulas:

$$Q_z = V * q * (t_i - t_{A5}) \quad (4)$$

kur: V – telpas iekšējā kubatūra, m<sup>3</sup>;  
q – īpatnējie siltuma zudumi, attiecībā pret telpas iekšējo kubatūru, W/(m<sup>3</sup>\*K);  
t<sub>i</sub> – telpas gaisa temperatūra, °C;  
t<sub>A5</sub> – āra gaisa apsildes sezonas piecu visaukstāko diennakšu vidējā temperatūra, °C

Īpatnējos zudumus q pieņem sekojošus:

- stūra istabām un koridoriem ar durvīm uz āru q = 0,93-1 W/(m<sup>3</sup>\*K);
- istabām ar vienu ārsienu q = 0,58 – 0,82 W/(m<sup>3</sup>\*K);
- istabām bez ārsienām q = 0,23-0,35 W/(m<sup>3</sup>\*K).

Šis aprēķins var tikt pielietots tikai vienstāva ēkām un arī nav īpaši precīzs, jo īpatnējie zudumi  $q$  var mainīties plašās robežās atkarībā no būvelementu siltumtehnikajiem parametriem.

## Precīzs aprēķins

Siltumenerģijas enerģijas zudumus (atbilstoši LBN 002-01 „Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika”) caur ēkas būvelementiem, ja temperatūras starpība uz to pretējām virsmām ir viens grāds, var izteikt ar ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficientu  $H_T$ , W/K, ko nosaka pēc formulas 5. Aprēķina siltuma zudumu vērtības nosaka atbilstoši tām raksturlielumu vērtībām, kuras lietotas aprēķinos, veicot būvprojektēšanu, un fiksētas būvprojektā. Šādu aprēķinu veic būves projekta izstrādes procesā, lai ēku siltumtehnikie parametri atbilstu normatīvajiem.

$$H_T = \Sigma(U_i * A_i) + \Sigma(\psi_i * I_i) + \Sigma\chi_k \quad , \quad (5)$$

kur:  $U_i$  – attiecīgā būvelementa aprēķina siltuma caurlaidības koeficients W/(m<sup>2</sup> x K);  
 $A_i$  – attiecīgā būvelementa virsmas laukums, m<sup>2</sup>;  
 $\psi_i$  – lineārā termiskā tilta aprēķina siltuma caurlaidības koeficients W/(m x K);  
 $l_i$  – lineārā termiskā tilta projektējamais garums, m;  
 $\chi_k$  – punktveida termiskā tilta k punkta aprēķina siltuma caurlaidības koeficients W/K..

Termiskais tilts ir jebkurš paaugstinātas siltumvadītspējas konstruktīvs ieslēgums būvelementā, piemēram, šuve.

Būvelementa siltuma caurlaidības koeficientu var noteikt atbilstoši standartam LV EN ISO 6946:2003+A1L, ņemot vērā būvelementa konstruktīvo slāņu neviendabību un termiskus tiltus, ēkām aprēķina siltuma zudumu koeficientu  $H_T$  nosaka saskaņā ar 6. formulu (norobežojošās konstrukcijas platību nosakot pēc būvelementa ārējiem izmēriem):

$$H_T = \Sigma(U_i * A_i) \quad (6)$$

Aprēķina siltuma caurlaidības koeficienta  $U_i$  vērtību nosaka:

1. sienām, jumtiem un grīdām, kas ir saskarē ar āra gaisu, - saskaņā ar standartu LVS EN ISO 6946;
2. grīdām, kam nav saskares ar āra gaisu, - saskaņā ar standartu LVS EN ISO 13370;
3. logiem un durvīm – aprēķina vai nosaka atbilstoši standartam LVS ISO 10077-1;
4. termiskajiem tiltiem  $\psi_j$ ,  $\chi_k$  vērtības nosaka saskaņā ar standartu LVS EN ISO 10211-1, LVS ISO 10211-2 vai LVS ISO 14683.

Aprēķinos izmantojamās siltumvadītspējas un citu siltumtehnisko raksturlielumu vērtības nosaka saskaņā ar tabulu 1. pielikumā.

Atbilstoši Latvijas būvnormatīvam LBN 002-01 „Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika” siltuma zudumu maksimālo vērtību ierobežo normatīvais siltuma zudumu koeficients  $H_{TR}$ , kā arī būvelementu normatīvie siltumcaurlaidības koeficienti  $U_{RN}$  un  $\psi_{RNj}$  (termiskajiem tiltiem, t.i. šuvēm u.tml.). Šie koeficienti ir piemērojami jauncelāmajām dzīvojamām, publiskajām un ražošanas ēkām. Atsevišķiem elementiem šie koeficienti var pārsniegt normatīvās vērtības, bet nedrīkst pārsniegt maksimālās, ko arī reglamentē minētie normatīvi. Tādējādi jauncelāmajām ēkām var veikt aptuvenu siltuma zudumu aprēķinu vadoties no tā, ka šie normatīvi celtniecības procesā tiks ievēroti.

Dzīvojamām mājām siltuma zudumu normatīvo koeficientu  $H_{tr}$  aprēķina sekojoši:

$$H_{TR} = h_A * A \quad (7)$$

kur:  $H_{TR}$  – normatīvais siltuma zudumu koeficients, W/ K;

$h_A$  – ēkas viena kvadrātmetra īpatnējais siltuma patēriņš, W/(m<sup>2</sup>\*K);

$A$  – dzīvojamās mājas apsildāmo grīdas laukumu summa visos stāvos, m<sup>2</sup>.

2.tabula

**Īpatnējais siltuma patēriņš dzīvojamām mājām, pansionātiem, bērnu dārziem, slimnīcām**

Mājas veids	Īpatnējais siltuma patēriņš $h_A$ , W/( m <sup>2</sup> *K)
Vienstāva	1,05
Divstāvu	0,8
Trīsstāvu un četrstāvu	0,7
Piecu un vairāk stāvu	0,6

Tomēr, siltuma zudumi var atšķirties no normatīvajiem, un būt mazāki par tiem, kas tiek aprēķināti atbilstoši normatīvajiem, tāpēc precīzāk siltuma zudumus ēkai un līdz ar to arī nepieciešamo siltuma ģeneratora jaudu var noteikt aprēķinot siltuma zudumus caur ēkas būvkonstrukciju virsmām, kas atdod siltumu apkārtnei (sienas, griesti un jumts, grīdas, logi).

Siltuma zudumus caur būvkonstrukcijām (sienām, griestiem, grīdu) var aprēķināt:

$$Q = n * A * (t_t - t_{ta5}) / R_0 \quad (8)$$

kur:  $n$  - koeficients, kas ievērtē konstrukcijas novietojumu (ārsienas, grīdas 1, bēniņu pārsedes 0,9, ...)

$A$  - konstrukcijas virsmas laukums, m<sup>2</sup>;

$t_t$  – nepieciešamā vidējā telpas gaisa temperatūra, °C;

$t_{a5}$  – gada visaukstāko piecu diennakšu vidējā temperatūra, °C;

$R_0$ - konstrukcijas termiskā pretestība,  $m^2 \cdot K/W$ .

$$R_0 = 1/\alpha_t + R_1 + R_2 + \dots + 1/\alpha_A, \quad (9)$$

kur:  $\alpha_t$  un  $\alpha_A$  – iekšējās un ārējās sienas virsmas siltumatdeves koeficienti, var pieņemt [1], ka:

$$\alpha_t = 7 \dots 8,7 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_A = 23 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K) sienām, kas saskaras ar āra gaisu,}$$

$$12 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K) bēniņu pārsedzēm,}$$

$$7 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K) pagraba pārsedzēm,}$$

$$R_1 + R_2 + \dots - \text{konstrukcijas slāņu termisko pretestību summa, m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R = \delta/\lambda_d,$$

kur:  $\delta$ - siltumu vadošā slāņa biezums, m

$\lambda_d$  – slāņa materiāla aprēķina siltumvadītspēja,  $W/(m \cdot K)$

Visiem siltumizolācijas materiāliem nosaka deklarētās siltumvadītspējas klasi. Siltumizolācijas materiāla klase ir tā garantētā deklarētā siltumvadītspēja  $\lambda_{cl}$ , kas izteikta  $W/(m \cdot K)$  un noapaļota uz augstāko tuvāko klases rādītāju. Ražotājs norāda siltumizolācijas materiāla klasi uz izstrādājuma iepakojuma.

Ir šādas deklarētās siltumvadītspējas klases  $W/(m \times K)$ :  $\lambda_{cl} 0,016, \lambda_{cl} 0,018, \lambda_{cl} 0,020, \lambda_{cl} 0,022, \lambda_{cl} 0,024, \lambda_{cl} 0,026, \lambda_{cl} 0,028, \lambda_{cl} 0,030, \lambda_{cl} 0,033, \lambda_{cl} 0,036, \lambda_{cl} 0,039, \lambda_{cl} 0,042, \lambda_{cl} 0,045, \lambda_{cl} 0,050, \lambda_{cl} 0,055, \lambda_{cl} 0,060, \lambda_{cl} 0,065, \lambda_{cl} 0,070, \lambda_{cl} 0,080, \lambda_{cl} 0,090, \lambda_{cl} 0,100, \lambda_{cl} 0,110, \lambda_{cl} 0,120, \lambda_{cl} 0,130, \lambda_{cl} 0,140, \lambda_{cl} 0,160, \lambda_{cl} 0,180, \lambda_{cl} 0,200, \lambda_{cl} 0,220, \lambda_{cl} 0,240, \lambda_{cl} 0,260, \lambda_{cl} 0,280$  un  $\lambda_{cl} 0,300$ .

Siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēju  $\lambda_d$   $W/(m \times K)$  nosaka, izmantojot 10. formulu, un pieskaitot labojuma koeficientu  $\Delta\lambda_w$ , kas ievērtē siltumizolācijas darba apstākļus, ko var atrast 2. un 3. tabulā pielikumā .

$$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w, \quad (10)$$

kur:  $\Delta\lambda_w$  – labojuma koeficients siltumizolācijas darba apstākļiem,  $W/m^2 \cdot K$ ;

Siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspējas  $\lambda_d$  skaitliskās vērtības dažādiem materiāliem var atrast 1. tabulā pielikumos.

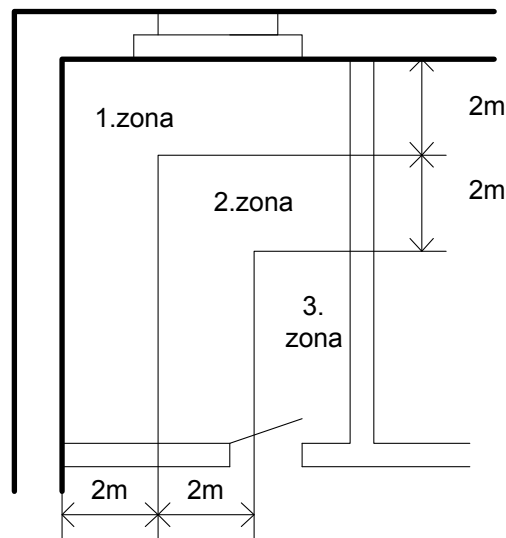
Termisko pretestību vienslāņa grīdai, kas balstās tieši uz grunts, vienkāršoti nosaka sadalot to 2 m platās joslās [1] un pieņemot noteiktu termisko pretestību  $R$  katrai zonai sākot no tās, kura ir tuvāk ārsienai (1.att.)

1. zonai  $R=2,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

2. zonai  $R=4,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

3. zonai  $R=8,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Pārējai grīdas daļai:  $R=14,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$



**1.att. Grīdas sadalīšana zonās**

Pirmās zonas grīdas laukumu, kas atrodas stūrī pie ārsienām, aprēķinā ņem divas reizes. Ja daļa ārsienas iegremdēta zemē un aiz tās ir grunts, šo daļu uzskata par grīdas turpinājumu, un aprēķinu veic analogi grīdai.

Uz grunts balstītai grīdai, kurā ir iestrādāti siltumizolācijas materiāli, precīzāku aprēķinu jāveic ievērojot tās atsevišķo materiālu slāņu siltumtehnikās īpašības, pie deklarētās siltumvadītspējas klases ievērojot pielikumos dotos 2. un 3. tabulas labojuma koeficientus.

Aprēķinātie zudumi caur norobežojošām būvkonstrukcijām jāpalielina par:

1. sienām, kas atrodas uz Z, A, ZA, ZR +10%
2. sienām, kas atrodas uz R,DA +5%
3. sienām, ja vēja vidējais ātrums janvārī nepārsniedz 5m/s +5%  
5...10m/s +10%  
virs 10m/s +15%

Ja ēka atrodas atklātā vietā (kalnā, krastā u.tml.), šie pieskaitījumi jādupulto.

Dzīvojamās ēkās jāievērtē sadzīvē izdalītais siltums atbilstoši normām, kas jāatņem no zudumiem.

Kad aprēķināti kopējie ēkas zudumi, siltuma ģeneratoru izvēlas ar tuvāko lielāko jaudu. Pie izvēles jāņem vērā papildus jauda, ja vienlaicīgi paredzēta siltā ūdens sagatavošana, akumulācijas tvertnes izmantošana (skatīt papildus jaudas aprēķinu akumulācijas tvertnei), cietā kurināmā katliem jāņem vērā kurināmā kvalitāte.

Ja ar šādi izvēlētu katlu reālā gaisa temperatūra telpās nav pietiekoša, tad nevis jāmaina katls, bet jānovērš siltuma zudumi no telpām.

Nav vēlams izmantot katlu, kura jauda ievērojami pārsniedz aprēķināto, jo tas darbosies ar nepilnu slodzi, kā rezultātā:

- pazeminās lietderības koeficients
- palielinās darvas nosēdumu veidošanās uz sildvirsmām
- pastiprinās kondensāta veidošanās katlā (var samazināt uzturot pietiekošu temperatūru ūdenim un dūmgāzēm)
- katlu viegli pārkurināt.

3. tabula

Noslēgta gaisa starpslāņa termiskā pretestība  $R_{gs}$ ,  $m^2 \cdot K/W$

Gaisa starpslāņa biezums, cm	Starpslāņa vieta			
	Sienā vai griestos		Grīdā	
	Gaisa temperatūra starpslānī, °C			
	Līdz 0	Virš 0	Līdz 0	Virš 0
1	0,13	0,15	0,14	0,15
2	0,14	0,15	0,15	0,19
3	0,14	0,16	0,16	0,21
5	0,14	0,17	0,17	0,22
10	0,15	0,18	0,18	0,23
15	0,15	0,18	0,19	0,24
20 - 30	0,15	0,19	0,19	0,24

**2.piemērs:** ēkas garums 12m, platums 10m ārsienu augstums 6m, nepieciešamā telpas temperatūra  $+18^{\circ}C$ , gada visaukstāko piecu diennakšu vidējā temperatūra  $-20^{\circ}C$ . Siena sastāv no silikāta ķieģeļu mūra 12cm biezumā, gaisa spraugas 3cm, vēja izolācijas plāksnes Isover RKL-E7 2,5cm, minerālvates Isover KL-560 kārtas 10cm, reģipša plāksnes 1,3cm biezumā. Sienā atrodas 8 logi dubultā koka rāmī ar izmēriem 1,8\*1,6m katrs. Griestu pārsegums sastāv no reģipša plāksnēm, gaisa spraugas 3cm, dēļu kārtas 2,5 cm un Isover minerālvates EL560 15cm biezumā. Grīda balstās uz grunts. Jāaprēķina siltuma zudumu plūsma un nepieciešamā katla jauda.

1. Atrodam pēc literatūrā dotām tabulām siltumvadītspējas koeficientus  $\lambda_d$   $W/m \cdot K$  katram materiālam:

ķieģeļi 0,52  
 vēja izol. Plāksnes 0,032  
 siltumizolācija 0,036  
 reģipša plāksne 0,47  
 koka dēļi 0,17

Gaisa spraugai termisko pretestību nosaka pēc biezuma:  
pie 3cm  $R_{gs}=0,16 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

2. Sienas termiskā pretestība ir  
 $R_0=1/8+0,12/0,52+0,025/0,032+0,1/0,036+0,013/0,47+0,16+1/23=4,14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

3. Sienu virsmas laukums ir:  
 $A_s=2*(12+10)*6-1,6*1,8*8=241 \text{ m}^2$

4. Zudumu plūsma caur sienu ir:  
 $Q_s=1*109*(18-(-20))/4,14=2212 \text{ W}$

5. Zudumu plūsma caur logiem ir:  
 $Q_L=N*A_l*(t_t-t_{tas})/R_l$ ,  
kur: N-logu skaits  
 $A_l$ -viena loga virsmas laukums,  $\text{m}^2$   
 $R_l$ -loga termiskā pretestība,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (4. tabula).

$Q_l=8*1,6*1,8*(18-(-20))/0,38=2304 \text{ W}$

4.tabula

#### Dažu ēkas elementu termiskā pretestība

Elementa veids	Termiskā pretestība $R_l$ , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
Vienkāršs logs koka rāmī	0,17
Dubults logs vienā koka rāmī	0,34
Dubults logs divos atsevišķos koka rāmjos	0,38
Trīskāršs logs koka rāmjos	0,52
Dobi stikla bloki 194x194x98 mm	0,31
Dobi stikla bloki 244x244x98 mm	0,33
Koka paketlogs (ar argonu pildīta stikla pakete)	0,4 – 0,58
Koka paketlogs (ar kriptonu pildīta stikla pakete)	0,71
Stiklotas durvis, 2 stikli	0,48 – 0,38
Stiklotas durvis, 1 stikls	0,2
Koka durvis, vienkāršas	0,56 - 0,83
Koka durvis, dubultas	1,25

6. Griestu termiskā pretestība ir:  
 $R_g=1/8,7+0,013/0,47+0,025/0,17+0,16+0,15/0,036+1/12=4,7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

8. Zudumu plūsma caur griestiem ir:  
 $Q_{Gs}=12*10*(18-(-20))/4,7=970 \text{ W}$



9. Zudumu plūsma caur grīdu ir aprēķināma:

1.zonai:

$$Q_{GR1}=(12*2*2+6*2*2)*(18-(-20))/2,1=1303 \text{ W}$$

2.zonai:

$$Q_{GR2}=(8*2*2+2*2*2)*(18-(-20))/4,3=353 \text{ W}$$

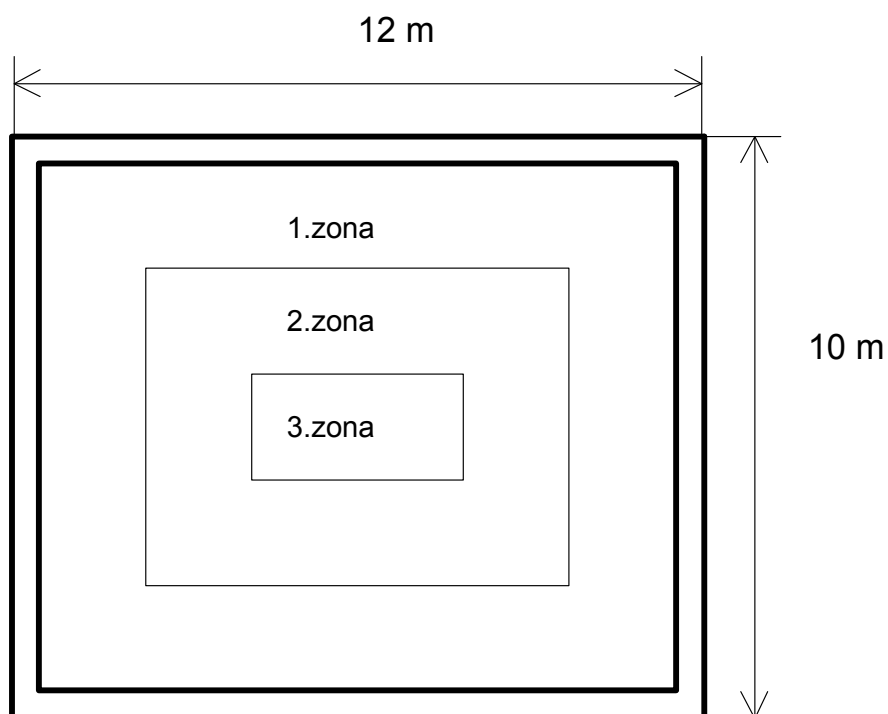
3.zonai:

$$Q_{GR3}=(4*2)*(18-(-20))/8,6=35 \text{ W}$$

Kopā:

$$Q_{GR}=1303+353+35=1691 \text{ W}$$

Grīdas sadalījums zonās dotajai ēkai parādīts 2. attēlā (sienu biezumus neņemam vērā).



**2.att.Grīdas sadalīšana zonās**

**10. Kopējā ēkas siltuma zudumu plūsma ir:**

$$Q=Q_S+Q_L+Q_{GS}+Q_{GR}=2212+2304+970+1691=7177 \text{ W}$$

Izvēloties katla jaudu, papildus jāpieskaita jauda karstā ūdens sagatavošanai 10%, kā arī jāievērtē rezerve līdz 20 % nekvalitatīva (piem., mitra) kurināmā gadījumam:

$$Q_k=7177*1,1*1,2=9474 \text{ W}=9,5 \text{ kW}$$

**Piezīme:** aprēķinā nav ievērtēts ēkas novietojums attiecībā pret debess pusēm, kā arī vēju ietekme.

Izvēloties katlu no standarta jaudu rindas, jāņem katls ar tuvāko lielāko jaudu.

Citas sienu konstrukcijas un izmantojamo siltumizolācijas materiālu gadījumā, aprēķinātie siltuma zudumi arī būs savādāki.

# Sildķermeņu jaudas aprēķins atsevišķai telpai

## 1. Telpas siltuma zudumu aprēķins

Lai uzturētu noteiktu telpas temperatūru, sildķermeņiem jākompensē siltuma zudumi no telpas uz āru (caur sienām, griestiem, grīdu logiem, durvīm u.c.).

Vienkāršota sildķermeņu jaudas izvēle ir analogi katla jaudas izvēlei pēc dotās telpas platības vai tilpuma. Taču būvkonstrukcijas ir dažādas, no dažādiem materiāliem, ar dažādu novietojumu (piem. Logu skaits un konstrukcijas var būt dažādas, kas ievērojami ietekmē zudumus vienādas platības telpās). Tādēļ šie zudumi ir jāaprēķina ņemot to vērā.

**3.piemērs:** telpai ir viena ārsiena ar garumu 6m, augstumu 2,8m, nepieciešamā telpas temperatūra  $+18^{\circ}\text{C}$ , gada visaukstāko piecu diennakšu vidējā temperatūra  $-20^{\circ}\text{C}$ . Siena sastāv no silikāta ķieģeļu mūra 12cm biezumā, gaisa spraugas 3cm, vēja izolācijas plāksnes Isover RKL-E7 2,5cm, minerālvates Isover KL-560 kārtas 10cm, reģipša plāksnes 1,3cm biezumā. Sienā atrodas divi paketlogi ar izmēriem  $1,8*1,5\text{m}$  katrs un termisko pretestību  $R_1=0,625\text{ m}^2*\text{K}/\text{W}$ . Jāaprēķina siltuma zudumi caur ārsienu.

1. Atrodam siltumvadītspējas koeficientus  $\lambda$   $\text{W}/\text{m}*\text{K}$  katram materiālam no literatūrā un tehniskajos raksturojumos dotām tabulām:

ķieģeļi 0,52  
vēja izol. Plāksnes 0,032  
siltumizolācija 0,036  
reģipša plāksne 0,47  
koka dēļi 0,17

Gaisa spraugai termisko pretestību nosaka pēc biezuma:  
pie 3cm  $R_{gs}=0,16\text{ m}^2*\text{K}/\text{W}$

2. Sienas termiskā pretestība ir  
 $R_0=1/8+0,12/0,52+0,025/0,032+0,1/0,036+0,013/0,47+0,16+$   
 $+1/23=4,14\text{ m}^2*\text{K}/\text{W}$

3. Sienas virsmas laukums ir:  
 $A_s=6*2,8-1,5*1,8*2=11,4\text{ m}^2$

4. Siltuma zudumu plūsma caur sienu ir:  
 $Q_s=1*11,4*(18-(-20))/4,14=105\text{ W}$

5. Siltuma zudumu plūsma caur logiem ir:  
 $Q_l=N*A_l*(t_t - t_{ta5})/R_l$ , kur

N-logu skaits

$A_l$ —viena loga virsmas laukums,  $\text{m}^2$

$R_1$  – loga termiskā pretestība,  $m^2 \cdot K/W$

$$Q_1 = 2 \cdot 1,5 \cdot 1,8 \cdot (18 - (-20)) / 0,625 = 328 \text{ W}$$

6. Kopējā zudumu plūsma caur sienu ir:  
 $Q = Q_s + Q_1 = 105 + 328 = 433 \text{ W}$

Līdzīgi aprēķina zudumus caur citām virsmām (griestiem, grīdām). Aprēķinot zudumus caur grīdu, jāņem vērā, vai tā balstās uz grunts, atrodas virs pagraba vai apsildāmām telpām.

Temperatūru neapkurināmās blakus telpās nosaka saskaņā ar standartu LVS EN ISO 13789.

Visi zudumi jāskaita kopā, tā iegūstot telpas kopējos zudumus. Aprēķinātie zudumi jāpalielina par:

1. stūra telpām +5%
2. sienām, kas atrodas uz Z, A, ZA, ZR +10%
3. sienām, kas atrodas uz R, DA +5%
4. sienām, ja vēja vidējais ātrums janvārī nepārsniedz 5m/s +5%  
5...10m/s +10%  
virs 10m/s +15%

Ja ēka atrodas atklātā vietā (kalnā, krastā u.tml.), šie pieskaitījumi jādupulto. Dzīvojamās ēkās jāievērtē sadzīvē izdalītais siltums atbilstoši normām, kas jāatņem no zudumiem.

Saskaitot visu telpu siltuma zudumus var noteikt nepieciešamo katla jaudu.

## 2. Sildķermeņu jaudas izvēle.

Sildķermeņu jaudu izvēlas atbilstoši aprēķinātajai telpas siltuma zudumu plūsmai, atņemot no tās cauruļvadu izdalīto siltumu (tas ir jāņem vērā liela diametra metāla caurulēm, kurām ir liela siltumatdeves virsma).

$$Q_{ns} = Q - Q_c, \quad (11)$$

kur:  $Q_{ns}$  – nepieciešamā sildķermeņa siltuma jauda, W;  
 $Q_c$  – cauruļvadu atdotā siltuma jauda, W.

Cauruļvadu atdoto siltuma jaudu, ja zināms cauruļvadu garums, materiāls un ārējais diametrs var noteikt, izmantojot 5. tabulu.

## Siltuma zudumi no cauruļvadiem

Ārējais diametrs, mm	Siltuma zudumi, W/(m*K)		
	Neizolētas tērauda caurules	Ar 30 mm minerālvates kārtu izolētas tērauda caurules	Neizolētas vara caurules
10			0,48
12			0,57
15			0,70
17	0,80	0,15	
18			0,83
21	0,96	0,16	
22			0,98
27	1,18	0,20	
28			1,20
34	1,46	0,22	
42	1,66	0,25	
48	1,94	0,27	
60	2,34	0,31	

Ja paredzēts izmantot **čuguna sekciju radiatorus**, tad ir nepieciešams aprēķināt nepieciešamo sekciju skaitu. To veic sekojoši:

1. Aprēķina nepieciešamo sildķermeņu ekvivalento sildvirsmas laukumu  $F_0$  ekvivalentajos kvadrātmetros ekm pēc formulas:

$$F_0 = \frac{Q_{ns}}{g_0} * \beta_1 * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4, \quad (12)$$

- kur:  $F_0$  – nepieciešamais sildķermeņu sildvirsmas laukums, ekm;  
 $g_0$  – izvēlēta sildķermeņa viena ekvivalentā kvadrātmetra siltuma atdeve, ekm ;  
 $\beta_1$  – koeficients, kas ievērtē sildķermeņa sekciju skaitu (to sākumā pieņem aptuveni, pēc tam, ja aprēķinātais sekciju skaits atšķiras, veic koriģēto aprēķinu).  
 $\beta_2$  – koeficients, kas ievērtē ūdens dzišanu cauruļvados;  
 $\beta_3$  – koeficients, kas ievērtē sildķermeņa uzstādīšanas shēmu (8. tabula, 3. attēls);  
 $\beta_4$  – koeficients, kas ievērtē siltumnesēja pievadīšanas shēmu.

Dotā sildķermeņa viena ekvivalentā kvadrātmetra siltuma atdevi aprēķina:

$$g_o = k_{sp} * \Delta t_v, \quad (13)$$

- kur:  $k_{sp}$  – sildķermeņa siltumpārejas koeficients, W/(m<sup>2</sup>\*K), (7. tabula);  
 $\Delta t_v$  – temperatūru starpība starp vidējo siltumnesēja temperatūru sildķermenī un telpas gaisa temperatūru, K.

Koeficientu  $\beta_1, \beta_2$  noteikšanai jāizmanto literatūrā [1] dotās tabulas.

Lai atrastu koeficientu  $\beta_4$ , kas ievērtē siltumnesēja plūsmas virzienu, jāaprēķina relatīvo ūdens patēriņu sildķermenim, ko veic aprēķina pēc sakarības:

$$G_R = \frac{G_{sk}}{k_{rs}}, \quad (14)$$

kur:  $G_R$  – relatīvais sildķermeņa ūdens patēriņš;

$G_{ks}$  – faktiskais nepieciešamais ūdens plūsmas daudzums, kg/h;

$k_{rs}$  – koeficients, kas ievērtē sildķermeņa veidu (kanālu sekciju radiatoriem un sildpaneļiem  $k_{rs} = 17,4$ , ribotām sildcaurulē  $k_{rs} = 35$ , pārējiem sildķermeņiem  $k_{rs} = 300$ ).

$\beta_4$  atrod pēc 6. tabulas.

6.tabula

**Koeficienta  $\beta_4$  vērtība**

Siltumnesēja plūsmas virziens sildķermenī	Relatīvais ūdens patēriņš $G_r$						
	1	2	3	4	5	6	virš 7
No augšas uz leju	1	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94
No apakšas uz augšu	1,28	1,22	1,18	1,18	1,14	1,12	1,09
Apakša – apakša	1,11	1,04	1	0,96	0,95	0,93	0,92

2. Aprēķina nepieciešamo sildķermeņa sekciju skaitu  $N$ :

$$N = \frac{F_0}{f_0}, \quad (15)$$

kur:  $f_0$  – vienas sekcijas sildvirsmas laukums, ekm.

Vienas sekcijas sildvirsmas laukums ir atšķirīgs dažādiem sildķermeņu veidiem un to var atrast pēc literatūrā dotajām tabulām [1].

Dažādu sildķermeņu siltumpārejas koeficienti ir atrodami 7. tabulā.

7.tabula

**Sildķermeņu siltumpārejas koeficienti**

Sildķermeņa veids	Siltumpārejas koeficients $k_{sp}$ , $W/(m^2 \cdot K)$
Gludas tērauda sildcaurules	10,5 - 14
Ribotas sildcaurules	4,7 – 5,8
Apvītas caurules	≈ 6
Čuguna sekciju radiatoru	8 – 10,6
Tērauda radiatoru	9,9 – 11,5
Konvektori	4,7 – 6,5
Betona sildpaneļi	7,5 – 11,5

**4.piemērs.** Nepieciešamā sildķermeņa jauda telpai piecstāvu ēkas trešajā stāvā pēc veiktā siltumtehnikā aprēķina ir  $Q_{ns}=433$  W. Paredzētā siltumnesēja turpgaitas temperatūra  $t_k=65$  °C, atpakaļgaitas  $t_A=55$  °C. Nepieciešamā siltumnesēja plūsma  $G_s = 37,2$  kg/h. Telpas gaisa temperatūra  $t_t=20$  °C. Tiek izmantota divcauruļu sistēma ar augšējo sadali. Sildķermenis tiek novietots zem palodzes ar siltumnesēja plūsmu no augšas uz leju. Izvēlēties dotajai telpai atbilstošu čuguna sekciju radiatoru.

1. Aprēķina viena ekvivalentā kvadrātmetra siltuma atdevi (13. formula, 7.tabula):

$$g_o = k * \Delta t_v = 10 * (50 - 20) = 300W$$

2. Aprēķina relatīvo ūdens patēriņu sildķermenim pēc 14. formulas un pēc 8. tabulas izvēlas  $\beta_3$  un 6.tabulas  $\beta_4$ .

$$G_R = \frac{37,2}{17,4} = 2,14,$$

$$\beta_4 = 0,97, \beta_3 = 1,03.$$

3. Pēc 12. formulas aprēķina nepieciešamo ekvivalento sildvirsmas laukumu (pieņemam, ka sekciju skaits būs 5 - 10).

$$F_0 = \frac{433}{300} * 1 * 1 * 1,03 * 0,97 = 1,44ekm$$

3. Pēc dotajiem radiatoru parametriem [1] atrod nepieciešamo sekciju skaitu.

Ja izmanto čuguna sekciju radiatorus "Standarts 90 - 500", tad  $f_0 = 0,25$  ekm, un sekciju skaits N ir:

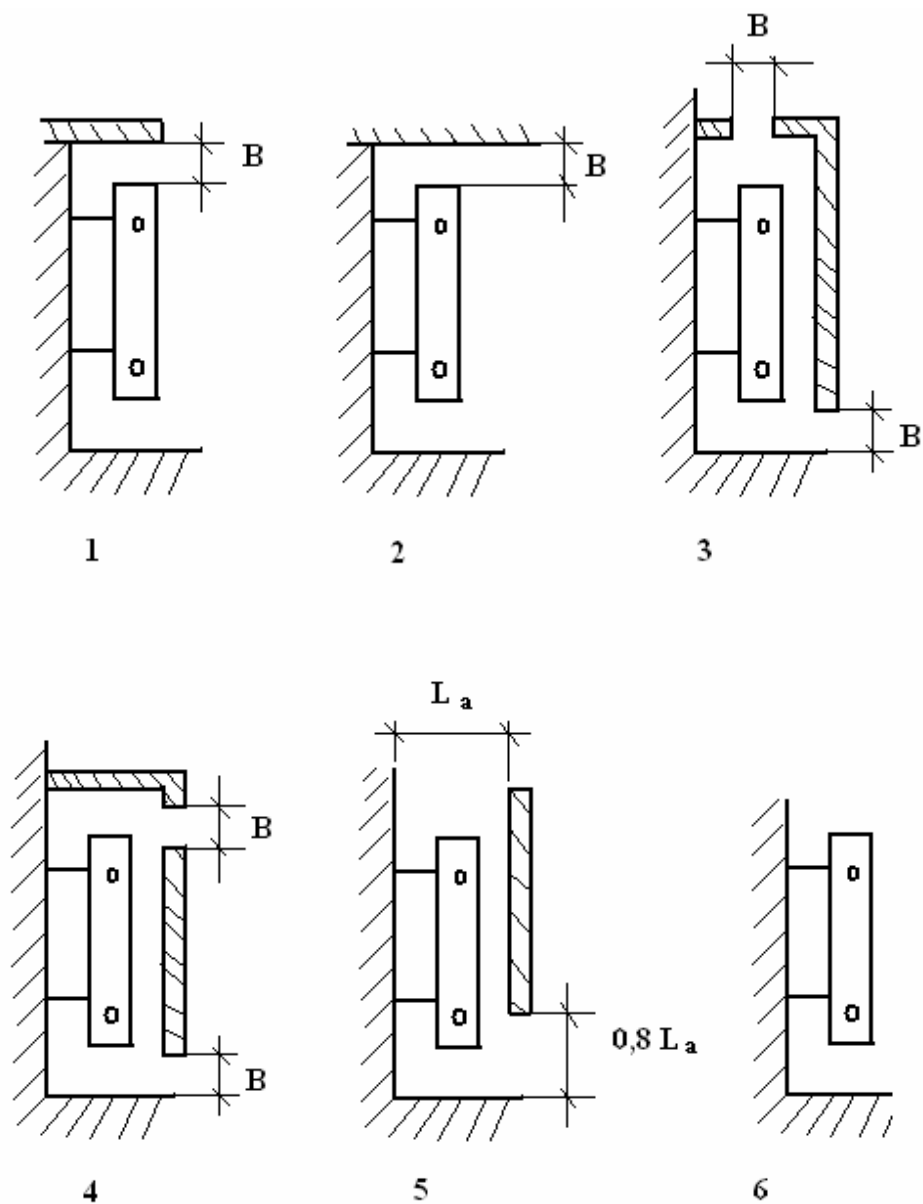
$$N = \frac{1,44}{0,25} = 5,76 \approx 6sekcijas$$

8.tabula

**Koeficienta  $\beta_3$  vērtības**

Shēmas Nr.	Uzstādīšanas shēma	B, mm	$\beta_3$
1.	Zem palodzes	40	1,05
		80	1,03
		100	1,02
2.	Nišā	40	1,11
		80	1,07
		100	1,06
3.	Iebūvēts zem aizsegiem ar spraugu augšā	220	1,13
4.	Iebūvēts zem aizsegiem ar spraugu sānos	130	1,2
5.	Aizsegts ar vertikālu ekrānu	-	0,9
6.	Uzstādīts atklāti	-	1,0

Koeficients  $\beta_3$  ir atkarīgs no sildķermeņa uzstādīšanas veida un to var atrast pēc 8. tabulas atbilstoši 3. attēlam.



**3. attēls. Sildķermeņu uzstādīšanas shēmas**

- 1 - Zem palodzes
- 2 – Nišā
- 3 - Iebūvēts zem aizsegiem ar spraugu augšā
- 4 - Iebūvēts zem aizsegiem ar spraugu sānos
- 5 - Aizsegts ar vertikālu ekrānu
- 6 –Uzstādīts atklāti



Ja paredzēts izmantot **tērauda plākšņu radiatorus**, tad tos izvēlas pēc ražotāju dotajām parametru tabulām, atbilstoši aprēķinātajai telpai nepieciešamajai jaudai  $Q_{ns}$ , ņemot vērā reālās paredzētās siltumnesēja un telpas gaisa temperatūras. Ja tās atšķiras no tabulās dotajām, jāveic pārrēķins.

Sildķermeņa atdotā siltuma jauda ir atkarīga no vidējās siltumnesēja temperatūru starpības un mainās proporcionāli temperatūras koeficientam [2], kas ietver gan siltumnesēja temperatūru starpību, gan arī telpas gaisa temperatūru. Šo sakarību var izteikt ar formulu:

$$Q_f = \frac{Q_n}{k_t * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4}, \quad (16)$$

kur:  $Q_f$  – faktiskā sildķermeņa jauda, W;  
 $Q_n$  – nominālā sildķermeņa jauda, W;  
 $k_t$  – temperatūras koeficients ( $k = f(\Delta T)$ );  
 $\beta_2$  – koeficients, kas ievērtē ūdens dzišanu cauruļvados;  
 $\beta_3$  – koeficients, kas ievērtē sildķermeņa uzstādīšanas shēmu;  
 $\beta_4$  – koeficients, kas ievērtē siltumnesēja pievadīšanas shēmu.  
 Praktiskiem aprēķiniem koeficientus  $\beta_2 \dots \beta_4$  var neņemt vērā.

Nominālo jaudu sildķermenim nosaka ražotājs tā tehniskajos parametros un parasti tā tiek dota temperatūru režīmā 75/65/20 (vai 90/70/20), t.i. pienākošā siltumnesēja temperatūra ir 75 °C, izplūstošā siltumnesēja temperatūra 65 °C, ja telpas gaisa vidējā temperatūra ir 20 °C. Atkarībā no šīm trijām temperatūrām mainās sildķermeņa atdotā faktiskā siltuma jauda  $Q_f$  un to ievērtē temperatūras koeficients  $k_t$ , kas ir proporcionāls vidējai temperatūru starpībai  $\Delta t$ :

$$\Delta t = \frac{t_k - t_a}{\ln \frac{t_k - t_t}{t_a - t_t}}, \quad (17)$$

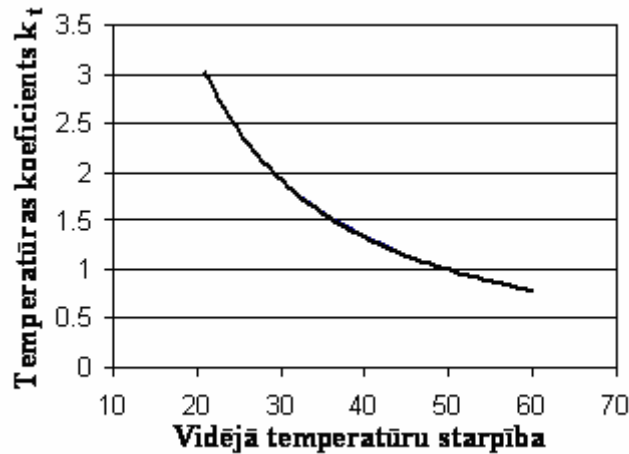
kur:  $t_k$  – turpgaitas siltumnesēja vidējā temperatūra, °C;  
 $t_a$  – no sildķermeņa izplūstošā siltumnesēja vidējā temperatūra, °C;  
 $t_t$  – telpas gaisa vidējā temperatūra, °C.

Firmas „Purmo” ražotajiem radiatoriem *Purmo Compact* šo sakarību apraksta 4. attēlā dotā līkne.

Sildķermeņa faktiskai atdotai jaudai  $Q_f$  jābūt lielākai vai vienāgai ar nepieciešamo aprēķināto jaudu  $Q_{ns}$ .

Sakarība starp temperatūras koeficientu un vidējo temperatūru starpību šiem radiatoriem skaitliski ir izsakāma ar sakarību:

$$k = 145,4 * \Delta t^{-1,27} \quad (18)$$



**4.attēls. Temperatūras koeficients  $k_t$  atkarībā no vidējās temperatūru starpības**

**5.piemērs.** nepieciešamā sildķermeņa jauda telpai pēc veiktā siltumtehnikā aprēķina  $Q_{ns}=Q_f=433$  W. Paredzētā siltumnesēja turpgaitas temperatūra  $t_k=65$  °C, atpakaļgaitas  $t_A=55$  °C. Telpas gaisa temperatūra  $t_t=20$  °C. Izvēlēties dotajai telpai atbilstošu tērauda plākšņu radiatoru.

1. Pēc 17. formulas aprēķina vidējo temperatūru starpību:

$$\Delta t = \frac{65 - 55}{\ln \frac{65 - 20}{55 - 20}} = 39,8,$$

2. Pēc 3.attēlā dotās līknes nosaka vai pēc 18. formulas aprēķina temperatūras koeficientu :

$$k=1,35$$

3. Izmantojot 16. formulu, aprēķina nepieciešamo sildķermeņa nominālo jaudu (neņemot vērā  $\beta_2 \dots \beta_4$ ):

$$Q_n = k * Q_f = 1,35 * 433 = 585 \text{ W.}$$

No radiatoru rindas izvēlas radiatoru ar tuvāko lielāko jaudu, piemēram, izvēlas radiatoru Purmo VK011 - 1200-300 ar nominālo jaudu  $Q_n = 630$  W.

## Apsildes sistēmas hidrauliskais aprēķins

Ūdens apsildes sistēmās siltumnesējs pa cauruļvadiem jāpievada no siltuma ģeneratora sildķermenim. Siltumnesēja plūsmai jānodrošina nepieciešamā siltuma daudzuma pievadīšana konkrētai telpai, konkrētam sildķermenim.

Cauruļvadu iekšējam diametram jābūt tādām, lai ar doto spiedienu tiktu nodrošināta nepieciešamā siltumnesēja plūsma. Mūsdienās cirkulācijai nepieciešamo spiedienu sistēmā rada mākslīgi, izmantojot cirkulācijas sūkni. Nelielās sistēmās un vecajās nelielu individuālo māju apsildes sistēmās cirkulācija tika nodrošināta ar dabisko cirkulācijas spiedienu, kas radās siltumnesējam uzsilstot līdz salīdzinoši augstai temperatūrai (līdz 80-90 °C) un izbūvējot sistēmu ar liela diametra cauruļvadiem (galvenā stāvvada diametrs bija 50-60 mm).

### 1. Cirkulācijas sūkņa izvēles parametru aprēķins

Cirkulācijas sūkni izvēlas pēc diviem galvenajiem parametriem:

1. ražīgums jeb siltumnesēja caurplūde ( $G_s$ );
2. nepieciešamais celšanas augstums jeb attīstītais spiediens ( $P_s$ ).

1. Sūkņa nepieciešamo ražīgumu aprēķina pēc formulas:

$$G_s = \frac{Q_z}{c_{H_2O} * (t_k - t_A)}, \quad (19)$$

kur:  $Q_z$  – nepieciešamā siltuma jauda, W

$G_s$  – sūkņa ražīgums, kg/s;

$c_{H_2O}$  – ūdens īpatnējā siltumietilpība, J/kg<sup>0</sup>C.

Parasti sūkņa ražīgums katalogos tiek dots kā stundā pārsūknētais tilpums ar mērvienību m<sup>3</sup>/h, tādēļ ir lietderīgi izteikt nepieciešamo sūkņa ražīgumu  $G_v$  tilpuma vienībās stundā:

$$G_v = \frac{G_s}{\rho_v} * 3600 \quad (20)$$

kur:  $G_v$  – sūkņa ražīgums, m<sup>3</sup>/h;

$\rho_v$  – ūdens vidējais blīvums, kg/m<sup>3</sup>.

**6. piemērs:** nepieciešamā siltuma jauda  $Q_z = 11,4$  kW, turpgaitas siltumnesēja temperatūra ir 65 °C, atpakaļgaitas 55 °C. Aprēķināt nepieciešamo nominālo cirkulācijas sūkņa ražīgumu.

Pēc tabulām nolasa ūdens īpatnējo siltumietilpību:  $c_{H_2O} = 4187$  J/kg °C un blīvumu pie vidējās temperatūras  $\rho = 987$  kg/m<sup>3</sup>.

Aprēķina nepieciešamo cirkulācijas sūkņa ražīgumu:

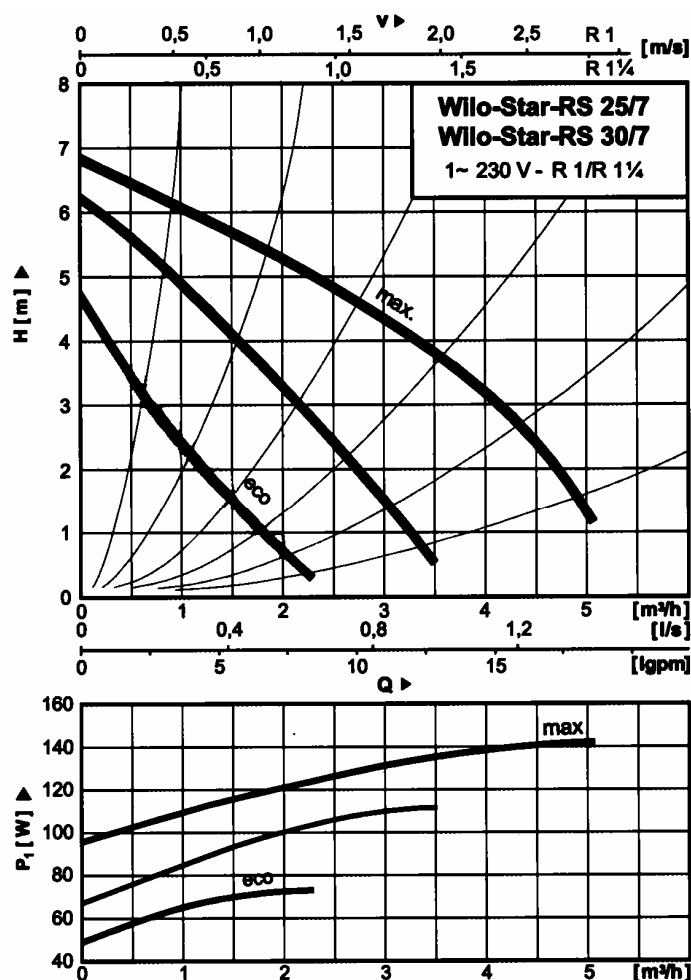
$$G_s = \frac{11400}{4187 * (65 - 58)} = 0,27 \frac{kg}{s}.$$

Pāriet uz tilpuma mērvienībām un stundām:

$$G_v = \frac{0,27}{987} * 3600 = 0,99 \frac{m^3}{h}$$

2. Nepieciešamajam nominālajam sūkņa spiedienam jābūt par 5-10 % lielākam nekā sistēmas cauruļvadu hidrauliskā pretestība pie nominālās siltumnesēja plūsmas.

Tā, kā reāla sūkņa spiediens var nesakrist ar aprēķināto nepieciešamo, sūkņa izvēle notiek izmantojot sūkņa tehniskajā raksturojumā dotās sūkņa ražīguma līknes, kas savstarpēji saista šo spiedienu ar ražīgumu. Šīs līknes tiek salīdzinātas ar sistēmas hidrauliskās pretestības līkni un tiek atrasts sūkņa spiediens, kas var nodrošināt dotajā sistēmā nepieciešamo siltumnesēja plūsmu. 5.attēlā kā piemērs, parādītas cirkulācijas sūkņa Wilo-Star-RS raksturlīknes. Uz vertikālās ass atrodas sūkņa celšanas augstums un sistēmas hidrauliskā pretestība, izteikta m H<sub>2</sub>O staba.



5.attēls. Cirkulācijas sūkņa un apsildes sistēmu hidrauliskās raksturlīknes (ar plānākām līnijām apzīmētas sistēmu pretestības līknes, ar biezākām – sūkņa raksturlīknes,  $P_1$  – sūkņa patērētā elektriskā jauda)).

Dažādiem cirkulācijas sūkņiem ir dažādas raksturlīknes. Katrai konkrētai sūkņu markai raksturlīknes var atrast ražotāja sniegtajos katalogos. Aptuvenus koeficientus mērvienību spiediena pārrēķinam var atrast 9. tabulā.

Izvēloties sūkni, pie dažādām caurplūdēm tiek aprēķināta apsildes sistēmas hidrauliskā pretestība un uzzīmēta sistēmas raksturlīkne, kas saista abus šos lielumus. Tad šī līkne tiek salīdzināta ar sūkņa raksturlīknēm. Visērtāk sistēmas raksturlīkni iezīmēt sūkņa raksturlīkņu grafikā. Pretestības līknes krustpunkts ar sūkņa raksturlīkni noteiks režīmu, kādā sistēma darbosies, t.i. siltumnesēja plūsmas lielumu jeb sūkņa ražīgumu. Ja šis ražīgums ir par mazu, jāizvēlas sūknis ar lielāku ražīgumu, respektīvi, augstāku raksturlīkni. Ja nevar atrast sūkni ar atbilstošu raksturlīkni, tad jāizvēlas sūknis ar lielāku ražīgumu, bet liekā siltumnesēja caurplūde sistēmā jāsamazina ar papildus vārsta palīdzību. Nedaudz lielāka caurplūde sistēmā ir pieļaujama, jo lieko pārnesto siltuma daudzumu uz sildķermeņiem var samazināt, samazinot siltumnesēja temperatūru, vai ļaujot tam plūst pa sildķermeņu apvadposmiem. Pārlielu liela caurplūde rada lielu siltumnesēja ātrumu cauruļvados un var būt par trokšņu avotu sistēmā. Maksimāli pieļaujamais siltumnesēja plūsmas ātrums cauruļvados ir dots 10. tabulā [4].

9.tabula

**Sakarības starp spiediena mērvienībām**

Mēvienība	Pa (N/m <sup>2</sup> )	Mpa	Normālā fizikālā atmosfēra	Tehniskā atmosfēra, at (kgf/cm <sup>2</sup> )	m H <sub>2</sub> O	mm Hg
Pa	1	10 <sup>-6</sup>	0,987*10 <sup>-6</sup>	10,2*10 <sup>-6</sup>	0,102*10 <sup>-3</sup>	7,5*10 <sup>-3</sup>
Mpa	10 <sup>6</sup>	1	9,87	10,2	102	7,5*10 <sup>3</sup>
Normālā fizikālā atmosfēra	101 325	0,101 325	1	1,033	10,33	760
Tehniskā atmosfēra kgf/cm <sup>2</sup> (at)	9,81*10 <sup>4</sup>	9,81*10 <sup>-2</sup>	0,9678	1	10	735,6
m H <sub>2</sub> O	9,81*10 <sup>3</sup>	0,981*10 <sup>-2</sup>	9,68*10 <sup>-2</sup>		1	73,6
mm Hg	133,3	1,333*10 <sup>-3</sup>	1,316*10 <sup>-3</sup>	13,6*10 <sup>-4</sup>	13,6*10 <sup>-3</sup>	1

**7. piemērs:** dots spiediens 10 m H<sub>2</sub>O, jāizsaka šis spiediens Pa un Mpa.

No 9. tabulas nolasa sakarību starp m H<sub>2</sub>O un Pa.  
 $P=10*9,81*10^3=98100$  Pa vai  $p=0,0981$  Mpa

**Maksimāli pieļaujamais ūdens plūsmas ātrums cauruļvados**

Cauruļvada diametrs, mm	līdz 15	15	20	25	32	40 un vairāk
Maksimālais ūdens ātrums, m/s	0,3	0,5	0,65	0,8	1,0	1,5

**2. Cauruļvadu hidrauliskais aprēķins**

Mūsdienās apsildes sistēmu cauruļvadu tīkli mēdz būt sazaroti ar daudzām cilpām un kontūriem, caur kuriem noteiktā laika posmā jāizplūst noteiktam siltumnesēja daudzumam. Šādas sistēmas cauruļvadu hidrauliskais aprēķins ir visnotaļ sarežģīts uzdevums. Cauruļvadu dimensionēšanu jeb diametru izvēli var veikt ar atbilstošu datorprogrammu palīdzību, piemēram, AutoCAD vidē, izmantojot programmu MagiCAD Heating&Piping u.c. Šīs programmas ir sasaistītas ar arhitektonisko plānojumu un, kad arhitekti un celtnieki ir beiguši savus projektdarbus, izmantojot viņu projektu elektroniskā veidā, ir iespējams telpās ieprojektēt apsildes cauruļvadu sistēmu. Ievadot nepieciešamo siltuma jaudu dotajai telpai, cauruļvadu konfigurāciju un citus siltumtehnikos parametrus, kā arī datus par cauruļvadu un citu sistēmas elementu izvietojumu un fizikālajām īpašībām, ja ir pieejama attiecīga datu bāze, programma veic cauruļvadu dimensionēšanu.

Cauruļvadu diametri, protams, ir standartizēti, tāpēc iegūtās vērtības tiek noapaļotas uz pieejamajiem izmēriem.

Aprēķinos tiek izmantotas dažādas hidraulisko aprēķinu metodes:

- īpatnējo spiediena zudumu metode;
  - dinamisko spiedienu metode;
  - pretestību raksturojuma metode;
- un citas.

Hidrauliskā aprēķina būtība ir spiediena zudumu noteikšana cauruļvados, ko var veikt ar pieminētajām metodēm.

**Īpatnējo zudumu metode.**

Ar šo metodi spiediena zudumus  $\Delta p$  cilpā nosaka summējot lineāros zudumus, kas rodas taisnajos cauruļvadu posmos, un zudumus vietējās pretestībās, ko veido līkumi, ventiļi, dažādi veidgabali un citi elementi.

Aprēķinu veic pēc formulas:

$$\Delta p = \frac{\lambda * P_p}{d} * l + \xi * P_d = R * l + z, \quad (21)$$

kur: R – lineārie spiediena zudumi 1m garā cauruļvada posmā, Pa;

$\lambda$  - hidrauliskās pretestības koeficients, ko nosaka cauruļvada iekšējās virsmas raupjums un plūsmas režīms;  
 $d$  – cauruļvada diametrs, m;  
 $P_d$  – dinamiskais spiediens, Pa;  
 $z$  – spiediena zudumi vietējās pretestībās, Pa;  
 $\xi$  - vietējo pretestību koeficients.

Īpatnējos spiediena zudumus  $R$  nosaka pēc nomogrammām, kas dotas pielikumos vai tabulām, atkarībā no siltumnesēja plūsmas. Dažādu materiālu cauruļvadiem ir dažādas virsmas īpašības un tādēļ jāizmanto nomogrammas, kas atbilst dotajam materiālam.

Vietējo pretestību koeficientus  $\xi$  atrod pēc tabulām katram elementam atkarībā no diametra. Pēc 11. tabulas var atrast vietējo pretestību koeficientu atsevišķiem apsildes sistēmas elementiem.

Virknē esošajiem sistēmas posmiem spiediena zudumus rēķina atsevišķi un tad summē.

Metodi var izmantot gan viencaurules, gan divcauruļu sistēmām.

11.tabula

**Vietējo pretestību koeficienti apsildes sistēmas elementiem.**

Elements	$\xi$	Elements	$\xi$ , pie caurules diametra $d$ , mm					
			15	20	25	32	40	50
Radiatori ar pieslēguma caurules diametru 1/2": čuguna sekciju divkanālu tērauda plākšņu: vienpusējie un divpusējie trīspusējie	2	Ventiļi: parastie	16	10	9	9	8	7
		taisplūsmas	1,5	3	3	2,5	2,5	2
		Līkumi 90°	3	1,5	1	1	0,5	0,5
	Trīsceļu krāni: plūsmas pagriezienā taisnā plūsmā	8,5 5,8		3	3	4,5		
				2	1,5	2		
Katli: čuguna tērauda	2,5							
	1							
T-veidgabali: caurplūdē atzarojumā pretplūsmā	1							
	1,5							
	3							

**Dinamisko spiedienu metode.**

Ja sistēmā lineārās un vietējās pretestības ir aptuveni līdzīgas pēc lieluma, ir ērti izmantot dinamisko spiedienu metodi. Šajā gadījumā lineāros hidrauliskos zudumus aizvieto ar ekvivalentiem vietējo pretestību zudumiem. Metodei ir mazāka aprēķinu precizitāte, nekā iepriekš apskatītajai īpatnējo spiediena zudumu metodei.

Ekvivalentais vietējo pretestību koeficients ir izsakāms sekojoši:

$$\xi_{ek} = \frac{\lambda}{d} * l \quad (22)$$

kur:  $\xi_{ek}$  – ekvivalentais vietējo pretestību koeficients.

### Ekvivalento garumu metode

Izmantojot aprēķiniem šo metodi, vietējas pretestības aizvieto ar tām ekvivalentiem cauruļvadu taisno posmu garumiem. Aprēķinos izmantojamā formula ir sekojoša:

$$\Delta p = R * (l + \Sigma l_{ek}) \quad , \quad (23)$$

kur:  $\Sigma l_{ek}$  – ekvivalento cauruļvadu garumu summa, m.

Metode ir ērti izmantojam sistēmām, kurās konkrēta diametra cauruļvadiem atbilst viena izmēra vietējie elementi. 12. tabulā doti ekvivalentie cauruļvadu garumi hloropolivinilhlorīda (CPVC) apsildes sistēmas caurulēm.

12. tabula

CPVC sistēmas elementiem ekvivalentie cauruļvadu garumi

Elementa veids	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	4"
Līkums 90 <sup>0</sup>	0,49	0,64	0,79	1,06	1,22	1,87	3,47
Līkums 45 <sup>0</sup>	0,24	0,34	0,44	0,55	0,64	0,85	1,45
T-veidgabals	0,3	0,43	0,52	0,7	0,82	1,31	2,4

### Pretestību raksturojumu metode.

Pretestību raksturojuma metode vairāk tiek izmantota viencaurules sistēmu aprēķinam. Temperatūras kritumi dažādos stāvvados var būt dažādi. Veicot aprēķinus ar šo metodi, izmanto hidrauliskās pretestības koeficientu vidējās vērtības. Spiediena zudumus nosaka pēc vienkāršotas formulas, par pamatu ņemot siltumnesēja plūsmu.

Pamatformula ir sekojoša:

$$\Delta p = A \left( \frac{\lambda}{d} * l + \Sigma \xi \right) * G^2 = S * G^2 \quad , \quad (24)$$

kur: G – siltumnesēja plūsma, kg/s;

S – posma pretestības raksturojums, Pa/(kg/h)<sup>2</sup>;

A – īpatnējais dinamiskais spiediens, ja cauruļvadā siltumnesēja plūsma ir 1 kg/h.



### 3. Ūdens apsildes sistēmas cauruļvadu hidrauliskā aprēķina metodika pēc īpatnējo spiediena zudumu metodes

Veicot hidraulisko aprēķinu izmantojot īpatnējo spiediena zudumu metodi, jāievēro sekojošā aprēķinu secība [1].

1. Ēkas plānā iezīmē sildķermeņus un izvēlas stāvvadu izvietošanu.
2. Izvēlas un iezīmē ēkas plānā maģistrālos turpgaitas un atpakaļgaitas vadus.
3. Konstruē sistēmas aksonometrisko shēmu, kurā parādīts sildķermeņu izvietošana, sildķermeņu siltuma jaudas un siltuma plūsmas, ko siltumnesējam jāpārnes pa attiecīgo cauruļvadu.
4. Izvēlas galveno cirkulācijas cilpu. Par galveno cilpu jāpieņem tā, kurā ir vismazākais īpatnējais spiediens uz vienu metru cauruļvada.

$$(P_l = \frac{P_c}{\Sigma l} \text{ vismazākais}).$$

- Vertikālajās viencauruļes strupceļa sistēmās tas ir vistālākais stāvvads ar vislielāko slodzi, līdzgaitas sistēmās vidējais stāvvads ar vislielāko slodzi.
  - Vertikālajās divcauruļu strupceļa sistēmās tas ir vistālākais stāvvads ar vislielāko slodzi apakšējā sildķermeņa cilpa.
  - Vertikālajās divcauruļu līdzgaitas sistēmās tas ir vidējā stāvvads ar vislielāko slodzi apakšējā sildķermeņa cilpa
5. Galveno cilpu sadala atsevišķos aprēķina posmos, kuros ir nemainīgs diametrs un siltumnesēja plūsma.
  6. Aprēķina siltuma daudzumu, kas plūst izvēlētajā posmā pēc formulas:

$$G = \frac{Q_z}{c_{H_2O} * (t_k - t_A)} * 3600 \quad , \quad (25)$$

kur:  $G$  – ūdens plūsma aprēķina posmā, kg/h;  
 $Q$  – siltuma jauda, kas jāpārvada dotajā posmā, W;  
 $c_{H_2O}$  – ūdens īpatnējā siltumietilpība, J/kg<sup>0</sup>C, ( $c_{H_2O} = 4187$  J/kg<sup>0</sup>C).

7. Nosaka aprēķiniem izmantojamo cirkulācijas spiedienu galvenajā cirkulācijas cilpā.

Sistēmās ar piespiedu cirkulāciju, kā galvenais cirkulācijas spiediena avots tiek izmantots cirkulācijas sūknis. Papildus spiediens rodas ūdenim atdziestot sildķermeņos un cauruļvados. To var aprēķināt pēc sekojošas sakarības:

$$P_c = P_s + b * (P_{ds} + P_{dv}) \quad , \quad (26)$$

kur:  $P_s$  – cirkulācijas sūkņa radītais spiediens, Pa;  
 $P_{ds}$  – dabiskais cirkulācijas spiediens, kas rodas ūdenim atdziestot sildķermeņos, Pa;  
 $P_{dv}$  – dabiskais cirkulācijas spiediens, kas rodas ūdenim atdziestot cauruļvados, Pa;  
 $b$  – korekcijas koeficients.

Viencaurules horizontālām un vertikālām sistēmām ar apakšējo sadali  $b = 0,4$ , ar augšējo sadali  $b = 1$ , divcauruļu sistēmām  $b = 0,5 - 0,7$ .  
Dabisko cirkulācijas spiedienu aprēķina pēc formulām 1-3.

8. Aprēķina orientējošos īpatnējos lineāros spiediena zudumus galvenajai cilpai pēc formulas:

$$R_{or} = 0,9 * k_c * \frac{P_c}{\Sigma l} \quad (27)$$

kur:  $R_{or}$  – orientējošie lineārie īpatnējie spiediena zudumi, Pa/m;  
 $k_c$  – koeficients, kas ievērtē cirkulācijas veidu (sistēmās ar dabisko cirkulāciju  $k_c=0,5$ , sistēmās ar piespiedu cirkulāciju  $k_c=0,65$ ).

9. Atbilstoši ūdens plūsmā un orientējošiem lineāriem spiediena zudumiem  $R_{or}$ , pēc nomogrammām izvēlas ūdens ātrumus, cauruļvadu diametrus un faktiskos īpatnējos lineāros spiediena zudumus. No tabulām nolasa vietējo pretestību koeficientu atbilstošo cilpā esošajiem elementiem un pēc formulas (27) aprēķina summāros spiediena zudumus. Aprēķinu rezultātus apkopo tabulā.

Izvēloties ūdens ātrumus, jāņem vērā, ka palielināts ātrums rada troksni sistēmas elementos, tādēļ ir noteikts maksimālais pieļaujamais ūdens ātrums atkarībā no caurules diametra. Maksimāli pieļaujamās ūdens ātruma vērtības dotas 10. tabulā.

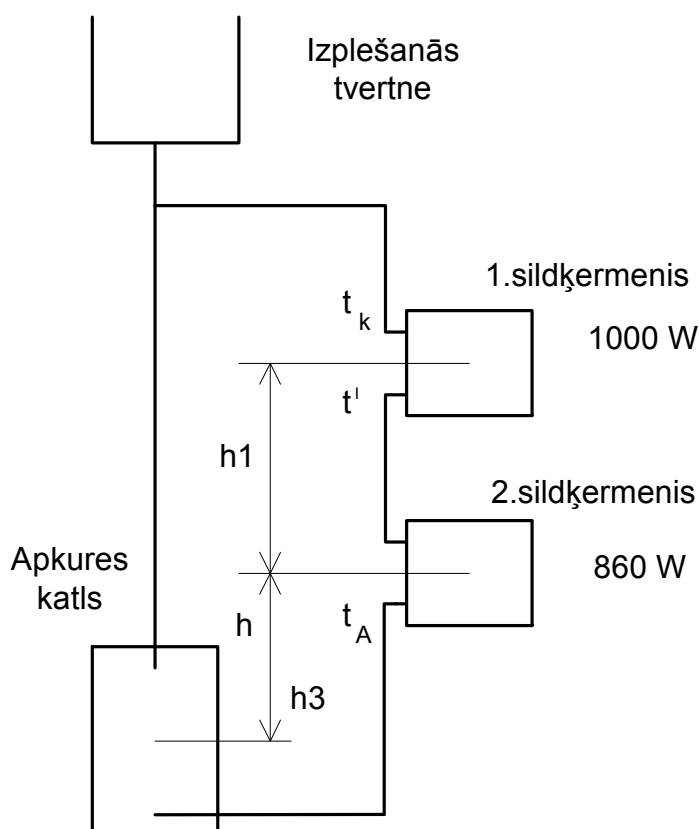
10. Aprēķina rezultātus salīdzina ar esošo cirkulācijas spiedienu. Cauruļvadiem jābūt izvēlētiem tā, lai summārie spiediena zudumi cilpā būtu par 5-10 % mazāki nekā esošais cirkulācijas spiediens.
11. Aprēķina spiediena zudumus pārējās cirkulācijas cilpās par pamatu ņemot galvenās cirkulācijas cilpas aprēķina rezultātus.

**8.piemērs:** aprēķināt dabisko cirkulācijas spiedienu, kas rodas viencaurules apsildes sistēmā ar augšējo sadali, kura parādīta 6. attēlā, ja doti sekojoši parametri, kas apkopoti 13. tabulā.

13. tabula

**Parametri apsildes sistēmas dabiskā cirkulācijas spiediena aprēķinam**

Nr.	Parametrs	Vērtība
1.	Pirmā sildķermeņa siltuma jauda $Q_1$ , W	1000
2.	Otrā sildķermeņa siltuma jauda $Q_2$ , W	860
3.	Attālums pa vertikāli starp katla un zemākā sildķermeņa centriem $h$ , m	3
4.	Attālums pa vertikāli starp sildķermeņu centriem $h_1$ , m	3,2
5.	Pienākošā turpgaitas siltumnesēja temperatūra $t_k$ , °C	70
6.	Ūdens caurplūde $G$ , kg/h	100



**6.attēls. Viencaurules apsildes sistēmas shēma cirkulācijas spiediena aprēķinam**

1. Aprēķina atdzisušā atpakaļgaitas ūdens temperatūru  $t_A$ :

$$t' = t_k - \frac{3600 * \Sigma Q}{c_{H2O} * G} = 70 - \frac{3600 * (1000 + 860)}{4187 * 100} = 54^{\circ} C$$

2. Aprēķina ūdens temperatūru  $t'$  aiz pirmā sildķermeņa.

$$t' = t_k - \frac{Q_1}{\Sigma Q} (t_k - t_A) = 70 - \frac{1000}{1000 + 860} (70 - 54) = 61,4^{\circ} C$$

3. No 14. tabulas nolasa ūdens blīvumu atbilstoši dotajai un aprēķinātajām temperatūrām  $\rho_k = 980,4 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho_A = 984,86 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho' = 982,85 \text{ kg/m}^3$ .

14.tabula

**Ūdens blīvums atkarībā no temperatūras**

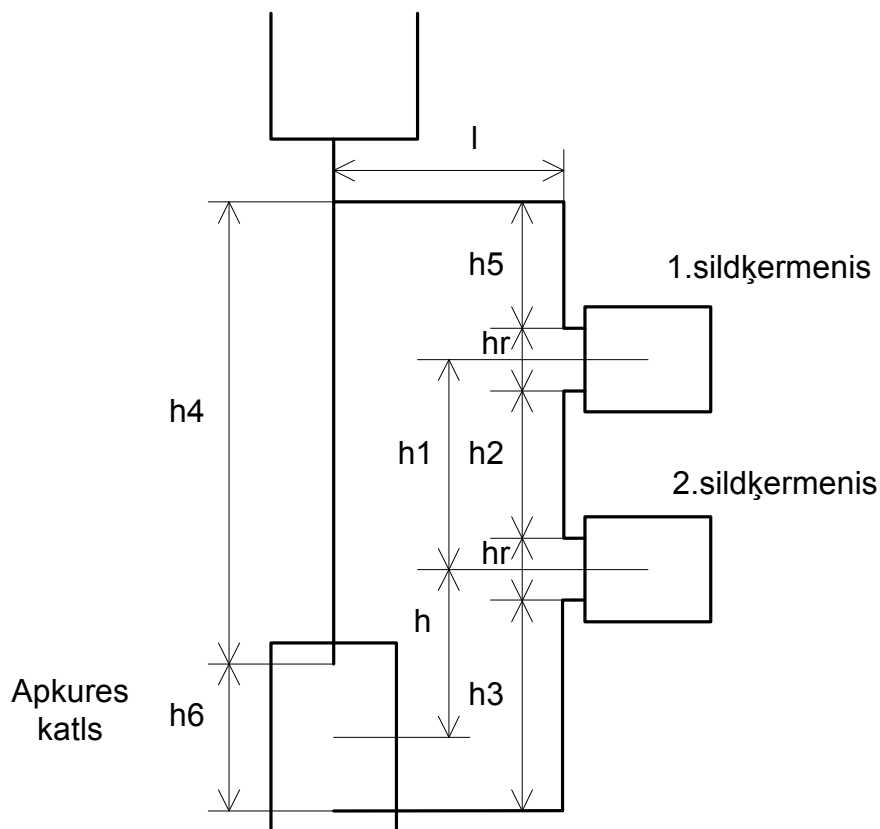
T, °C	0	10	20	30	40	60	80	100
$\rho, \text{ kg/m}^3$	999,8	999,6	998,2	995,6	992,2	983,2	971,8	958,3

4. Pēc 2. formulas aprēķina cirkulācijas spiedienu  $p_c$ .

$$p_c = g * h * (\rho_a - \rho_k) + g * h_1 * (\rho' - \rho_k) =$$

$$= 9,81 * 3 * (984,86 - 980,4) + 9,81 * 3,2 * (982,85 - 980,4) = 208,2 Pa$$

**9.piemērs:** aprēķināt nepieciešamo tērauda cauruļvadu diametru viencaurules apsildes sistēmai ar augšējo sadali un dabisko cirkulāciju, kura parādīta 7. attēlā, ja doti parametri, kas apkopoti 15. tabulā. Pārējos datus izmantot no 8.piemēra.



**7.attēls. Viencaurules apsildes sistēmas shēma hidrauliskajam aprēķinam**

15.tabula

**Parametri apsildes sistēmas cauruļu diametra aprēķinam**

$h,$ m	$h_1,$ m	$h_2,$ m	$h_3,$ m	$h_4,$ m	$h_5,$ m	$h_6,$ m	$Q_1,$ W	$Q_2,$ W	$t_k,$ °C	$l_1,$ m	$h_r,$ m	$G,$ kg/h
3	3,2	2,7	2,5	8,65	2,6	0,8	1000	860	75	2,5	0,5	100

1. Aprēķina cauruļvadu kopējo garumu

$$\Sigma l = h_4 + l_1 + h_5 + h_2 + h_3 + l_1 = 8,65 + 2,5 + 2,6 + 2,7 + 2,5 + 2,5 = 21,45 m$$

2. Aprēķina orientējošos lineāros spiediena zudumus pēc 27. formulas

$$R_{or} = 0,9 * 0,5 * \frac{400}{21,45} = 8,4 Pa/m$$

3. Pēc pielikumos dotās nomogrammām pie  $R_{or} = 8, Pa/m$  un  $G = 100$  kg/h atrod plūsmas ātrumu  $v$ , nepieciešamo cauruļvada diametru  $d$  un dinamisko spiedienu  $P_d$ .

$$v = 0,085 \text{ m/s,}$$

$$d = 18 \text{ mm,}$$

$$P_d = 3,14 \text{ Pa.}$$

Tā, kā cauruļvadi ar šādu diametru netiek izgatavoti, jāizvēlas tuvākais lielākais diametrs no standarta rindas, un tas ir  $d = 20$  mm.

$$\text{Tad } v = 0,07 \text{ m/s,}$$

$$R = 5,5 \text{ Pa/m,}$$

$$P_d = 2,45 \text{ Pa.}$$

4. Aprēķina lineāros spiediena zudumus cilpā.

$$R * l = 5,5 * 21,45 = 118 Pa$$

5. Atrod vietējo pretestību koeficientus  $\xi$

$$\text{Čuguna katlam } \xi_k = 2,5,$$

$$\text{Radiatoriem } \xi_R = 2,$$

$$\text{Līkums } 90^\circ \quad \xi_{90} = 1,$$

$$\text{T-veidgabals (plūsmas pagriezienā) } \xi_T = 1,5.$$

6. Aprēķina vietējo pretestību koeficientu summu

$$\Sigma \xi = \xi_T + 6 * \xi_{90} + 2 * \xi_R + \xi_k = 1,5 + 6 * 1 + 2 * 2 + 2,5 = 14$$

7. Aprēķina summāros spiediena zudumus vietējās pretestībās

$$z = \Sigma \xi * P_d + 14 * 2,45 = 34,3 Pa$$

8. Aprēķina summāros spiediena zudumus cilpā pēc 21. formulas

$$\Delta p = R * l + z = 118 + 34,3 = 152,3 Pa$$

9. Pārbauda, vai ir spēkā nevienādība:

$$\text{Jābūt: } \Delta p * (1,05 \dots 1,1) \leq p_c$$

$$152,3 * 1,1 < 208,2$$

$$167,5 < 208,2$$

Nevienādība ir spēkā, cauruļvada diametrs izvēlēts pareizi.

Lineāros spiediena zudumus reizēm sauc arī par hidraulisko slīpumu. 6. pielikumā dotajā nomogrammā [5] hidrauliskais slīpums ir apzīmēts ar  $i$ . Izmantojot šo nomogrammu spiediena zudumu aprēķinam plastmasas (PVC vai PE) taisnā cauruļvada posmā, izmanto sekojošu secību [5]:

1. uz horizontālās ass nomogrammas apakšējā daļā atrod doto caurplūdi;
2. no atrastās vērtības velk vertikālu taisni līdz krustpunktam ar slīpo līniju, kas atbilsts cauruļvada diametram;
3. uz vertikālās ass nolasa  $1000 \cdot i$  vērtību;
4. aprēķina spiediena zudumus  $\Delta p$ , m H<sub>2</sub>O pēc sakarības

$$\Delta p = \frac{1000 \cdot i \cdot l}{1000}, \quad (28)$$

kur:  $l$  – cauruļvada garums, m.

5. ja nepieciešams, no nomogrammas var nolasīt arī plūsmas vidējo ātrumu cauruļvadā.

#### 4. Regulēšanas vārstu caurplūdes koeficienta aprēķins

Vārstu lielumu var raksturot ar vārsta caurplūdes koeficientu  $K_v$ .

Caurplūdes koeficients ir vienāds ar caurplūdi caur vārstu, m<sup>3</sup>/h pie spiediena krituma uz to 1 bārs.

Standarta ēkas siltummezgla minimālais nepieciešamais spiediens uz regulēšanas vārsta pirms siltummaiņa ir vismaz 0,8 – 1 bar.

Nepieciešamo vārsta koeficientu  $K_v$  var aprēķināt pēc sekojošas formulas:

$$K_v = \frac{G_v \cdot 36}{\sqrt{\Delta p}}, \quad (29)$$

kur:  $G_v$  – siltumnesēja plūsma caur vārstu, l/s;

$\Delta p$  = spiediena kritums uz vārsta, kPa.

Vārstu caurplūdes koeficientam ir pieļaujamā novirze no aprēķinātās vērtības no -20% līdz +40 %.

**11. piemērs.** Nepieciešamā apsildes sistēmas jauda ir 80 kW. Temperatūru starpība sistēmā starp turpgaitas un atpakaļgaitas siltumnesēju ir 20 K. Aprēķināt regulēšanas vārsta caurplūdes koeficientu, ja spiediena kritums uz vārstu 1 bar.

1. Aprēķina nepieciešamo siltumnesēja plūsmu caur vārstu:

$$G_v = \frac{Q_{ns}}{c_{H_2O} \cdot \Delta t} = \frac{80}{4,19 \cdot 20} = 0,95 \text{ l/s}$$

2. Aprēķina nepieciešamo vārsta caurplūdes koeficientu (1 bar  $\approx$  98 kPa):

$$K_v = \frac{0,95 * 36}{\sqrt{98}} = 3,46$$

3. No standarta vārstu koeficientu rindas (2,5; 4; 6,3; 10 u.t.t.) izvēlas tuvāko vērtību, iekļaujoties augstāk minētajās noviržu robežās, t.i.  $K_v = 4$ .

Vārsta koeficienta nepieciešamās vērtības noteikšanai ir izstrādātas arī speciālas diagrammas.

## Termiskās kompensācijas elementu aprēķins caurulēm

Cauruļvadu raksturīgā īpašība ir tā, ka paaugstinoties to temperatūrai, materiāls izplešas un to garums palielinās. Tā rezultātā, ja nav izveidota izplešanās termokompensācija, caurules izliecas un veido estētiski nepieņemamus līkumus kā arī var izraisīt cauruļvadu mehāniskus bojājumus. Būtiski tas ir plastmasu materiālu caurulēm, vara caurulēm, mazāk tas ir izteikts tērauda caurulēm. Cauruļvadu garuma izmaiņu temperatūras paaugstināšanās rezultātā var aprēķināt:

$$\delta_T = l * \alpha_T * \Delta t, \quad (30)$$

kur:  $\delta_T$  – cauruļvada garuma izmaiņa, m;  
 $\alpha_T$  – materiāla termiskās izplešanās koeficients, m/(m\*K);  
 $\Delta t$  – temperatūras izmaiņa, K;  
 $l$  – cauruļvada garums, m.

CPVC plastmasas apsildes sistēmu caurulēm, termiskās izplešanas koeficients ir  $\alpha_T = 6,5 * 10^{-5}$  m/(m\*K).

16. tabulā dots CPVC cauruļvadu pagarinājums temperatūras iedarbībā atkarībā no temperatūras izmaiņas.

16.tabula

**CPVC cauruļvadu garuma izmaiņa  $\delta_T$  atkarībā no temperatūras izmaiņas,  
mm**

Garums, m	Temperatūras izmaiņa $\Delta t$ , K									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<b>1,0</b>	0,65	1,3	1,95	2,6	3,25	3,9	4,55	5,2	5,85	6,5
<b>2,0</b>	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7	13,0
<b>3,0</b>	1,95	3,9	5,85	7,8	9,75	11,7	13,65	15,6	17,55	19,5
<b>4,0</b>	2,6	5,2	7,8	10,4	13,0	15,6	18,2	20,8	23,4	26,0
<b>5,0</b>	3,25	6,5	9,75	13,0	16,25	19,5	22,75	26,0	29,25	32,5
<b>6,0</b>	3,9	7,8	11,7	15,6	19,5	23,4	27,3	31,2	35,1	39,0
<b>10,0</b>	6,5	13,0	19,5	26,0	32,5	39,0	45,5	52,0	58,5	65,0
<b>12,0</b>	7,8	15,6	23,4	31,2	39,0	46,8	54,6	62,4	70,2	78,0

Lai šo pagarinājumu kompensētu, ir nepieciešams izveidot mākslīgās kompensācijas cilpas, kas ļauj caurulei pārvietoties, neļaujot tai izlocīties taisnā posmā. Kompensācijas cilpas izveides varianti parādīti 8. attēlā.



Kopējo kompensācijas cilpas garumu CPVC cauruļvadam var atrast pēc 31. sakarības.

$$L = \frac{3 * E * d * \delta_T}{\sigma_s}, \quad (31)$$

kur: L – kompensācijas cilpas garums, m;  
 E – Junga elastības modulis, Mpa (E = 22,006 Mpa);  
 $\delta_T$  – cauruļvada garuma izmaiņa, m;  
 $\sigma$  - pieļaujama stiepes spriegums, Mpa ( $\sigma = 5,2$  Mpa).

**10. piemērs.** Aprēķināt kompensācijas cilpas kopējo garumu 10 m garam CPVC plastmasas cauruļvadam ar diametru 2,22 cm, ja temperatūra izmainās no 24 °C montāžas laikā līdz 71 °C ekspluatācijas laikā.

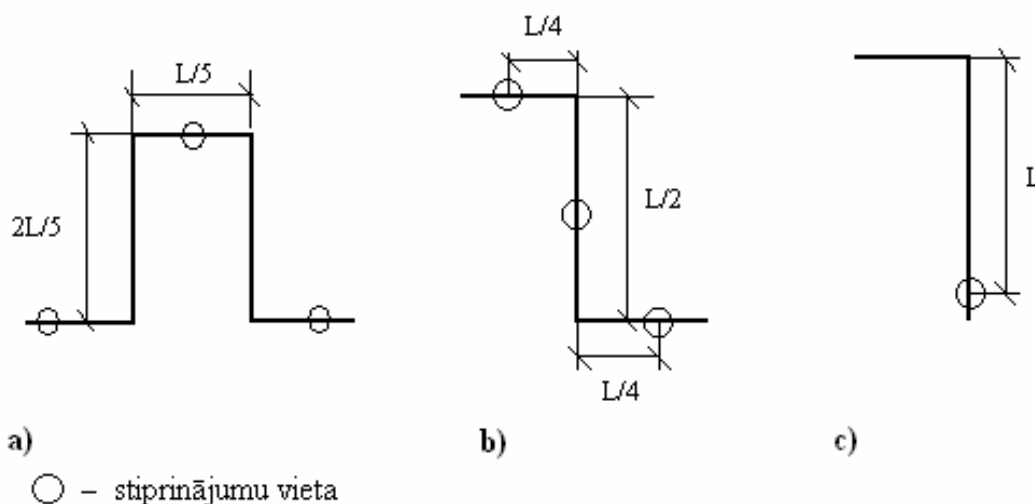
1. Aprēķina cauruļvada pagarinājumu:

$$\delta_T = 10 * 6,5 * 10^{-5} * (71 - 24) = 0,0306 \text{ m}$$

Pārvēršot cm, tas ir  $\delta_T = 3,06$  cm.

2. Aprēķina kompensācijas cilpas kopējo garumu, cm:

$$L = \frac{3 * 22,006 * 2,22 * 3,06}{5,2} = 86,2 \text{ cm}$$



### 8. attēls. Mākslīgo kompensācijas cilpu varianti

- a) U-veida cilpa;
- b) Zig-zag veida;
- c) cilpa ar plecu.

Veicot aprēķinu cita materiāla cauruļvadiem, aprēķinos jāizmanto dati atbilstoši dotajam materiālam.

## Izplešanās tvertnes izvēle

Tā, kā siltumnesējs sasilstot izplešas, apsildes sistēmā ir nepieciešams papildus tilpums, kurā šo izplešanos kompensētu. Šim nolūkam kalpo izplešanās tvertne.

Ir vaļējās un spiediena (slēgtās, hermētiskās) izplešanās tvertnes.

Vaļējās tvertnes priekšrocības:

1. Vienlaicīgi veic atgaisošanu;
2. Uzsilstot nepalielinās spiediens sistēmā, tātad nav tā svārstību, kas ietekmē katlu u.c. elementus;
3. Spiediens sistēmā ir mazāks nekā ar slēgto tvertni.

Vaļējās tvertnes trūkumi:

1. Jānovieto sistēmas augšējā punktā, kur ne vienmēr ir vieta;
2. Jānodrošina pret aizsalšanu izvietojot to neapsildītos bēniņos;
3. Pastāv nelieli ūdens zudumi iztvaikojot;
4. Uz konstrukcijām virs tvertnes (sijām u.c.) var rasties kondensāts, kas tās bojā.

Slēgtās tvertnes priekšrocības:

1. Var novietot jebkurā vietā (vēlams pievienot atgaitā pirms sūkņa);
2. Izvēloties novietojumu apkurināmā telpā nav problēmas ar aizsalšanu.

Slēgtās tvertnes trūkumi:

1. Sistēmai vajadzīgas speciālas atgaisošanas ierīces;
2. Sarežģītāka sistēmas noregulēšana;
3. Spiediena svārstības, kas notiek mainoties siltumnesēja temperatūrai, ietekmē katla darbmūžu;
4. Sistēmā obligāti jāizmanto pareizi izvēlēts drošības vārsts.

### 1. Tilpuma aprēķins vaļējai izplešanās tvertnei

$$V_{tv} = k_{ti} (t_{maks} - t_{mins}) * V_s \quad (32)$$

kur:  $V_{tv}$ - tvertnes derīgais tilpums, l (t.i. tilpums, ko papildus aizņems ūdens izplešoties);

$V_s$ - sistēmas ūdens tilpums, l;

$k_{ti}$  – ūdens termiskās izplešanās koeficients,  $1/^\circ\text{C}$  ( $k_{ti} = 0,0006$ );

$t_{maks}$  – maksimālā ūdens temperatūra,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{mins}$  – minimālā ūdens temperatūra,  $^\circ\text{C}$ .

Pēc šīs sakarības aprēķinātais tvertnes tilpums, t.s. derīgais tilpums, faktiski pietiekami nodrošina tilpumu tikai par ūdens izplešanās daudzumu. Tādēļ faktiskais tvertnes tilpums jāpalielina nodrošinot rezervi. Tas vajadzīgs arī, lai novērstu gaisa iekļūšanā sistēma atsevišķos gadījumos savlaicīgi nepapildinot ūdeni sistēmā.

**12.piemērs:** sistēmas ūdens tilpums ir 220l. Aprēķināt vaļējās izplešanās tvertnes derīgo tilpumu. Ja pieņem  $t_{\max} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  un  $t_{\min} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tad

$$V_{tv} = 0,045 * 220 = 9,9 \text{ l}$$

Uzstādot sistēmai izplešanās tvertni, šis aprēķinātais tilpums jāpalielina, lai būtu rezerve.

## 2.Tilpuma aprēķins slēgtai izplešanās tvertnei

Spiediena tvertnes tilpuma aprēķinam jāievērtē spiediena izmaiņas.

$$V_{ts} = \Delta V_{H_2O} * (p_{st} + \Delta p) / \Delta p, \quad (33)$$

kur:  $p_{st}$ - absolūtais statiskais spiediens sistēmā, kPa (1m H<sub>2</sub>O aptuveni vienāds ar 10 kPa vai 0,1bar).

$\Delta p$ - spiedienu starpība izmainoties temperatūrai (50 kPa);

$\Delta V_{H_2O}$ - ūdens tilpuma pieaugums mainoties temperatūrai, l;

$$\Delta V_{H_2O} = G * \Delta v,$$

kur: G- ūdens masa sistēmā, kg

$\Delta v$ - ūdens tilpuma izmaiņa uz 1kg, l/kg (atkarīga no temperatūras izmaiņas).

17.tabula

**Ūdens tilpuma izmaiņa atkarībā no temperatūras izmaiņas**

$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	60	80	90
$\Delta v$	l/kg	0,0224	0,0355	0,0431

**13.piemērs:** Ūdens masa sistēmā 180 kg, ūdens staba statiskais spiediens 4,5 m, temperatūra mainās no 10<sup>0</sup>C uzpildot sistēmu līdz 90<sup>0</sup>C. Atrast slēgtās tvertnes tilpumu.

$$P_{st} = 195 \text{ kPa}$$

1. Aprēķina ūdens tilpuma pieaugumu:

$$\Delta V_{H_2O} = 180 * 0,0355 = 6,39 \text{ l}$$

Aprēķina tvertnes tilpumu:

$$2. V_{ts} = 6,39 * (145 + 50) / 50 = 24,9 \text{ l}$$

**Piezīme:** Izmantojot akumulācijas tvertni, jebkuras izplešanās tvertnes tilpums jāpalielina. Tilpuma palielinājumu var aprēķināt izmantojot formulu (31), kur sistēmas tilpuma  $V_s$  vietā jāizmanto akumulācijas tvertnes tilpums vai formulu (32) kur sistēmas ūdens masas  $G$  vietā jāievieto akumulācijas tvertnē esošā ūdens masa.

## Akumulācijas tvertnes izvēle un aprēķins

Ir svarīgi uzturēt uz apsildes katla iekšējām sienām noteiktu temperatūru, kas nav zemāka par dūmgāzu kondensācijas temperatūru. Ja temperatūra ir par zemu, dūmgāzēs esošais ūdens tvaiks kondensēsies šķidrā veidā uz sienām. Tā rezultātā degšanas produkti, kas ietilpst dūmgāzu sastāvā ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , kā arī Cl, kas ļoti nelielos daudzumos var būt kurināmā) saskaroties ar kondensātu izraisa pastiprinātu koroziju. Palielinās arī darvas nosēdumu daudzums, kas pasliktina siltumapmaiņu. Tas viss noved pie katla darbmūža samazināšanās un samazina darbības efektivitāti, palielinot kurināmā patēriņu. Minimālai apkures ūdens temperatūrai katlā jābūt vismaz  $65 \dots 70^\circ\text{C}$  (To nosaka izmantotā kurināmā dūmgāžu raras punkts). Temperatūras režīmu uzsiluša katla normālas darbības laikā ir iespējams nodrošināt izmantojot trīsceļu vai četrceļu vārstu, kas kopā ar temperatūras regulatoru, ļauj katlā uzturēt nemainīgu un pietiekamu ūdens temperatūru, savukārt apsildes sistēmā nepieciešamā temperatūra tiek uzturēta piejaucot atdzisušajam atpakaļgaitas ūdenim karsto katla ūdeni vajadzīgajās attiecībās. Taču iekurināšanas laikā ūdens temperatūra ir par zemu. Tātad, jo mazāk iekurināšanas reižu, jo labāk katlam.

Lai samazinātu iekurināšanas reižu skaitu un uzturētu vienmērīgāku režīmu, izmanto akumulācijas tvertnes ar lielu ūdens tilpumu.

Galvenais ieguvums, izmantojot akumulācijas tvertnes ir sekojošs:

1. Katlu var kurināt retāk (piem., ik pārdienas);
2. Naktī nav jākurina, jo siltumu nodrošina tvertnes ūdens
3. Katls tiek darbināts ar optimālu jaudu, kas nodrošina nominālo lietderību;
4. Tiek nodrošināts īss katla iesilšanas laiks;
5. Tiek samazinātas temperatūras svārstības katlā esošam ūdenim atkarībā no siltuma patēriņa;

Tas viss palielina katla darbmūžu, turklāt ir labāki degšanas apstākļi, kas samazina kaitīgos izmešu rašanos un atmosfēras piesārņojumu.

### Akumulācijas tvertnes tilpuma aptuvenais aprēķins

Minimālo akumulācijas tvertnes tilpumu var aptuveni aprēķināt pēc katla jaudas vai sildķermeņu virsmas laukuma.

$$\text{vai} \quad V_{\text{AT}} = 50 \cdot P, \quad (34)$$

$$\text{kur} \quad V_{\text{AT}} = 20 \cdot S_{\text{sk}}, \quad (35)$$

$V_{\text{AT}}$ - tvertnes tilpums, l

P- katla jauda, kW

$S_{sk}$ - sildķermeņu kopējais virsmas laukums,  $m^2$

**14. piemērs:** katla jauda 20 kW. Atrast akumulācijas tvertnes minimālo tilpumu.

$$V_{AT}=50*20=1000l=1 m^3$$

Kā redzams, šajā aprēķinā netiek noteikts laika periods, cik ilgi tvertnei jāatdod siltums un cik ilgā laikā paredzēts tai uzsilt. Tādēļ, lai tos ievērtētu, ir jāveic precīzais tvertnes tilpuma aprēķins, kur kā sākuma dati kalpotu minētie parametri.

### Akumulācijas tvertnes tilpuma precīzais aprēķins

Nepieciešamo ūdens daudzumu akumulācijas tvertnē, lai nodrošinātu siltumatdevi apsildes sistēmā laika periodā  $\tau$ , var aprēķināt pēc sekojošas formulas:

$$M_{AT} = \frac{Q_z}{c_{H2O} * (t_{max} - t_{min})} * \tau, \quad (36)$$

kur:  $M_{AT}$  – akumulācijas tvertnē nepieciešamā ūdens masa, kg;  
 $Q_z$  – sistēmai nepieciešamā siltuma jauda (vienāda ar ēkas siltuma zudumu plūsmu), W;

$t_{max}$  – maksimālā temperatūra, līdz kurai tvertnes ūdeni paredzēts uzsildīt,  $^{\circ}C$ ;

$t_{min}$  – minimālā temperatūra,  $^{\circ}C$ .

$\tau$  - laiks, kādā paredzēts izmantot siltumu no akumulācijas tvertnes, s.

Akumulācijas tvertnei pievadāmo siltuma daudzumu aprēķina:

$$Q_{AT} = M_{AT} * c_{H2O} * (t_{max} - t_{min}) . \quad (37)$$

Nepieciešamo tvertnes tilpumu var aprēķināt sekojoši:

$$V_{AT} = \frac{M_{AT}}{\rho}, \quad (38)$$

kur:  $\rho$  - ūdens blīvums pie vidējās ūdens temperatūras cikla laikā,  $kg/m^3$ .

Izmantojot akumulācijas tvertni, siltuma ģenerators jauda jāpalielina. Šo jaudas palielinājumu  $N_p$  nosaka katla darba perioda ilgums. Jaudas palielinājuma vērtību var aprēķināt pēc sekojošas sakarības:

$$N_p = \frac{Q_{AT}}{\tau_s}, \quad (39)$$

kur:  $N_p$  – siltuma ģenerators jaudas palielinājums, W;

$Q_{AT}$  – siltuma daudzums, kas jāpievada akumulācijas tvertnei (tas ir vienāds ar tvertnes atdoto siltuma daudzumu sistēmai tās izmantošanas perioda laikā), W;

$\tau_s$  – tvertnes sildīšanas laiks, s.

**15. piemērs:** Apsildes sistēmai nepieciešamā siltuma jauda 20 kW. Laika periods starp divām katla kurināšanas reizēm, kurā siltumu paredzēts ņemt no akumulācijas tvertnes, ir 10 stundas. Vidējā ūdens temperatūra tvertnē, līdz kurai maksimāli paredzēts uzsildīt ūdeni, ir  $90^{\circ}\text{C}$ , minimālā, līdz kurai ūdens atdziest ir  $45^{\circ}\text{C}$ . Aprēķināt nepieciešamo akumulācijas tvertnes tilpumu un nepieciešamo katla jaudas palielinājumu, ja katla kurināšanas perioda ilgums ir 12 h diennaktī.

1. Aprēķina nepieciešamo ūdens daudzumu pēc 36. formulas.

$$M_{AT} = \frac{20000}{4187 \cdot (90 - 45)} \cdot 10 \cdot 3600 = 3821 \text{ kg}$$

2. Aprēķina nepieciešamo akumulācijas tvertnes tilpumu.

$$V_{AT} = \frac{3821}{989} = 3,86 \text{ m}^3$$

3. Aprēķina akumulācijas tvertnei pievadīto siltuma daudzumu

$$Q_{AT} = 4187 \cdot (90 - 45) \cdot 3821 = 719933000 \text{ J} = 719933 \text{ kJ}$$

4. Aprēķina papildus nepieciešamo katla jaudu.

$$N_p = \frac{719933}{12 \cdot 3600} = 16,7 \text{ kW}$$

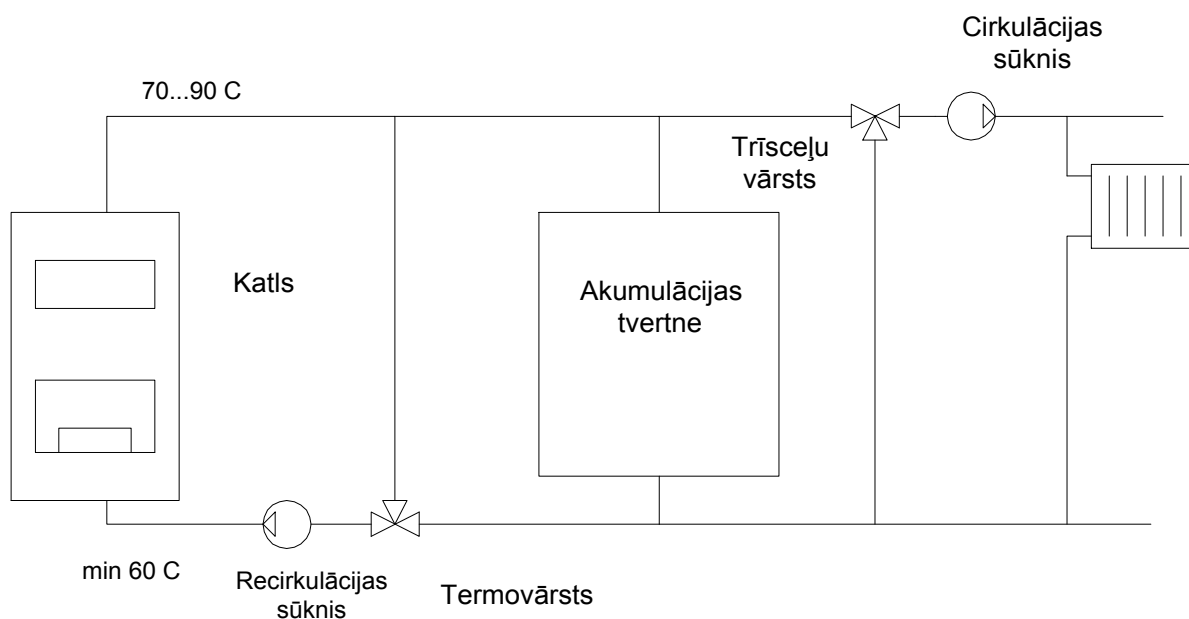
Tātad akumulācijas tvertnes tilpumam, lai nodrošinātu apsildi dotajā gadījumā, jābūt aptuveni  $3,9 \text{ m}^3$ , bet katla jaudai aptuveni 36 kW.

Piezīme: Izmantojot akumulācijas tverti, jāpārrēķina izplešanās tvertnes tilpums.

Akumulācijas tvertnes elementārā pieslēgšanas shēma parādīta 9. attēlā (šeit uzskatāmības labad nav parādīti visi nepieciešamie sistēmas elementi, bet tikai tie, kas attiecas uz akumulācijas tvertnes darbību).

Katla iekurēšanās laikā ūdens plūst pa pirmo recirkulācijas kontūru (t.i. caur katlu, termovārstu (jaucējvārsts) un recirkulācijas sūkni). Sasniedzot atgaitas ūdens temperatūru  $60^{\circ}\text{C}$  atveras termovārsts un ūdens sāk cirkulēt pārējā

sistēmas daļā. Notiek sistēmas uzsilšana un silts arī ūdens akumulācijas tvertnē. Plūsma tvertnē notiek no augšas uz apakšu. Lai varētu ātrāk uzsildīt apsildes sistēmu, ieteicams virknē ar akumulācijas tverni ievietot noslēgvārstu. Ar trīsceļu vārstu regulē ūdens temperatūru, kas tiek padots uz sildķermeņiem. Beidzot katlam kurēties, kad ūdens temperatūra katla lokā nokrīt zem  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , termovārsts aizveras un sildķermeņi sāk saņemt silto turpgaitas ūdeni no akumulācijas tvertnes. Plūsma tvertnē maina virzienu un notiek no apakšas uz augšu.



9.att. Akumulācijas tvertnes elementārā pieslēguma shēma (shēmā parādīti tikai elementi, kas ļauj izprast sistēmas darbību.)



# **Pielikumi**

## 1. pielikums

1.tabula

### Būvmateriālu un citu materiālu siltumtehnisko raksturlielumu aprēķina vērtības

Nr. p.k.	Materiālu grupa	Materiāls	Blīvums $\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	Siltumvadītspēja $\lambda_d$ W/(m x K)	Īpatnējā siltumietilpība $c$ J/(kg x K)		
1	2	3	4	5	6		
1.	Metāli	alumīnijs	2700	220	890		
		dūralumīnijs	2800	160	880		
		misiņš	8400	120	380		
		bronza	8700	65	380		
		varš	8900	370	380		
		mazoglekļa tērauds	7900	75	450		
		čuguns	7500	50	450		
		lēģētais tērauds	7800	50	450		
		stieģrojuma tērauds	7850	58	480		
		nerūsējošais tērauds	7900	17	460		
		svins	11300	35	130		
		cinks	7100	110	380		
		2.	Koks un materiāli uz tā bāzes	viendabīgs koks	150	0,07	1610
					300	0,10	1610
500	0,13				1610		
1000	0,24				1610		
saplāksnis	150			0,07	1610		
	300			0,10	1610		
	500			0,13	1610		
	1000			0,24	1610		
kokskaidu plātne	300			0,10	1700		
	500			0,14	1700		
	700			0,18	1700		
kokskaidu plātne ar cementa saistvielu	1200			0,23	1500		
kokšķiedru plātne	400			0,09	1700		
	600			0,15	1700		

			800	0,18	1700
		presētais kartons	1000	0,23	2300
		papīrs	1000	0,27	2300
		gofrētais kartons	650	0,18	2300
3.	Ģipsis	ģipsis	600	0,18	1000
			1500	0,54	1000
		ģipškartons	900	0,25	1050
4.	Java	normāla mūrjava, iejaukta būvobjektā	1800	0,9	1100
5.	Betoni	lietie betoni ar šķembām vai oļiem	1600	0,7	1080
			2400	2,0	1060
		dzelzsbetons	2500	2,0	840
		māls ar salmiem	800	0,4	1260
		skaidbetons	800	0,3	1460
			1000	0,4	1520
		izdedžbetons	1400	0,93	840
6.	Akmeņi	bazalts	2700- 3000	3,5	860
		granīts	2500- 3000	2,8	800
		smilšakmens	2000- 2500	2,0	860
		kaļķakmens	2000- 2500	2,5	870
		dolomīts	2400	2,2	880
7.	Augsnes	māls	1200- 1800	1,5	1670-2500
		smiltis un grants	1700- 2200	2,0	910-1180
8.	Ūdens, ledus, sniegs	ūdens (10 °C)	1000	0,6	4187
		ledus (0 °C)	900	2,2	2000
		sniegs (svaigs) < 30 mm	100	0,06	2000
		sniegs (svaigs) 30-70 mm	200	0,12	2000
		sniegs (nedaudz nosēdies) 70- 100 mm	300	0,23	2000
		sniegs (stipri nosēdies) > 200 mm	500	0,70	2000
9.	Apmetumi	cementa-perlīta	1000	0,3	840
		cementa-izdedžu putupolistirols (XPS)	1400	0,7	840
		ģipša-perlīta	600	0,25	840

		ģipša	1300	0,65	840
		kaļķu-smilšu-cementa	1700	0,9	840
		kaļķu-smilšu	1600	0,8	840
		polimērcementa	1800	1,0	840
10.	Stikli	kvarca stikls	-	1,4	700
		stikla mozaīka	2000	1,2	1000
		parastais logu stikls	2500	1,0	720
11.	Gāzes	gaiss	1,23	0,025	1008
		argons	1,7	0,017	519
		kriptons	3,56	0,009	245
		ksenons	5,90	0,0055	160
		oglekļa dioksīds (CO <sub>2</sub> )	1,95	0,014	820
12.	Plastmasas, cietas (bez porām)	akrila	1050	0,20	-
		polikarbonātu	1200	0,21	1200
		PTFE	2200	0,23	1000
		cietais polivinilhlorīds (PVC)	1390	0,18	900
		polivinilhlorīds (PVC) ar 40 % mīkstinātāju	1200	0,14	1000
		polietilēns, augsta blīvuma (HD)	980	0,40	1800
		polietilēns, zema blīvuma (LD)	920	0,32	2100
		polistirols	1050	0,18	1300
		poliacetāts	1410	0,30	1400
		fenolformaldehīds	1400-1800	0,3-0,7	1200
		polipropilēns	910	0,22	1700
		EPDM	1150	0,20	1000
		PMMA (akrilāts)	1180	0,18	1500
		poliuretāns	1200	0,25	1800
		poliamīds	1130	0,25	1700
		epoksīdu sveķi	1200	0,23	800-1400
13.	Silikoni	tīrs silikons	1000-1050	0,25-0,35	1000
		pildīts silikons	1300-1450	0,35-0,5	1000
14.	Gumija	poliisobutilēns	920	0,13	1130
		butils (karsti kausēts)	1200	0,24	-
		neoprēns	1240	0,23	2140
		porgumija	60-80	0,04	1500
15.	Stiklojuma	butila cietā gumija	-	0,24	-

	distanceri	poliestera sveķi	1,4	0,19	1200
		silikagels	–	0,13	–
		silikona putas	–	0,12	–
16.	Blīvēšanas materiāli	neilons	1140	0,23	1700
		uretāns (šķidr)	–	0,3	–
		silikona putas	–	0,12	–
		elastīgais vinils	–	0,12	–
		elastīgā porgumija	70	0,05	–
		polietilēna putas	36	0,06	2300
17.	Jumta pārklājumi	asfalts	2100-2300	0,7	1500
		bitums	1000	0,13	1000
		ruberoīds	1100	0,23	1000
		māla dakstiņi	1900	0,9	900
		betona dakstiņi	2100	1,4	1000
18.	Grīdas pārklājumi	linolejs	1300	0,17	1400
		korķa linolejs	500-700	0,10	1300
		paklājgrīdas	–	0,07	–
		plastikāti un gumija	1200-1700	0,17-0,27	1400
19.	Pilnķieģeļu mūris	keramikas ķieģeļi cementa–smilšu java	1800	0,81	880
		silikātķieģeļi cementa–smilšu java	1800	0,87	880
20.	Dobo ķieģeļu mūris	keramikas ķieģeļi 1400 kg/m <sup>3</sup> bruto cementa–smilšu java	1600	0,64	880
		keramikas ķieģeļi 1300 kg/m <sup>3</sup> bruto cementa–smilšu java	1400	0,58	880
		keramikas ķieģeļi 1000 kg/m <sup>3</sup> bruto cementa–smilšu java	1200	0,52	880
		silikātķieģeļi cementa–smilšu java	1500	0,81	880
		silikātķieģeļi cementa–smilšu java	1400	0,76	880

## 2.pielikums

2.tabula

### Labojuma koeficients $\Delta\lambda_w$ W/(m x K) būvelementos lietojamiem siltumizolācijas materiāliem un izstrādājumiem dažādos siltumizolācijas darba apstākļos

Nr. p.k.	Siltumizolācijas materiāla vai izstrādājuma nosaukums un blīvums	Ventilēts būvelements	Neventilēts būvelements
		$\Delta\lambda_w$ (W/mK)	$\Delta\lambda_w$ (W/mK)
1	2	3	4
1.	Akmens vate $\rho \leq 24 \text{ kg/m}^3$	0,006	0,008
2.	Akmens vate $\rho > 24 \text{ kg/m}^3$	0,001	0,002
3.	Brīvi bērtā akmens vate $\rho \leq 25 \text{ kg/m}^3$	0,008	nedrīkst lietot
4.	Stikla vate $\rho \leq 15 \text{ kg/m}^3$	0,006	0,008
5.	Stikla vate $\rho > 15 \text{ kg/m}^3$	0,001	0,002
6.	Brīvi bērtā stikla vate $\rho \leq 20 \text{ kg/m}^3$	0,008	nedrīkst lietot
7.	Brīvi bērtā celulozes šķiedra (ekovate) $\rho \leq 25 \text{ kg/m}^3$	0,02	nedrīkst lietot
8.	Brīvi bērtā celulozes šķiedra (ekovate) $\rho > 25 \text{ kg/m}^3$	0,01	nedrīkst lietot
9.	Celulozes šķiedra ar hidromehanizēto iestrādi $\rho = 35-75 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02
10.	Ekstrudēta putupolistirola (XPS) plāksnes	0,001	0,002
11.	Fenola un karbamīda-formaldehīda putuplasta plāksnes	0,02	0,03
12.	Gāzbetons $\rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,02
13.	Gāzbetons $400 < \rho \leq 600 \text{ kg/m}^3$	0,03	0,04
14.	Gāzbetons $\rho > 600 \text{ kg/m}^3$	0,07	0,08
15.	Niedru plāksnes $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,035	nedrīkst lietot
16.	Perhlorvinila putuplasta loksnes	0,012	0,015
17.	Uzputota polistirola (EPS) plāksnes	0,012	0,015
18.	Putu ģipsis $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$	0,07	0,08
19.	Putupoliuretāns un putupoliuretāna plāksnes	0,012	0,015
20.	Salmu plāksnes (ar šķidrā stikla saistvielu) $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$	0,045	nedrīkst lietot
21.	Fibrolīta un arbolīta plāksnes $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$	0,007	0,008
22.	Fibrolīta un arbolīta plāksnes $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,017
23.	Keramzītbetons $400 < \rho \leq 600 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02
24.	Keramzītbetons $600 < \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$	0,025	0,045
25.	Keramzītbetons $800 < \rho < 1000 \text{ kg/m}^3$	0,05	0,07
26.	Kūdras plāksnes $200 \leq \rho \leq 300 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,02

1	2	3	4
27.	Kokšķiedru un kokskaidu plāksnes $\rho = 200$ kg/m <sup>3</sup>	0,015	nedrīkst lietot
28.	Kokšķiedru un kokskaidu plāksnes $\rho = 1000$ kg/m <sup>3</sup>	0,11	nedrīkst lietot
29.	Putustikls $\rho = 200$ kg/m <sup>3</sup>	0,02	0,025
30.	Putustikls $\rho = 400$ kg/m <sup>3</sup>	0,035	0,04

### 3. pielikums

3. tabula

**Labojuma koeficients  $\Delta\lambda_w$  W/(m x K) paaugstināta mitruma apstākļos siltumizolācijas materiāliem, kuri tieši saskaras ar grunti**

Nr. p.k.	Izolācijas materiāls	Vienpusējai saskarei ar grunti $\Delta\lambda_w$	Divpusējai (abpusējai) saskarei ar grunti $\Delta\lambda_w$
1.	Gāzbetons $\rho = 300-600$ kg/m <sup>3</sup>	0,02-0,04	-
2.	Keramzītbetons $\rho = 400-600$ kg/m <sup>3</sup>	0,01-0,02	-
3.	Keramzīta bērumš $\rho = 200-400$ kg/m <sup>3</sup>	0,05-0,06	0,06-0,07
4.	Minerālvate $\rho \geq 100$ kg/m <sup>3</sup>	0,005	0,01
5.	Uzputots polistirols (EPS) $\rho \geq 30$ kg/m <sup>3</sup>	0,01	0,02
6.	Ekstrudēts putupolistirols (XPS) $\rho \geq 25$ kg/m <sup>3</sup>	0,002	0,004

#### 4. pielikums

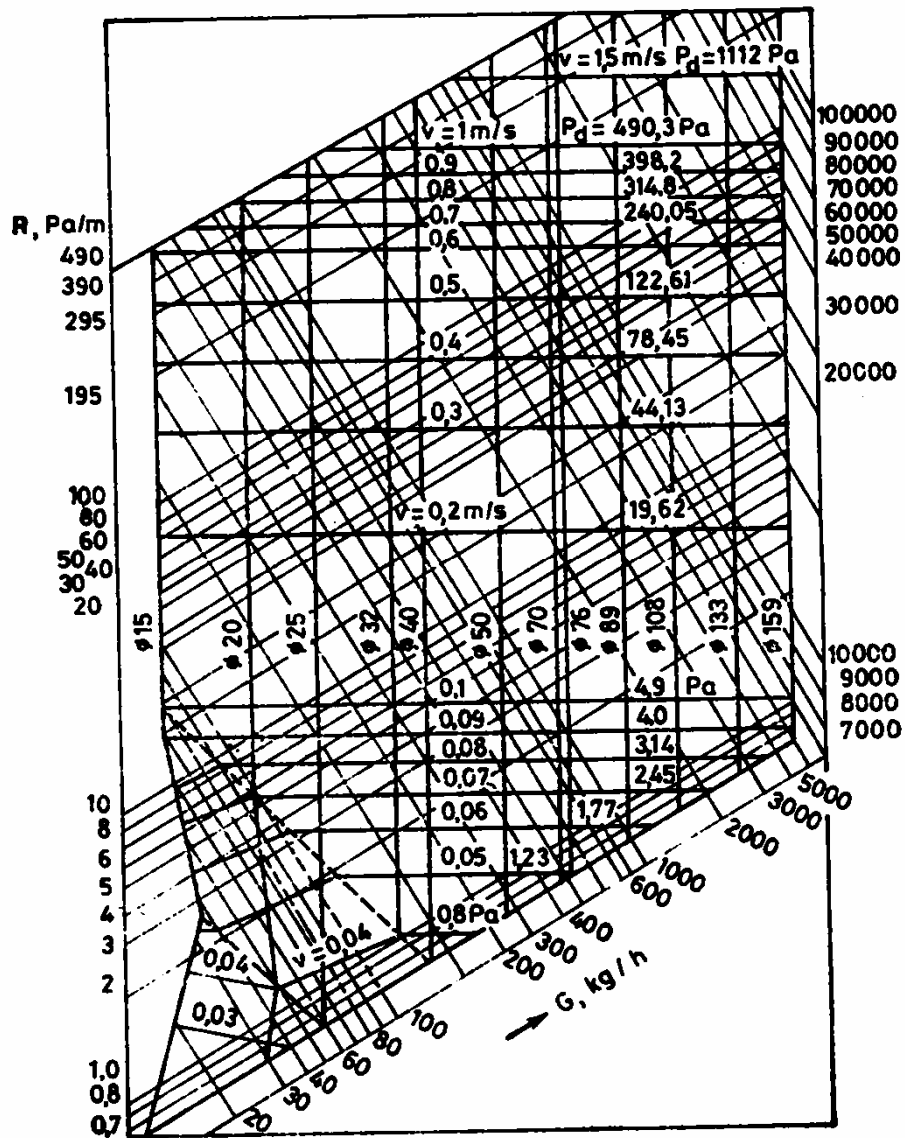
4.tabula

Ēku aptuvenie siltuma zudumi atkarībā no ēkas nozīmes [4]

Ēkas nozīme	Aptuvenā siltuma zudumu jauda, W/m <sup>3</sup>
Dzīvojamās ēkas:	
jaunas privātmājas	15 - 22
vecas privātmājas	22 - 30
kotedžas	15 - 26
vecas daudzstāvu ēkas	20 - 28
jaunas daudzstāvu ēkas	15 - 20
Sabiedriskās ēkas:	
iestādes	15 - 25
slimnīcas	23 - 40
bērnudārzi	20 - 25
skolas	15 - 22
teātri	15 - 25
baznīcas, bibliotēkas, muzeji	16 - 20
sporta zāles	20 - 30
Komerčiālas ēkas:	
veikali	18 - 22
viesnīcas	24 - 28
restorāni	24 - 28
biroji	24 - 26
rūpnieciski cehi	15 - 25

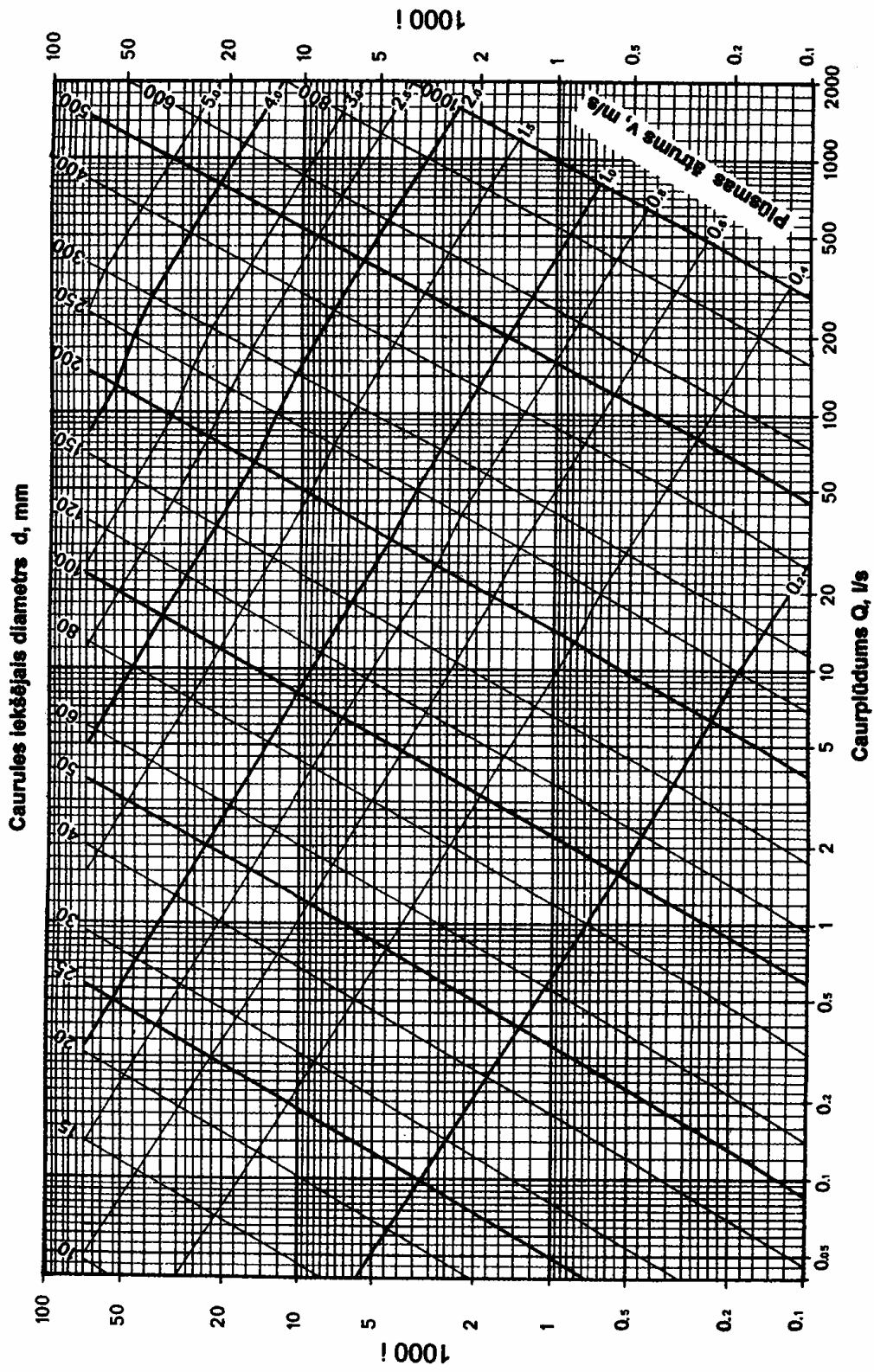


## 5. pielikums



Nomogramma tērauda cauruļvadu hidrauliskās pretestības aprēķinam [1]

## 6. pielikums



Nomogramma plastmasas (PVC un PE) cauruļvadu hidrauliskās pretestības aprēķinam [5]

## Izmantotā literatūra

1. Krēsliņš A., Ēku apkures sistēmas/ Krēsliņš A., Ķigurs J. – Rīga: Avots, 1983. - 146 lpp.
2. Purmo: [Elektronisks resurss]. – Tiešsaites pakalpojums. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [www.purmo.com](http://www.purmo.com). Resurss aprakstīts 2004. g. 12. dec.
3. LBN 002-01 „Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika”, 2003.
4. Dzelzītis E. Siltuma, gāzes un ūdens inženiertehnisko sistēmu automatizācijas pamati. – Rīga: Gandrs, 2005. - 414 lpp
5. Siļķe K. Hidrauliskie zudumi sūkņu darbībā. // Agrotops - Nr. 10, 2002. g., 25 - 26.lpp.
6. A.Borodiņecs, A. Krēsliņš. Būvniecības siltumfizika ēku projektētājiem. R.: RTU, 2007 – 131 lpp.
7. H. B. Šterns. Centrālapsilde savrupnamā. R.: Praktiskā grāmata, 2005.