

2. Siltumtehnika

2.1. Analītiskā daļa

2003. g. 1. janvārī Latvijā spēkā stājās būvnormatīvs LBN 002-01 «Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika» [4], kas saskaņā ar Latvijas ēku norobežojošajām konstrukcijām izvirzītās siltumtehniskās prasības ar ES prasībām. Šajā būvnormatīvā ēku galvenais siltumtehniskais rādītājs ir ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients (H_T , W/K), kas norāda enerģijas zudumus vatos caur ēkas norobežojošajām konstrukcijām, ja temperatūras starpība uz to pretējām virsmām ir viens grāds. Ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients H_T nedrīkst pārsniegt normatīvo siltuma zudumu koeficientu (H_{TR}). Lai aprēķinātu H_T , vispirms nepieciešams aprēķināt ēkas norobežojošo konstrukciju siltumpretestības koeficientus vai siltumcaurlaidības koeficientus U . Ēku norobežojošajās konstrukcijās siltuma plūsmu parasti aprēķina stacionāram (no laika neatkarīgam) gadījumam. **Siltumcaurlaidības koeficients U parāda, kāds siltuma daudzums laika vienībā izplūst caur konstrukcijas vienu kvadrātmetru lielu laukumu, ja temperatūras starpība starp norobežojošās konstrukcijas pretējām pusēm ir viens grāds.**

Saskaņā ar standartu LVS EN ISO 6946 [1] siltumcaurlaidības koeficientu U plakanām konstrukcijām aprēķina pēc formulas, kas ietver arī konstrukcijas siltumizolāciju:

$$U = \frac{1}{R_i + R_e + \sum_{i=1}^N \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (2.1)$$

kur U – siltumcaurlaidības koeficients, W/(m²·K);
 R_i – siltumpretestība konvekcijas siltuma pārejai konstrukcija – iekšējā, m²·K/W;
 R_e – siltumpretestība konvekcijas siltuma pārejai konstrukcija – ārējā, m²·K/W;
 d_i – konstrukcijas i-tā slāņa biezums, m;
 λ_i – konstrukcijas i-tā slāņa siltumvadītspējas koeficients, W/(m·K);
 N – slāņu skaits konstrukcijā.

Standartā LVS EN ISO 6946 siltuma pāreju pretestībām R_i un R_e ir noteiktas šādas vērtības:

siltuma plūsmai uz augšu $R_i = 0,10$ m²·K/W;

horizontālai siltuma plūsmai $R_i = 0,13$ m²·K/W;

siltuma plūsmai uz leju $R_i = 0,17$ m²·K/W;

$R_e = 0,04$ m²·K/W .

Tad siltuma zudumus caur ēkas norobežojošās konstrukcijas 1 m² laukumu var aprēķināt pēc formulas:

$$Q = U(T_i - T_e) \quad (2.2)$$

kur Q – siltuma zudumi, W/m²;
 T_i – iekšējās gaisa temperatūra, °C;
 T_e – apkures sezonas vidējā āra gaisa temperatūra, kuru reglamentē būvnormatīvs LBN 003-01 [5], °C.

Būvnormatīvā LBN 002-01 [4] tiek izvirzītas noteiktas prasības ēku norobežojošo konstrukciju siltumcaurlaidības koeficientu vērtībām. Saskaņā ar [4] tām jāatbilst normatīvajām U_{RN} vērtībām, bet, ja tas nav iespējams, tās nedrīkst pārsniegt maksimālās vērtības U_{RM} .

Normatīvās U_{RN} un maksimālās U_{RM} vērtības aprēķina pēc šādas metodikas. Pēc formulas:

$$k = \frac{19}{T_i - T_e} \quad (2.3)$$

kur T_i – iekštelpas gaisa aprēķina temperatūra, °C, [LBN 211-98];

T_e – āra gaisa vidējā temperatūra apkures sezonas laikā, °C, [5],

aprēķina temperatūras faktoru k , ko reizina ar 2.1. tabulā dotajām siltumcaurlaidības koeficienta vērtībām.

2.1. tabula.

Siltumcaurlaidības koeficientu normatīvās (U_{RN}) un maksimālās (U_{RM}) vērtības un koeficienta ψ_R vērtības

Būvelements	U_{RN} , W/(m ² ·K)			U_{RM} , W/(m ² ·K)		
	Dzīvojamās ēkas	Publiskās ēkas	Ražošanas ēkas	Dzīvojamās ēkas	Publiskās ēkas	Ražošanas ēkas
Jumti un pārsegumi, kas saskaras ar āra gaisu	0,20 k	0,25 k	0,35 k	0,25 k	0,35 k	0,50 k
Grīdas uz grunts	0,25 k	0,35 k	0,50 k	0,35 k	0,50 k	0,70 k
Sienas ar masu 100 kg/m ² un lielāku	0,30 k	0,40 k	0,50 k	0,40 k	0,50 k	0,60 k
Sienas ar masu, mazāku par 100 kg/m ²	0,25 k	0,35 k	0,45 k	0,30 k	0,40 k	0,50 k
Termiskie tilti ψ_R	0,20 k	0,25 k	0,35 k	0,25 k	0,35 k	0,50 k

2.2. Putupolistirola siltumvadītspējas noteikšana

Siltumcaurlaidības koeficientu U plakanām konstrukcijām aprēķina pēc formulas (2.1). Tā noteikšanai nepieciešams zināt attiecīgās būvkonstrukcijas slāņu siltumvadītspējas koeficientus un slāņu biezumu.

Vispārīgā gadījumā siltumizolācijas materiālu siltumvadītspēja ir atkarīga no temperatūras un mitruma satura tajā. Standartā [6] šī atkarība ir dota ar sakarību:

$$\lambda = \lambda_{10} \cdot F_T \cdot F_m \quad (2.4)$$

kur λ_{10} – izolācijas siltumvadītspēja pie 10 °C;

F_T – siltumvadītspējas termiskais labojuma reizinātājs;

F_m – siltumvadītspējas mitruma labojuma reizinātājs.

Šos reizinātājus aprēķina pēc formulām:

$$F_T = e^{f_t \cdot (T_2 - T_1)} \quad (2.5a)$$

$$F_m = e^{f_\omega \cdot (\omega_2 - \omega_1)} \quad (2.5b)$$

kur f_t, f_ω – temperatūras un mitruma aprēķina koeficienti, K⁻¹; m³/m³;

$T_1, T_2, \omega_1, \omega_2$ – temperatūras un mitruma robežvērtības, °C; m³/m³.

Temperatūras intervālam no 0 līdz +30 °C putupolistirola temperatūras un mitruma aprēķina koeficienti standartā [6] ir tabulēti. Ja temperatūra neatrodas šajā intervālā, tad precīzai putupolistirola siltumvadītspējas noteikšanai nepieciešams veikt tiešus mērījumus.

Ja formulās (2.5a, 2.5b) eksponentes kāpinātāji ir nelieli ($\ll 1$), tad, izvirzot izteiksmes (2.5a un 2.5b) rindā un ievietojot formulā (2.4), var iegūt tuvinātu izteiksmi:

$$\lambda = \lambda_{10} + \Delta\lambda_T + \Delta\lambda_m \quad (2.6)$$

kur $\Delta\lambda_T$ – siltumvadītspējas termiskais labojums, $\Delta\lambda_T = \lambda_{10} \cdot f_t \cdot (T_2 - T_1)$, W/(m·K);

$\Delta\lambda_m$ – siltumvadītspējas mitruma labojums, $\Delta\lambda_m = \lambda_{10} \cdot f_\omega \cdot (\omega_2 - \omega_1)$, W/(m·K).

Siltumvadītspējas koeficientus sausam putupolistirola slānim pie 10 °C var aprēķināt pēc Eiropas standarta [2] saskaņā ar formulu:

$$\lambda_{10} = 0,027174 + 5,1743 \cdot 10^{-5} \cdot \rho + 0,173606 \cdot \frac{1}{\rho} \quad (2.7)$$

kur ρ – putupolistirola blīvums, kg/m³.

Tabulā 2.2. ir apkopota sausa putupolistirola siltumvadītspēja W/(m·K), kas ir aprēķināta saskaņā ar formulu (2.7), ievērojot korekciju pie maziem slāņa biezumiem, ja $\lambda > 0,038$ W/(m·K) [2]. Kā redzams no tabulas 2.2., putupolistirola siltumvadītspēju atkarībā no biezuma jākorrigē tikai tad, ja $\rho < 25$ kg/m³ un slāņu biezums ir mazāks par 0,10 m.

2.2. tabula.

Putupolistirola siltumvadītspēja pie 10 °C, W/(m·K)

Biezums, m	Putupolistirola marka; blīvums, kg/m ³			
	EPS 60; 15	EPS 100; 20	EPS 150; 25	EPS 200; 30
0,05	0,0407	0,0373	0,0354	0,0345
0,10	0,0395	0,0369	0,0354	0,0345
0,15	0,0395	0,0369	0,0354	0,0345
0,20	0,0395	0,0369	0,0354	0,0345

Tā kā putupolistirola siltumvadītspēja ir atkarīga no temperatūras un mitruma satura, tad nepieciešams aprēķināt atbilstošās korekcijas formulā (2.6).

Temperatūras labojuma aprēķina koeficienta vērtība saskaņā ar [6] izolācijas slāņu biezumam no 50–200 mm un λ_{10} vērtībām no 0,035–0,040 W/(m·K) mainās robežās no 0,0033–0,0036 K⁻¹. Aprēķiniem var lietot vidējo vērtību **$f_T=0,0035$ K⁻¹**. Jāievēro, ka dotā vērtība standartā [6] tiek garantēta līdz 30 °C temperatūrai. Ja eksperimentālu mērījumu nav, tad tuvināti lietojam šo pašu vērtību.

Par siltumizolācijas materiāla darba temperatūru var pieņemt attiecīgā slāņa vidējo temperatūru

$$T = 0,5 \cdot (T_1 + T_2) \quad (2.8)$$

kur T_1, T_2 – temperatūra uz slāņa robežām, °C.

Siltumcaurlaidības koeficienta mitruma labojuma aprēķināšanai mitruma labojuma koeficients $f_w = 4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ [6].

2.3. Kondensāta izdalīšanās prognoze

Latvijas būvnormatīva LBN 002-01 [4] 25. punktā ir teikts: **«Būvelementā, kas nesastāv no viendabīga materiāla, nodrošina, ka tā siltumizolācijas materiāla siltajā pusē esošo slāņu kopējais ūdens tvaiku pretestības gaisa difūzijas ekvivalents s_d ir vismaz piecas reizes lielāks par siltumizolācijai aukstajā pusē piegulošo materiālu kopējo ūdens tvaiku pretestības gaisa difūzijas ekvivalentu $s_{d''}$ ».**

Savukārt 31. punktā teikts: **«Atkāpēm no šī būvnormatīva 25. punkta prasībām jābūt pamatotām ar aprēķinu, kas garantē, ka kondensāta gada uzkrāšanās nav ar pozitīvu bilanci un nekaitē konstrukcijai. Koka būvelementos kondensāta rašanās nav pieļaujama».**

Kondensāta aprēķins ir balstīts uz difūzijas vienādojuma atrisinājumu. Mitruma difūziju vispārīgā gadījumā apraksta nestacionārais difūzijas vienādojums¹. Aprēķinu metodika ir dota standartā LVS EN ISO 13788. Mitruma difūzijas plūsmu aprēķina pēc formulas:

$$g = \delta_0 \frac{p_i - p_e}{s_d} \quad (2.9)$$

kur g – mitruma difūzijas plūsma, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;

δ_0 – koeficients, $2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) = 2 \cdot 10^{-10} \text{ s}$;

p_i – nepiesātināta tvaika spiediens ēkas iekšpusē, Pa;

p_e – nepiesātināta tvaika spiediens ēkas ārpusē, Pa;

s_d – ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents, m.

Daudzslāņu būvelementam ūdens tvaiku difūzijas ekvivalentu aprēķina pēc formulas:

$$s_d = \sum_{j=1}^N d_j \mu_j \quad (2.10)$$

kur d_j – būvelementa j-tā slāņa biezums, m;

μ_j – būvelementa j-tā slāņa ūdens tvaika pretestības faktors.

Grafiski attēlojot nepiesātinātu ūdens tvaiku spiedienu atkarībā no ūdens tvaiku difūzijas ekvivalenta $p=f(s_d)$, iegūst taisni. Šajās pašās koordinātās attēlojot arī piesātināta ūdens tvaiku spiediena atkarību no s_d atbilstošās temperatūrās, var veikt mitruma izdalīšanās analīzi ēku norobežojošajās konstrukcijās. Ja abas līnijas nekrustojas, tad kondensāts neizdalās (2.1. att.).

Ja abas līknes krustojas (2.2. att.; pārtrauktā un punktsvītrotā līnija), tad ēku norobežojošajās konstrukcijās ir novērojama kondensāta izdalīšanās. Tā kā lielāks ūdens tvaiku spiediens par piesātināta tvaika spiedienu nav iespējams, tad nepiesātinātā tvaika līknē (nepārtrauktā līnija) veidojas lūzums pie tās virsmas, uz kuras izdalās kondensāts (kondensāta izdalīšanās tikai uz vienas robežvirsmas).

Mitruma difūzijas plūsma ir vērsta no iekštelpas uz kondensēšanās vietu. Tās lielums ir aprēķināms pēc formulas:

$$g_i = \delta_0 \frac{p_i - p_c}{s_{d_i}} \quad (2.11)$$

¹⁾ Plašāks teorijas izklāsts ir dots literatūrā [9].

kur g_i – mitruma plūsma no telpas iekšienes uz kondensācijas vietu, $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$;
 p_i – nepiesātināta tvaika spiediens telpā, Pa;
 p_c – piesātināta tvaika spiediens uz kondensācijas virsmas, Pa;
 $s_{d i}$ – ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents (iekštelpa : kondensācijas virsma), m.

Tālāk mitruma difūzijas plūsma turpinās no kondensēšanās vietas uz ārpusi. Tās lielums ir aprēķināms pēc formulas:

$$g_e = \delta_0 \frac{p_c - p_e}{s_{d e}} \quad (2.12)$$

kur g_e – mitruma plūsma no kondensēšanās vietas uz ārpusi, $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$;
 p_e – nepiesātināta tvaika spiediens ārpusē, Pa;
 p_c – piesātināta tvaika spiediens uz kondensācijas virsmas, Pa;
 $s_{d e}$ – ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents (kondensācijas virsma : ārpusē), m.

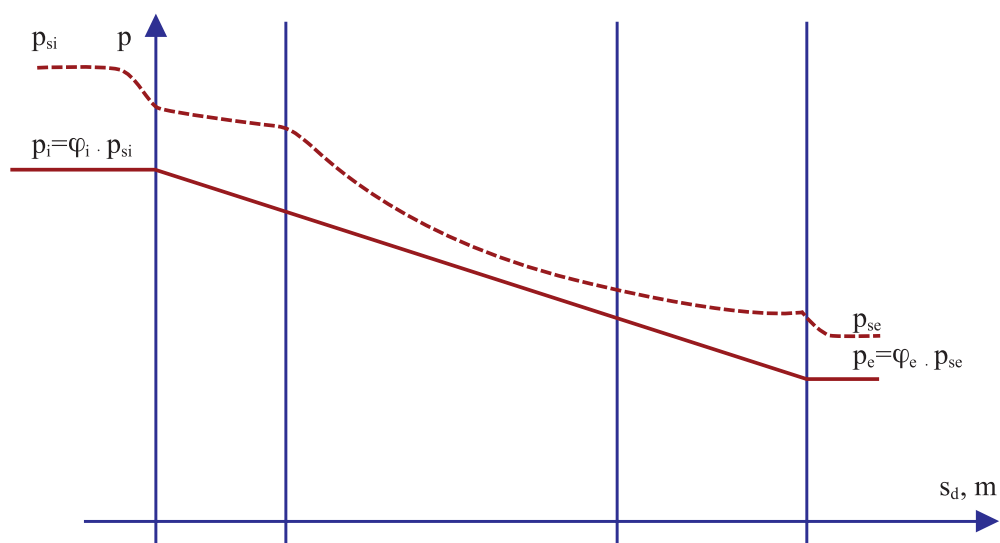
Kondensāta uzkrāšanās ātrums g_c , $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ir:

$$g_c = g_i - g_e = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d i}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d e}} \right) \quad (2.13)$$

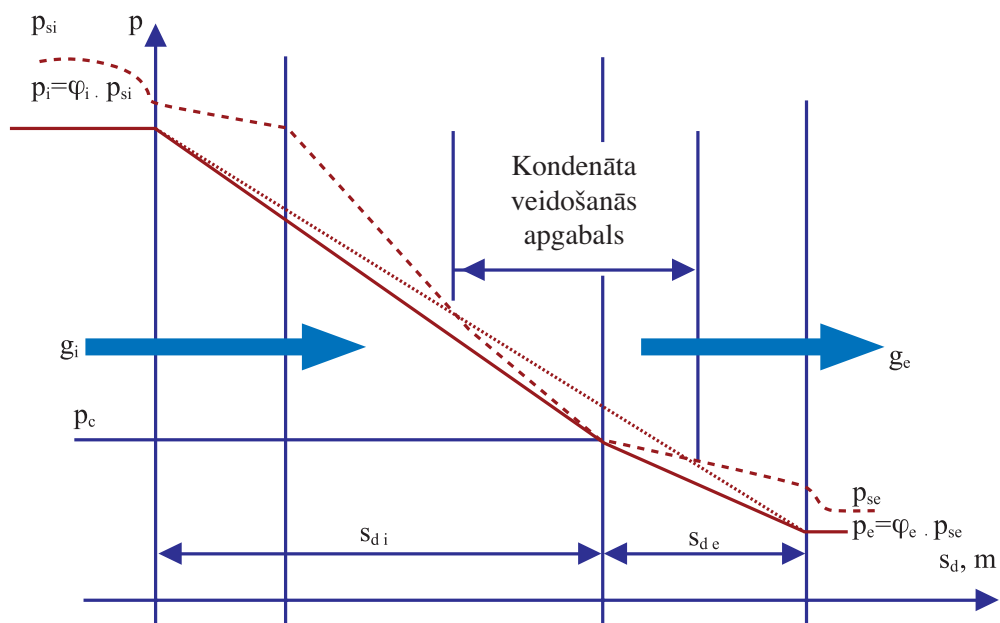
Kopējo uzkrāto kondensāta daudzumu M_a saskaņā ar standartu [3] aprēķina, katra mēneša kondensāta uzkrāšanas ātrumu reizinot ar katra mēneša garumu un iegūtos kondensāta daudzumus summējot:

$$M_a = g_c \cdot t_m \quad (2.14)$$

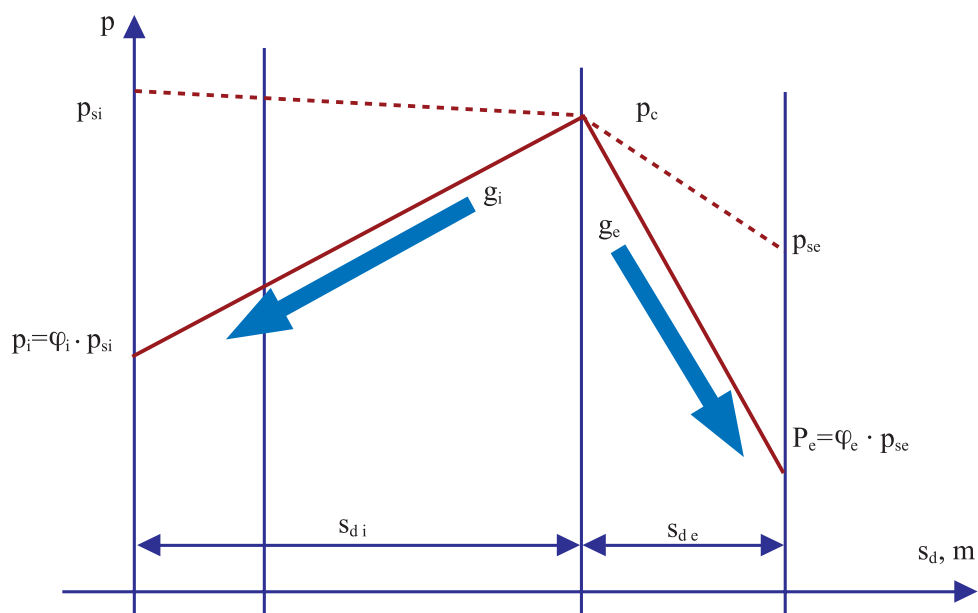
kur M_a – mēnesī uzkrātais kondensāta daudzums, kg/m^2 ;
 t_m – mēneša ilgums, s.



2.1. att. Shematiska piesātināta (pārtrauktā linija) un nepiesātināta (nepārtrauktā linija) ūdens tvaika spiediena atkarība no ūdens tvaiku difūzijas ekvivalenta s_d (p_{si} , p_{se} – piesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; p_i , p_e – nepiesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; φ_i , φ_e – relatīvais gaisa mitrums iekštelpā un ārpusē)



2.2. att. Shematiska piesātināta (pārtrauktā linija) un nepiesātināta (nepārtrauktā lauztā linija) ūdens tvaika spiediena atkarība no ūdens tvaika difūzijas ekvivalenta s_d . Svītrpunktu līnija parāda, ka notiek kondensāta veidošanās (p_{si} , p_{se} – piesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; p_i , p_e – nepiesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; φ_i , φ_e – relatīvais gaisa mitrums iekštelpā un ārpusē; p_c – ūdens kondensāta piesātinātā tvaika spiediens; $s_{d i}$, $s_{d e}$ – attiecīgi ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents starp kondensāta veidošanās vietu un iekštelpu vai ārpusi; g_i , g_e – ūdens tvaiku difūzijas plūsmas)



2.3. att. Shematiska piesātināta (pārtrauktā linija) un nepiesātināta (nepārtrauktā lauztā linija) ūdens tvaika spiediena atkarība no ūdens tvaika difūzijas ekvivalenta s_d (p_{si} , p_{se} – piesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; p_i , p_e – nepiesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; φ_i , φ_e – relatīvais gaisa mitrums iekštelpā un ārpusē; p_c – ūdens kondensāta piesātinātā tvaika spiediens; $s_{d i}$, $s_{d e}$ – attiecīgi ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents starp kondensāta veidošanās vietu un iekštelpu vai ārpusi; g_i , g_e – attiecīgi mituma plūsmas no kondensāta veidošanās vietas uz iekštelpu vai ārpusi)

2.3.1. Kondensāta žūšana ēku sienās

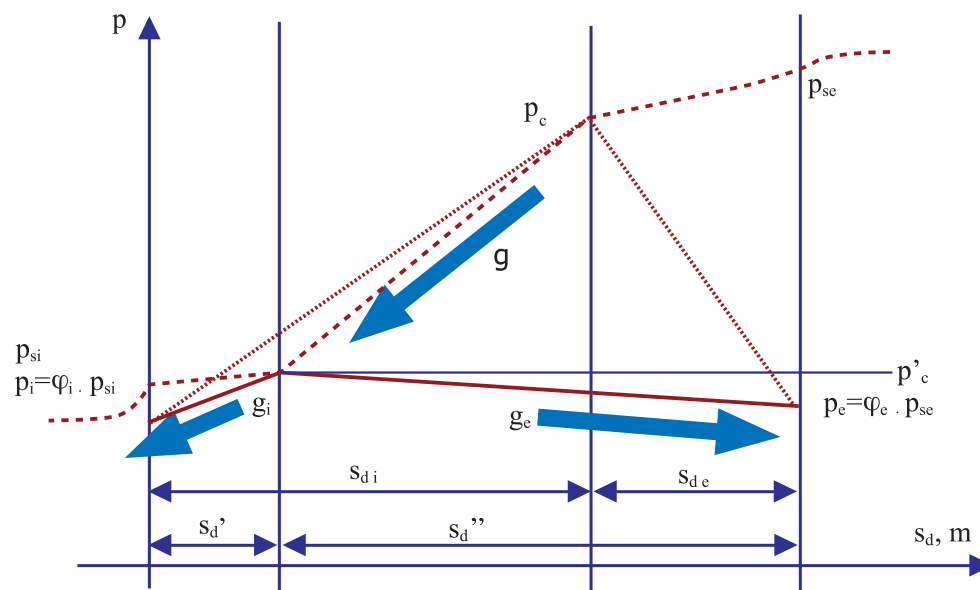
Kondensāta žūšanas aprēķinu metodiku vasaras periodā nosaka standarts [3]. No kondensāta veidošanās apgabala mitrums difundē uz ēkas sienas iekšējo (plūsma g_i) un ārējo (plūsma g_e) virsmu (2.3. att.).

Grafiski attēlojot nepiesātinātu ūdens tvaiku spiedienu atkarībā no ūdens tvaiku difūzijas ekvivalenta $p=f(s_d)$, iegūst lauztu līniju (2.3. att.; nepārtrauktā līnija). Šajās pašās koordinātās attēlojot arī piesātināta ūdens tvaika spiediena atkarību no s_d (pārtrauktā līnija), var veikt kondensāta žūšanas analīzi ēku sienās. No virsmas, uz kuras kondensāta izdalīšanās laikā ir sakrājies mitrums, tas žūšanas periodā pārvietojas uz ēku sienu virsmām. Mitruma plūsmas g_i un g_e aprēķina pēc formulām (2.11., 2.12.; g_i ņem ar pozitīvu zīmi). Kopējā kondensāta daudzumā (bilancē) žūšanas mitrums summējas ar negatīvu zīmi. Ja gada kopējā kondensāta bilance nav pozitīva, tad kondensāts vasaras periodā izžūst.



2.3.2. Jumtu konstrukciju žūšana

Žūstot jumtu konstrukcijām, kurās nav ventilējamas gaisa šķirkārtas, parasti veidojas situācija, kurā kondensāta mitrums vispirms difundē uz citu vietu konstrukcijā, kur tas no jauna kondensējas. Tikai pēc otrreizējas (vai vairākkārtējas) kondensācijas sākas pats žūšanas process, kas shematiski attēlots 2.4. attēlā.



2.4. att. Shematiska piesātināta (pārtrauktā līnija) un nepiesātināta (nepārtrauktā lauztā līnija) ūdens tvaika spiediena atkarība no ūdens tvaika difūzijas ekvivalenta s_d (p_{si} , p_{se} – piesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; p_i , p_e – nepiesātināta ūdens tvaika spiediens iekštelpā un ārpusē; φ_i , φ_e – relatīvais gaisa mitrums iekštelpā un ārpusē; p_c , p'_c – attiecīgi kondensāta un jaunā kondensāta ūdens piesātinātā tvaika spiediens; s_{d_i} , s_{d_e} – attiecīgi ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents starp kondensāta veidošanās vietu un iekštelpu vai ārpusi; $s_{d'}$, $s_{d''}$ – attiecīgi ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents starp jaunā kondensāta veidošanās vietu un iekštelpu vai ārpusi; g – mitrums plūsma uz jauno kondensācijas vietu; g_i , g_e – attiecīgi mitrums plūsmas no jaunā kondensāta veidošanās vietas uz iekštelpu vai ārpusi)

Žūšana ar papildu kondensāciju veidosies, ja piesātinātā tvaika līnija (pārtrauktā līnija) atrodas zem nepiesātinātā tvaika līnijas (punktētā līnija). Šajā gadījumā mitrums vispirms difundēs uz šo jauno kondensācijas virsmu (plūsma g), un tikai pēc tam ārā no konstrukcijas. Šādu difūzijas mehānismu sauc par žūšanu ar šķērslī. Pēc mitrums difūzijas žūšanas process notiek jau ievēro-

jami lēnāk, jo kondensāta piesātinātu tvaiku spiediens ir samazinājies no p_c uz p'_c . Plūsmas virzienā uz konstrukcijas ārēni un iekšēni var aprēķināt pēc formulām (2.11, 2.12), piemērojot tās jaunajam kondensāta novietojumam būvkonstrukcijā:

$$g_i = \delta_0 \frac{p_c' - p_i}{s_d'} \quad (2.15)$$

kur g_i – mitruma plūsma no kondensācijas vietas uz telpas iekšēni, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
 p_i – nepiesātināta tvaika spiediens telpā, Pa;
 p_c' – piesātināta tvaika spiediens uz kondensācijas virsmas, Pa;
 s_d' – ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents (iekštelpa : kondensācijas virsma), m.

Otra mitruma difūzijas plūsma ir no kondensēšanās vietas uz ārpusi un ir aprēķināma pēc formulas:

$$g_e = \delta_0 \frac{p_c' - p_e}{s_d''} \quad (2.16)$$

kur g_e – mitruma plūsma no kondensācijas vietas uz ārpusi, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
 p_e – nepiesātināta tvaika spiediens ārpusē, Pa;
 p_c' – piesātināta tvaika spiediens uz kondensācijas virsmas, Pa;
 s_d'' – ūdens tvaiku difūzijas ekvivalents (kondensācijas virsma : ārpusē), m.

Kondensāta daudzumu mēnesī aprēķina, sareizinot mēneša ilgumu sekundēs ar plūsmu (2.15) un (2.16) summu. Kopējā kondensāta gada bilance ir visu 12 mēnešu kondensāta daudzumu summa, kurā izžuvušo kondensātu ieskaita ar negatīvu zīmi. Ja kondensāta gada bilance nav pozitīva, tad konstrukcija vasaras periodā izžūst.

2.4. Paliekošo veidņu sistēmas «Dobeles panelis» aprēķina piemērs

Pieņemsim, ka ir izveidota paliekošo veidņu sistēmas «Dobeles panelis» ārēnās būvkonstrukcija, kas sastāv no šādiem slāņiem (skaitot no iekšpuses; 2.3. tabula), kur siltumizolācijai siltumvadītspēja dota saskaņā ar 2.2². tabulu. 2.3. tabulā iekrāsotie lie-lumi turpmāk tiks variēti 2.7. un 2.8. tabulās.

2.3. tabula.

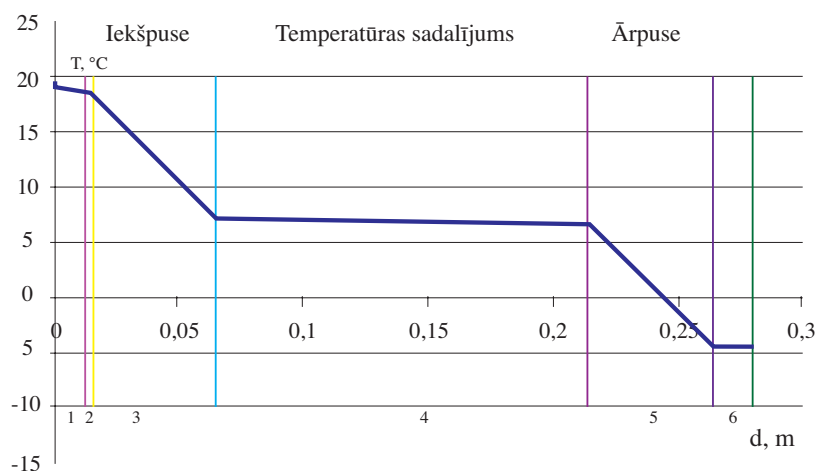
Paliekošo veidņu sistēmas «Dobeles panelis» ārēnās konstrukcija

N. p. k.	Slāņi	Biezums, m	Siltumvadītspēja, $W/(m \cdot K)$	Ūdens tvaiku pretestības faktors
1.	Ģipškartons	0,013	0,25	10
2.	Gaisa šķīrkārta ³	0,002	0,036	1
3.	EPS 200	0,05	0,0345	60
4.	Dzelzsbetons	0,15	2	100
5.	EPS 200	0,05	0,0345	60
6.	Ārējā apdare	0,015	0,87	15

²) Analīzei izvēlēts iespējami sliktākais gadījums – plānākais ārējās siltumizolācijas slānis (0,05 m).

³) Saskaņā ar standartu [1] neventilētas vai vāji ventilētas gaisa šķīrkārtas dod papildu siltumpretestību.

Temperatūras sadalījums šajā būvkonstrukcijā Rīgas klimatiskajos apstākļos janvārī, ja iekštelpas temperatūra ir 20 °C, ir parādīts 2.5. attēlā.



2.5. att. Temperatūras sadalījums būvkonstrukcijā Rīgas klimatiskajos apstākļos janvārī pa slāņiem saskaņā ar 2.3. tabulu, skaitot no iekšpuses. Iekštelpas temperatūra ir 20 °C; slāņu numerācija (1–6) atbilst 2.3. tabulai

Kā redzams no 2.5. attēla, konstrukcijas iekšējā putupolistirola slāņa (3) darba temperatūra vidēji ir 12,7 °C. Attiecīgi tas dod slānim (3) siltumvadītspējas pieaugumu (paskaidrojums pie formulas 2.6.):

$$\Delta\lambda_T = \lambda_{10} \cdot f_t \cdot (T_2 - T_1) = 0,0345 + 0,0035 \cdot (12,7 - 10) = 0,000326 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}.$$

Slānim (5) darba temperatūra ir 1,2 °C, kas attiecīgi dod negatīvu siltumvadītspējas pieaugumu: -0,0010 W/(m·K).

Šās konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficients U, aprēķināts pēc formulas (2.1) un slāņu (3) un (5) siltumvadītspējas 10 °C, ir 0,306 W/(m²·K). To pārrēķinot, ievērojot aprēķinātās siltumvadītspējas temperatūras korekcijas, iegūstam 0,303 W/(m²·K). Siltumcaurlaidības koeficienta korekcija ir negatīva: -0,003 W/(m²·K).

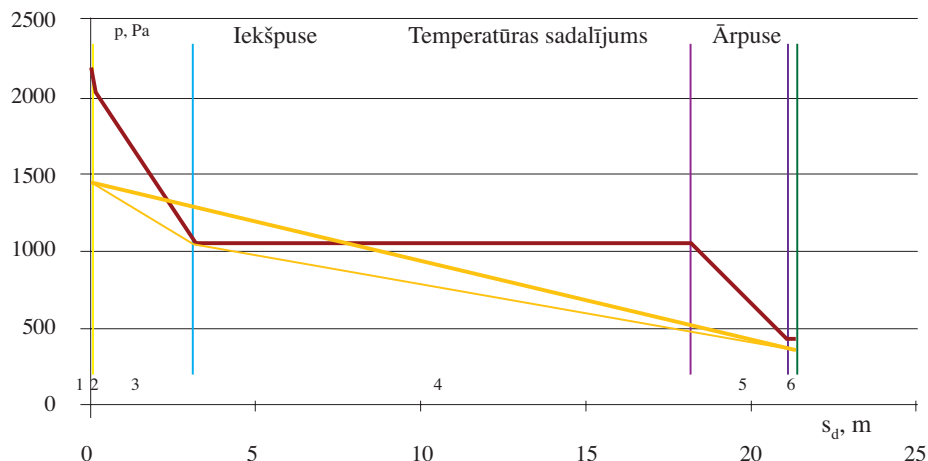
Lai ēkas norobežojošajā konstrukcijā saskaņā ar standartu [3] varētu prognozēt kondensāta veidošanās risku, jāzina ēkas ekspluatācijas mitruma apstākļi. Standartā [3] ir paredzētas piecas ēku ekspluatācijas mitruma klases, kuru īss apraksts ir dots 2.4. tabulā.

2.4. tabula.

Ēku ekspluatācijas mitruma klases saskaņā ar standartu [3]

Ēku mitruma ekspluatācijas klases	Apraksts
1.	Noliktavu telpas (zems mitruma līmenis)
2.	Biroji, veikali
3.	Ēkas ar zemu apdzīvotības līmeni. Vienstāva dzīvojamās mājas
4.	Ēkas ar augstu apdzīvotības līmeni. Daudzstāvu dzīvojamās ēkas, sporta halles, virtuves, ēdnīcas
5.	Mitras speciālās ēkas: veļas mazgātavas, alusdarītavas, peldētavas utt.

2.3. tabulā dotajai konstrukcijai kondensāta veidošanās aprēķins Rīgas klimatiskajos apstākļos janvārī 4. ekspluatācijas mitruma klases ēkām ir parādīts 2.6. attēlā.



2.6. att. Mitruma sadalījums būvkonstrukcijā Rīgas klimatiskajos apstākļos janvārī pa slāņiem saskaņā ar 2.3. tabulu, skaitot no iekšpuses. Iekštelpas temperatūra ir 20 °C; slāņu numerācija (1–6) atbilst 2.3. tabulai (dzeltenā lauztā līnija – nepiesātināta tvaika spiediens; sarkanā līnija – piesātināta tvaika spiediens)

Kā redzams no 2.6. attēla, konstrukcijā veidojas kondensāts, kura absolūtais lielums, aprēķināts saskaņā ar standartu [3], ir 0,217 kg/m². Vasaras periodā kondensāts izžūst. Tādējādi slānis (3) ziemas periodā ir pakļauts mitruma iedarbībai. Aprēķināsim šim slānim siltumvadītspējas mitruma labojumu (paskaidrojums pie formulas 2.6.):

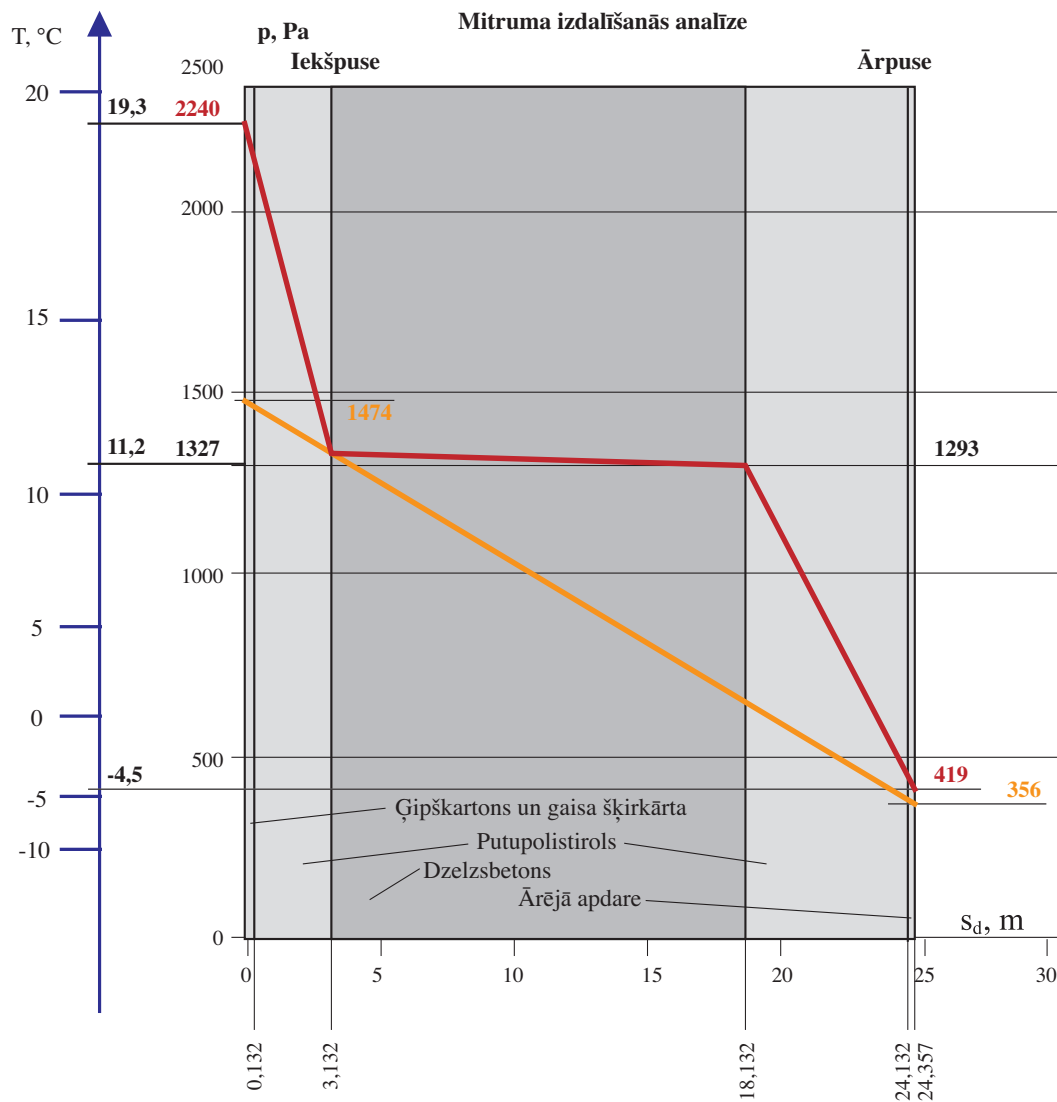
$$\Delta\lambda_m = \lambda_{10} \cdot f_{\omega} \cdot (\omega_2 - \omega_1) = 0,0345 \cdot 4 \cdot 0,217 \cdot 10^{-3} / 0,05 = 0,0006 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}.$$

Šeit mitrums ω ir jāpārrēķina m³/m³ (slāņa (3) viena kvadrātmetra tilpums ir 0,05 m³; kondensāts aizņem 0,217·10⁻³ m³). Pārrēķinot siltumcaurlaidības koeficientu U, ievērojot siltumvadītspējas mitruma korekciju, iegūstam 0,3062 W/(m²·K). Korekcija ir pozitīva: 0,0002 W/(m²·K).

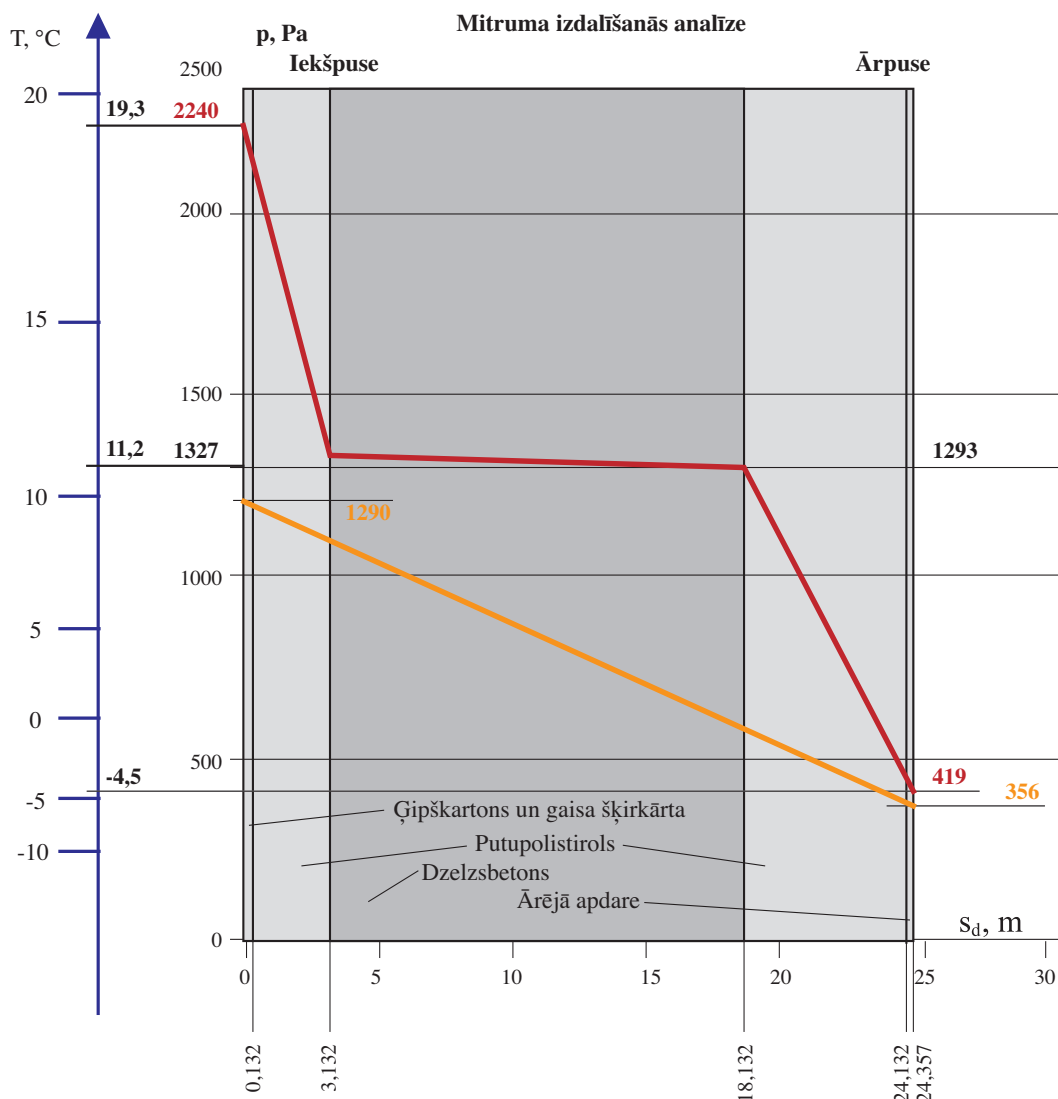
Kā redzams, siltumcaurlaidības koeficienta temperatūras un mitruma korekcijas ir ar pretēju zīmi un to absolūtās vērtības ir visai mazas: –0,003 un 0,0002 W/(m²·K). Tāpēc šīs korekcijas turpmākajā sistēmas «Dobeles panelis» aprēķinā var neievērot.

Ja palielina ārējās siltumizolācijas slāņa biezumu līdz 0,1 m, tad absolūtais kondensāta daudzums, kas izdalās 4. ekspluatācijas mitruma klases ēkā slāni (3), samazinās līdz 0,002 kg/m². Tāpēc lietot konstrukciju, kurai ārējais siltumizolācijas slānis ir 0,05 m, nav ieteicams. 3. ekspluatācijas mitruma klases ēkā kondensāts neveidojas vispār.

2.7. un 2.8. attēlos ir parādīts temperatūras un ūdens tvaiku spiediena sadalījums attiecīgi 4. un 3. ekspluatācijas mitruma klases ēku norobežojošajās konstrukcijās, kas dotas 2.3. tabulā, ja ārējais siltumizolācijas slānis (5) ir 0,1 m. Meteoroloģiskie apstākļi atbilst Rīgas klimatiskajiem apstākļiem janvārī [5].



2.7. att. Temperatūras un ūdens tvaiku spiediena sadalījums norobežojošā konstrukcijā (2.3. tabula; ārējā putupolistirola slāņa (5) biezums – 0,1 m) 4. ekspluatācijas mitruma klases ēkām (dzeltenā linija – nepiesātinātu ūdens tvaiku spiediena sadalījums; sarkanā linija – piesātinātu ūdens tvaiku un vienlaikus temperatūras sadalījums)



2.8. att. Temperatūras un ūdens tvaiku spiediena sadalījums norobežojošā konstrukcijā (2.3. tabula; ārējā putupolistirola slāņa (5) biezums – 0,1 m) 3. ekspluatācijas mitruma klases ēkām (dzeltenā līnija – nepiesātinātu ūdens tvaiku spiediena sadalījums; sarkanā līnija – piesātinātu ūdens tvaiku un vienlaikus temperatūras sadalījums)

2.5. Stiprinājuma skrūvju ietekme

2.5.1. Stiprinājuma skrūvju siltumcaurlaidības koeficienta labojums

Caurejošas konstrukcijas stiprinājuma skrūves (tērauds $\lambda=50$ W/(m·K); diametrs 5,2 mm) dod papildpieaugumu konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficientam, kas ir atkarīgs no skrūvju skaita uz laukuma vienību. Tabulā 2.5. ir dots siltumcaurlaidības koeficienta pieaugums, kas ir rēķināts vienai skrūvei uz 1 m² atkarībā no tās garuma.

2.5. tabula.

Koeficienta U labojumi vienai stiprinājuma skrūvei uz 1 m²

Skrūves garums, m	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
ΔU_s , W/(m ² ·K)	0,0042	0,0035	0,0030	0,0027	0,0024	0,0021	0,0019

Tad skrūvju radīto kopējo konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficienta pieaugumu (labojumu) var aprēķināt pēc formulas:

$$\Delta U_{ks} = \frac{N}{A} \Delta U_s \quad (2.17)$$

kur N – skrūvju skaits laukumā A;

A – laukums, m² (ja atstatums starp skrūvēm ir 0,2 m, tad N/A=25);

ΔU_s – vienas skrūves siltumcaurlaidības koeficienta labojums (2.5. tabula), W/(m²·K).

Ievērojot skrūvju labojumus, siltumcaurlaidības koeficientu sistēmas «Dobeles panelis» sienas būvkonstrukcijās var aprēķināt pēc formulas:

$$U = U_{10} + \Delta U_{ks} \quad (2.18)$$

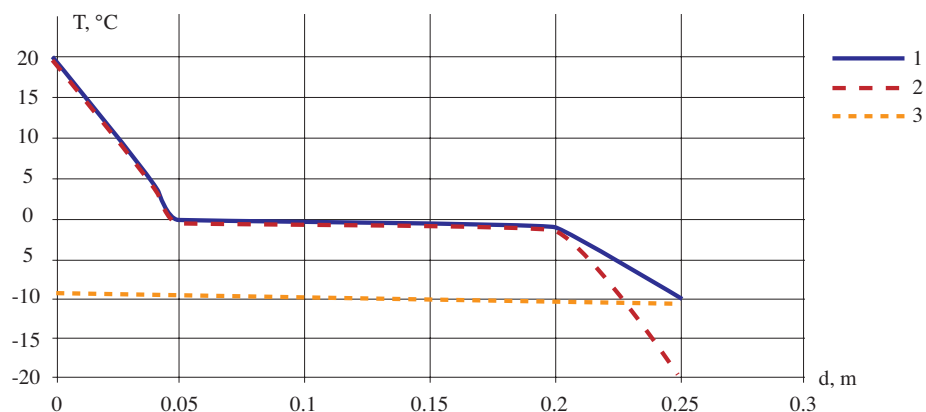
kur U_{10} – paneļa siltumcaurlaidības koeficients pie 10 °C, ko atrod pēc formulas (2.1);

ΔU_{ks} – siltumcaurlaidības koeficienta skrūvju labojums (2.17), W/(m²·K).

2.5.2. Stiprinājuma skrūvju ietekme uz iekšsienas temperatūru

Viens no aktuāliem jautājumiem varētu būt šāds: «Vai būvkonstrukcijas iekšpusē stiprinājuma skrūvju galu tuvumā ziemas periodā neveidojas pazeminātas temperatūras apgabals, kurā var būt pelējuma veidošanās riska zona vai tur pat notiktu kondensāta izdalīšanās?»

Atbildi uz šo jautājumu var dot tikai šāda aukstuma tilta aprēķini, kas arī tika veikti (2.9. att.), bet to lielā apjoma un sarežģītības dēļ šeit nav parādīti. Aprēķinos pieņemta sistēma «Dobeles panelis» ar šādu slāņu biezumu: EPS 100 iekšpusē, 0,05 m (2.9. att.; kreisā puse); dzelzsbetons, 0,15 m; EPS 100 ārpusē, 0,05 m. Ārpusē temperatūra: -25, iekšpusē +20 °C. Linijas 1 un 3 dod temperatūru uz savienojošās skrūves virsmas: 3 – neievērojot mijiedarbību starp skrūvi un to apņemošo vidi, 1 – ievērojot mijiedarbību, 2 – skrūvi apņemošās vides temperatūra. Kā redzams, skrūves un apkārtējās vides temperatūras sākotnējā atšķirība visai ātri izlīdzinās (grafiki 1 un 2 saplūst), ja skrūves diametrs ir neliels (aprēķinos pieņemts 5,2 mm). Liela skrūves diametra gadījumā tas tā vairs nebūs. Tas nozīmē, ka lokāls iekštelpas sienas virsmas temperatūras pazeminājums skrūves gala rajonā (koordināta d=0; 2.9. att.) nav sagaidāms. Tomēr šīs skrūves darbojas kā aukstuma tilti un veic vienmērīgu temperatūras pazeminājumu uz iekšsienas. Aprēķinos pieņemot, ka konstrukcijā ir 25 skrūves uz 1 m², temperatūras pazeminājums ir aptuveni 0,5 °C (no 18,5 °C, kas būtu prognozējams, ja nedarbotos šis aukstuma tilts, uz 18 °C).



2.9. att. Sistēmas «Dobeles panelis» caurejošās skrūves un to apņemošās vides temperatūra:

1 – vides temperatūra; 2 – skrūves virsmas temperatūra, ievērojot mijiedarbību starp skrūvi un vidi; 3 – skrūves virsmas temperatūra, mijiedarbību neievērojot

2.6. Sistēmas «Dobeles panelis» ārsienu konstrukciju siltumcaurlaidība

Tabulās 2.7 un 2.8. ir dotas sistēmas «Dobeles panelis» ārsienu siltumcaurlaidības koeficienta U , $W/(m^2 \cdot K)$ vērtības un maksimālais kondensāta daudzums ziemas periodā kg/m^2 3. un 4. ekspluatācijas mitruma klases ēkām (2.4. tabula), aprēķināts saskaņā ar standartu [3] (3. klase – ēkas ar zemu apdzīvotības līmeni. Vienstāva dzīvojamās mājas; 4. klase – ēkas ar augstu apdzīvotības līmeni. Daudzstāvu dzīvojamās mājas, sporta halles, virtuves, ēdnīcas utt.) Rīgas klimatiskajos apstākļos [5], ievērojot korekciju 25 stiprinājuma skrūvēm uz $1 m^2$ atkarībā no ārējā putupolistirola (1. vertikālais stabiņš) un dzelzsbetona slāņa biezuma. Visos 2.7. un 2.8. tabulās parādītajos gadījumos sistēmas «Dobeles panelis» ārsienu pārējo slāņu parametri atbilst 2.3. tabulai. Variētie parametri 2.3. tabulā ir iekrāsoti. Kondensāts vasaras periodā izžūst.

2.7. un 2.8. tabulu U vērtību iekrāsojums atbilstoši 1. tabulas prasībām (temperatūras faktors $k=1$) ir parādīts 2.6. tabulā.

2.6. tabula.

U vērtību iekrāsojums 2.7. un 2.8. tabulā

	$> 0,60 W/(m^2 \cdot K)$ – neatbilst normām	$U_{RN}-U_{RM}$ U_{RN} – normatīvā vērtība; U_{RM} – maksimālā vērtība
	$0,50-0,60 W/(m^2 \cdot K)$ – rūpniecības ēkas	
	$0,40-0,50 W/(m^2 \cdot K)$ – publiskās ēkas	
	$0,30-0,40 W/(m^2 \cdot K)$ – dzīvojamās ēkas	
	Konstrukcijā izdalās kondensāts, kas vasaras periodā izžūst	

2.7. tabula.

Sistēmas «Dobeles panelis» ārsienu siltumcaurlaidības koeficienta U , $W/(m^2 \cdot K)$ vērtības un maksimālais kondensāta daudzums ziemas periodā kg/m^2 atkarībā no ārējās siltumizolācijas un dzelzsbetona slāņa biezuma

Ārējā izolācija EPS - 200						Kondensāts, kg/m^2									
U, $W/(m^2 \cdot K)$						3. mitruma klase					4. mitruma klase				
EPS 200	Dzelzsbetona biezums, m					Dzelzsbetona biezums, m					Dzelzsbetona biezums, m				
d, m	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30
0,05	0,43	0,41	0,39	0,38	0,37	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,22	0,23	0,25	0,26	0,26
0,10	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	Nav	Nav	Nav	Nav	Nav	Nav	0,00	0,01	0,02	0,03
0,15	0,25	0,24	0,23	0,22		Nav	Nav	Nav	Nav		Nav	Nav	Nav	Nav	
0,20	0,20	0,20	0,19	0,18		Nav	Nav	Nav	Nav		Nav	Nav	Nav	Nav	

Sistēmas «Dobeles panelis» ārsienu paliekošos veidņus izgatavojošos no putupolistirola ar grafīta piedevām – Neopor EPS 200, kam blīvums ir 25–30 kg/m^3 , bet siltumvadītspēja – aptuveni 0,03 $W/(m \cdot K)$, 2.7. tabulai analoga ir 2.8. tabula.

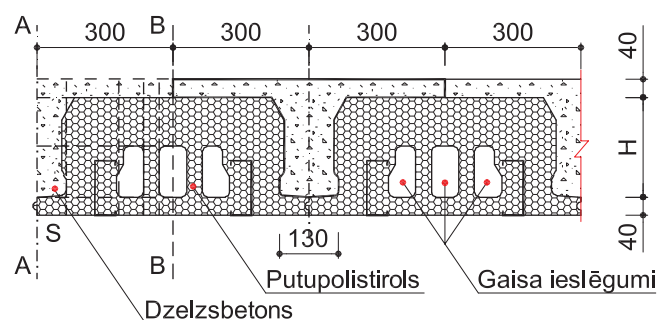
2.8. tabula.

Sistēmas «Dobeles panelis» ar putupolistirolu «Neopor EPS 200» ārsienu siltumcaurlaidības koeficienta U , $W/(m^2 \cdot K)$ vērtības un maksimālais kondensāta daudzums ziemas periodā kg/m^2 atkarībā no ārējās siltumizolācijas un dzelzsbetona slāņa biezuma

Ārējā izolācija Neopor 200						Kondensāts, kg/m^2									
U, $W/(m^2 \cdot K)$						3. mitruma klase					4. mitruma klase				
Neopor 200	Dzelzsbetona biezums, m					Dzelzsbetona biezums, m					Dzelzsbetona biezums, m				
d, m	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30
0,05	0,39	0,38	0,36	0,34	0,33	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,22	0,23	0,25	0,26	0,26
0,10	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	Nav	Nav	Nav	Nav	Nav	Nav	0,00	0,01	0,02	0,03
0,15	0,23	0,22	0,21	0,20		Nav	Nav	Nav	Nav		Nav	Nav	Nav	Nav	
0,20	0,19	0,18	0,17	0,17		Nav	Nav	Nav	Nav		Nav	Nav	Nav	Nav	

2.7. Jumta konstrukcijas aprēķins

Sistēmas «Dobeles panelis» jumta konstrukcija shematiski ir parādīta 2.10. attēlā. Konstrukcija ir nehomogēna un satur trīs vides, kam siltumvadītspējas koeficienti ir dažādi: dzelzsbetonu, putupolistirolu un neventilētus gaisa ieslēgumus. Rūpnieciski ražotiem sistēmas «Dobeles panelis» jumta paneļiem putupolistirola siltumizolācijas slāņa biezums zem dzelzsbetona sijām ir fiksēts – 0,04 m.



2. 10. att. Sistēmas «Dobeles panelis» jumta konstrukcija

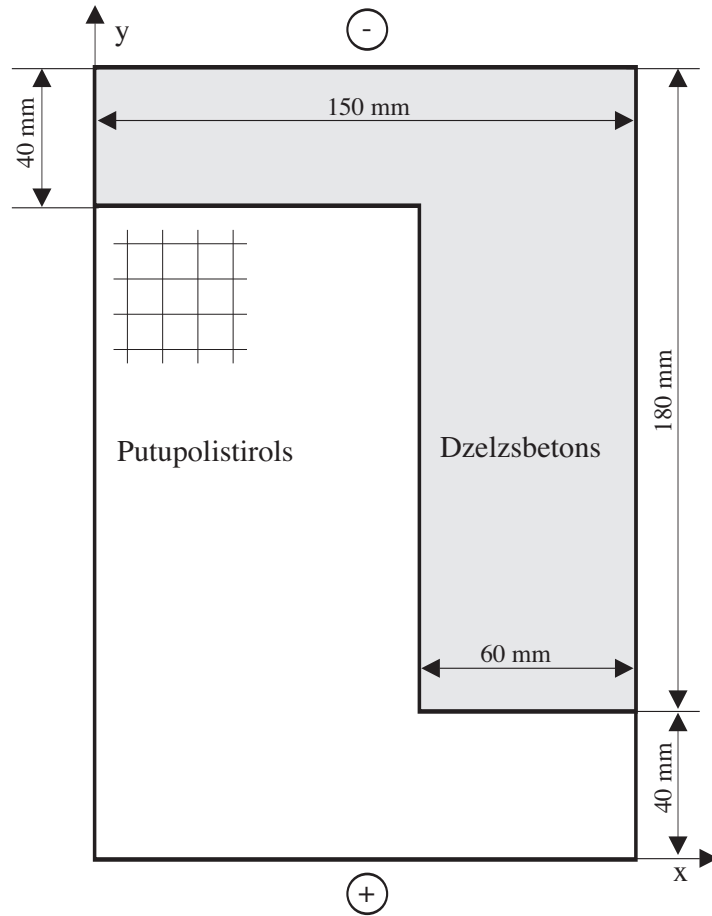
Šādas konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficienta U aprēķināšana ir visai sarežģīta. Saskaņā ar standartu [1] nehomogēnu būvkonstrukciju siltumcaurlaidības koeficientu aprēķina, sadalot konstrukciju slāņos (perpendikulāri siltuma plūsmas virzienam) un sekcijās (paralēli siltuma plūsmas virzienam) tā, lai katra atsevišķā konstrukcijas daļa būtu homogēna. Tālāk pēc standarta [1] jāaprēķina būvkonstrukcijas augšējā (R_T') un apakšējā (R_T'') siltumpretestības robeža, kuru aritmētiskais vidējais ir meklētā siltumcaurlaidības koeficienta vērtība. Piemēram, 2.10. attēlā parādītajā konstrukcijā vispirms jāveic griezumus (svītrpunktu līnijas) pa paneļa simetrijas plaknēm (AA, BB utt.), un tad paneļa daļa starp diviem griezumiem, piemēram, AA un BB, jāsadala 4 slāņos un 5 sekcijās (kopā 20 homogēni apgabali; 2.10. att. parādīti ar pārtrauktām līnijām). Saprotams, ka galīgais aprēķins būs ar visai lielu kļūdu.

Tā kā konstrukcijai zem nesošās sijas būs tikai 40 mm biezs siltumizolācijas slānis, tad acimredzot konstrukcijas viskritiskākā virsma ir šī sadura (punkts S; 2.10. att.). Tāpēc izanalizēsim šo saduru maksimāli korekti, ar skaitliskām metodēm atrisinot šim konstrukcijas rajonam stacionāro siltumvadītspējas vienādojumu. Gaisa ieslēgumiem šeit ir nebūtiska nozīme – tie atrodas relatīvi tālu, tāpēc tos apskatā neietversim. Analizētā būvkonstrukcijas daļa ir parādīta 2.11. attēlā.

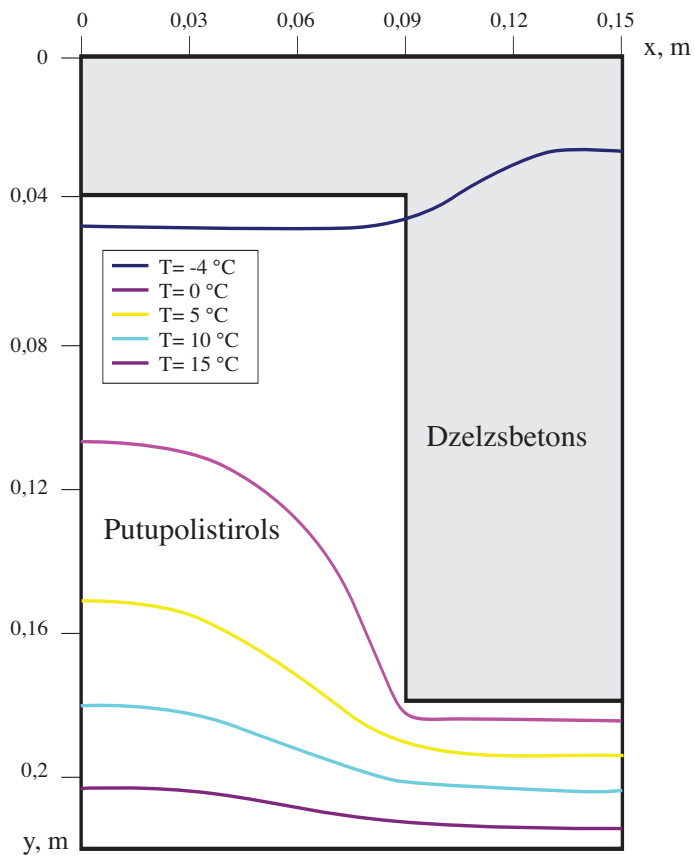
Aprēķinam tika pieņemti šādi siltumtehnikie parametri:

- 1) putupolistirola siltumvadītspējas koeficients – $0,036 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$;
- 2) dzelzsbetona siltumvadītspējas koeficients – $2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ [4];
- 3) ārējās virsmas siltuma pārejas pretestība – $0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
- 4) iekšējās virsmas siltuma pārejas pretestība – $0,10 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
- 5) āra gaisa temperatūra – $-4,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (janvāra vidējā temperatūra Rīgā [5]);
- 6) iekšējā gaisa temperatūra – $+20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Matemātiski konstrukcija tika aprēķināta ar kvadrātveida režģi, kura fragments ir parādīts 2.11. attēlā. X ass virzienā tika izdalīti 16 dalījuma punkti, bet y ass virzienā – 23. Režģa solis ir 0,01 m. Tādējādi kopumā veidojas $16 \times 23 = 368$ mezglpunkti. Problēmas risinājums galarezultātā noved pie lineāras algebrisko vienādojumu sistēmas, kurā ir tikpat vienādojumu, cik ir režģa mezglpunktu. Atrisinot šo 368 lineāro algebrisko vienādojumu sistēmu, iegūstam temperatūru 368 punktos. Pēc aprēķinātajām temperatūrām varam konstruēt izotermu saimi, kas ir parādīta 2.12. attēlā.

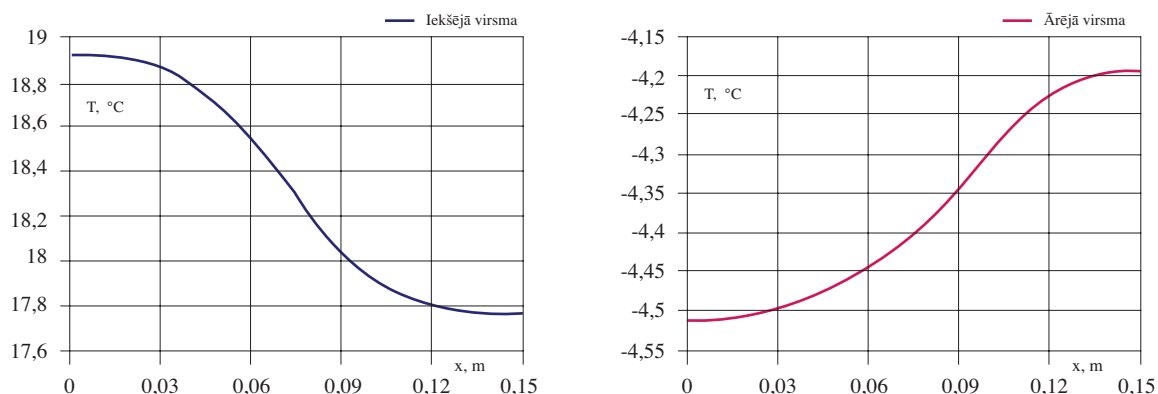


2.11. att. Jumta konstrukcijas aprēķina shēma



2.12. att. Jumta konstrukcijas elementa izotermu saime

Kā redzams no izotermu saimes, 15 °C izoterma tuvojas iekšējai virsmai dzelzsbetona sijas tuvumā. Tas liecina par to, ka zem dzelzsbetona sijas virsmas temperatūra pazeminās. Iekšējās un ārējās paneļa virsmas temperatūra atkarībā no koordinātas x, ja āra gaisa temperatūra ir vienāda ar -4,7 °C (janvāra vidējā temperatūra Rīgā [5]), ir parādīta 2.13. attēlā.



2.13. att. Konstrukcijas iekšējās un ārējās virsmas temperatūras maiņa

Kā redzams, zem sijas iekšējās virsmas temperatūra ir 17,8 °C, kas ir par 1,1 °C zemāka nekā tālu no tās. Šajā temperatūrā relatīvais gaisa mitrums telpā no 0,66 (4. mitruma klase) uz virsmas zem sijas pieaug līdz 0,79, kas ir tuvu pelējuma riska robežai **0,8** [3]. Turpretī 3. mitruma ekspluatācijas klases ēkās attiecīgi relatīvais gaisa mitrums no 0,53 telpā pieaug līdz 0,61 uz virsmas zem sijas. Ja āra gaisa temperatūra decembrī vai janvārī pietiekami ilgu laiku saglabājas -20 °C, kam Latvijas klimatiskajos apstākļos ir zināma varbūtība, relatīvais gaisa mitrums uz virsmas zem sijas pieaug līdz 0,88 (4. mitruma klase) vai 0,77 (3. mitruma klase). Relatīvajam gaisa mitrumam saskaņā ar standartu [3], pietiekami ilgu laiku saglabājoties lielākam par 0,8, rodas pelējuma veidošanās risks. Sijas rajonā palielinot putupolistirola izolācijas slāni līdz 0,06 m, maksimālais relatīvais gaisa mitrums uz virsmas zem sijas decembrī – janvārī samazinās līdz **0,82–0,80** (4. mitruma klase) vai **0,67** (3. mitruma klase). Tas nozīmē, ka ēkās ar 4. mitruma ekspluatācijas klasi kopējam siltumizolācijas slānim jumta konstrukcijā sijas rajonā jābūt ne mazākam par 0,06 m. Tā kā rūpnieciski izgatavotajiem jumta paneļiem, kas parādīti 2.10. attēlā, siltumizolācijas slānis zem dzelzsbetona sijas ir 0,04 m biezs, tad jāveic papildsiltināšanas pasākumi, lai kopējo siltumizolācijas slāni palielinātu vismaz līdz 0,06 m. Papildu siltumizolācijas slānis var tikt novietots gan zem, gan virs paneļa. Šie papildpasākumi ziemas mēnešos samazinās pelējuma risku joslās zem nesošajām dzelzsbetona sijām.

2.11. attēlā redzamās konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficienta vērtība, iegūta no skaitliskā risinājuma datiem, ir 0,58 W/(m²·K), bet, aprēķinot to pēc standarta [1], sadalot būvelementu 3 slāņos un 2 sekcijās, iegūstam 0,52 W/(m²·K). Ja būvelementa siltumpretestību aprēķina pēc formulas:

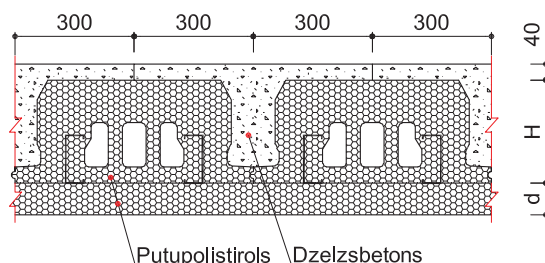
$$R_T = \frac{R_T' + 2R_T''}{3} \quad (2.19)$$

kas tika lietota pirms standarta [1] pieņemšanas [7], tāpat izmantojot siltumpretestības augšējo R_T' un apakšējo R_T'' vērtību, iegūstam 0,57 W/(m²·K), kas ir daudz tuvāk precīzajam aprēķinam. Kopumā jāsecina, ka, aprēķinot šādu nehomogēnu būvkonstrukciju siltumcaurlaidības koeficientu vērtības ar standartā [1] paredzēto metodi, ir sagaidāma 15–20% liela kļūda.

Izdalītā kondensāta daudzums, aprēķināts zem sijas ar režģa metodi un parastu aprēķinu homogēniem slāņiem pēc meteoroloģiskajiem datiem Rīgai janvārim, dod attiecīgi $0,19 \text{ kg/m}^2$ un $0,18 \text{ kg/m}^2$, kas būtiski neatšķiras. Tādējādi ir sagaidāms, ka kondensāta daudzuma aprēķins dos ievērojami mazāku kļūdu nekā siltumcaurlaidības koeficienta aprēķins.

Tomēr kondensāts vasaras mēnešos neizžūst. Tas nozīmē, ka jumta konstrukcija ir ekspluatējama tikai tad, ja konstrukcijas iekšpusē tiek pārklāta ar tvaikizolācijas kārtu, kuras ūdens tvaika pretestības difūzijas ekvivalents $s_d > 75 \text{ m}$, analoģu ūdens tvaikus necaurļaidīgu krāsojumu vai apmetumu ar atbilstošām ūdens tvaikus necaurļaidīgām piedevām.

2.10. tabulā ir dotas jumta konstrukcijas siltumcaurlaidības vērtības, aprēķinātas saskaņā ar standarta [1] metodiku nehomogēnām konstrukcijām atkarībā no konstrukcijas biezuma H (2.14. att.), kas ietver sevī $0,04 \text{ m}$ biezu putupolistirola slāni iekšpusē plus no $0,14\text{--}0,28 \text{ m}$ mainīgu dzelzsbetona sijas biezumu. Konstrukcijas U vērtības aprēķinā ir ņemts vērā arī $0,04 \text{ m}$ biezs dzelzsbetona slānis ārpusē, kas 2.10. tabulā biezumā H nav ieskaitīts. Tabulas U vērtību iekrāsojums atbilstoši 2.1. tabulas prasībām (temperatūras faktors $k=1$) ir parādīts 2.9. tabulā.



2.14. att. Jumta panelis ar pievienotu papildu siltumizolācijas slāni.

2.9. tabula.

Jumta konstrukciju U vērtību iekrāsojums

	$> 0,50 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – neatbilst normām	U_{RN} – U_{RM} U_{RN} – normatīvā vērtība; U_{RM} – maksimālā vērtība
	$0,35\text{--}0,50 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – rūpniecības ēkas	
	$0,25\text{--}0,35 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – publiskās ēkas	
	$0,20\text{--}0,25 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – dzīvojamās ēkas	

2.10. tabula.

Sistēmas «Dobeles panelis» jumta konstrukcijas ar putupolistirolu EPS 150 siltumcaurlaidības koeficienta U , $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$ vērtības atkarībā no kopējā konstrukcijas un papildu siltumizolācijas biezuma

$H, \text{ cm}$ $d, \text{ cm}$	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
0	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,33	0,33
1	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29	0,29
2	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26	0,26
3	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24
4	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22
5	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20
6	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19
7	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18
8	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17

Kā redzams no 2.10. un 2.1. tabulām, lai jumta konstrukcijas siltumizolācija būtu pietiekama, nepieciešams vēl papildu siltumizolācijas slānis, kurš 2.14. attēlā un 2.10. tabulā ir apzīmēts ar burtu «d».

Piemēram, ja dzīvojamās ēkas iekštelpas temperatūra ir 20 °C, tad temperatūras faktors k, ko aprēķina pēc formulas (2.3), ir 0,95 (Rīgai $T_e=0$ °C [5]). Aprēķinot normatīvo siltumcaurlaidības koeficienta vērtību (2.1. tabula), $U_{RN}=0,25 \cdot k=0,25 \cdot 0,95=0,2375 \approx 0,24$ W/(m²·K). Pieņemsim, ka jumta konstrukcija sastāv no sistēmas «Dobeles panelis» jumta paneļiem ar biezumu H=24 cm (2.14. att.). Kā redzams 2.10. tabulā, normatīvā siltumcaurlaidības koeficienta sasniegšanai nepieciešams vēl papildus 5 cm biezs siltumizolācijas slānis.

Saprotams, ka, veicot jumta konstrukcijas papildsiltināšanu saskaņā 2.10. tabulu, dzīvojamām ēkām pelējuma veidošanās risks zem dzelzsbetona sijām (2.10. att.) būs novērsts.

Attiecībā uz publiskajām un ražošanas ēkām, it īpaši, ja ražošanas ēkās ir pazemināta iekštelpu temperatūra (samazinoties T_i formulā 2.3, pazeminās prasības siltumcaurlaidības koeficientam; 2.1. tabula), var izrādīties, ka papildu siltumizolācija saskaņā ar 2.10. tabulu nav vajadzīga, tomēr pelējuma veidošanās risks var saglabāties. To vienlaikus nosaka vairāki mainīgi faktori: siltumcaurlaidības koeficients, iekštelpu temperatūra un relatīvais gaisa mitrums, kuri dažādos ēkas ekspluatācijas apstākļos var mainīties pietiekami plašās robežās. Tāpēc pelējuma veidošanās risku uz jumta paneļa iekšējās virsmas, zinot konkrētos ēkas ekspluatācijas siltumtehnikos parametrus, šajos gadījumos jāanalizē ēku projektēšanas laikā. Ja rodas pelējuma risks, to var novērst, veicot papildsiltināšanas pasākumus ārpus 2.10. tabulas prasībām.

Nobeigumā vēl apskatīsim jautājumu par jumta konstrukcijas masivitāti. Neliela konstrukcijas masivitāte noved pie tā, ka vasaras laikā, uz jumta konstrukciju kritot tiešai saules radiācijai, siltums relatīvi ātri nonāk ēkas augšstāva telpās, kur temperatūra var paaugstināties, izjaucot cilvēku dzīvei labvēlīgu mikroklimatu. Uzdevuma atrisinājums par temperatūras svārstību cikla (gada, diennakts) iespēšanos materiālā ir zināms [8]. Temperatūras maiņas aizkavēšanās (nobīdes) laiku caur noteiktu materiāla slāni var aprēķināt pēc formulas:

$$\tau = d \sqrt{\frac{t_{\text{dien}}}{4\pi a}} = 82,92 \cdot \frac{d}{\sqrt{a}} \text{ (s)} = \frac{82,92}{3600} \cdot \frac{d}{\sqrt{a}} = 0,023 \cdot \frac{d}{\sqrt{a}} \text{ (h)} \quad (2.20)$$

kur d – slāņa biezums, m;

t_{dien} – diennakts garums, s;

a – materiāla temperatūras vadišanas koeficients, m²/s.

Temperatūras vadišanas koeficientu aprēķina pēc formulas:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (2.21)$$

kur λ – materiāla siltumvadītspēja, W/(m·K) [EPS ~ 0,035 W/(m·K)];

c – materiāla siltumietilpība, J/(kg·K) [EPS ~ 1450 J/(kg·K)] [4];

ρ – materiāla blīvums, kg/m³ (EPS ~ 30 kg/m³).

Ar šiem skaitļiem iegūstam $a=8 \cdot 10^{-7}$ m²/s, bet putupolistirola mazākā biezuma (0,14 m) gadījumā $\tau=3,6$ h. Šim laikam vēl pieskaitot 4 cm bieža betona slāņa konstrukcijas ārpusē laika nobīdi $\tau_{\text{betona}}=0,92$ h, ko tāpat atrod pēc formulas (2.20), iegūstam 4,5 h. Šis laiks atsevišķos gadījumos var izrādīties nepietiekams.

Ja jumta panelim ir veikta papildsiltināšana saskaņā ar 2.10. tabulas datiem, piemēram, lai sasniegtu normatīvo siltumcaurlaidības koeficienta vērtību U_{RN} , tad laika nobīde sasniedz 9–11,5 h, kas augšstāva telpās nodrošinās patikamu mikroklimatu un būs iespējams izvairīties no telpu pārkaršanas vasarā.

Neveicot papildsiltināšanu, pēc klienta izvēles, lai maksimāli izvairītos no temperatūras svārstībām ēkas augšstāva telpās, būtu ieteicami šādi pasākumi:

- lietot iespējami biezu putupolistirola slāni panelī (tas uzlabotu arī paneļa siltumizolācijas īpašības);
- veidot jumta konstrukciju ar masīvām detaļām, piemēram, dakstiņiem;
- veidot jumta konstrukciju ar ventilējamu bēniņu telpu;
- virs paneļa novietot metāla foliju radiācijas atstarošanai;

Tomēr jāapzinās, ka tikai un vienīgi metāla folijas izmantošana bez citu minēto pasākumu veikšanas visā pilnībā var nedot cerēto efektu, jo tā iedarbosies tikai uz vienu no siltuma pārvades mehānismiem – radiāciju, bet siltuma vadīšanu tā būtiski neietekmēs.



Literatūra

1. Standarts LVS EN ISO 6946:2000. Ēku daļas un elementi. Termiskā pretestība un siltuma caurlaidība. Aprēķina metode.
2. Standarts EN 13163. Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) – Spezifikation.
3. Standarts: LVS EN ISO 13788. Hygrothermal performance of buildings components and building elements – Estimation of internal surface temperature to avoid critical surface humidity and assessment of the risk of interstitial condensation.
4. Latvijas būvnormatīvs LBN 002-01 «Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika». Apstiprināts ar Ministru kabineta 2001. g. 27. novembra noteikumiem Nr. 495.
5. Latvijas būvnormatīvs LBN 003-01 «Būv klimatoloģija». Apstiprināts ar Ministru kabineta 2001. g. 23. augusta noteikumiem Nr. 376.
6. Standarts LVS EN ISO 10456. Būvmateriāli un to izstrādājumi. Deklarēto un projektēto termisko lielumu noteikšanas procedūras.
7. O. Belindževa-Korkla. Norobežojošo konstrukciju siltumtehnikas aprēķini. Metodiskie norādījumi LBN 002-01 izmantošanai. – Rīga, RTU izdevniecība, 2002. – 166 lpp.
8. E. Riekstiņš. Matemātiskās fizikas metodes. – Rīga, Zvaigzne, 1969. – 629 lpp.
9. U. Iljins, J. Skujāns, S. Štrausa, A. Vulāns. Tenapors. Metodiski norādījumi projektētājiem un būvētājiem. – Dobeles, Jelgava, 2002. – 99 lpp.