

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības fakultāte
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts

Olita Belindževa-Korkla

**Metodiskie norādījumi praktiskajiem darbiem
priekšmetā "Būvniecības siltumfizika"**

RTU Izdevniecība
Rīga- 2004

UDK 697.1
Be 288 n

Metodiskie norādījumi ir paredzēti Rīgas Tehniskās universitātes studiju programmu “Būvniecība”, “Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija” un “Arhitektūra” studentiem mācību priekšmetam “Būvniecības siltumfizika”. Tos var izmantot arī Latvijas Lauksaimniecības Universitātes studenti līdzīgu priekšmetu apguvei.

Autors: asociētā profesore, Dr.sc.ing. Olita Belindževa-Korkla

Redaktors: profesors, Dr.habil.sc.ing. Andris Krēsliņš

Recenzents : docents, Dr.sc.ing. Pēteris Akmens

Iespiests saskaņā ar RTU Būvniecības fakultātes Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūta 2004. gada 12.maija sēdes lēmumu. Protokols Nr. 4

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2004.g.
© O.Belindževa-Korkla, 2004.g.

ISBN

Saturs

Ievads	4
1. Praktiskais darbs Nr.1. Ēkas siltuma zudumu koeficients.....	5
2. Praktiskais darbs Nr.2. Kondensācijas uz virsmas novērtējums.....	9
2.1. Kondensācijas uz virsmas novērtējums izmantojot rasas punkta jēdzienu.....	9
2.2. Pelējuma sēnīšu augšanas un korozijas riska novērtējums saskaņā ar EN ISO 13788.....	11
3. Praktiskais darbs Nr.3. Konstrukcijas ar homogēniem slāņiem aprēķins.	17
4. Praktiskais darbs Nr.4. Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums ar LV EN ISO 13788 metodi.....	25
5. Praktiskais darbs Nr.5. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana konstrukcijai ar nehomogēniem slāņiem.....	34
6. Praktiskais darbs Nr.6. Loga siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana	43
7. Praktiskais darbs Nr.7. Metāla konstrukcijas aprēķins ar programmu <i>Kobra</i>	54
8. Ieteicamās literatūras saraksts	69
1. pielikums. Normatīvie un maksimāli pieļaujamie siltuma caurlaidības koeficienti.....	71
2. pielikums. Piesātināta ūdens tvaika spiediens un gaisa mitruma saturs.....	72
3. pielikums. Telpu klasifikācija pēc gaisa mitruma	73
4. pielikums. Nomogrammas sēnīšu augšanas un korozijas riska novērtējumam	74
5. pielikums. Siltumvadītspējas koeficienta korekcija siltumizolācijas materiālu darba apstākļiem.....	76
6. pielikums. Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents membrānmateriāliem.....	77
7. pielikums. Siltuma caurlaidības koeficienti stikla paketēm ar dažādu gāzes aizpildījumu..	78
8. pielikums. Koka logu rāmju siltuma caurlaidības koeficienti.....	79
9. pielikums. Metāla logu rāmju siltuma caurlaidības koeficienti.....	80
10. pielikums. Plastikāta logu rāmju siltuma caurlaidības koeficienti.....	81
11. pielikums. Logu ar rāmja laukuma 20% īpatsvaru siltuma caurlaidības koeficienti.....	82
12. pielikums. Logu ar rāmja laukuma 30% īpatsvaru siltuma caurlaidības koeficienti.....	83

Ievads

Metodiskie norādījumi ir paredzēti Rīgas Tehniskās universitātes studiju programmu “Būvniecība”, “Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija” un “Arhitektūra” studentiem mācību priekšmeta “Būvniecības siltumfizika” apguvei.

Neskatoties uz to, ka metodiskajos norādījumos ir apkopoti visi materiāli praktisko darbu veikšanai, tie nevar aizvietot mācību grāmatas.

Būvkonstrukciju struktūra un materiāli uzdevumos var neatbilst reāli izmantotajiem, jo tie ir izvēlēti tikai labākai priekšmeta satura apguvei.

Praktisko darbu secību nosaka pasniedzējs atkarībā no lekciju satura. Variantā numurs ir kārtas numurs, ar kuru students ir pierakstījies pie pasniedzēja studentu sarakstā.

Pie eksāmena tiek pielaisti tikai tie studenti, kas ir izpildījuši visus uzdotos praktiskos darbus.

1. Praktiskais darbs Nr.1

Ēkas siltuma zudumu koeficients

Darba uzdevums:

- 1) Noteikt kādām ir jābūt sienas (tilpummasa $> 100 \text{ kg/m}^3$) siltuma caurlaidības koeficientam, lai ēka atbilstu LBN 002-01 "Norobežojošo konstrukciju siltumtehnika" normatīvajām prasībām. Ēkas tips, norobežojošo konstrukciju platības un siltuma caurlaidības koeficienti ir doti 1.tabulā.
- 2) Noteikt, vai siena ar tādu siltuma caurlaidības koeficientu var būt uzbūvēta.

Norādījumi darba izpildei

Saskaņā ar LBN 002-01 "Norobežojošo konstrukciju siltumtehnika" visas ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients H_T nedrīkst pārsniegt normatīvo vērtību H_{TR} :

$$H_T \leq H_{TR} \quad (1.1)$$

LBN 002-01 tiek izmantots tā saucamais *normatīvās ēkas princips*. Normatīvā ēka vizuāli izskatās tāpat, kā projektējamā ēka, bet tajā visas norobežojošās konstrukcijas ir veidotas ar normatīviem siltuma caurlaidības koeficientiem U_{RN} un logu, stiklotu paneļu un citu stiklotu virsmu laukumi nepārsniedz LBN 002-01 16.punktā noteikto 20 % no katra stāva apkurināmās grīdas laukuma.

Projektējamā ēkā atsevišķo norobežojošo konstrukciju faktiskie siltuma caurlaidības koeficienti var būt lielāki par normatīvajiem siltuma caurlaidības koeficientiem, bet tie nekāda gadījumā nedrīkst pārsniegt maksimāli pieļaujamos siltuma caurlaidības koeficientus U_{RM} . Normatīvie un maksimāli pieļaujamie siltuma caurlaidības koeficienti ir doti 1.pielikumā.

Ja dažu izvēlēto konstrukciju siltuma caurlaidības koeficients ir lielāks par normatīvo, siltuma zudumu palielinājumu caur šīm konstrukcijām kompensē ar citu konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienta samazinājumu. Arī logu laukumu palielinājumu virs 20% kompensē ar zemākām logu vai citu būvelementu siltuma caurlaidības koeficientu vērtībām, lai nodrošinātu faktiskās ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficientu H_T vienādu vai mazāku par normatīvās ēkas aprēķina siltuma caurlaidības koeficientu H_{TR} .

Normatīvais ēkas siltuma caurlaidības koeficients:

$$H_{TR} = \sum U_{RNi} A_i + \sum \psi_{RNj} l_j, \text{ W/K}, \quad (1.2)$$

kur U_{RNi} – būvelementa i normatīvais siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

ψ_{RNj} – lineārā termiskā tilta j normatīvais siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Norobežojamo konstrukciju platības un siltuma caurlaidības koeficienti

Varianta Nr.	Ēkas tips	Stāvu skaits	Norobežojamās konstrukcijas platība A, m ²				Norobežojamās konstrukcijas faktiskais siltuma caurlaidības koeficients U, W/(m ² ·K)			
			siena	logi	grīda	griesti	siena	logi	grīda	griesti
1.	dzīvojamā	1	140	100	300	300	x	1,9	0,20	0,20
2.	publiskā	2	280	200	400	400	x	2,2	0,25	0,20
3.	ražošanas	3	600	300	600	600	x	2,4	0,20	0,25
4.	dzīvojamā	1	200	80	250	250	x	1,7	0,15	0,20
5.	publiskā	5	660	240	200	200	x	2,5	0,20	0,15
6.	ražošanas	2	260	100	200	200	x	2,7	0,20	0,20
7.	dzīvojamā	9	1490	400	250	250	x	2,2	0,25	0,20
8.	publiskā	3	520	290	500	500	x	2,3	0,20	0,25
9.	ražošanas	1	200	115	650	650	x	2,5	0,15	0,20
10.	dzīvojamā	4	450	150	150	150	x	2,4	0,20	0,15
11.	publiskā	2	480	100	300	300	x	2,8	0,20	0,20
12.	ražošanas	3	570	150	300	300	x	2,8	0,25	0,20
13.	dzīvojamā	6	1060	200	250	250	x	2,1	0,20	0,25
14.	publiskā	5	720	180	200	200	x	2,1	0,15	0,20
15.	ražošanas	4	500	100	150	150	x	2,1	0,20	0,15
16.	dzīvojamā	12	1660	500	200	200	x	2,7	0,20	0,20
17.	publiskā	1	170	40	250	250	x	2,9	0,25	0,20
18.	ražošanas	1	180	90	500	500	x	2,9	0,20	0,25
19.	dzīvojamā	2	260	100	200	200	x	1,7	0,15	0,20
20.	publiskā	2	220	140	200	200	x	1,7	0,20	0,15
21.	ražošanas	2	280	80	200	200	x	1,7	0,20	0,20
22.	dzīvojamā	3	394	110	180	180	x	1,9	0,25	0,20
23.	publiskā	3	610	200	350	350	x	2,0	0,20	0,25
24.	ražošanas	3	350	100	150	150	x	2,1	0,15	0,20
25.	dzīvojamā	5	850	500	500	500	x	2,0	0,20	0,15
26.	publiskā	4	760	200	300	300	x	2,3	0,20	0,20
27.	ražošanas	1	190	50	300	300	x	2,5	0,25	0,20
28.	dzīvojamā	2	290	70	200	200	x	2,2	0,20	0,25
29.	publiskā	3	470	160	250	250	x	2,2	0,15	0,20
30.	ražošanas	2	300	120	250	250	x	2,2	0,20	0,15
31.	dzīvojamā	10	1450	350	200	200	x	2,4	0,20	0,20
32.	publiskā	5	950	250	300	300	x	2,4	0,25	0,20
33.	ražošanas	3	310	50	100	100	x	2,6	0,20	0,25
34.	dzīvojamā	16	2560	800	250	250	x	1,6	0,15	0,20
35.	publiskā	3	470	250	400	400	x	1,6	0,20	0,15
36.	ražošanas	3	470	250	400	400	x	1,8	0,20	0,20
37.	dzīvojamā	3	326	70	120	120	x	1,8	0,25	0,20
38.	publiskā	1	170	100	350	350	x	1,9	0,20	0,25
39.	ražošanas	1	180	120	600	600	x	2,0	0,15	0,20
40.	dzīvojamā	20	3600	1200	300	300	x	1,9	0,20	0,15

Ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients H_T norāda enerģijas zudumus caur ēkas būvelementiem, ja temperatūras starpība uz to pretējām virsmām ir 1 grāds:

$$H_T = \sum U_i A_i + \sum \psi_j l_j + \sum \chi_k, \text{ W/K}, \quad (1.3)$$

kur U_i – būvelementa i aprēķina siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_i – būvelementa i projektējamais laukums, m^2 ;

ψ_j – lineārā termiskā tiltā j aprēķina siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

l_j – lineārā termiskā tiltā j projektējamais garums, m ;

χ_k – punktveida termiskā tiltā k punkta aprēķina siltuma caurlaidības koeficients, W/K .

Gadījumā, kad norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienti tiek noteikti saskaņā ar LV EN ISO 6946 prasībām un siltuma caurlaidības koeficients jau iekļauj sevī lineāro un punktveida termisko tiltu iespaidu, formulas (1.2) un (1.3) izskatās sekojoši:

$$H_{TR} = \sum U_{RNi} A_i, \text{ W/K}, \quad (1.4)$$

kur U_{RNi} – būvelementa i normatīvais siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_i – būvelementa i normatīvais laukums, m^2 .

$$H_T = \sum U_i A_i, \text{ W/K}, \quad (1.5)$$

kur U_i – būvelementa i aprēķina siltuma caurlaidības koeficients, kas ņem vērā konstrukciju nehomogēnos slāņus, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_i – būvelementa i projektējamais laukums, m^2 .

Aprēķina piemērs

Dzīvojamās ēkas (2.stāvi) norobežojošo konstrukciju raksturojums:

-sienu $U=x \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $A=480 \text{ m}^2$;

- logu $U=2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $A=280 \text{ m}^2$;

-grīdas $U=0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $A=600 \text{ m}^2$;

-griestu $U=0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $A=600 \text{ m}^2$.

Aprēķina secība.

1) Pārbaudām, vai logu platība atbilst normatīvajām prasībām.

Normatīvajā ēkā ar grīdas platību 600 m^2 logu platība drīkst būt 20% no visu stāvu grīdas platības, tas ir $600 \cdot 0,2 = 240 \text{ m}^2$. Mūsu dotajā ēkā logu platība ir par 40 m^2 lielāka, nekā normatīvajā ēkā. Tas nozīmē, ka normatīvajā ēkā sienu platība būs lielāka, nekā mūsu dotajā ēkā: $480 + 280 - 240 = 520 \text{ m}^2$.

2) No 1.pielikuma 1-1.tabulas izvēlāmajos normatīvos siltuma caurlaidības koeficientus (tā kā nav datu par telpu temperatūrām, pieņemam $\kappa=1$), kas atbilst mūsu ēkas tipam un aprēķinām ēkas normatīvo siltuma zudumu koeficientu H_{TR} :

$$H_{TR}=520\cdot0,3+240\cdot1,8+600\cdot0,2+600\cdot0,25=858 \text{ W/K.}$$

3) Nosakām mūsu faktiskās ēkas siltuma zudumu koeficientu:

$$H_T=480X+280\cdot0,2+600\cdot0,2+600\cdot0,25=480X+886 \text{ W/K.}$$

4) Pielīdzinām normatīvo un faktisko ēkas siltuma zudumu koeficientus un atrodam sienas siltuma caurlaidības koeficientu:

$$480X + 886 \leq 858$$

$$480X \leq - 28$$

$$X \leq - 0,058 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

5) Secinājums: sienas siltuma caurlaidības koeficienta samazinājums nevar kompensēt palielinātu logu platību un palielinātu siltuma caurlaidības koeficientu. Lai ēku varētu uzbūvēt, nemainot arhitektūras veidolu, ir nepieciešams izvēlēties logu konstrukciju ar mazāku siltuma caurlaidības koeficientu.

Aprēķina rezultātā ir iespējami arī citi secinājumu varianti:

- logu platības un/vai siltuma caurlaidības koeficientu palielinājumu ir iespējams kompensēt ar sienas siltuma caurlaidības koeficienta samazinājumu un sienas siltuma caurlaidības koeficients atrodas pieļaujamās robežās ($<U_{RM}$);

- sienas siltuma caurlaidības koeficients, ar kuru ir nodrošināta prasība $H_T \leq H_{TR}$, ir lielāks par maksimāli pieļaujamo siltuma caurlaidības koeficientu U_{RM} . Šajā gadījumā faktisko sienas siltuma caurlaidības koeficientu jāsamazina līdz U_{RM} līmenim.

2. Praktiskais darbs Nr.2

Kondensācijas uz virsmas novērtējums

2.1. Kondensācijas uz virsmas novērtējums izmantojot rasas punkta jēdzienu

Darba uzdevums:

Noteikt gaisa relatīvo mitrumu pie dotā ūdens tvaika parciālā spiediena p , Pa un gaisa temperatūras θ , °C . Noteikt pie kādas virsmas temperatūras būs novērojama mitruma kondensācija uz norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas. Variantu dati ir doti 2. tabulā.

2.tabula

Gaisa parametri

Varianta Nr.	θ , °C	p , Pa	Varianta Nr.	θ , °C	p , Pa
1	20	1660	21	15	1100
2	18	1900	22	16	1200
3	16	1660	23	23	1400
4	19	1880	24	20	1300
5	17	1750	25	18	1260
6	15	900	26	14	1600
7	17	1000	27	16	1100
8	20	1200	28	19	1100
9	19	900	29	22	1520
10	18	860	30	25	2100
11	14	800	31	20	1840
12	16	1300	32	18	1700
13	15	1100	33	16	1200
14	22	1760	34	19	1600
15	25	1950	35	17	1350
16	20	1360	36	15	1000
17	18	1470	37	17	1250
18	16	1510	38	20	1700
19	19	1750	39	19	1400
20	16	1750	40	18	1000

Norādījumi darba izpildei

Gaisā vienmēr atrodas lielāks vai mazāks ūdens tvaiku daudzums. Jo lielāks mitruma saturs gaisā, jo lielāks ir ūdens tvaiku parciālais spiediens gaisā. Pie dotas temperatūras gaisā var būt tikai noteikts maksimālais mitruma daudzums (100% piesātinātība ar ūdens tvaikiem), ūdens tvaiku parciālo spiedienu pie šī maksimālā mitruma daudzuma sauc par piesātināto ūdens tvaika spiedienu. Siltāks gaiss spēj uzņemt lielāku mitruma daudzumu.

Piesātināta ūdens tvaika spiediena lielumi atkarībā no gaisa temperatūras ir doti 2.pielikumā. Bet to ir iespējams noteikt arī pēc formulām:

$$p_{\text{sat}} = 610,5 e^{\frac{17,269\theta}{237,3+\theta}}, \text{ Pa ja } \theta \geq 0^\circ\text{C}, \quad (2.1)$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5 e^{\frac{21,875\theta}{265,5+\theta}}, \text{ Pa ja } \theta < 0^\circ\text{C}. \quad (2.2)$$

Relatīvais mitrums ir gaisa esošā ūdens tvaiku parciālā spiediena p , Pa attiecība pret piesātināta ūdens tvaika spiedienu p_{sat} , Pa pie tādas pašas temperatūras:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{sat}}}. \quad (2.3)$$

Relatīvo mitrumu var noteikt arī, kā mitruma satura v , kg/m^3 attiecību pret ar ūdens tvaikiem piesātināta gaisa mitruma saturu v_{sat} , kg/m^3 :

$$\varphi = \frac{v}{v_{\text{sat}}}. \quad (2.4)$$

Ja telpā ar noteiktu nemainīgu mitruma saturu pakāpeniski tiks pazemināta temperatūra, tad arī pakāpeniski palielināsies relatīvais gaisa mitrums, jo gaisam ar mazāku temperatūru ir mazāks ar ūdens tvaikiem piesātināta gaisa mitruma saturs. Pie temperatūras pazemināšanas relatīvais mitrums var pieaugt līdz 100% , kad gaiss būs pilnībā piesātināts ar ūdens tvaikiem. Temperatūru, pie kuras dots mitruma saturs veido 100% piesātinātību ar ūdens tvaikiem, sauc par *rasas punkta temperatūru*. Pie temperatūras pazemināšanas zem rasas punkta temperatūras, notiks ūdens tvaika kondensācija, jo gaisa mitruma saturs kļūs lielāks par maksimāli iespējamo un mitruma starpība izkritīs kondensāta veidā.

Tāpēc, ja norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas temperatūra ir zemāka par rasas punkta temperatūru, uz virsmas kondensēsies ūdens. Pašreiz LBN 002-01 pieprasītie siltuma caurlaidības koeficienti ir tik nelieli, ka ārējo norobežojošo konstrukciju iekšējo virsmu temperatūras pie normatīvām telpu gaisa temperatūrām nevar būt zemākas par rasas punkta temperatūru. Kondensācija var rasties tikai gadījumos, kad telpās nepamatoti tiek pazemināta temperatūra, īpaši telpās ar paaugstinātu mitruma saturu.

Aprēķina piemērs

Izejas dati: telpas gaisa temperatūra 17°C , ūdens tvaiku parciālais spiediens 900 Pa.

Aprēķina secība:

1) Pēc 2. pielikuma tabulas nosakām piesātināta tvaika spiedienu, kas pie 17 °C ir 1937 Pa.

2) Aprēķinām gaisa relatīvo mitrumu $\varphi = \frac{900}{1937} = 0,46$.

3) Nosakām pie kādas temperatūras parciālais spiediens 900 Pa kļūs vienāds ar piesātinātu ūdens tvaiku spiedienu. Pēc 2. pielikuma tabulas ir redzams, ka pie 5°C piesātināta ūdens tvaika spiediens ir 872 Pa, pie 6°C tas ir 935 Pa. Tātad 900 Pa spiediens kļūs par piesātināta gaisa spiedienu pie temperatūras $5 + (900-872)/(935-872) = 5,44$ °C.

Secinājums: ja norobežojošo virsmu temperatūra pazemināsies zem +5,44°C, notiks mitruma kondensācija uz šīm virsmām, bet ja telpas gaisa temperatūra būs zemāka par +6 °C, tad mitras paliks visas virsmas, ne tikai norobežojošo konstrukciju iekšējās virsmas.

2.2. Pelējuma sēnīšu augšanas un korozijas riska novērtējums saskaņā ar EN ISO 13788

Darba uzdevums:

Novērtēt sēnīšu augšanas vai korozijas risku Rīgā, telpā ar noteiktu temperatūru pie zināma norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficienta. Variantu dati ir doti 3. tabulā.

Norādījumi darba izpildei

Saskaņā ar LV EN ISO 13788 standartu nosaka nevis kondensācijas iespējamību uz iekšējās virsmas, bet kritisko virsmas relatīvo mitrumu (precīzāk, gaisa pie virsmas), kas izsauc pelējuma sēnīšu un korozijas risku. Tiek uzskatīts, ka sēnīšu augšanas risks pastāv ja virsmas mitrums vairākas dienas pēc kārtas pārsniedz 0,8, bet korozijas risks pastāv, ja virsmas mitrums vairākas dienas pēc kārtas pārsniedz 0,6.

Sēnīšu augšanas un korozijas riska novērtējums balstās uz temperatūras faktoru aprēķinu un salīdzināšanu. *Temperatūras faktors uz iekšējās virsmas* ir temperatūras uz iekšējās virsmas θ_{si} , kas ir aprēķināta ar iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestību R_{si} , un ārējā gaisa temperatūras θ_e starpība, dalīta ar iekšējā un ārējā gaisa temperatūru θ_i un θ_e starpību:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (2.5)$$

Novērtējuma gaitā kritiskā mēneša *aprēķina temperatūras faktors uz iekšējās virsmas* $f_{Rs,max}$ tiek salīdzināts ar *norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktoru* f_{Rsi} .

Telpas un norobežojošās konstrukcijas raksturojošie dati

Varianta Nr.	Mitruma klase	Riska faktors	Gaisa temperatūra θ , °C	Siltuma caurlaidības koeficients U , W/(m ² ·K)	Varianta Nr.	Mitruma klase	Riska faktors	Gaisa temperatūra θ , °C	Siltuma caurlaidības koeficients U , W/(m ² ·K)
1	3	sēnītes	20	0,20	21	3	sēnītes	15	0,15
2	4	korozija	18	0,17	22	4	sēnītes	16	0,20
3	3	sēnītes	16	0,25	23	3	korozija	23	0,17
4	4	sēnītes	19	0,30	24	4	korozija	20	0,25
5	3	korozija	17	0,25	25	4	sēnītes	18	0,30
6	3	korozija	15	0,30	26	3	sēnītes	14	0,25
7	4	sēnītes	17	0,18	27	3	korozija	16	0,30
8	4	korozija	20	0,26	28	3	korozija	19	0,18
9	3	sēnītes	19	0,28	29	4	sēnītes	22	0,26
10	3	korozija	18	0,20	30	4	sēnītes	25	0,28
11	4	korozija	14	0,17	31	4	korozija	20	0,20
12	4	sēnītes	16	0,25	32	3	korozija	18	0,17
13	4	korozija	15	0,30	33	3	korozija	16	0,25
14	3	korozija	22	0,25	34	3	sēnītes	19	0,30
15	3	sēnītes	25	0,30	35	4	sēnītes	17	0,25
16	3	korozija	20	0,18	36	4	korozija	15	0,30
17	4	sēnītes	18	0,26	37	4	korozija	17	0,18
18	4	korozija	16	0,28	38	4	sēnītes	20	0,26
19	4	sēnītes	19	0,24	39	3	sēnītes	19	0,28
20	3	korozija	16	0,30	40	3	korozija	18	0,23

Kritiskais mēnesis ir mēnesis ar lielāko nepieciešamo $f_{Rsi,min}$. Šī mēneša temperatūras faktoru sauc par maksimālo temperatūras faktoru $f_{Rsi,max}$. Projektējot būvelementa konstrukciju vienmēr ir jānodrošina $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$.

Ja $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$ sēnīšu augšanas vai korozijas risks nepastāv.

Ja $f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$ sēnīšu augšanas vai korozijas risks pastāv.

Konkrētai ēkas norobežojošai konstrukcijai f_{Rsi} var noteikt:

- norobežojošām konstrukcijām ar viendimensionālo siltuma plūsmas aprēķinu:

$$f_{Rsi} = \frac{U^{-1} - R_{si}}{U^{-1}}, \quad (2.6)$$

kur U – norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);

R_{si} – iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība, m²·K/W.

- norobežojošām konstrukcijām ar daudzdimensionālo siltuma plūsmu aprēķinu f_{Rsi} nosaka ar datorprogrammu palīdzību, saskaņā ar EN ISO 10211.

Iekšējās virsmas pretestību R_{Si} stiklojumam un rāmjiem pieņem $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, bet pārējām norobežojošām konstrukcijām to pieņem vienādu ar $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, lai novērtētu sliktāko gadījumu, kad ir iespējama mitruma kondensācija kaktā.

Aprēķina temperatūras faktors uz iekšējās virsmas ir minimālais pieļaujamais temperatūras faktors uz iekšējās virsmas:

$$f_{Rsi.min} = \frac{\theta_{si.min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}. \quad (2.7)$$

Minimālā pieļaujamā temperatūra ir zemākā iekšējās virsmas temperatūra, pie kuras sākas sēnīšu augšana.

Aprēķina temperatūras faktoru uz iekšējās virsmas aprēķina visiem gada mēnešiem tāda secībā:

- 1) no LBN 003-01 "Būvklimatoloģija" nosaka katra mēnešu ārējā gaisa vidējo temperatūru un vidējo relatīvo mitrumu;
- 2) nosaka ārējā gaisa ūdens tvaika parciālo spiedienu pēc formulas:

$$\bar{p}_e = \bar{\varphi}_e p_{sat}(\bar{\theta}_e), \text{ Pa}; \quad (2.8)$$

Piesātināto ūdens tvaika spiedienu nosaka pie mēneša vidējās temperatūras pēc 2. pielikuma tabulas.

3) pēc 3. pielikuma atbilstoši telpas mitruma klasei nosaka ārējā un iekšējā gaisa ūdens tvaiku parciālo spiedienu starpību Δp , drošības nolūkos palielinot tos 1,1 reizes;

4) aprēķina iekšējā gaisa ūdens tvaika parciālo spiedienu:

$$p_i = p_e + \Delta p, \text{ Pa}. \quad (2.9)$$

5) aprēķina minimālo pieļaujamo piesātināto ūdens tvaiku spiedienu, izmantojot maksimālo pieļaujamo relatīvo mitrumu:

$$p_{sat}(\theta_{si}) = \frac{p_i}{0,8}, \text{ Pa}. \quad (2.10)$$

Koeficients 0,8 ir pieņemts atbilstoši gaisa relatīvam mitrumam pie kura ir sēnīšu augšanas risks. Ja ir nepieciešams novērtēt citus riska apstākļus, var būt pieņemti arī citi koeficienti, piemēram, korozijas riska novērtēšanai būtu jāpieņem koeficients 0,6.

6) no minimāli pieļaujamā piesātinātā ūdens tvaika spiediena nosaka minimālo pieļaujamo virsmas temperatūru $\theta_{si.min}$, °C pēc formulām:

$$\theta = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{ja } p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa}, \quad (2.11)$$

$$\theta = \frac{265,5 \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{ja } p_{sat} < 610,5 \text{ Pa}. \quad (2.12)$$

Cits aprēķina paņēmiens ir noteikt temperatūru no piesātināto ūdens tvaiku spiediena p_{sat} , izmantojot 2. pielikuma tabulu.

7) nosaka iekšējā gaisa temperatūru, atbilstoši pieņemtajai nacionālajai praksei;

8) izmantojot iekšējā un ārējā gaisa temperatūras un iepriekš noteikto minimālo pieļaujamo virsmas temperatūru, pēc formulas (2.7) nosaka katra mēneša aprēķina temperatūras faktoru $f_{Rsi.min.}$;

9) no aprēķina temperatūras faktoriem izvēlas lielāko $f_{Rsi.max}$ un salīdzina to ar norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktoru f_{Rsi} , nosakot vai pastāv sēnīšu augšanas vai korozijas risks.

Aprēķina piemērs

Novērtēt sēnīšu augšanas risku Rīgā norobežojošai konstrukcijai ar siltuma caurlaidības koeficientu $U=0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, ja 3. klases telpas temperatūra ir $19 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktors $f_{Rsi} = \frac{1/0,2 - 0,25}{1/0,2} = 0,95$.

Mēnešu aprēķina temperatūras faktoru uz iekšējās virsmas aprēķina rezultāti ir parādīti 4.tabulā.

Tā, piemēram, aprēķins janvārim izskatās sekojoši:

1) pēc 2. pielikuma tabulas pie janvāra vidējās temperatūras $-4,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ atrodam piesātināto ūdens tvaiku spiedienu $411,7 \text{ Pa}$;

2) reizinot piesātināto ūdens tvaiku spiedienu ar janvāra vidējo relatīvo mitrumu atrodam ārējā gaisa mēneša vidējo ūdens tvaiku parciālo spiedienu: $411,7 \cdot 0,85 = 350 \text{ Pa}$;

3) pēc 3. pielikuma pie ārējā gaisa temperatūras $-4,7^\circ\text{C}$ uz 3. un 4. klases robežlīnijas atrodam spiediena starpību 810 Pa un palielinām to $1,1$ reizēs, iegūstot rezultātā ārējā un iekšējā gaisa ūdens tvaiku parciāla spiedienu starpību 891 Pa ;

4) atrodam iekšējā gaisa ūdens tvaiku parciālo spiedienu $p_i = 350 + 891 = 1241 \text{ Pa}$;

Aprēķina temperatūras faktoru aprēķins, izmantojot gaisa mitruma klases

Mēnesis	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	φ_e	p_e, Pa	$\Delta p, \text{Pa}$	p_i, Pa	$p_{\text{sat}}, \text{Pa}$	$\theta_{\text{si.min}}, ^\circ\text{C}$	$\theta_i, ^\circ\text{C}$	f_{Rsi}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Janvāris	-4,7	0,85	350	891	1241	1551	13,5	19	0,770
Februāris	-4,3	0,82	349	891	1240	1550	13,5	19	0,766
Marts	-0,6	0,79	459	891	1350	1687	14,8	19	0,788
Aprīlis	5,1	0,73	641	656	1297	1621	14,2	19	0,657
Maijs	11,4	0,69	930	360	1290	1612	14,1	19	0,360
Jūnijs	15,4	0,72	1259	101	1360	1700	15,0	19	-0,121
Jūlijs	16,9	0,76	1463	99	1562	1952	17,1	19	0,108
Augusts	16,2	0,78	1436	123	1559	1948	17,1	19	0,320
Septembris	11,9	0,81	1128	348	1476	1845	16,2	19	0,611
Oktobris	7,2	0,83	843	433	1276	1594	14,0	19	0,574
Novembris	2,1	0,86	611	755	1366	1707	15,0	19	0,765
Decembris	-2,3	0,86	434	891	1325	1656	14,6	19	0,791

5) aprēķinam minimālo pieļaujamo piesātināto ūdens tvaiku spiedienu sēnīšu augšanas riska novērtējumam $p_{\text{sat}}=1241/0,8=1551 \text{ Pa}$;

6) pēc formulas (2.11) vai 2. pielikuma tabulas nosakām minimālo pieļaujamo temperatūru $\theta_{\text{si.min}}, ^\circ\text{C}$, kas atbilst piesātinātā ūdens tvaika spiedienam 1551 Pa. Minimālā pieļaujamā virsmas temperatūra ir 13,5 $^\circ\text{C}$. Pie virsmas temperatūras pazemināšanas zem 13,5 $^\circ\text{C}$ pastāv sēnīšu augšanas risks;

7) iekšējā gaisa temperatūra ir 19 $^\circ\text{C}$;

8) pēc formulas (2.7) nosakām aprēķina temperatūras faktoru janvārim

$$f_{\text{Rs.min}} = \frac{13,5 - (-4,7)}{19 - (-4,7)} = 0,770.$$

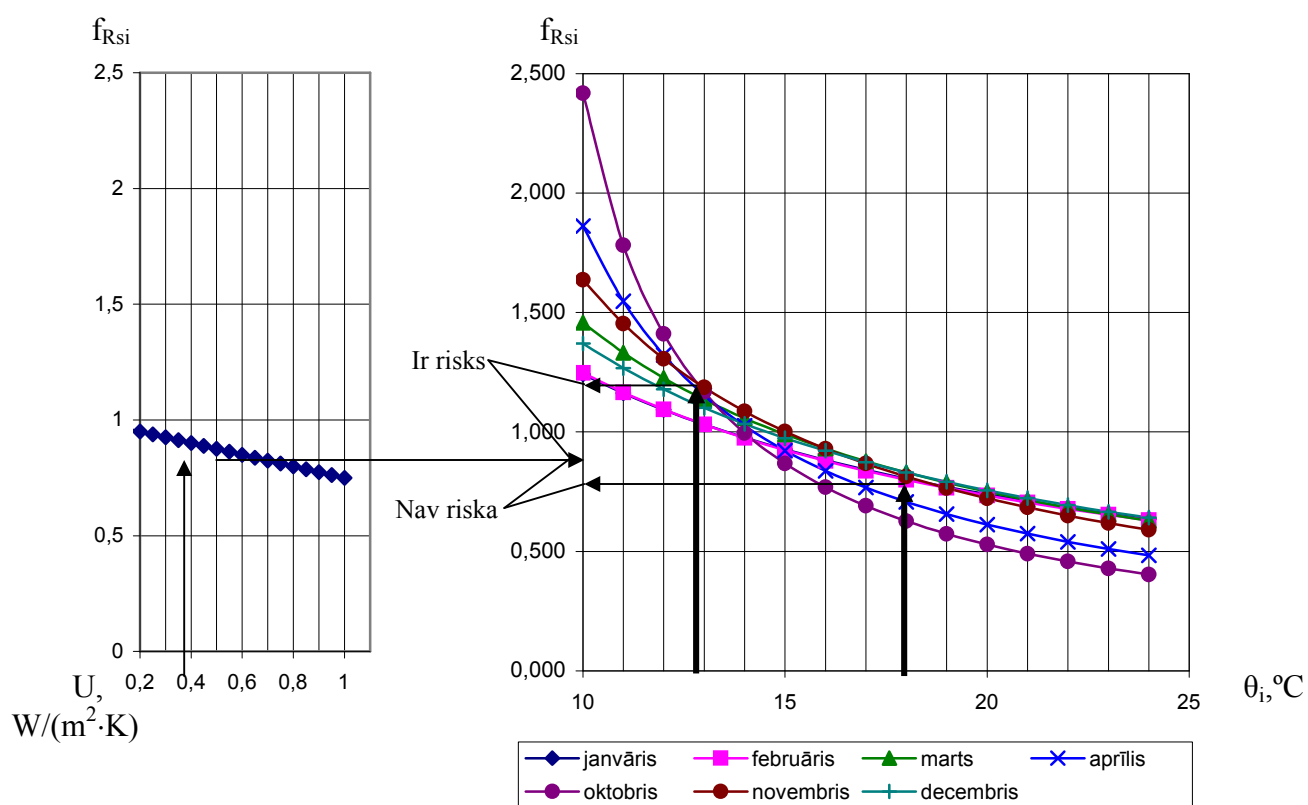
Tad, kad ir noteikti visu mēnešu aprēķina temperatūras faktori, izvēlāmies lielāko no tiem. Kritiskais mēnesis ir decembris, jo tam ir lielākais nepieciešamais $f_{\text{Rsi.min}}$. Decembra temperatūras faktors šajā gadījumā ir maksimālais temperatūras faktors: $f_{\text{Rsi.max}}=0,791$.

Salīdzinām norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktoru $f_{\text{Rsi}}=0,95$ ar maksimālo temperatūras faktoru: $f_{\text{Rsi.max}}=0,791$. Tā, kā $f_{\text{Rsi}} > f_{\text{Rsi.max}}$, sēnīšu augšanas risks uz dotas norobežojošās konstrukcijas nepastāv.

Ātram novērtējumam var izmantot 4. pielikuma nomogrammas.

Novērtējumu veic sekojoši:

- 1) izvēlas nomogrammu (1.att.), kas atbilst dotajai mitruma klasei un riska faktoram;
- 2) pēc nomogrammas, kas atrodas pa kreisi, pie dotā siltuma caurlaidības koeficienta U , $W/(m^2 \cdot K)$, nosaka norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktoru f_{Rsi} ;
- 3) pēc nomogrammas, kas atrodas pa labi, pie dotas telpas gaisa temperatūras nosaka kritisko mēnesi ar lielāko nepieciešamo $f_{Rsi, min}$, kas arī ir maksimālais temperatūras faktors $f_{Rsi, max}$;
- 4) salīdzinām norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktoru f_{Rsi} ar maksimālo temperatūras faktoru $f_{Rsi, max}$, izdarot secinājumus par riska pastāvēšanu.



1. att. Pelējuma sēnīšu augšanas riska novērtējums 3. klases telpās

3. Praktiskais darbs Nr.3

Konstrukcijas ar homogēniem slāņiem aprēķins

Darba uzdevums

Noteikt konstrukcijas, kas sastāv no diviem homogēniem slāņiem, termisko pretestību R , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ un siltuma caurlaidības koeficientu U , $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Slāņu parametri ir doti 5. tabulā. Siltumizolācijas blīvums $\rho > 24 \text{ kg}/\text{m}^3$. Pieņemt, ka gāzbetona un keramzītbetona siltumvadītspējas koeficients jau ir koriģēts uz mitruma apstākļiem.

Novērtēt mitruma kondensācijas iespējamību, sastādot temperatūras, parciālā spiediena un piesātināta spiediena sadalījumu konstrukcijā gadījumos, kad:

- 1) siltumizolācijas slānis ir no ārpuses;
- 2) siltumizolācijas slānis ir no ārpuses un ir pārklāts no ārpuses ar tvaika izolāciju;
- 3) siltumizolācijas slānis ir no iekšpuses;
- 4) siltumizolācijas slānis ir no iekšpuses un ir pārklāts no iekšpuses ar tvaika izolāciju.

Par tvaika izolāciju pieņemt polietilēna plēvi ar $d=1,6\text{mm}$ un pretestību tvaika caurlaidībai $R_{tv}=7,3 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{mg}$.

Gaisa parametri: iekšpusē $t=+18^\circ\text{C}$, $\phi=60\%$, ārpusē $t=-20^\circ\text{C}$, $\phi=50\%$.

Aprakstīt secinājumos kā tvaika izolācija iespaido konstrukcijas mitruma režīmu un kādi no dotiem konstrukcijas variantiem nav pieļaujami būvniecībā.

Norādījumi darba izpildei

Siltuma apmaiņas process starp vidēm ar dažādu temperatūru notiek pateicoties trim fiziskiem procesiem:

- konvekcijai;
- radiācijai;
- siltuma vadīšanai.

Visi trīs procesi vienmēr notiek vienlaicīgi. Tomēr gaisā, pie norobežojošās konstrukcijas virsmas, siltuma vadīšanas process notiek pārsvarā pateicoties konvekcijai un radiācijai un to raksturo virsmas siltuma atdeves vai siltuma uztveres koeficients α , $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ un virsmas termiskā pretestība R_{Sl}, R_{Se} , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Virsmas termiskā pretestība:

$$R_{Sl} = \frac{1}{\alpha_{Sl}}, \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} . \quad (3.1)$$

Slāņu parametri

Varianta Nr.	Nesošās konstrukcijas raksturojums				Siltumizolācija		
	materiāls	d, m	λ , $\frac{W}{m \cdot K}$	δ , $\frac{mg}{m \cdot h \cdot Pa}$	d, m	λ_{cl} , $\frac{W}{m \cdot K}$	δ , $\frac{mg}{m \cdot h \cdot Pa}$
1.	ķieģelis	0,50	0,52	0,17	0,050	0,033	0,72
2.	ķieģelis	0,50	0,52	0,17	0,075	0,033	0,72
3.	ķieģelis	0,50	0,52	0,17	0,100	0,033	0,72
4.	ķieģelis	0,50	0,52	0,17	0,125	0,033	0,72
5.	ķieģelis	0,50	0,52	0,17	0,150	0,033	0,72
6.	ķieģelis	0,50	0,52	0,17	0,175	0,033	0,72
7.	ķieģelis	0,50	0,52	0,17	0,200	0,033	0,72
8.	ķieģelis	0,38	0,52	0,17	0,050	0,033	0,72
9.	ķieģelis	0,38	0,52	0,17	0,075	0,033	0,72
10.	ķieģelis	0,38	0,52	0,17	0,100	0,033	0,72
11.	ķieģelis	0,38	0,52	0,17	0,125	0,033	0,72
12.	ķieģelis	0,38	0,52	0,17	0,150	0,033	0,72
13.	ķieģelis	0,38	0,52	0,17	0,175	0,033	0,72
14.	ķieģelis	0,38	0,52	0,17	0,200	0,033	0,72
15.	ķieģelis	0,38	0,87	0,11	0,050	0,037	0,72
16.	ķieģelis	0,38	0,87	0,11	0,075	0,037	0,72
17.	ķieģelis	0,38	0,87	0,11	0,100	0,037	0,72
18.	ķieģelis	0,38	0,87	0,11	0,125	0,037	0,72
19.	ķieģelis	0,38	0,87	0,11	0,150	0,037	0,72
20.	ķieģelis	0,38	0,87	0,11	0,175	0,037	0,72
21.	ķieģelis	0,38	0,57	0,11	0,200	0,037	0,72
22.	keramzītbetons	0,25	0,26	0,26	0,050	0,033	0,72
23.	keramzītbetons	0,25	0,26	0,26	0,075	0,033	0,72
24.	keramzītbetons	0,25	0,26	0,26	0,100	0,033	0,72
25.	keramzītbetons	0,25	0,26	0,26	0,125	0,033	0,72
26.	keramzītbetons	0,25	0,26	0,26	0,150	0,033	0,72
27.	keramzītbetons	0,25	0,26	0,26	0,175	0,033	0,72
28.	keramzītbetons	0,25	0,26	0,26	0,200	0,033	0,72
29.	gāzbetons	0,25	0,22	0,17	0,050	0,039	0,72
30.	gāzbetons	0,25	0,22	0,17	0,075	0,039	0,72
31.	gāzbetons	0,25	0,22	0,17	0,100	0,039	0,72
32.	gāzbetons	0,25	0,22	0,17	0,125	0,039	0,72
33.	gāzbetons	0,25	0,22	0,17	0,150	0,039	0,72
34.	gāzbetons	0,25	0,22	0,17	0,175	0,039	0,72
35.	gāzbetons	0,25	0,22	0,17	0,200	0,039	0,72
36.	guļbūve	0,12	0,13	0,06	0,050	0,039	0,72
37.	guļbūve	0,12	0,13	0,06	0,075	0,039	0,72
38.	guļbūve	0,12	0,13	0,06	0,100	0,039	0,72
39.	guļbūve	0,12	0,13	0,06	0,125	0,039	0,72
40.	guļbūve	0,12	0,13	0,06	0,150	0,039	0,72

Cietās vielās siltuma apmaiņa pārsvarā notiek pateicoties siltuma vadīšanai, ko raksturo materiāla siltumvadītspējas koeficients λ , W/(m·K).

Atsevišķa homogēna slāņa termiskā pretestība:

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n}, \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (3.2)$$

kur d_n - slāņa biezums, m;

λ_n - slāņa materiāla siltumvadītspēja, W/(m·K).

Slāņa materiāla siltumvadītspēju nosaka saskaņā ar LBN 002-01, kas iedala visus materiālus siltumizolācijas materiālos un pārējos būvmateriālos.

Siltumizolācijas materiāliem par slāņa materiāla siltumvadītspēju pieņem aprēķina siltumvadītspēju λ_d :

$$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w, \quad \text{W/(m·K)}, \quad (3.3)$$

kur λ_d - siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēja, W/(m·K);

λ_{cl} - materiāla deklarētā siltumvadītspējas klase, W/(m·K);

$\Delta\lambda_w$ - labojuma koeficients mitruma apstākļiem (5. pielikums), W/(m·K).

Siltumizolācijas materiāla siltumvadītspējas klasi λ_{cl} , W/(m·K), vai atsevišķos gadījumos aprēķina termisko pretestību R_D , m²·K/W, likumam atbilstošā kārtībā nosaka siltumizolācijas materiāla ražotājs un norada materiāla sertifikātā un uz iepakojuma.

Siltumizolācijas materiālu siltumvadītspējas koeficienti netiek doti LBN 002-01 pielikuma tabulās. Pie siltumizolācijām materiāliem tiek pieskaitīti arī gāzbetons un keramzītbetons, kam ir pietiekoši zemi siltumvadītspējas koeficienti. Siltumizolācijas materiālu siltumvadītspējas koeficientus jāņem pēc būvmateriālu ražotāju sertifikātiem, un aprēķinos nedrīkst izmantot datus, kas ir atrodamī daudžados literatūras avotos.

Siltumizolācijas materiālu siltumvadītspējas koeficientu ir jākorģē pēc mitruma apstākļiem. Korekcijas lielumi tiek doti LBN 002-01 2. un 3. pielikuma tabulās. Korekcijas lielums ir atkarģgs no materiāla izvietoģuma konstrukģģā, no tā, vai materiāls ir vai nav ventilēts. Par ventilģtu tiek uzskatģts tāds siltumizolācijas slānis, kam aukstāģā pusģ atrodas ārģģjais gaisss. Ja konstrukģģā ir vairāki siltumizolācijas materiālu slāņģ, kas atrodas blakus, tad par ventilģtu tiek uzskatģts slānis, kas ir tiešā kontaktā ar ārģģjo gaisu.

Pārģģjiem būvmateriāliem, kas nav klasificģti kā siltumizolācijas materiāli, siltumvadģtspģģu nosaka saskaņā ar LBN 002-01 pielikuma 7. tabulu.

Norobežojošas konstrukcijas termiskā pretestība, ja konstrukcija sastāv no vairākiem homogēniem slāņiem:

$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (3.4)$$

kur R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R_n - atsevišķa slāņa termiskā pretestība, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

6. tabula

Norobežojošas konstrukcijas virsmu termiskā pretestība, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

	Siltuma plūsmas virziens		
	Uz augšu	Horizontāls*	Uz leju
R_{SI}	0,10	0,13	0,17
R_{SE}	0,04	0,04	0,04

*Siltuma plūsmas virziens tiek uzskatīts par horizontālu, ja tas atrodas $\pm 30^\circ$ no horizontālas virsmas.

Norobežojošas konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients:

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \quad (3.5)$$

kur R_T - norobežojošas konstrukcijas termiskā pretestība, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Katram būvmateriālam piemīt arī zināma pretestība tvaika caurlaidībai. Materiāla spēju pārvadīt ūdens tvaikus raksturo ar tvaika caurlaidības koeficientu δ , $\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$, (μ – vecajā normatīvajā literatūrā un rokasgrāmatās), kas parāda cik mg ūdens tvaiku difundē caur konstrukcijas metru stundas laikā, ja spiediena starpība uz norobežojošās konstrukcijas virsmām ir 1 Pa. Atsevišķa slāņa pretestība tvaika caurlaidībai:

$$R_{iv,i} = \frac{d_i}{\delta_i}, \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{mg}, \quad (3.6)$$

kur d – slāņa biezums, m ;

δ - tvaika caurlaidības koeficients, $\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$.

Visiem būvmateriāliem piemīt tvaika caurlaidība, bet metāla un stikla konstrukcijām tā var būt tik maza, ka praktiskajos aprēķinos tiek pieņemts, ka metāliem un stiklam tvaika caurlaidības koeficients ir vienāds ar nulli, bet pretestība tvaika caurlaidībai ir bezgalīgi liela ($R_{iv,i} = \infty$).

Konstrukciju virsmu pretestība tvaika caurlaidībai ir niecīga, tāpēc praktiskajos aprēķinos tiek uzskatīts, ka uz virsmām parciālais spiediens ir tāds pats, kā telpas vai ārējā gaisā.

Konstrukcijas ar vairākiem homogēniem slāņiem tvaika pretestība ir visu slāņu tvaika pretestību summa:

$$R_{tv} = \sum_{i=1}^n R_{tv,i}, \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}. \quad (3.7)$$

Mitruma režīma novērtējums balstās uz ūdens tvaiku parciālā spiediena sadalījuma konstrukcijā salīdzināšanu ar piesātināta ūdens tvaika spiediena sadalījumu. Konstrukcijā nav kondensācijas ja katrā no šķērsriezuma punktiem parciālais spiediens ir mazāks par piesātināta tvaika spiedienu (Fokina-Vlasova metode).

Mitruma režīma novērtējumu veic sekojošā secībā:

- 1) aprēķina katra slāņa un konstrukcijas kopējo termisko pretestību;
- 2) aprēķina temperatūras sadalījumu konstrukcijā un parāda to grafiski atkarībā no konstrukcijas biezuma:

$$\theta_x = \theta_i - \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{R_T} (\theta_i - \theta_e), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.8)$$

kur θ_x – temperatūra konstrukcijas šķērsriezuma x punktā, $^\circ\text{C}$;

θ_i – telpas gaisa temperatūra, $^\circ\text{C}$;

θ_e – ārēja gaisa temperatūra, kas atbilst apkures aprēķina temperatūrai, $^\circ\text{C}$;

R_T – konstrukcijas pilnā termiskā pretestība, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$;

$\sum_{i=1}^n R_i$ - visu slāņu termiskā pretestība, kas atrodas starp iekšējo gaisu un šķērsriezuma x punktu, kurā tiek noteikta temperatūra, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$;

- 3) atkarībā no temperatūras sadalījuma pēc formulām (2.1), (2.2) vai 2. pielikuma tabulas nosaka piesātināto ūdens tvaiku spiedienu p_{sat} , Pa;

- 4) aprēķina katra slāņa un konstrukcijas kopējo pretestību tvaika caurlaidībai;

5) aprēķina parciālā spiediena sadalījumu konstrukcijā un parāda to grafiski atkarībā no konstrukcijas biezuma:

$$p_x = p_i - \frac{\sum_{i=1}^n R_{tv,i}}{R_{tv}} (p_i - p_e), \text{ Pa}, \quad (3.9)$$

kur p_x – parciālais spiediens konstrukcijas šķērsgriezuma x punktā, Pa;

p_i – iekšējā gaisa parciālais spiediens, Pa;

p_e – ārējā gaisa parciālais spiediens, Pa;

R_{tv} – konstrukcijas pilnā pretestība tvaika caurlaidībai, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}$;

$\sum_{i=1}^n R_{tv,i}$ – visu to slāņu pretestība tvaika caurlaidībai, kas atrodas starp iekšējo gaisu un

šķērsgriezuma x punktu, kurā tiek noteikts parciālais spiediens, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}$;

6) tiek salīdzināti faktiskais ūdens tvaiku parciālais spiediens un piesātināto ūdens tvaiku spiediens katrā šķērsgriezumā un tiek noteiktas kondensācijas zonas.

Konstrukcija ir derīga ekspluatācijai, ja tajā nav kondensācijas vai kondensācijas zona pie apkures aprēķina temperatūras ir minimāla.

Aprēķina piemērs

Konstrukcija sastāv no keramzītbetona $d=0,40 \text{ m}$, $\lambda=0,44 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, $\delta=0,26 \text{ mg}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$, izolācijas slānis $d=0,10 \text{ m}$, $\lambda=0,039 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, $\delta=0,72 \text{ mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$. Siltumizolācijas slānis ir no iekšpuses.

Aprēķina rezultāti variantam bez tvaika barjeras ir parādīti 7. tabulā. Izolācijas slāni pieņem kā neventilētu, un siltumvadītspējas koeficienta korekcijas lielums ir $0,002 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Tabulā starp izolācijas materiālu un keramzītbetonu ir atstāta brīva rinda, kurā tiek ierakstīti parametri uz slāņu robežas.

7.tabula

Siltumizolācijas slānis no iekšpuses bez tvaika barjeras

Slānis	d, m	λ , $\frac{W}{m \cdot K}$	R, $\frac{m^2 \cdot K}{W}$	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	δ , $\frac{mg}{m \cdot h \cdot Pa}$	R_{tv} , $\frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{mg}$	p_x , Pa
iekšējais gaiss				18				1032
iekšējā virsma			0,13	16,6	1889			
izolācija	0,10	0,041	2,44			0,72	0,14	
uz slāņu robežas				-9,7	265			948
keramzītbetons	0,40	0,44	0,91			0,26	1,54	
ārējā virsma			0,04	-19,6	107			31
ārējais gaiss				-20				
Kopā:			3,52				1,68	

Temperatūras uz robežas starp izolāciju un keramzītbetonu aprēķina piemērs:

$$\theta_x = 18 - \frac{0,13 + 2,44}{3,52} (18 - (-20)) = -9,74 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Piesātināta ūdens tvaika spiediens šajā punktā (2. pielikuma tabula) ir 265,24 Pa.

Iekšējā gaisa ūdens tvaiku parciālais spiediens pie $\theta = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ un $\varphi = 0,50$:

$$p_{\text{sat}}(18) = 2063 \text{ Pa}; p_i = 0,5 \cdot 2063 = 1031,5 \text{ Pa}.$$

Ārējā gaisa ūdens tvaiku parciālais spiediens pie $\theta = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ un $\varphi = 0,30$:

$$p_{\text{sat}}(-20) = 103 \text{ Pa}; p_i = 0,3 \cdot 103 = 30,9 \text{ Pa}.$$

Parciālais spiediens starp izolāciju un keramzītbetonu:

$$p_x = 1031,5 - \frac{0,14}{1,68} (1031,5 - 30,9) = 948,12 \text{ Pa}.$$

Uz robežas starp izolāciju un keramzītbetonu $p_x > p_{\text{sat}}$, un šeit veidojas kondensācijas zona. Grafiski aprēķina rezultāti ir parādīti 2.attēlā. Piesātināta tvaika spiediena līnija nav taisne un tās pareizai attēlošanai ir nepieciešami vairāki punkti.

Aprēķina rezultāti variantam ar tvaika barjeru ir parādīti 8. tabulā. Tvaika barjera ir polietilēna plēve ar $d = 0,0016 \text{ m}$ un $R_{\text{tv}} = 7,3 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}$. Tvaika barjerai ir necīga termiskā pretestība un to aprēķinā vērā neņem.

8.tabula

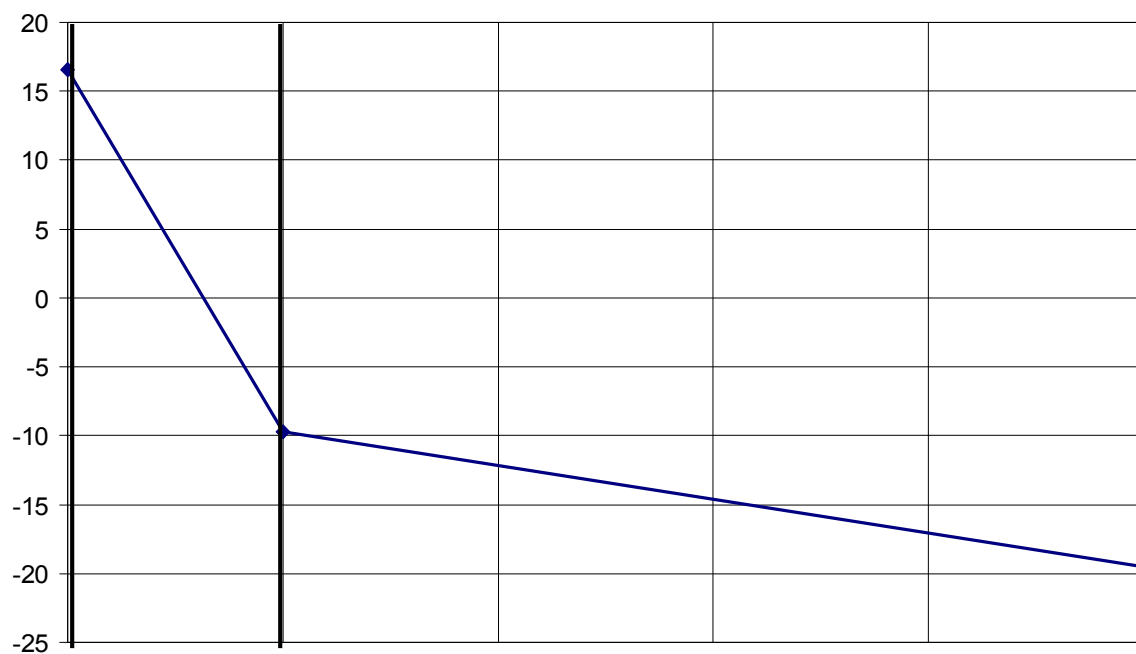
Siltumizolācijas slānis no iekšpuses ar tvaika barjeru

Slānis	d, m	$\lambda,$ $\frac{W}{m \cdot K}$	$R,$ $\frac{m^2 \cdot K}{W}$	$\theta_x,$ $^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{sat}},$ Pa	$\delta,$ $\frac{mg}{m \cdot h \cdot Pa}$	$R_{\text{tv}},$ $\frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{mg}$	$p_x,$ Pa
iekšējais gaiss				18				1031
iekšējā virsma			0,13	16,6	1889			
tvaika barjera	0,0016		0,00	16,6	1889		7,30	218
izolācija	0,10	0,041	2,44			0,72	0,14	
uz slāņu robežas				-9,7	265			202
keramzītbetons	0,40	0,44	0,91			0,26	1,54	
ārējā virsma			0,04	-19,6	107			31
ārējais gaiss				-20				
Kopā:			3,52				8,98	

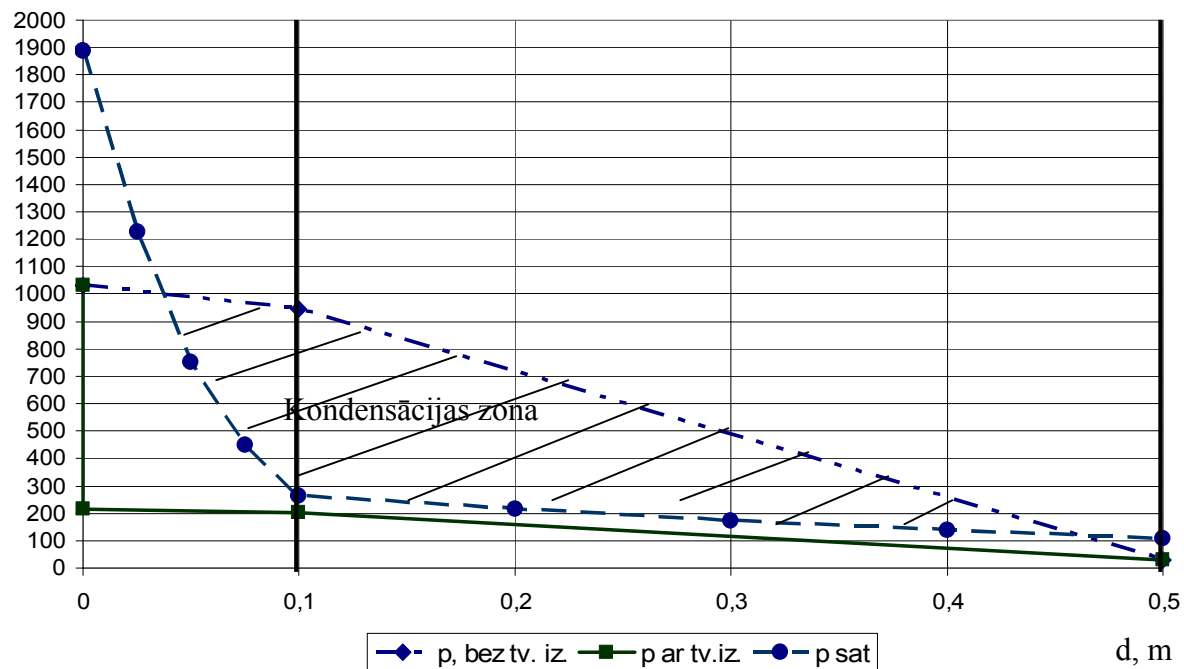
Pēc tvaika barjeras ievietošanas konstrukcijā vairs nav kondensācijas, jo vienmēr $p_x < p_{\text{sat}}$. Grafiski aprēķina rezultāti ir parādīti 2. attēlā.

Konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients ir $U = 1/3,52 = 0,284 < U_{RN}$, konstrukcija atbilst normatīvām prasībām dzīvojamām, publiskām un ražošanas ēkām.

$\theta, ^\circ\text{C}$



p, Pa



2.att. Temperatūras un spiediena sadalījums konstrukcijā

4. Praktiskais darbs Nr.4

Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums ar LV EN ISO 13788 metodi

Darba uzdevums:

Veikt mitruma režīma novērtējumu konstrukcijā, kur siltumizolācijas slānis atrodas iekšpusē un nav tvaika barjeras. Konstrukcijas struktūru un materiālus pieņemt pēc praktiskā darba Nr.3 datiem. Ūdens tvaika pretestības faktoru pieņemt ķieģeļiem ar $\lambda=0,52 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, $\mu=15$; ķieģeļiem ar $\lambda=0,87 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, $\mu=10$; gāzbetonam $\mu=10$; keramzībetonam $\mu=6$; akmens vatei $\mu=1$. Noteikt, vai konstrukcija ir derīga ekspluatācijai.

Norādījumi darba izpildei

Konstrukcijas mitruma režīma novērtējumu saskaņā ar LV EN ISO 13788 metodi veic izmantojot materiāla ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalenta jēdzienu.

Ūdens tvaika difūzijas ekvivalents gaisa slāņa biezums (gaisa difūzijas ekvivalents) s_d ir nekustīga gaisa slāņa biezums, kam ir tāda paša ūdens tvaika difūzijas pretestība, kā apskatāmajam materiālam:

$$s_d = \mu \cdot d, \text{ m}, \quad (4.1)$$

kur μ – ūdens tvaika pretestības faktors;
 d – materiāla slāņa biezums, m.

Tātad materiāla slānis tiek aizvietots ar gaisa slāni, kam ir tik pat liela pretestība ūdens tvaika caurlaidībai, ka apskatāmajam materiāla slānim.

Ūdens tvaika pretestības faktors μ un materiāla tvaika caurlaidības koeficients δ , $\text{mg/(m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa)}$, (μ – vecajā normatīvajā literatūrā un rokasgrāmatās) ir savstarpēji saistīti lielumi:

$$\mu = \frac{\delta_0}{\delta}, \quad (4.2)$$

kur δ_0 – gaisa tvaika caurlaidības koeficients ($0,72 \text{ mg/(m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa)}$ vai $2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}$);
 δ – materiāla tvaika caurlaidības koeficients, $\text{mg/(m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa)}$ vai $\text{kg/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}$.

Ūdens tvaika pretestības faktoru nosaka saskaņā ar standartu LVS EN 12086 vai saskaņā ar LBN 002-01 pielikuma 6. un 7.tabulu, kur ir noteiktas μ vērtības viendabīgiem būvmateriāliem un siltumizolācijas materiāliem. Biežāk izmantojamiem membrānmateriāliem s_d vērtības minētas LBN 002-01 pielikuma 1.tabulā (šeit sk.6.pielikumā).

Saskaņā ar LBN 002-01 25.punkta prasību konstrukcija, kas sastāv no dažādiem slāņiem, ir derīga ekspluatācijai un tai papildus mitruma režīma aprēķini nav vajadzīgi, ja siltumizolācijas siltajā pusē esošo slāņu kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents s_d ir vismaz piecas reizes lielāks par aukstajai pusei piegulošo slāņu kopējo ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalentu $s_{d,}$.

Ja LBN 002-01 25.punkta prasība nav izpildīta, tad saskaņā ar LBN 002-01 31. punktu ar aprēķinu ir jāapliecina, ka kondensāta uzkrāšanās bilance gada laikā nav pozitīva un nekaitē konstrukcijai. Koka būvelementos kondensāta rašanās vispār nav pieļaujama.

LBN 002-01 nenosaka ar kādu metodi ir jāveic mitruma režīma aprēķinus: to var darīt izmantojot Fokina-Vlasova metodi, kas ir aprakstīta praktiskajā darbā Nr.3, un to var darīt izmantojot LV EN ISO 13788 metodi.

Fokina-Vlasova metodē mitruma režīma aprēķinu veic pie ārējā gaisa apkures aprēķina temperatūras, kas tiek novērotā samērā īsos laika posmos, un cenšas panākt, lai konstrukcija vienmēr būtu brīva no kondensāta.

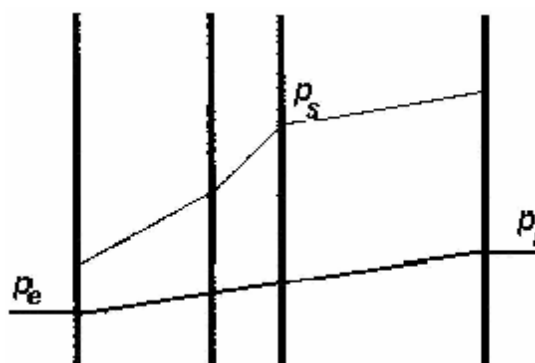
LV EN ISO 13788 metode pieļauj kondensāta rašanos, bet ir jānodrošina kondensāta iztvaikošana gada laikā. Kondensāta uzkrāšanās bilance gada laikā nedrīkst būt pozitīva. Aprēķinu veic pie vidējām mēneša temperatūrām un vidējā mēneša relatīvā mitruma visiem gada mēnešiem. Aprēķinu var sākt ar septembra mēnesi un, ja ziemas mēnešos līdz aprīlim kondensāts neveidojas, vai tas iztvaiko šajā periodā, vasaras mēnešus var nerēķināt.

Neskatoties uz to, ka LV EN ISO 13788 pieļauj kondensāta uzkrāšanos ziemas mēnešos, projektējot norobežojošās konstrukcijas ir jācenšas izvairīties no kondensāta rašanas, jo kondensāts jūtami pasliktina termisko pretestību un konstrukcijas ar laiku var bojāties, tajās var veidoties sēnītes, kas bojā arī telpas gaisa kvalitāti un cilvēku veselību.

Mitruma režīma aprēķinu saskaņā ar LV EN ISO 13788 veic sekojošā secībā:

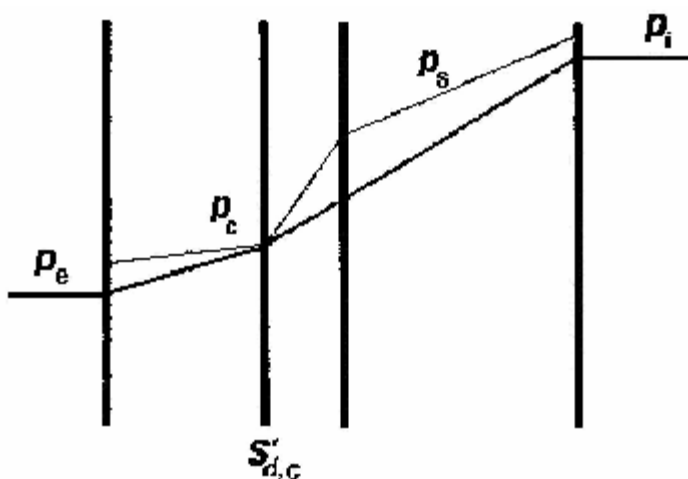
- 1) aprēķina katra slāņa un konstrukcijas kopējo termisko pretestību;
- 2) aprēķina katra slāņa un konstrukcijas gaisa difūzijas ekvivalentu;
- 3) aprēķina temperatūras sadalījumu konstrukcijā izmantojot formulu (3.7)
- 4) atkarībā no temperatūras sadalījuma pēc formulām (2.1), (2.2) vai 2. pielikuma tabulas nosaka piesātināto ūdens tvaiku spiedienu p_{sat} , Pa, un parāda to grafiski atkarībā no gaisa difūzijas ekvivalenta;
- 5) nosaka visu mēnešu vidējas temperatūras, relatīvo mitrumu un pēc formulas (2.8) ārējā gaisa parciālo spiedienu p_e , Pa;
- 6) pēc 3. pielikuma atbilstoši telpas mitruma klasei nosaka ārēja un iekšēja gaisa ūdens tvaiku parciālo spiedienu starpību Δp , drošības nolūkos palielinot to 1,1 reizēs;

- 7) pēc formulas (2.9) aprēķina iekšējā gaisa ūdens tvaiku parciālo spiedienu p_i , Pa;
- 8) grafikā, kur ir parādīta piesātināta tvaika spiediena atkarība no gaisa difūzijas ekvivalenta, atzīme iekšēja un ārējā gaisa spiedienu un savieno tos ar taisnu līniju;
- 9) analizē grafiku:
 - ja spiediena līnija vienmēr atrodas zem piesātināta tvaika spiediena ($p < p_{\text{sat}}$), konstrukcijā nav kondensācijas (3. att);



3.att. Tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā, kur nav mitruma kondensācijas

- ja spiediena līnija šķērso piesātināta tvaika spiediena līniju vienā vai vairākās vietās, konstrukcijā ir kondensācija. Šajā gadījuma parciāla spiediena līniju pārzīmē tā, lai tā tikai pieskartos piesātināta tvaika spiediena līnijai (4.att). Ūdens tvaiku parciālo spiedienu saskares punktā sauc par kondensācijas spiedienu p_c , bet vietu, kur notiek kondensācija sauc par kondensācijas plakni.



4.att.Tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā ar tvaika kondensāciju vienā plaknē

10) ja konstrukcijā notiek kondensācija, aprēķina kondensācijas ātrumu:

$$g_c = \delta_o \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right), \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s)}, \quad (4.3)$$

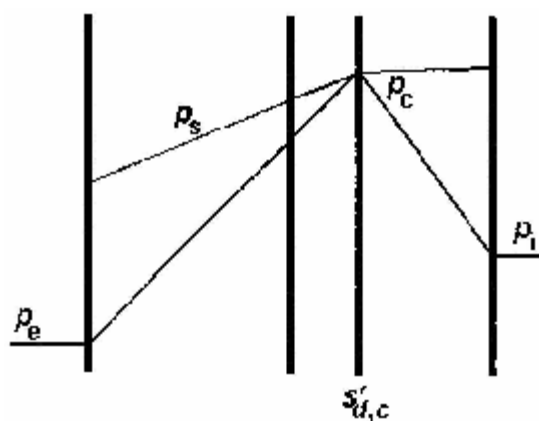
kur δ_o - gaisa tvaika caurlaidības koeficients, $\text{kg/(m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa)}$ (aprēķinos tiek pieņemts $2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa)}$, bet faktiski δ_o ir atkarīgs no temperatūras un barometriskā spiediena, kas šajā standartā tas netiek ņemts vērā);
 $p_i - p_c$ - iekšējā gaisa parciālā spiediena un kondensācijas spiediena starpība, Pa;
 $p_c - p_e$ - kondensācijas spiediena un ārējā gaisa parciālā spiediena starpība, Pa;
 $s'_{d,c}$ - to slāņu gaisa difūzijas ekvivalents, kas atrodas starp kondensācijas plakni un konstrukcijas ārējo virsmu;
 $s'_{d,T}$ - konstrukcijas pilns (visu slāņu) gaisa difūzijas ekvivalents, m.

11) aprēķina mēnesī uzkrātā kondensāta daudzumu:

$$M = 86400 N \cdot g_c, \text{ kg}, \quad (4.4)$$

kur N - dienu skaits mēnesī;
 g_c - kondensācijas ātrums, $\text{kg/(m}^2 \cdot \text{s)}$.

12) ja konstrukcijā ziemas mēnešos bija novērota kondensācija, tad vasaras mēnešos notiek iztvaikošana līdz tam brīdim, kamēr viss kondensāts neiztvaiko. Jā iepriekšējā mēnesī kādā no plāknēm bija kondensācija, nākošajā mēnesī tvaika spiediens šajās plāknēs būs vienāds ar piesātinātu spiedienu, ūdens tvaika spiediena līnijas šajā gadījumā jāzīmē kā taisnas līnijas starp ārējo spiedienu, spiedienu kondensācijas virsmā un iekšējo spiedienu (5.att.).



5.att. Iztvaikošana no vienas plaknes būvkonstrukcijā

Iztvaikošanas ātrumu aprēķina tāpat, kā kondensācijas ātrumu pēc formulas (4.3). Ir pieņemts, ka mitrums kondensējas, ja formulas rezultāts ir pozitīvs, bet iztvaiko, ja rezultāts ir negatīvs.

Mitruma kondensācijas aprēķina rezultātā ir iespējami trīs novērtēšanas iznākumi:

1) Nevienā no mēnešiem nevienā no slāņu robežām kondensācija nav novērota. Šajā gadījumā konstrukcija tiek pasludināta par brīvu no kondensācijas.

2) Kondensācija notiek vienā vai vairākās plaknēs, bet viss kondensāts, kas uzkrājas ziemā, iztvaiko vasaras mēnešos.

Šajā gadījumā ir jāparāda maksimālais uzkrātais kondensāta daudzums un mēneši, kuros tas tiek novērots. Ir jānovērtē materiālu bojāšanas risku un būvelementa termisko īpašību pasliktināšanos, kas ir saistīta ar aprēķināto maksimālo mitruma daudzumu.

3) Kondensāts vienā vai vairākās plaknēs pilnībā neizzūst vasaras mēnešos. Šajā gadījumā konstrukcija nav derīga ekspluatācijai. Ir jāparāda maksimālais uzkrātais kondensāta daudzums un mēneši, kad tas notiek, kā arī pēc 12 mēnešiem paliekošā kondensāta daudzums.

Aprēķina piemērs

Veikt mitruma režīma novērtējumu praktiskā darba Nr.3 aprēķina piemēra konstrukcijai, kad siltumizolācijas slānis atrodas iekšpusē un nav tvaika barjeras. Ūdens tvaika pretestības faktoru pieņem keramzītbetonam $\mu=6$; akmens vatei $\mu=1$.

No sākuma tiek aprēķināta slāņu un visas konstrukcijas termiskā pretestība un gaisa difūzijas ekvivalents. Aprēķina rezultāti ir parādīti 9.tabulā.

9.tabula

Siltumizolācijas slānis no iekšpuses bez tvaika barjeras

Nr.	Slānis	d, m	λ , W/(m·K)	R, m ² ·K/W	μ , -	S _d , m
1	iekšējais gaiss					
2	iekšējā virsma			0,13		
3	izolācija	0,10	0,041	2,44	1	0,10
4	slāņu robeža					
5	keramzītbetons	0,40	0,44	0,91	6	2,40
6	ārēja virsma			0,04		
7	ārējais gaiss					
	Kopā:			3,52		2,50

10. tabulā ir doti temperatūras sadalījuma un spiediena aprēķina rezultāti. Temperatūras sadalījums ir aprēķināts pēc formulas (3.7), piesātināto tvaiku spiediens ir noteikts pēc 2. pielikuma tabulas, spiediena sadalījums aprēķināts interpolējot pēc s_d lineāro atkarību starp p_i un p_e . Slāņu un parametru sakārtojums atbilst 9. tabulas sakārtojumam.

10.tabula

Siltumizolācijas slānis no iekšpuses bez tvaika barjeras

	septembris			oktobris			novembris			decembris			janvāris			februāris		
	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa
1	19,0		1476	19		1276	19		1366	19		1325	19		1241	19		1240
2	18,7	2156	1476	18,6	2143	1276	18,4	2116	1366	18,2	2090	1325	18,1	2076	1241	18,1	2076	1240
3																		
4	13,8	1578	1462	10,4	1261	1259	6,7	981	1336	3,4	779	1289	1,7	690	1205	2,0	705	1204
5																		
6	12,0	1402	1128	7,3	1022	843	2,3	721	611	-2,1	513	434	-4,4	423	350	-4,0	437	349
7	11,9		1128	7,2		843	2,1		611	-2,3		434	-4,7		350	-4,3		340

10.tabulas turpinājums

	marts			aprīlis			maijs			jūnijs			jūlijs			augusts		
	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa	θ_x , °C	p_{sat} , Pa	p , Pa
1	19		1350	19		1297	19		1290	19		1360	19		1562	19		1559
2	18,3	2103	1350	18,5	2130	1297	18,7	2156	1290	18,9	2183	1360	18,9	2183	1562	18,9	2183	1559
3																		
4	4,7	854	1314	8,9	1140	1271	13,5	1548	1276	16,4	1865	1356	17,5	2000	1558	17,0	1937	1554
5																		
6	-0,4	591	459	5,3	891	641	11,5	1357	930	15,4	1749	1259	16,9	1925	1463	16,2	1841	1436
7	-0,6		459	5,1		641	11,4		930	15,4		1259	16,9		1463	16,2		1436

Temperatūras sadalījuma aprēķina piemērs janvārim:

- uz iekšējās virsmas $19 - 0,13(19 - (-4,7))/3,52 = 18,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- uz slāņu robežas $19 - (0,13 + 2,44)(19 - (-4,7))/3,52 = 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- uz ārējās virsmas $19 - (0,13 + 2,44 + 0,91)(19 - (-4,7))/3,52 = -4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Piesātināta spiediena aprēķina piemērs janvārim:

- uz iekšējās virsmas $2063 + 0,1(2196 - 2063) = 2076\text{ Pa}$;
- uz slāņu robežas $656 + 0,7(705 - 656) = 690\text{ Pa}$;
- uz ārējās virsmas $437 - 0,4(437 - 401) = 423\text{ Pa}$.

Ūdens tvaiku parciālais spiediens uz virsmām ir tāds pats, ka iekšējā vai ārējā gaisā. Iekšējā un ārējā gaisa parciālā spiediena aprēķins ir parādīts 4. tabulā. Parciālais spiediens uz slāņu robežas: $1241 - 0,1(1241 - 350)/2,5 = 1205\text{ Pa}$.

Uz slāņu robežas $p > p_{\text{sat}}$, tāpēc šeit notiek mitruma kondensācija. Parādītā piemērā ūdens kondensācija tiek novērota no novembra līdz aprīlim. Grafiski aprēķina rezultāti ir parādīti 6. un 7. attēlā.

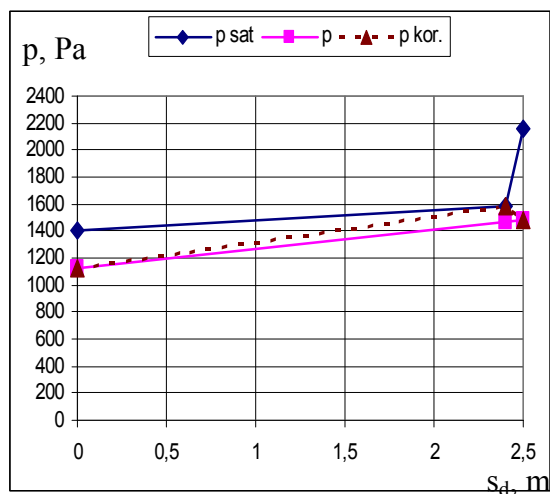
Kondensācijas ātruma un uzkrātā kondensāta daudzuma aprēķins ir dots 11. tabulā.

11. tabula

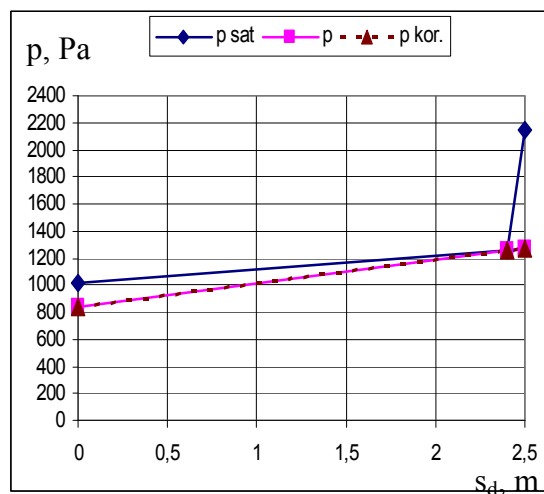
Kondensācijas ātruma un uzkrātā kondensāta daudzuma aprēķins

Mēnesis	Ūdens tvaika parciālais spiediens, Pa			g, $10^{-10} \cdot \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	Kondensāta daudzums, M, kg/m^2	
	p_e	p_c	p_i		mēnesī	uzkrātais
novembris	611	981	1366	7391,7	1,92	1,92
decembris	434	779	1325	10632,5	2,85	4,77
janvāris	350	690	1241	10736,7	2,88	7,65
februāris	349	705	1240	10403,3	2,52	10,17
marts	459	854	1350	9590,8	2,57	12,74
aprīlis	641	1140	1297	2724,2	0,71	13,45
maijs	930	1548	1290	-5675,0	-1,52	11,93
jūnijs	1259	1865	1360	-10605,0	-2,75	9,18
jūlijs	1463	2000	1562	-9207,5	-2,47	6,71
augusts	1436	1937	1559	-7977,5	-2,14	4,57
septembris	1128	1578	1476	-2415,0	-0,63	3,94
oktobris	843	1259	1276	-6,7	0,00	3,94

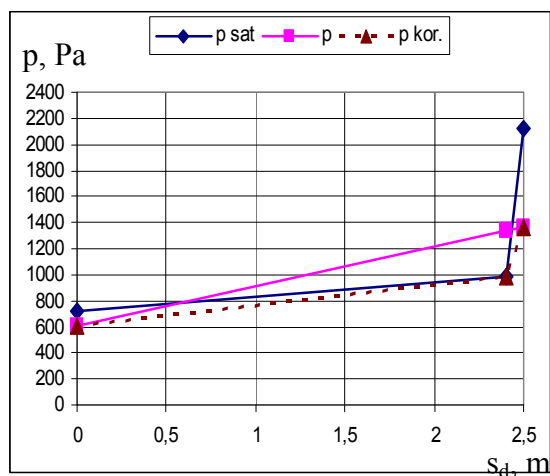
Gada laikā uzkrātais kondensāta daudzums ir $3,94\text{ kg}/\text{m}^2$ un konstrukcija nav derīga ekspluatācijai. Ir nepieciešams uzstādīt tvaika barjeru iekšpusē.



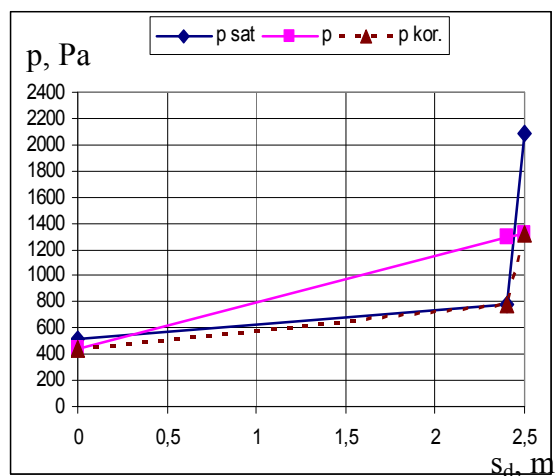
septembris



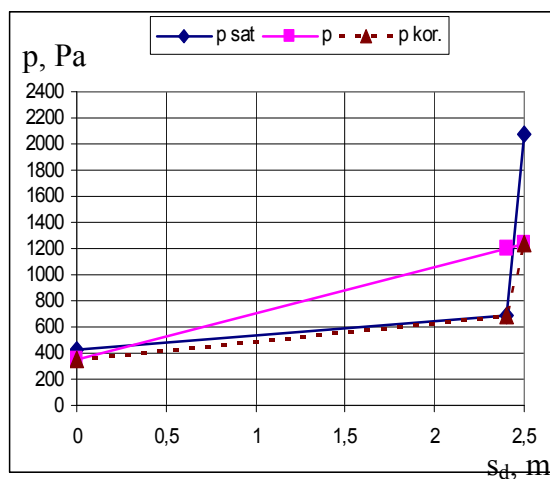
oktobris



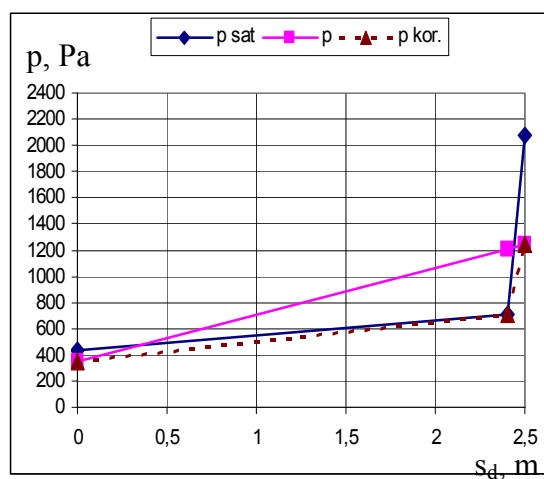
novembris



decembris

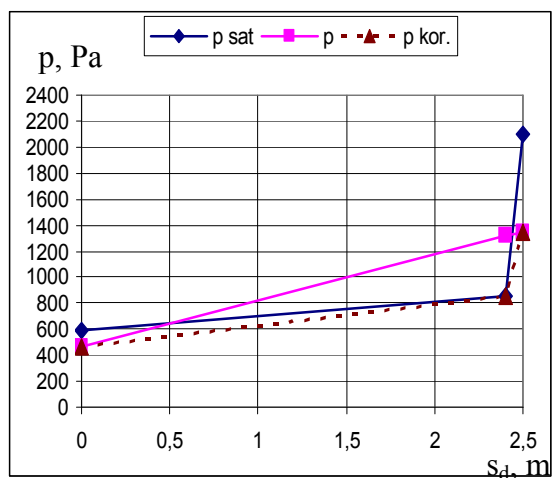


janvāris

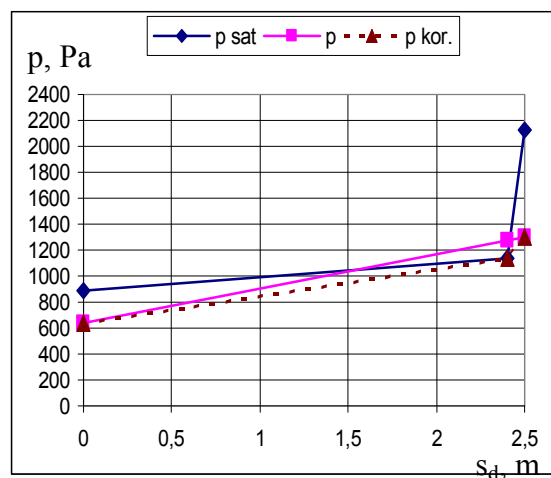


februāris

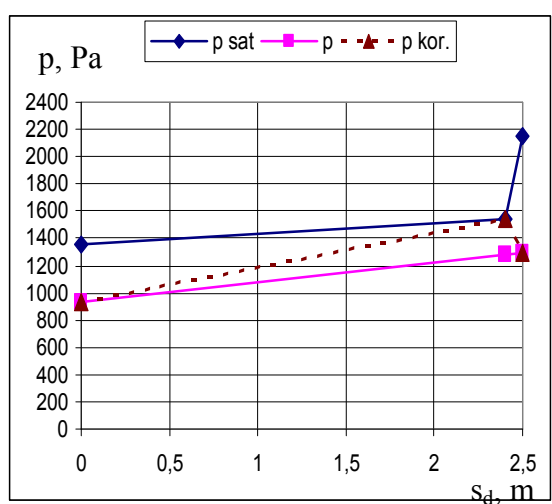
6. att. Parciālā spiediena sadalījums septembrī-februārī



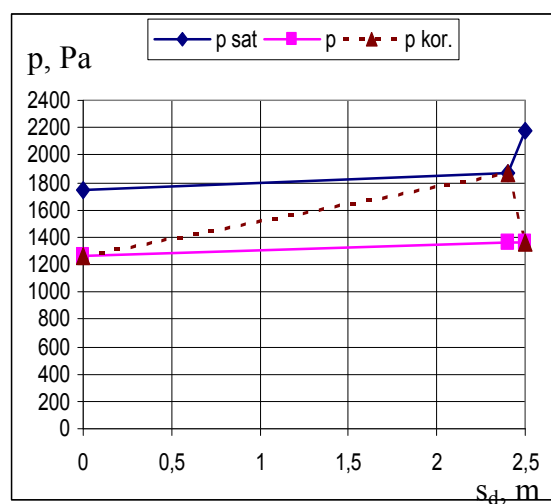
marts



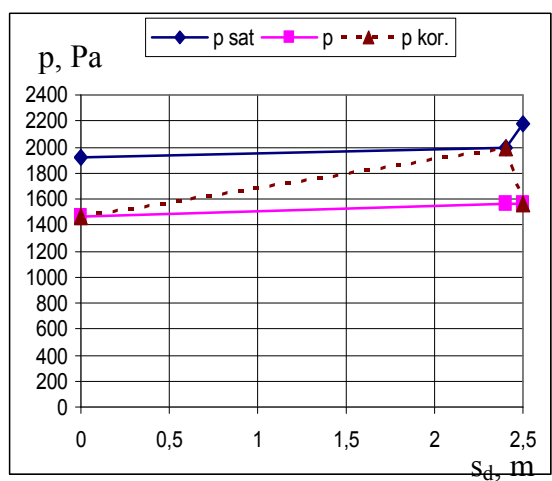
aprīlis



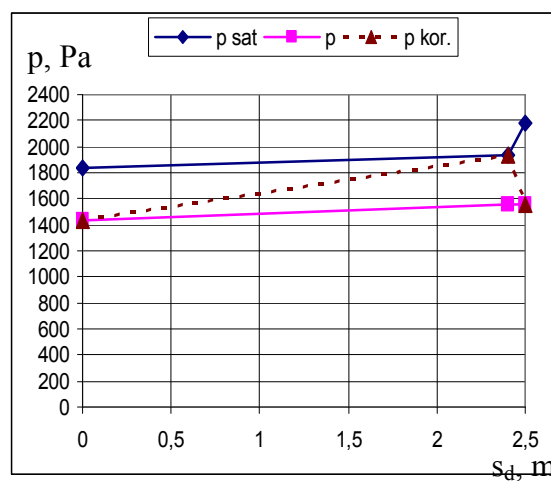
maijs



jūnijs



jūlijs



augusts

7. att. Parciālā spiediena sadalījums martā-augustā

5. Praktiskais darbs Nr.5

Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana konstrukcijai ar nehomogēniem slāņiem

Darba uzdevums

1) Noteikt konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem siltuma caurlaidības koeficientu.

Konstrukcijas tips: 1.-16. variantam - koka karkasa konstrukcija (8.att.), slāņu parametri ir doti 12. tabulā ; 17.-40. variantam - masīva konstrukcija ar karkasa siltināšanu (9.att), slāņu parametri ir doti 13. tabulā. Visi siltumizolācijas materiāli ir akmens vate ar blīvumu $\rho > 24 \text{ kg/m}^3$. Masīvā konstrukcija pretvēja izolācija ir akmens vate PAROC WAS25t, $d=0,03 \text{ m}$, $\lambda_{cl}= 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

2) Noteikt, vai konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients atbilst LBN 002-01 dzīvojamo ēku prasībām.

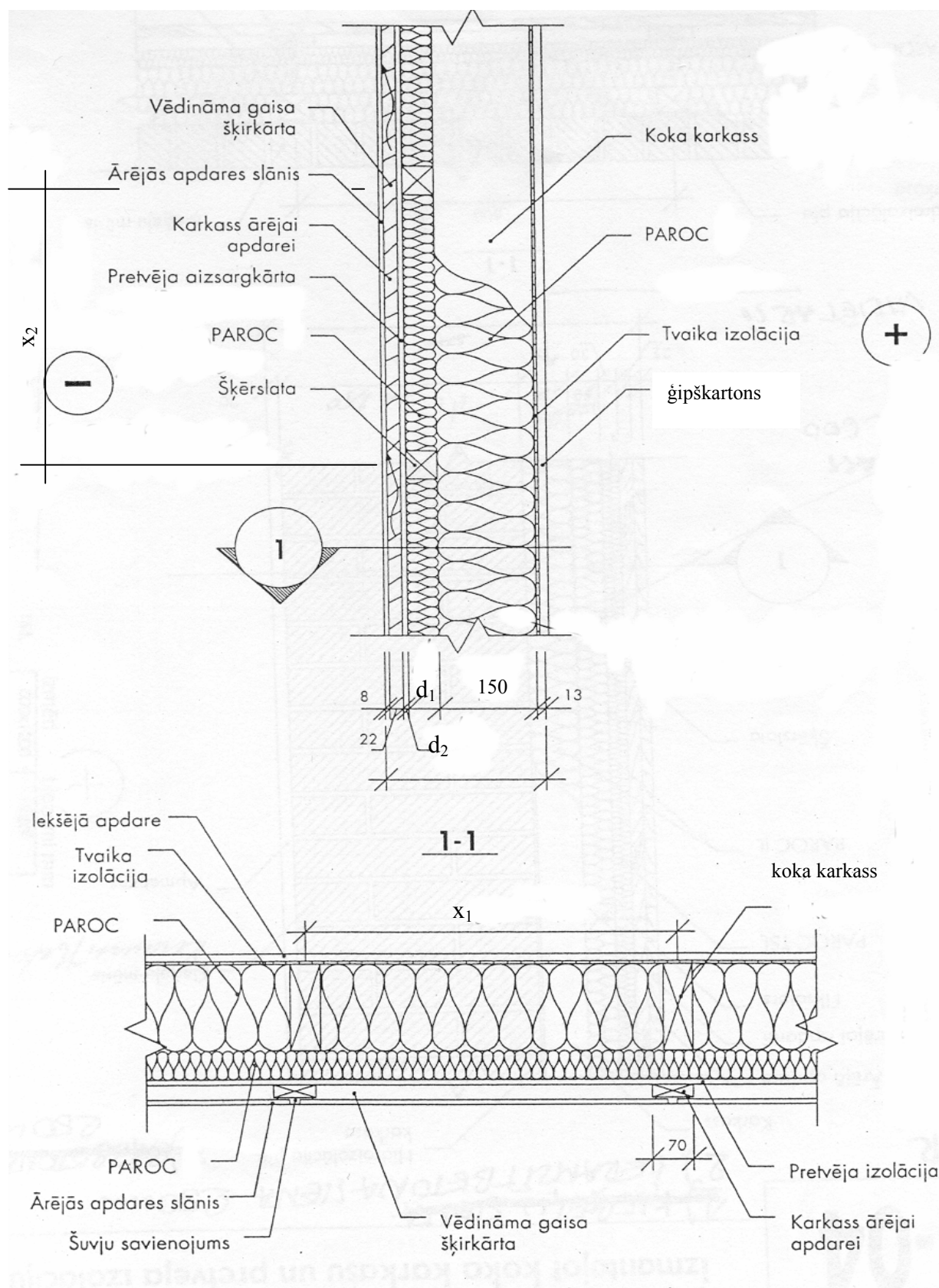
12. tabula

Koka karkasa konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem parametri

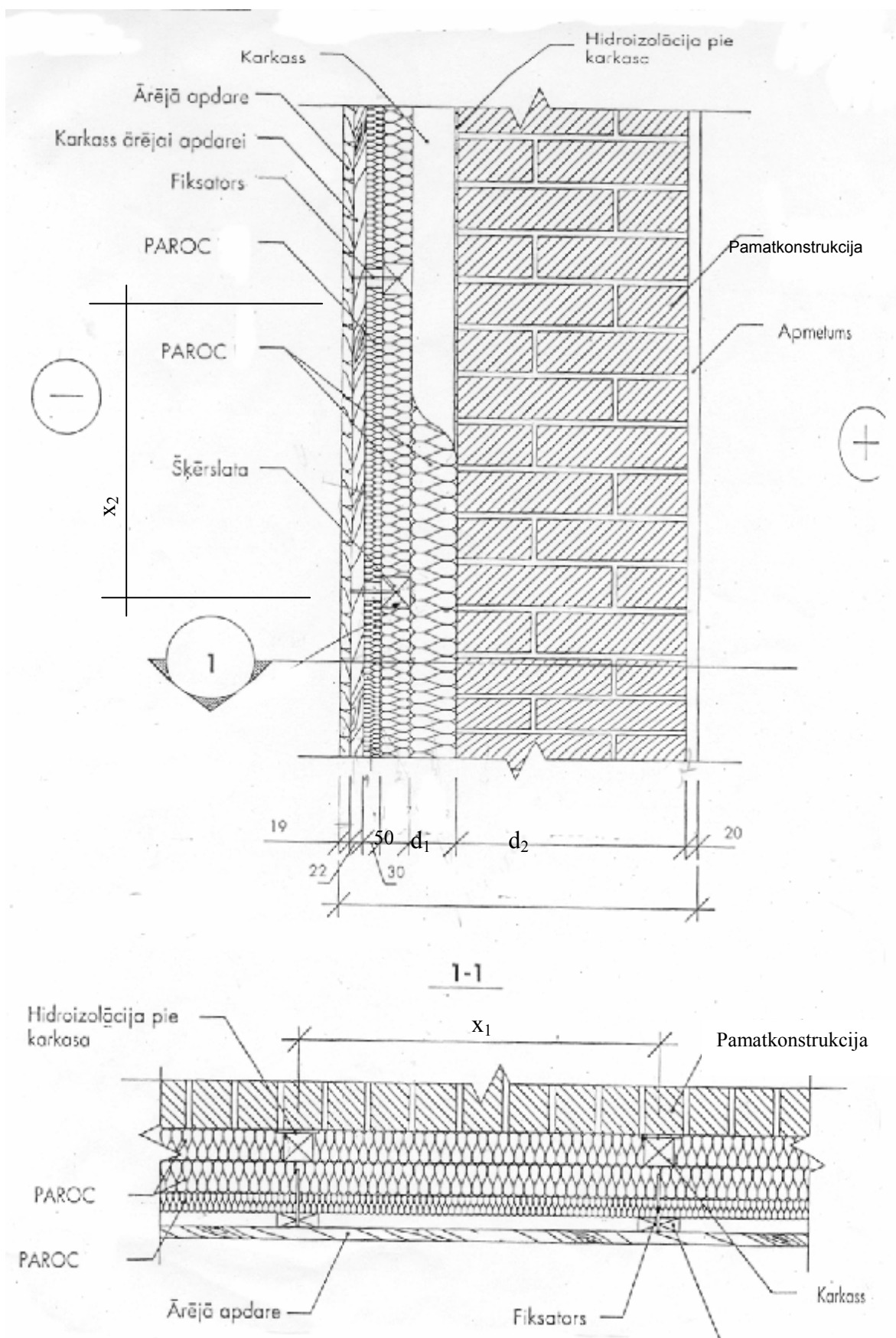
Var. Nr.	Karkasa solis		Siltumizolācija			Pretvēja aizsargkārtā		
	x_1 , m	x_2 , m	veids	d_1 , m	λ_{cl} , $\frac{W}{m \cdot K}$	veids	d_2 , m	λ_{cl} , $\frac{W}{m \cdot K}$
1.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,050	0,037	audums TYVEK	-	-
2.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,070	0,037	audums TYVEK	-	-
3.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,075	0,037	audums TYVEK	-	-
4.	0,9	0,4	PAROC UNS 37	0,100	0,037	audums TYVEK	-	-
5.	1,2	0,6	PAROC UNS 37	0,125	0,037	audums TYVEK	-	-
6.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,150	0,037	PAROC WAB5t	0,013	0,033
7.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,175	0,037	PAROC WAB5t	0,013	0,033
8.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,200	0,037	PAROC WAB5t	0,013	0,033
9.	0,9	0,4	PAROC UNS 37	0,050	0,037	PAROC WAB5t	0,013	0,033
10.	1,2	0,6	PAROC UNS 37	0,070	0,037	PAROC WAB5t	0,013	0,033
11.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,075	0,037	PAROC WAB5t	0,013	0,033
12.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,100	0,037	PAROC ROB50	0,020	0,039
13.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,125	0,037	PAROC ROB50	0,020	0,039
14.	0,9	0,4	PAROC UNS 37	0,150	0,037	PAROC ROB50	0,020	0,039
15.	1,2	0,6	PAROC UNS 37	0,175	0,037	PAROC ROB50	0,020	0,039
16.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,200	0,037	PAROC ROB50	0,020	0,039

Piezīmes:

- 1) keramzītbetona un gāzbetona siltumvadītspējas koeficientu, tāpat kā siltumizolācijas siltumvadītspējas koeficientu, ir jākoriģē atbilstoši darba mitrumu apstākļiem;
- 2) gaisa slānis pirms ārējās apdares ir labi ventilējams;
- 3) iekšējā apdare: masīvai sienai ir apmetums, koka karkasa sienai – ģipškartons.



8.att. Koka karkasa konstrukcija



9.att. Masīva konstrukcija ar karkasa siltināšanu

Masīvas konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem parametri

Var. Nr.	Karkasa solis		Siltumizolācija			Pamatkonstrukcija		
	x ₁ , m	x ₂ , m	veids	d ₁ , m	$\frac{\lambda_{cl}, W}{m \cdot K}$	materiāls	d ₂ , m	$\frac{\lambda_{cl}, W}{m \cdot K}$
17.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,050	0,037	keramzītbetons	0,25	0,26
18.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,070	0,037	keramzītbetons	0,25	0,26
19.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,075	0,037	keramzītbetons	0,25	0,26
20.	0,9	0,4	PAROC UNS 37	0,100	0,037	keramzītbetons	0,25	0,26
21.	1,2	0,6	PAROC UNS 37	0,125	0,037	keramzītbetons	0,25	0,26
22.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,150	0,037	keramzītbetons	0,25	0,26
23.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,175	0,037	gāzbetons	0,25	0,20
24.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,200	0,037	gāzbetons	0,25	0,20
25.	0,9	0,4	PAROC UNS 37	0,050	0,037	gāzbetons	0,25	0,20
26.	1,2	0,6	PAROC UNS 37	0,070	0,037	gāzbetons	0,25	0,20
27.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,075	0,037	gāzbetons	0,25	0,20
28.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,100	0,037	gāzbetons	0,25	0,20
29.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,125	0,037	ķieģelis	0,38	0,52
30.	0,9	0,4	PAROC UNS 37	0,150	0,037	ķieģelis	0,38	0,52
31.	1,2	0,6	PAROC UNS 37	0,175	0,037	ķieģelis	0,38	0,52
32.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,200	0,037	ķieģelis	0,38	0,52
33.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,050	0,037	ķieģelis	0,38	0,52
34.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,070	0,037	ķieģelis	0,38	0,87
35.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,075	0,037	ķieģelis	0,38	0,87
36.	0,9	0,4	PAROC UNS 37	0,100	0,037	ķieģelis	0,38	0,87
37.	1,2	0,6	PAROC UNS 37	0,125	0,037	ķieģelis	0,38	0,87
38.	0,6	0,6	PAROC UNS 37	0,150	0,037	ķieģelis	0,38	0,87
39.	0,9	0,6	PAROC UNS 37	0,175	0,037	ķieģelis	0,38	0,87
40.	0,6	0,4	PAROC UNS 37	0,200	0,037	ķieģelis	0,38	0,87

Norādījumi darba izpildei

Nehomogēnām konstrukcijām termisko pretestību nosaka kā vidējo aritmētisko lielumu starp konstrukcijas lielāko un mazāko termisko pretestību:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (5.1)$$

kur R'_T –termiskās pretestības augšējā robeža, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R''_T –termiskās pretestības apakšējā robeža, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Termiskās pretestības augšējās robežas noteikšana.

Ar plakni, kas ir perpendikulāra norobežojošās konstrukcijas virsmai, konstrukciju sadala m daļās, kas katra sastāv tikai no homogēniem slāņiem.

Katras daļas termiskā pretestība ir:

$$R_{Tm} = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}, \quad m^2 \cdot K/W, \quad (5.2)$$

kur R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $m^2 \cdot K/W$;

R_n - atsevišķa slāņa termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$;

R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $m^2 \cdot K/W$.

Katrai homogēnai daļai ir relatīvā platība f_m . Daļas relatīvā platība ir šīs platības attiecība pret kopējo norobežojošas konstrukcijas virsmas platību. Konstrukcijas visu relatīvo platību summa:

$$f_a + f_b + \dots + f_m = 1. \quad (5.3)$$

Termiskās pretestības augšējo robežu R_T' nosaka pēc formulas:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_m}{R_{Tm}}, \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (5.4)$$

kur ($R_{Ta} \dots R_{Tm}$) - daļu ar homogeniem slāņiem termiskā pretestība, aprēķināta pēc formulas (5.2);

($f_a \dots f_m$) - daļu relatīvās platības.

Termiskās pretestības apakšējās robežas noteikšana.

Nehomogēnus slāņus aizvieto ar nosacīti homogēniem slāņiem ar ekvivalentu siltumvadītspēju. Lai aprēķinātu ekvivalento siltumvadītspēju, nehomogēno slāni sadala n daļās tā, lai katra tā daļa sastāvētu tikai no viena homogēna materiāla ar zināmu siltumvadītspēju. Nosaka katras daļas relatīvo platību (vai īpatsvaru slānī).

Ekvivalentā siltumvadītspēja:

$$\lambda''_j = \lambda_{aj} \cdot f_a + \lambda_{bj} \cdot f_b + \dots + \lambda_{qj} \cdot f_q, \quad W/(m \cdot K), \quad (5.5)$$

kur ($\lambda_{aj} \dots \lambda_{qj}$) - slāni veidojošo materiālu siltumvadītspējas koeficienti, $W/(m \cdot K)$;

($f_a \dots f_q$) - atsevišķo materiālu relatīvās platības.

Nehomogēno slāņu termiskā pretestība:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda''_j}, \quad m^2 \cdot K/W, \quad (5.6)$$

kur λ''_j - slāņa ekvivalentā siltumvadītspēja, $W/(m \cdot K)$.

Homogēno slāņu termiskā pretestība:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}, \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (5.7)$$

kur λ_j - slāņa materiāla siltumvadītspēja, W/(m·K).

Termiskās pretestības apakšējā robeža :

$$R_T'' = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}, \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (5.8)$$

kur R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

($R_1 \dots R_n$) - atsevišķa slāņa termiskā pretestība, aprēķināta pēc formulām (5.6) un (5.7) atkarībā no slāņa struktūras, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients:

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \quad (5.9)$$

kur R_T - norobežojošas konstrukcijas termiskā pretestība, aprēķināta pēc formulas (5.1), $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Aprēķina piemērs

Noteikt masīvas konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientu (9.att.). Pamatslānis – ķieģelis $d=0,38$ m, $\lambda=0,64$ W/(m·K). Visu siltumizolācijas materiālu blīvums $\rho>24$ kg/m³. Pretvēja izolācija it PAROC WAB5t, $d=0,013$ m, $\lambda_{ci}=0,033$ W/(m·K). Karkasa solis: 0,5 m uz 0,5 m. Pirmā no ārpuses siltumizolācijas slāņa biezums $d=0,05$ m, otra slāņa biezums $d=0,07$ m, siltumizolācijas materiāls PAROC UNS 37, $\lambda_{ci}=0,037$ W/(m·K).

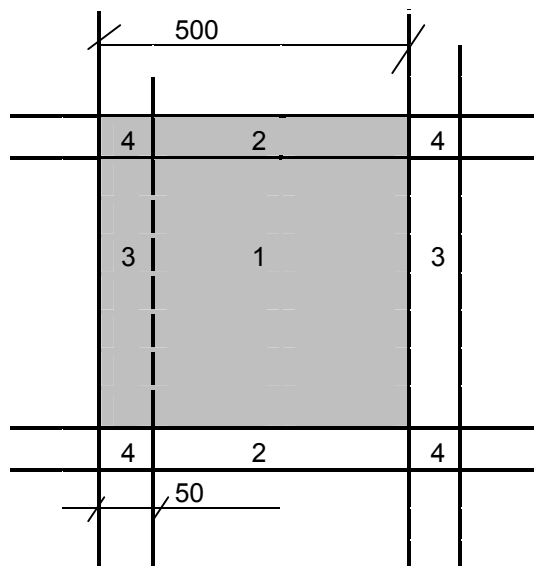
Gaisa slānis aiz pretvēja izolācijas ir labi ventilējams, tāpēc paša gaisa slāņa un visu pārējo slāņu no gaisa slāņa uz ārpusi termisko pretestību aprēķinā neņem vērā, bet ārējās virsmas termisko pretestību palielina līdz iekšējās virsmas termiskās pretestības līmenim:

$$R_{SE}=R_{SI}=0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}.$$

Konstrukcijā paliek 5 slāņi: pretvēja izolācija; 2 slāņi, kas sastāv no koka karkasa un izolācijas; ķieģeļu mūris; iekšējā apdare.

Termiskās pretestības augšējās robežas aprēķins.

Skatoties siltuma plūsmas virzienā, konstrukcijā var izdalīt 4 zonas, kur visi slāņi ir homogēnie. Zonu izvietojums ir parādīts 10. attēlā.



10.att. Homogēno zonu sadalījums

Sadalot konstrukciju zonās relatīvo platību aprēķinam, ir jāizdala konstrukcijas raksturīgs elements, kas atkārtojas konstrukcijā vairākas reizes. Dotā piemērā tāds elements var būt izdalīts tā, ka tas ir parādīts 10.att. Tā var būt arī viena rutiņa starp karkasu asīm, vai arī konstrukcijas gabals veselos metros, kas katrā virzienā bez atlikuma dalās ar karkasa soli (šajā gadījumā 1m uz 1m, kur var izvietoties tieši četri 10.att. parādītie gabali).

Pirmās zonas relatīvā platība: $(0,45 \times 0,45) / (0,5 \times 0,5) = 0,81$

Slāņu sakārtojums: pretvēja izolācija; izolācija, izolācija, ķieģeļu mūris, iekšēja apdare.

Otras zonas relatīvā platība: $(0,45 \times 0,05) / (0,5 \times 0,5) = 0,09$

Slāņu sakārtojums: pretvēja izolācija; karkass, izolācija, ķieģeļu mūris, iekšēja apdare.

Trešās zonas relatīvā platība: $(0,45 \times 0,05) / (0,5 \times 0,5) = 0,09$

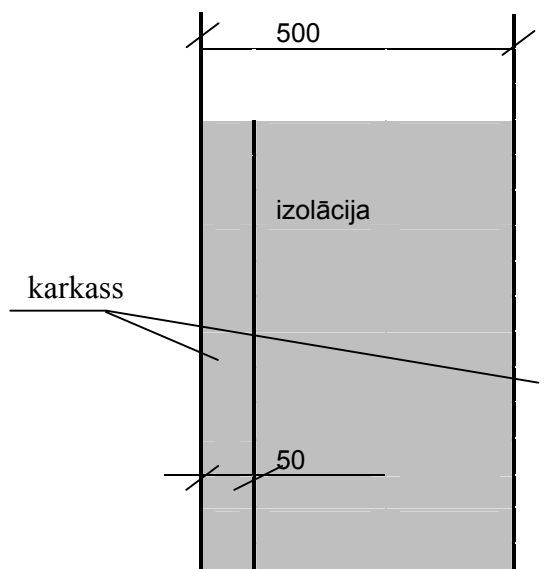
Slāņu sakārtojums: pretvēja izolācija; izolācija, karkass, ķieģeļu mūris, iekšēja apdare.

Ceturtās zonas relatīvā platība: $(0,05 \times 0,05) / (0,5 \times 0,5) = 0,01$

Slāņu sakārtojums: pretvēja izolācija; karkass, karkass, ķieģeļu mūris, iekšēja apdare.

Termiskās pretestības apakšējās robežas aprēķins.

Konstrukcijā skatoties no ārpuses otrais un trešais slānis ir nehomogēni. Tie sastāv no izolācijas un karkasa. Izolācijas un karkasa izvietojums katrā no slāņiem ir parādīts 11. attēlā.



11.att. Karkasa izvietojums slānī

Lai aprēķinātu relatīvās platības, ir jāapskatās konstrukcijas izgriezumā veselos metros, kas vienā virzienā bez atlikuma dalās ar karkasa soli, piemēram, 1x1 m, kur ieiet 2 karkasi. Bet šajā gadījumā var apskatīt arī 0,5x1m ar vienu karkasu (11.att.).

Izolācijas relatīva platība $(0,45 \cdot 1) / (0,5 \cdot 1) = 0,9$.

Karkasa relatīva platība $(0,05 \cdot 1) / (0,5 \cdot 1) = 0,1$.

Slāņa ekvivalentā siltumvadītspēja:

$$\lambda''_j = 0,9(0,037 + 0,002) + 0,1 \cdot 0,13 = 0,0481 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}.$$

Dotajā konstrukcijā materiālu relatīvā platība otrā un trešā slānī ir vienāda. Ja karkasu solis slāņos nebūtu vienāds, tad arī relatīvās platības nebūtu vienādas.

Konstrukcijas termiskās pretestības un siltuma caurlaidības koeficienta aprēķins ir parādīts 14. tabulā.

Konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem aprēķins

Slāņa Nr.	d, m	Nosaukums	λ , W/(m·K)	Slāņu termiskā pretestība R_x , m ² ·K/W, un zonu relatīvā platība termiskās pretestības augšējās robežas aprēķinā				λ , W/(m·K)	R_x , m ² ·K/W, apakšējās robežas aprēķinā
				1	2	3	4		
				0,81	0,09	0,09	0,01		
		ārējā virsma		0,13	0,13	0,13	0,13		0,13
1	0,013	pretvēja izolācija	0,034	0,38	0,38	0,38	0,38	0,034	0,38
2	0,05	PAROC UNS37	0,039	1,28		1,28		0,0481	1,04
		koka karkass	0,13		0,38		0,38		
3	0,07	PAROC UNS37	0,039	1,79	1,79			0,0481	1,46
		koka karkass	0,13			0,38	0,54		
4	0,38	ķieģelis	0,64	0,59	0,59	0,59	0,59	0,64	0,59
5	0,02	apmetums	0,9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,9	0,02
		iekšēja virsma		0,13	0,13	0,13	0,13		0,13
Zonu termiskā pretestība, R_x , m ² ·K/W				4,32	3,42	2,91	2,17		
Termiskās pretestības augšējā un apakšējā robeža, R',R'' , m ² ·K/W				4,01				3,75	
Konstrukcijas termiskā pretestība, R_T , m ² ·K/W				3,88					
Siltuma caurlaidības koeficients, U , W/(m ² ·K)				0,26					

Konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients ir 0,26 W/(m²·K) un konstrukcija atbilst LBN 002-01 dzīvojamo ēku normatīvām prasībām.

6. Praktiskais darbs Nr.6

Loga siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana

Darba uzdevums:

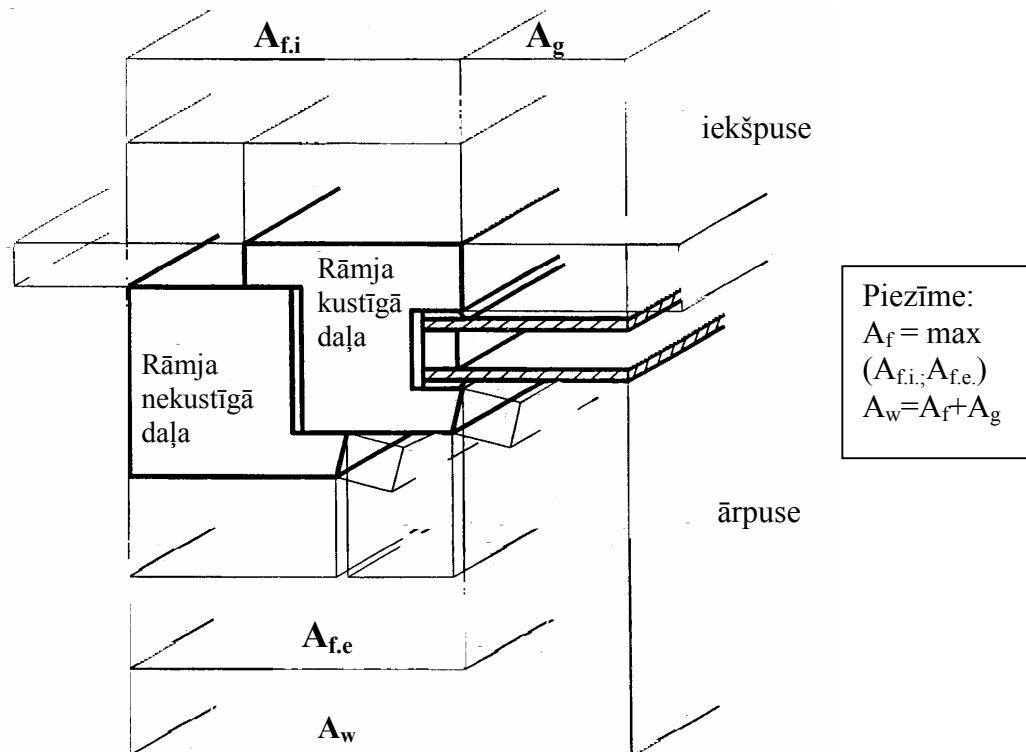
- 1) Noteikt loga siltuma caurlaidības koeficientu. Variantu dati ir doti 15. tabulā.
- 2) Noteikt, kā jāizmaina loga stiklojumu, lai loga siltuma caurlaidības koeficients atbilstu LBN 002-01 dzīvojamo ēku siltuma caurlaidības koeficienta normatīvam līmenim.

Norādījumi darba izpildei

Saskaņā ar LBN 002-01 logu siltuma caurlaidības koeficientus nosaka izmantojot EN ISO 10077-1 "Thermal performance of windows, doors and shutters – calculation of thermal transmittance – Part 1: Simplified methods".

Loga (window, indekss –w) siltuma caurlaidības koeficients veidojas no rāmja (frame, indekss –f) un stiklojuma (glazing, indekss –g) siltuma caurlaidības koeficientiem, ņemot vērā lineāro termisko tiltu uz rāmja un stiklojuma robežas. Ja stiklojums tiek aizvietots ar necaurspīdīgiem paneļiem, formulas papildinās ar trešo komponentu - paneļu siltuma caurlaidības koeficientiem (panel, indekss –p).

Loga virsmu sadalījums rāmja un stiklojuma platībās ir parādīts 12. att.



12. att. Loga rāmja un stiklojuma platības

Logu konstrukcijas parametri

Varianta Nr.	Stiklojums			Rāmis	
	Kārtas ¹	emisijas spēja ϵ	aizpildījums	tips	īpatsvars, %
1.	4-6-4	0,89	gaiss	poliuretāna	20
2.	4-9-4	0,89	argons	PVC, 2 kameras	30
3.	4-12-4	0,89	kriptons	PVC, 3 kameras	20
4.	4-15-4	0,89	gaiss	koka ² , 50 mm	30
5.	4-20-4	0,89	argons	koka ² , 70 mm	20
6.	4-6-4	0,4	kriptons	koka ² , 100 mm	30
7.	4-9-4	0,4	gaiss	koka ² , 120 mm	20
8.	4-12-4	0,4	argons	metāla, d=12mm	30
9.	4-15-4	0,4	kriptons	metāla, d=16mm	20
10.	4-20-4	0,4	gaiss	metāla, d=20mm	20
11.	4-6-4	0,2	argons	metāla, d=24mm	30
12.	4-9-4	0,2	kriptons	metāla, d=28mm	30
13.	4-12-4	0,2	gaiss	poliuretāna	20
14.	4-15-4	0,2	argons	PVC, 2 kameras	20
15.	4-20-4	0,2	kriptons	PVC, 3 kameras	30
16.	4-6-4	0,1	gaiss	koka, 50 mm	30
17.	4-9-4	0,1	argons	koka, 70 mm	20
18.	4-12-4	0,1	kriptons	koka, 100 mm	20
19.	4-15-4	0,1	gaiss	koka, 120 mm	30
20.	4-20-4	0,1	argons	metāla, d=12mm	30
21.	4-6-4	0,05	kriptons	metāla, d=16mm	20
22.	4-9-4	0,05	gaiss	metāla, d=20mm	20
23.	4-12-4	0,05	argons	metāla, d=24mm	30
24.	4-15-4	0,05	kriptons	metāla, d=28mm	20
25.	4-20-4	0,05	gaiss	poliuretāna	20
26.	4-6-4	0,6	argons	PVC, 2 kameras	30
27.	4-9-4	0,6	kriptons	PVC, 3 kameras	30
28.	4-12-4	0,6	gaiss	koka ² , 50 mm	30
29.	4-15-4	0,6	argons	koka ² , 70 mm	20
30.	4-20-4	0,6	kriptons	koka ² , 100 mm	20
31.	4-6-4-6-4	0,89	gaiss	koka ² , 120 mm	30
32.	4-9-4-9-4	0,4	argons	metāla, d=12mm	20
33.	4-12-4-12-4	0,2	kriptons	metāla, d=16mm	20
34.	4-6-4-6-4	0,1	gaiss	metāla, d=20mm	30
35.	4-9-4-9-4	0,05	argons	metāla, d=24mm	30
36.	4-12-4-12-4	0,89	kriptons	metāla, d=28mm	30
37.	4-6-4-6-4	0,4	gaiss	poliuretāna	20
38.	4-9-4-9-4	0,2	argons	PVC, 2 kameras	20
39.	4-12-4-12-4	0,1	kriptons	PVC, 3 kameras	30
40.	4-6-4-6-4	0,05	gaiss	koka ² , 50 mm	20

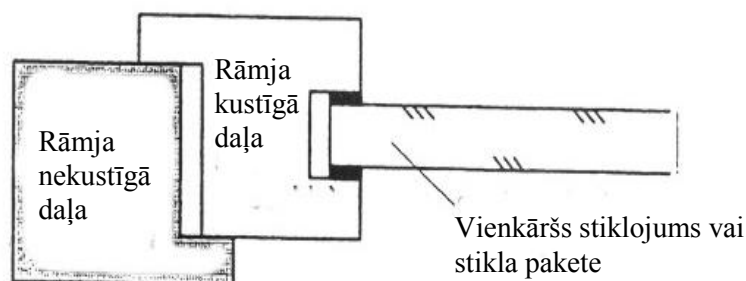
¹ stikla biezums ir 4 mm, atstarpe starp stikliem ir mainīga.² koka rāmjiem – blīvums 700 kg/m³.

Lai saglabātu indeksāciju atbilstoši Latvijā adaptētā Eiropas standarta tekstam, turpmāk paskaidrojumos tiks izmantoti tikai termini – logs, rāmis, stiklojums un panelis, neizdalot loga konstrukcijā vērtņi.

Logi standartā tiek iedalīti logos ar vienu rāmi, kurā var būt vienkāršs stiklojums vai stikla pakete; dubultlogos, kas sastāv no diviem logiem ar vienu rāmi; logos ar savietotiem rāmjiem.

Logs ar vienu rāmi

Logā ar vienu rāmi var būt viena stikla kārtā vai stikla pakete ar diviem vai trīs stikliem (13. att).



13. att. Logs ar vienu rāmi

Siltuma caurlaidības koeficients logam ar vienu rāmi:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \psi_g}{A_g + A_f}, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}, \quad (6.1)$$

kur A_g - stiklojuma platība, m²;

A_f - rāmja platība, m²;

U_g - stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);

U_f - rāmja siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);

l_g - lineāra termiskā tilta garums uz rāmja un stiklojuma robežas, m;

ψ_g - lineāra termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficients, W/(m·K).

Lineāra termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficienta lielumi ir doti 16. tabulā. Ja logā ar vienu rāmi ir tikai viens stikls, lineāra termiskā tilta ietekmi aprēķinos neņem vērā.

Lineāra termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficienti ψ , W/(m·K) rāmjiem ar alumīniju vai tērauda atstarpi veidojošo starpliku

Rāmja materiāls	Dubultstiklojums vai trīskāršs stiklojums, stikls bez pārklājumiem, atstarpes aizpildījums gaiss vai gāze	Dubultstiklojums ar zemas emisijas spējas stikliem, vai trīskāršs stiklojums ar diviem zemas emisijas spējas stikliem, atstarpes aizpildījums gaiss vai gāze
Koka vai plastikāta rāmis	0,04	0,06
Metāla rāmis ar termiski izolējošo starpliku	0,06	0,08
Metāla rāmis bez termiski izolējošas starplikas	0	0,02

Ja logā ar vienu rāmi tiek izmantoti arī paneļi no necaurspīdīgiem materiāliem, siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + l_g \psi_g + l_p \psi_p}{A_g + A_f + A_p}, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}, \quad (6.2)$$

kur A_g - stiklojuma platība, m²;

A_f – rāmja platība, m²;

A_p – necaurspīdīgo paneļu platība, m²;

U_g – stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);

U_f – rāmja siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);

U_p – paneļu siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);

l_g – lineāra termiskā tilta garums uz rāmja un stiklojuma, m;

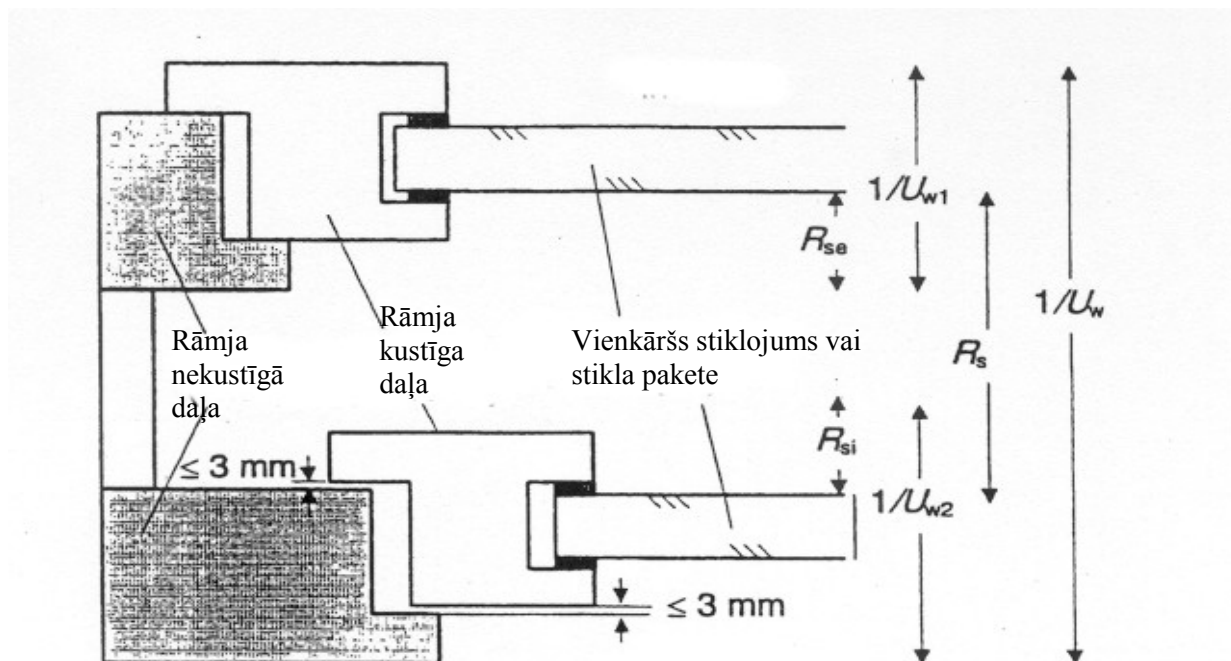
l_p – lineāra termiskā tilta garums uz paneļa un rāmja robežas, m

ψ_g – lineāra termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficients, W/(m·K);

ψ_p – paneļu lineāra termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficients, W/(m·K).

Ja necaurspīdīgo paneļu un rāmja savienojuma vietās ir materiāls ar lielāku siltuma caurlaidību, lineāra termiskā tilta efektu aprēķina tāpat kā stiklojumam; ja tādu materiālu nav – lineāra termiskā tilta efektu aprēķinos neņem vērā.

Dubultlogs ir logs, kas sastāv no diviem atsevišķiem logiem ar vienu rāmi (14. att.). Katrā no šiem logiem var būt vienkāršs stiklojums (logi, kas bija būvēti apmēram līdz 1950. gadam) vai stikla pakete ar diviem vai trīs stikliem.



14. att. Dubultlogs ar diviem rāmjiem

Siltuma caurlaidības koeficients dubultlogam ar atsevišķiem rāmjiem:

$$U_w = \frac{1}{1/U_{w1} - R_{SI} + R_s - R_{SE} + 1/U_{w2}}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \quad (6.3)$$

kur U_{w1} , U_{w2} – atsevišķo logu siltuma caurlaidības koeficients, aprēķināts pēc formulas (6.1) $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$;

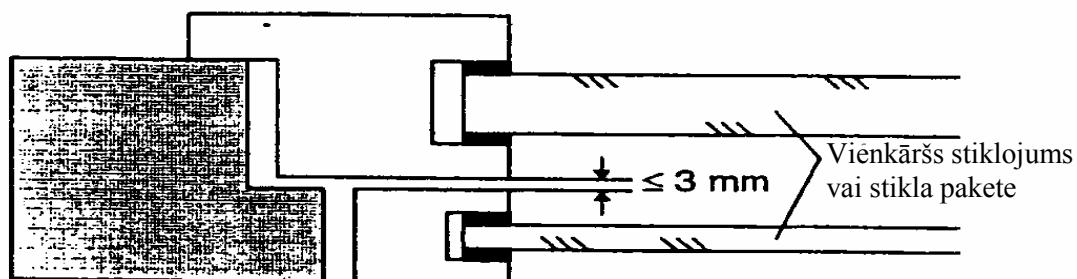
R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;

R_s - termiskā pretestība gaisa vai gāzes slānim starp logu stikliem, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;

R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$.

Logs ar savietotiem rāmjiem

Logs ar savietotiem rāmjiem ir logs, kurā divu logu rāmji ir sastiprināti tā, ka tos var atvērt tikai kopā (15.att.) un atstarpe starp rāmjiem ir mazāka par 3 mm. Katrā rāmī var būt vienkāršs stiklojums (logi, kas bija būvēti apmēram no 1960. gada līdz 1990. gadam) vai stikla pakete ar diviem vai trīs stikliem.



15. att. Dubultlogs ar savietotiem rāmjiem

Loga ar savietotiem rāmjiem siltuma caurlaidības koeficientu nosaka pēc formulas (6.1), bet stiklojuma siltuma caurlaidības koeficientu, kas ir izmantojams formulā (6.1) nosaka:

$$U_g = \frac{1}{1/U_{g1} - R_{SI} + R_s - R_{SE} + 1/U_{g2}}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \quad (6.4)$$

kur U_{g1} , U_{g2} – atsevišķo logu stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients, aprēķināts pēc formulām (6.5; 6.6), $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$;

R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;

R_s - termiskā pretestība gaisa vai gāzes slānim starp logu stikliem, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;

R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$.

Termiskā pretestība gaisa slānim, kas atrodas starp stikliem, dubultlogā vai logā ar savietotiem rāmjiem ir dota 17. tabulā.

7. pielikumā ir doti stiklojuma siltuma caurlaidības koeficienti U_g , $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$ stikla paketēm ar divām vai trim stikla kārtām, stikla pārklājumiem ar dažādu emisijas spēju un dažādu starpstiklu aizpildījumu.

Termiskā pretestība R_S , $m^2 \cdot K/W$ gaisa slānim, kas atrodas starp stikliem
dubultlogā vai logā ar savietotiem rāmjiem

gaisa slāņa biezums, mm	Stikla vienai pusei ir pārklājums ar emisijas spēju				Abas stikla puses bez pārklājuma
	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,190	0,163	0,132	0,127
9	0,298	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,376	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,446	0,363	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,335	0,260	0,189	0,179
100	0,376	0,315	0,247	0,182	0,173
300	0,333	0,284	0,228	0,171	0,163

Vienkāršs stiklojums

Vienkārša stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_g = \frac{1}{R_{SE} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{SI}}, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}, \quad (6.5)$$

kur R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $m^2 \cdot K/W$;

d_j - materiāla biezums, m;

λ_j - materiāla siltumvadītspējas koeficients, $W/(m \cdot K)$ (ja nav datu, pieņem $1,0 W/(m \cdot K)$);

R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $m^2 \cdot K/W$.

Divkāršs un trīskāršs stiklojums

Vairāku kārtu stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_g = \frac{1}{R_{SE} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{s,j} + R_{SI}}, \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}, \quad (6.6)$$

kur R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $m^2 \cdot K/W$;

d_j - materiāla biezums, m;

λ_j - materiāla siltumvadītspējas koeficients, $W/(m \cdot K)$ (ja nav datu, pieņem $1,0 W/(m \cdot K)$);

$R_{s,j}$ - termiskā pretestība gaisa vai gāzes slānim, kas atrodas starp logu stikliem, $m^2 \cdot K/W$;

R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība (6.tabula), $m^2 \cdot K/W$.

Rāmji

Rāmju siltuma caurlaidības koeficientu logu ražotājs izmēra akreditētā laboratorijā, ja tādu datu nav, var izmantot 8. - 10. pielikuma datus.

No siltumtehnikā viedokļa labāki ir koka rāmji (8. pielikums), kam siltuma caurlaidības koeficienti atkarībā no rāmja biezuma un koka blīvuma ir no 1,0 W/(m²·K) līdz 2,7 W/(m²·K).

Metāla rāmjiem bez termiski izolējošas atstarpes $U_f=5,9$ W/(m²·K), ar termisko atstarpi rāmju siltuma caurlaidības koeficienti (9. pielikums) atkarībā no rāmja biezuma svārstās no 1,9 līdz 4,0 W/(m²·K).

Plastikāta rāmjiem ar metāla karkasu (10.pielikums) siltuma caurlaidības koeficienti ir sekojošie:

- poliuretāna (PUR) rāmis ar metāla karkasu (PUR biezums > 5mm) $U_f=2,8$ W/(m²·K);
- polihlorvinīla (PVC) rāmis ar divām tukšām kamerām $U_f=2,2$ W/(m²·K);
- PVC rāmis ar trim tukšām kamerām $U_f=2,0$ W/(m²·K).

Logi ar aizvērtiem slēģiem

Slēģi logu ārpusē veido papildus termisko pretestību pateicoties gaisa slānim starp stiklu un slēģi un paša slēģa konstrukcijai.

Loga ar aizvērtiem slēģiem siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_{ws} = \frac{1}{1/U_w + \Delta R}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \quad (6.7)$$

kur U_w - loga siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);

ΔR - slēģa un gaisa slāņa papildus termiskā pretestība, m²·K/W.

Slēģa un gaisa slāņa papildus termiskā pretestība tiek noteikta saskaņā ar sekojošām formulām.

Slēģiem ar ļoti lielu gaisa caurlaidību:

$$\Delta R=0,08 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}. \quad (6.8)$$

Slēģiem ar lielu gaisa caurlaidību:

$$\Delta R=0,25 R_{sh}+ 0,09 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}. \quad (6.9)$$

Slēģiem ar vidēju gaisa caurlaidību (piemēram, cieta materiāla sānu slēģi, koka Venēcijas slēģi ar labu dēlīšu pārklājumu, koka, metāla vai plastikāta sarullējamie slēģi:

$$\Delta R=0,55 R_{sh}+ 0,11 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}. \quad (6.10)$$

Slēģiem ar mazu gaisa caurlaidību:

$$\Delta R = 0,80 R_{sh} + 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}. \quad (6.11)$$

Blīviem (gaisa necaurlaidīgiem) slēģiem:

$$\Delta R = 0,95 R_{sh} + 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (6.12)$$

kur R_{sh} – slēģa termiskā pretestība, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Formulas (6.8) - (6.12) ir spēkā, ja slēģa termiskā pretestība $R_{sh} < 0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Ja nav izmērīto vai aprēķināto datu par slēģa termisko pretestību var izmantot aptuvenos datus no 18.tabulas.

Iekšējām vai ārējām žalūzijām jāizmanto formulas (6.8) - (6.12) ar $R_{sh} = 0$.

18. tabula

Slēģu papildus termiskā pretestība

Slēģu veids	Slēģa tipiskā termiskā pretestība, R_{sh} , $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	Slēģa papildus termiskā pretestība pie noteiktas gaisa caurlaidības*, ΔR , $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$		
		augsta gaisa caurlaidība	vidēja gaisa caurlaidība	zema gaisa caurlaidība
Rullējamie alumīnija slēģi	0,01	0,09	0,12	0,15
Rullējamie slēģi no koka vai plastikāta bez putu pildījuma	0,10	0,12	0,16	0,22
Rullējamie slēģi no plastikāta ar putu pildījumu	0,15	0,13	0,19	0,26
Koka slēģi ar koka biežumu 25-30 mm	0,20	0,14	0,22	0,30

*gaisa caurlaidības definējums ir dots 19. tabulā.

Slēģu gaisa caurlaidība tiek izteikta ar kopējo efektīvo gaisa spraugu:

$$b_{sh} = b_1 + b_2 + b_3, \text{ mm}, \quad (7.13)$$

kur b_1 - gaisa spraugas starp slēģi un palodzi vidējais izmērs, mm;

b_2 - gaisa spraugas starp slēģa augšdaļu un norobežojošo konstrukciju vidējais izmērs, mm;

b_3 - gaisa spraugas starp slēģi un norobežojošo konstrukciju vienā no slēģa sāniem vidējais izmērs (gaisa caurlaidību vairāk ietekmē gaisa spraugas no augšas un apakšas, tāpēc no sāniem ņem tikai vienas sānu spraugas izmēru), mm.

Slēgu gaisa caurlaidības klases atkarībā no efektīvās gaisa spraugas izmēra

Klase	Gaisa caurlaidība	b_{sh} , mm
1	Ļoti liela	$b_{sh} > 35$
2	Liela	$15 \leq b_{sh} < 35$
3	Vidēja	$8 \leq b_{sh} < 15$
4	Zema	$b_{sh} \leq 8$
5	Necaurlaidīgs	$b_{sh} \leq 3$ un $b_1 + b_3 = 0$ vai $b_2 + b_3 = 0$

Piezīmes pie 19. tabulas:

- 2. klasei un augstāk slēga struktūrā nedrīkst būt atvērumi gaisam;
- 5. klasei jāatbilst sekojošiem kritērijiem:

a) rullējamiem slēgiem sānu un apakšēja gaisa sprauga tiek uzskatīta par 0, ja virzienrāmis ir aprīkots ar blīvēm; augšējā gaisa sprauga tiek uzskatīta par 0, ja slēga kārba ir aprīkota ar blīvi plāksnes vai slotas veidā, vai ja slēga materiāls ar speciālu ierīci ir cieši piespiests pie blīves slēgu kārbas iekšpusē;

b) citiem slēgiem gaisa sprauga tiek uzskatīta par 0, ja trīs puses ir aprīkotas ar blīvēm un ceturtajā pusē gaisa sprauga ir mazāka par 3 mm.

Durvis

Ja durvju konstrukcija ir līdzīga logu konstrukcijai, to siltuma caurlaidības koeficientu nosaka tāpat, ka logu siltuma caurlaidības koeficientus, izmantojot formulas (6.1) un (6.2).

Darba izpildes secība:

- 1) nosaka rāmja siltuma caurlaidības koeficientu U_f , $W/(m^2 \cdot K)$;
- 2) nosaka stiklojuma siltuma caurlaidības koeficientu U_g , $W/(m^2 \cdot K)$;
- 3) zinot rāmja īpatsvaru un stiklojuma un rāmja siltuma caurlaidības koeficientus, nosaka loga siltuma caurlaidības koeficientu U_w , $W/(m^2 \cdot K)$;
- 4) salīdzina loga siltuma caurlaidības koeficientu ar LBN 002-01 normatīvām prasībām dzīvojamām ēkām;
- 5) ja aprēķinātais loga siltuma caurlaidības koeficients ir lielāks par dzīvojamo ēku normatīvo siltuma caurlaidības koeficientu, tad atstājot esošo rāmja konstrukciju, jāpiemeklē tāds stiklojuma veids, lai loga siltuma caurlaidības koeficients atbilstu LBN 002-01 normatīvām prasībām.

Aprēķina piemērs

Loga rāmis ir poliuretāna ar metāla karkasu. Stiklojums divkārsšs, 4-6-4, stikla emisijas spēja 0,89, aizpildījums- gaiss. Noteikt loga siltuma caurlaidības koeficientu, ja loga rāmja īpatsvars ir 20%. Kādu stiklojuma veidu ir jāizvēlas, lai logs atbilstu LBN 002-01 publisko ēku siltuma caurlaidības koeficienta normatīvam līmenim.

Rāmja siltuma caurlaidības koeficients (10. pielikums) $U_f=2,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients (7. pielikums) $U_g=3,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Zinot rāmja īpatsvaru un stiklojuma un rāmja siltuma caurlaidības koeficientus, loga siltuma caurlaidības koeficientu, izmantojot 11. pielikuma tabulu atrodam $U_w=3,35 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Loga siltuma caurlaidības koeficients ir lielāks par LBN 002-01 normatīvām publiskām ēkām prasīto $U_{RN}=2,2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Lai nodrošinātu loga ar tādu pašu rāmi, kam ir $U_f=2,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, siltuma caurlaidības koeficientu $U_w=2,2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, stiklojuma siltuma caurlaidības koeficientam ir jābūt $U_g=1,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Pēc 7. pielikuma tabulas izvēlēties kādu no stiklojuma veidiem, kam siltuma caurlaidības koeficients ir $U_g=1,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$:

- stiklojums divkārsšs, 4-6-4, stikla emisijas spēja 0,1, aizpildījums- kriptons,

$U_g=1,7 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$;

- stiklojums divkārsšs, 4-6-4, stikla emisijas spēja 0,05, kriptons, $U_g=1,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Mainot atstarpi starp stikliem rāmī varētu izvēlēties arī tādus variantus:

- stiklojums divkārsšs, 4-15-4, stikla emisijas spēja 0,2, aizpildījums- gaiss, $U_g=1,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$;

- stiklojums divkārsšs, 4-20-4, stikla emisijas spēja 0,2, aizpildījums- gaiss, $U_g=1,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$;

- stiklojums divkārsšs, 4-12-4, stikla emisijas spēja 0,1, aizpildījums- gaiss, $U_g=1,7 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

7. Praktiskais darbs Nr.7.

Metāla konstrukcijas aprēķins ar programmu *Kobra*

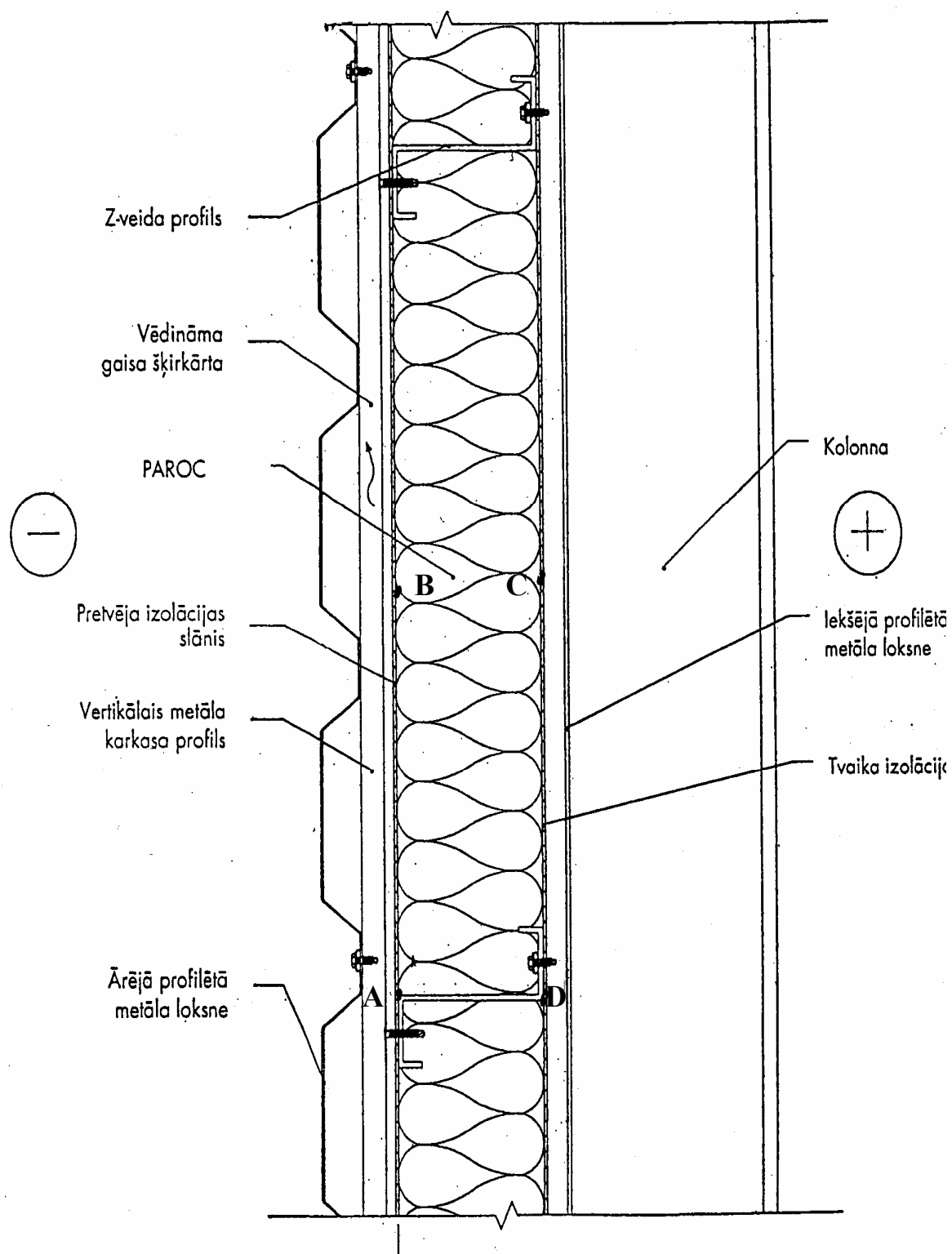
Darba uzdevums:

Noteikt metāla karkasa sienas (16.att) siltuma caurlaidības koeficientu. Noteikt temperatūru punktos A,B,C,D. Variantu dati ir doti 20. tabulā. Karkass ir no tērauda ar $\lambda=75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Konstrukcijas sienas ir no profilētas metāla loksnes ar biezumu $d=0,5 \text{ mm}$, $\lambda=75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Siltumizolācijas materiāls PAROC UNS38, $\lambda_{cl}=0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Pretvēja izolācija variantu pāru numuriem- pretvēja plēve, nepāru numuriem – pretvēja plāksne PAROC WAB5t, $d=0,013 \text{ m}$, $\lambda_{cl}=0,033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Ārējā gaisa temperatūra $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, iekšējā gaisa temperatūra $+18 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

20. tabula

Metāla karkasa konstrukcijas parametri

Var. Nr.	Siltumizolācijas biezums, m	Z profila		Var. Nr.	Siltumizolācijas biezums, mm	Z profila	
		solis, mm	biezums, mm			solis, mm	biezums, mm
1	0,050	600	2,0	21	0,125	1200	2,0
2	0,070	900	2,0	22	0,150	600	2,0
3	0,075	1200	2,5	23	0,175	900	2,5
4	0,100	600	2,5	24	0,200	1200	2,5
5	0,125	900	2,0	25	0,050	600	2,0
6	0,150	1200	2,0	26	0,070	900	2,0
7	0,175	600	2,5	27	0,075	1200	2,5
8	0,200	900	2,5	28	0,100	600	2,5
9	0,050	1200	2,0	29	0,125	900	2,0
10	0,070	600	2,0	30	0,150	1200	2,0
11	0,075	900	2,5	31	0,175	600	2,5
12	0,100	1200	2,5	32	0,200	900	2,5
13	0,125	600	2,0	33	0,050	1200	2,0
14	0,150	900	2,0	34	0,070	600	2,0
15	0,175	1200	2,5	35	0,075	900	2,5
16	0,200	600	2,5	36	0,100	1200	2,5
17	0,050	900	2,0	37	0,125	600	2,0
18	0,070	1200	2,0	38	0,150	900	2,0
19	0,075	600	2,5	39	0,175	1200	2,5
20	0,100	900	2,5	40	0,200	600	2,5



16.att. Metāla karkasa siena

Norādījumi darba izpildei

16. attēlā parādītā siena ir konstrukcija ar izteiktiem termiskiem tiltiem Z profilu un kolonnas savienojuma vietās.

Termiskais tilts- ēkas daļa, kur viendabīgo norobežojošo konstrukciju termisko pretestību jūtami izmaina sekojošie faktori:

- norobežojošo konstrukciju vai to daļu šķērso materiāli ar atšķirīgu siltumvadītspēju un/vai
- izmainās materiāla biezums un/vai
- ir starpība starp būvelementa ārējiem un iekšējiem izmēriem, kā tas ir, piemēram, sienu/griestu/grīdas savienojuma vietas.

Termiskā tilta zonās veidojas divdimensiju un trīsdimensiju siltuma plūsmas. Termiskie tilti ir praktiski visās konstrukcijās. Konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem arī ir konstrukcijas ar termiskiem tiltiem. Ja konstrukcijas pamatmateriālu un izolācijas siltumvadītspēju koeficientu starpība ir ne pārāk liela, konstrukcijas termisko pretestību var atrast tā, kā tas bija parādīts 5. praktiskajā darbā, vai arī apskatīt slāni ar termisko tiltu kā kvazihomogēno slāni. Konstrukcijas, kas sastāv no ar metāla profiliem savienotām metāla plāksnēm, nepieder pie augstāk minētām grupām. To aprēķinu nevar veikt ar manuālām metodēm, un obligāti jāizmanto aprēķina datorprogrammas.

Programma *Kobra* dod iespēju aprēķināt konstrukcijas ar divdimensiju siltuma plūsmām (karkass vienā virzienā). Programma ir veidota DOS vidē.

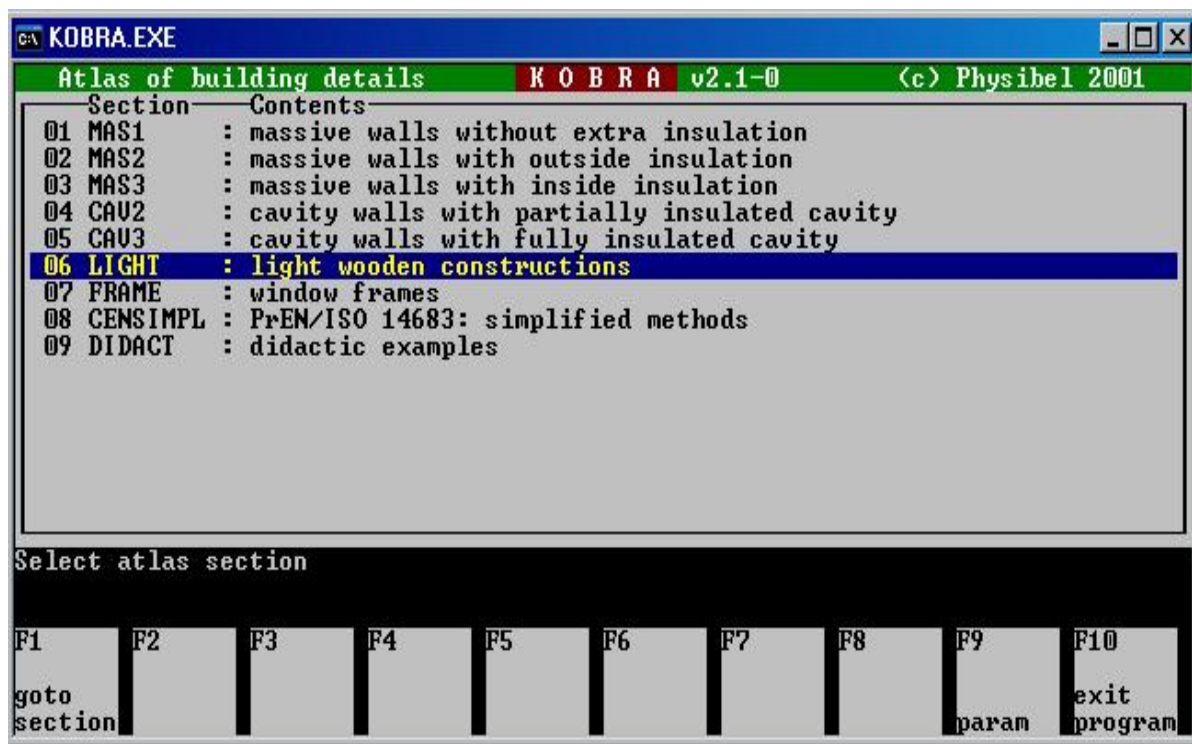
Ieejot programmā atveras iespējamo konstrukciju saraksts (17. att.), no kura ir jāizvēlas piemēroto konstrukciju tipu. Sarakstā nav metāla konstrukciju, tāpēc vistuvākais varētu būt vieglās koka konstrukcijas, jo tās arī ir karkasa konstrukcijas.

Izvēloties vieglās koka konstrukcijas parādās atsevišķu ēkas elementu saraksts (18. att.), kas ir veidoti kā vieglās koka konstrukcijas. Šeit jāizvēlas sienas horizontālo griezumam. Tālāk parādīsies sienu konstrukcijas (18.att), no kurām jāizvēlas pēc struktūras piemēroto sienas konstrukciju.

Ieejot kādā no sienas konstrukcijām monitora kreisajā pusē parādīsies detalizēts sienas zīmējums, bet labajā pusē ir redzama aprēķina rezultātu tabula, kas sastāv no trim sekcijām (20.att) .

Rezultātu tabulas pirmajā sekcijā ir dotas iekšējās un ārējās temperatūras, pie kurām bija veikts aprēķins, kā arī iekšējās virsmas termiskā pretestība un siltuma apguves koeficients $h_i = 1/R_{Si}$, $W/(m^2 \cdot K)$. Sienām ārējās virsmas siltuma atdeves koeficients atbilst LBN 002-01

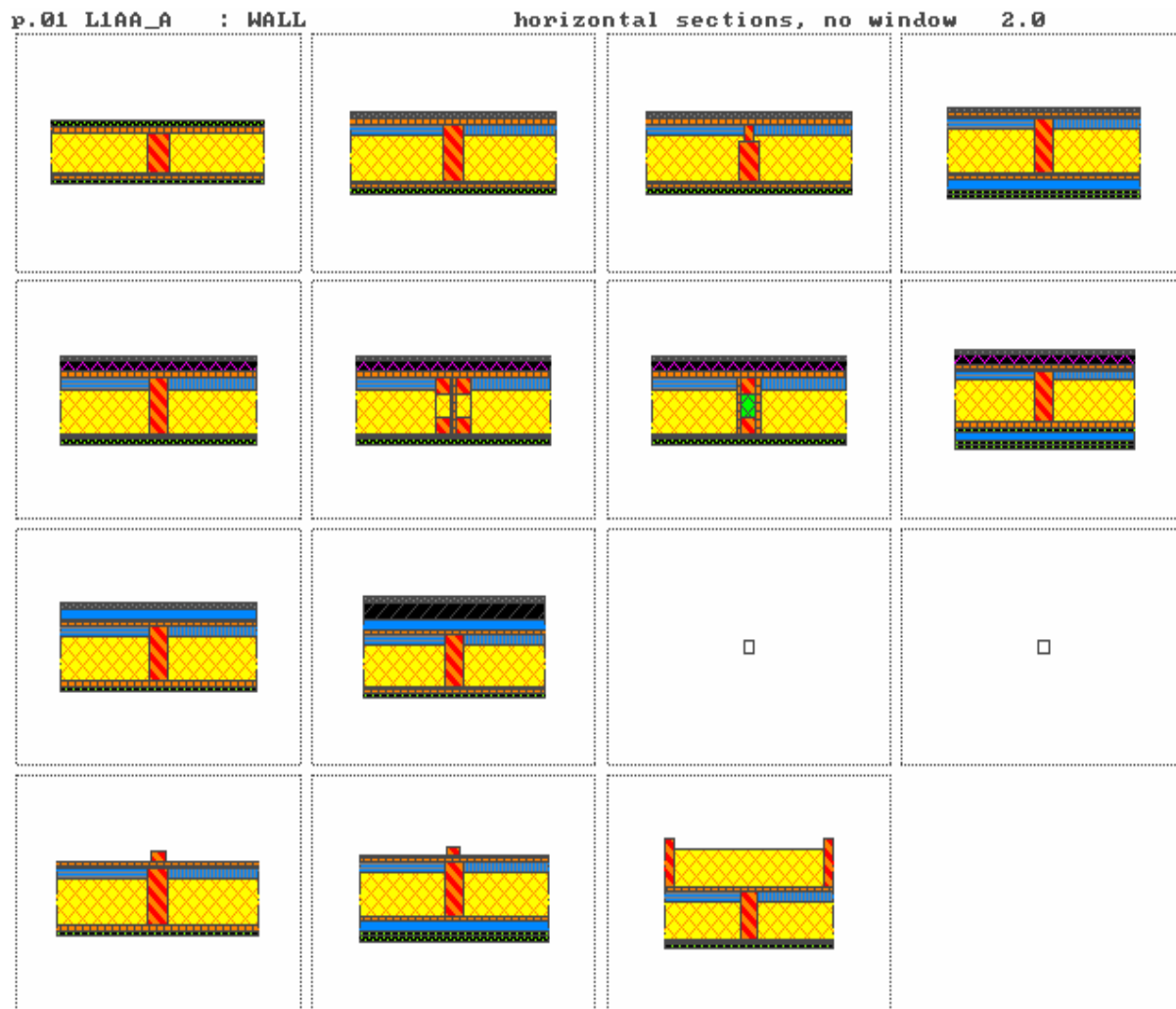
prasībām, bet iekšējās virsmas siltuma apguves koeficients neatbilst $R_{Si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ un to vajadzēs nomainīt ievadot $h_i = 7,69 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.



17. att. Konstruciju saraksts programmā *Kobra*



18. att. Ēku elementu saraksts



19. att. Sienu konstruktīvie risinājumi

Rezultātu tabulas otrā sekcijā ir dots kondensācijas riska novērtējums. Tas balstās uz temperatūras faktora f_{Rsi} aprēķinu punktos K un O. Programmas aprēķināto temperatūras faktoru ir jāsalīdzina ar $f_{Rsi,max}$ (4. tabula un praktiskais darbs Nr.2). Kondensācijas risks nepastāv ja $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$. Rezultātu tabulā kondensācijas risks ir novērtēts Beļģijas apstākļiem, Latvijā rezultāti var būt savādāki, tāpēc ir jāveic koeficientu salīdzināšanu.

Rezultātu tabulas trešajā daļā ir dots siltuma zudumu un siltuma caurlaidības koeficientu novērtējums. Tas iekļauj sevī:

1) virsmas siltuma apguves koeficientu, kas nepieciešamības gadījumā ir jāņem vērā izmantojot <F2> (edit data) un pēc tam <F6> (boundary conditions);

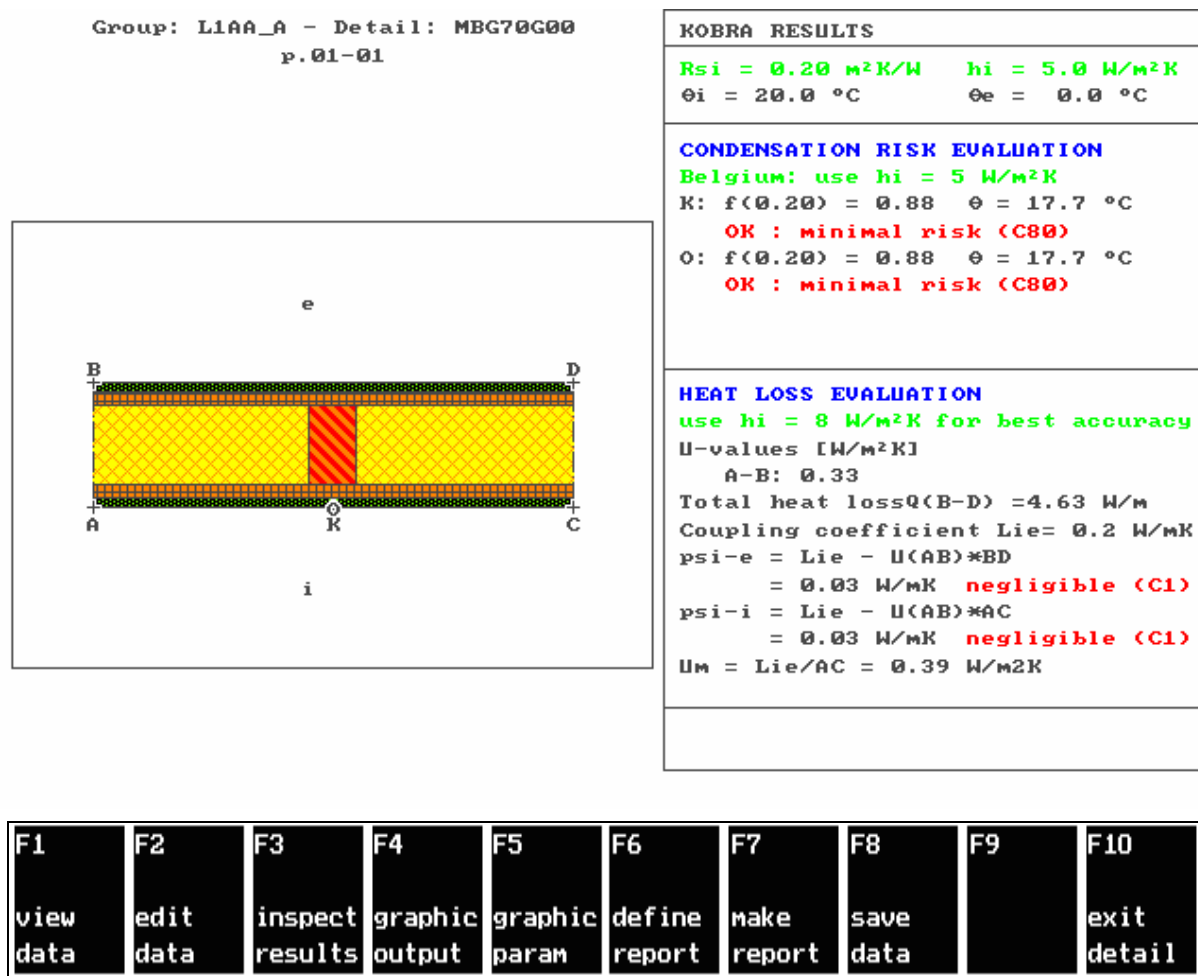
2) konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientu U , $W/(m^2 \cdot K)$, griezumā, kur nav termiskā tilta;

3) kopējo siltuma plūsmu caur elementu Q , W/m , (izskatot konstrukcijas elementam perpendikularo 1 m);

4) pilno termiskās mijiedarbības koeficientu L_{ie} , $W/(m \cdot K)$;

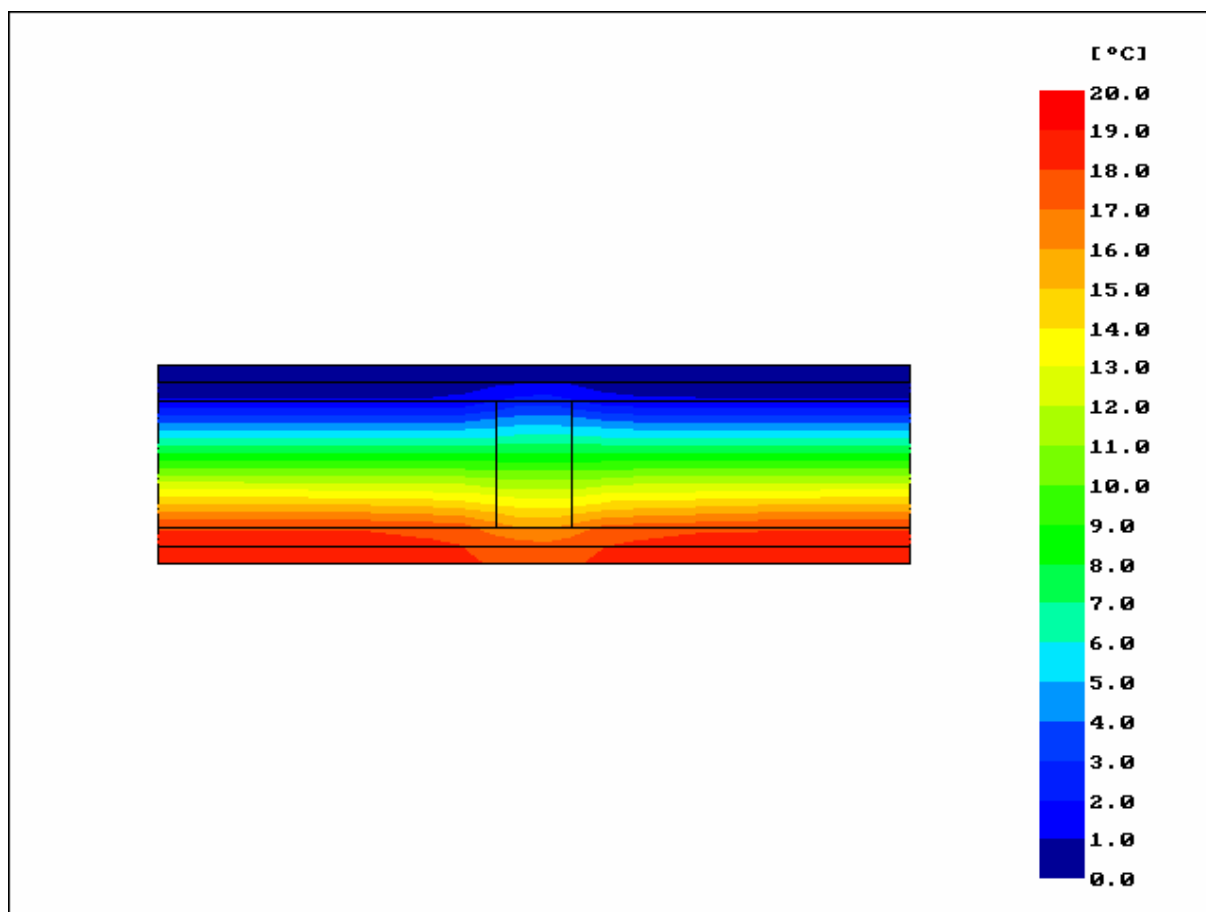
5) lineārus siltuma caurlaidības koeficientus U psi-i un psi-e, $W/(m \cdot K)$, kurus izmanto kā papildinājumu viendimensiju aprēķinā aprēķinātam konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientam (ja viendimensiju aprēķinā izmanto konstrukcijas iekšējos izmērus, jāizmanto psi-i lielumus, ja ārējos - psi-e);

6) vidējo elementa siltuma caurlaidības koeficientu U_m , $W/(m^2 \cdot K)$, ņemot vērā termiskā tilta ietekmi, šo koeficientu jāizmanto, ja konstrukcijā termiskie tilti atkārtojas pēc kāda noteikta attāluma un elementa garums ir vienāds ar šo attālumu.



20.att. Konstrukcijas aprēķina rezultāti

Nospiežot <F4> (graphic output) var apskatīt temperatūras sadalījumu konstrukcijā (21.att.).



21. att. Temperatūras sadalījums konstrukcijā

Programmā ir iedota standarta temperatūras skala no 0 °C līdz 20 °C. Ja aprēķins tiek veikts pie citas ārējā gaisa temperatūras <F5> (graphic param) jānomaina skalas zemāko robežu, ievadot, piemēram, -20 °C (22.att.).

Ja ir nepieciešama precīza informācija par temperatūras sadalījumu, piemēram, kondensācijas konstrukcijā novērtējumam, jāizmanto <F3> (inspect results). Pievadot kursoru kādā noteiktā vietā, labās puses lejas daļā var redzēt temperatūru šajā punktā (23.att.)

GRAPHIC PARAMETERS	
Fill temperatures	ON
Colour bar	ON
Isothermal lines	OFF
Heat flow lines	ON
Min. temperature	0.0 °C
Max. temperature	20.0 °C
Temp. increment	1.0 °C
Second temp. incr.	5.0 °C
Heat flow increment	1.0 W/m

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
									exit param

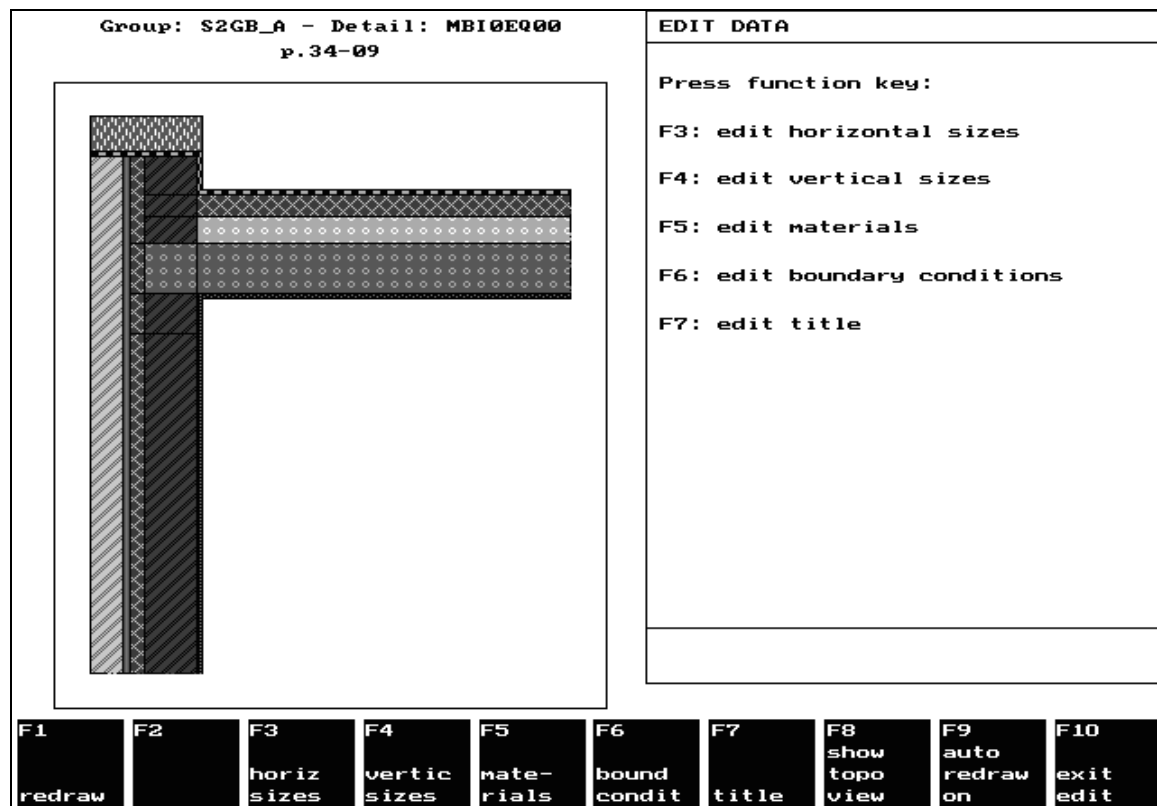
22.att. Grafisko parametru nomaiņas lapa

INSPECT RESULTS	
Group: L1AA_A - Detail: MBG70G00 p.01-01 	Node temperature: 4.6 °C

23. att. Konkrētā punkta temperatūras noteikšana

Aprēķinot konstrukcijas parasti ir nepieciešams mainīt standarta konstrukcijas izmērus, materiālus un citus standarta parametrus. To var izdarīt izmantojot <F2> taustiņu konstrukciju aprēķinu rezultātu lapā (20.att.).

Aktivizējot <F2> taustiņu uz monitora parādīsies jauns F taustiņu izmantošanas atšifrējums (24.att.).



24.att. Parametru rediģēšanas izvēlne

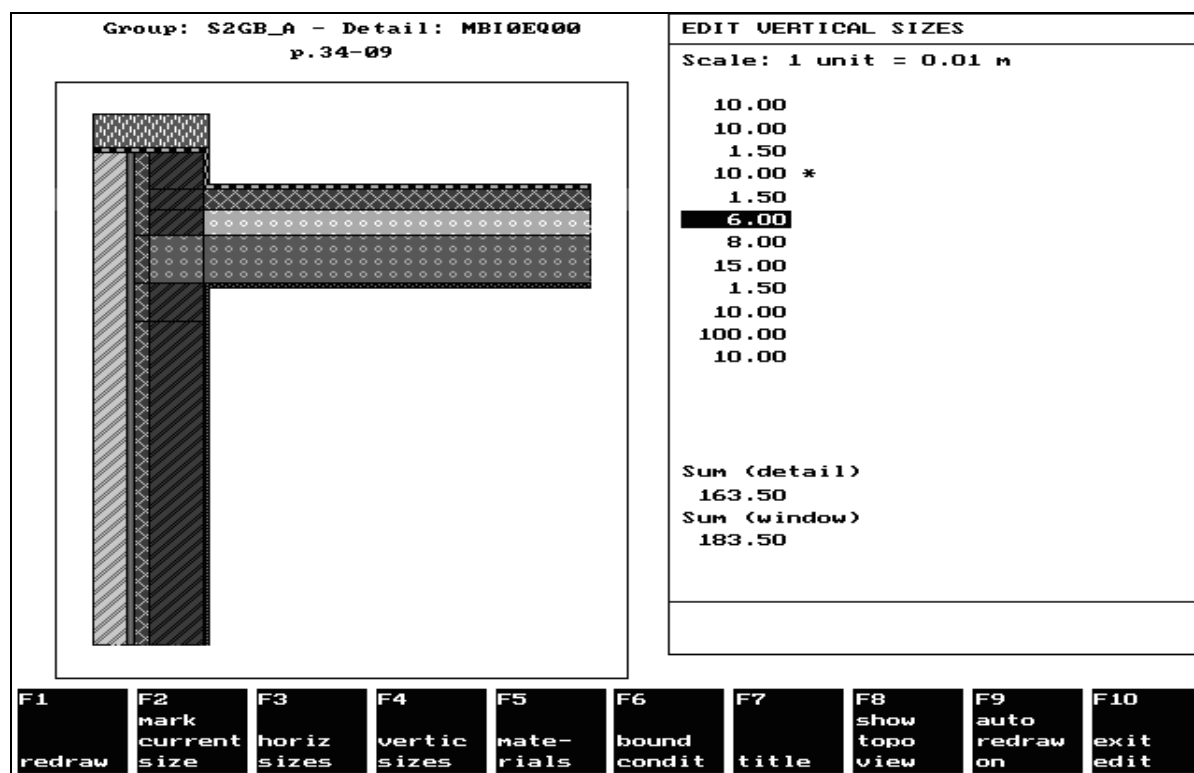
Šajā izvēlnē taustiņu nozīme ir sekojošā:

- <F1> **(Redraw) Pārzīmēt:**
Pēc parametru izmaiņas konstrukcijas attēls parasti pārzīmējas automātiski. Doto taustiņu izmanto tikai tad, kad automātiskā pārzīmēšana ir apturēta aktivizējot <F9> pozīcijā **off**.
- <F2> **(Mark size) Atzīmēt izmēru:**
Taustiņš aktivizējas tikai mainot horizontālus vai vertikālus izmērus (kopā ar <F3> and <F4>). Dod iespēju nofiksēt esošo izmēru. Darbojas sekojoši: mainot izmērus, atzīmētais izmērs automātiski mainās tā, lai konstrukcijas kopējais izmērs būtu nemainīgs.
- <F3> **(Horizontal sizes) Horizontālais izmērs:**
Ļauj mainīt horizontālus izmērus. Izmēru, kuru mēs gribam mainīt, ir jāiezīmē izmantojot bultiņu kursorus. Iezīmētais izmērs konstrukcijas attēlā būs izdalīts ar dzeltenu rāmīti. Jāuzspiež "enter", jāievada jauno izmēru un vēlreiz "enter". Konstrukcijas attēls automātiski mainīs izmērus atbilstoši ievadītajam skaitlim. Izmēru vienība (unit) ir 1 cm. Tāpēc visus izmērus jāpārada centimetros, nevis milimetros vai metros.

<F4>

(Vertical sizes) Vertikālie izmēri:

Darbojas tapāt, ka <F3>. Pirmais un pēdējais izmērs vienmēr ir attālums no bildītes robežas līdz konstrukcijai, šos izmērus nav jāmaina.



25.att. Vertikālo izmēru nomaiņa izmantojot ar <F2> atzīmēto izmēru

<F5>

(Materials) Materiāli:

Ļauj mainīt materiālu parametrus. Materiālus raksturo ar krāsu, nosaukumu un siltumvadītspējas koeficientu, λ , W/(m·K) (26.att). Izmaiņas ir veicamas līdzīgi izmēru nomaiņai: ar bultiņām jāizvēlas maināmo parametru, jāuzspiež "enter", jāievada jauno parametru un vēlreiz "enter".

Materiālu parametru (nosaukuma, krāsu apzīmējuma) nomaiņai var izmantot arī programmas datu bāzi. Lai piekļūtu datu bāzei, materiālu nosaukuma vietā jāiedrukā izsaukuma (!) vai jautājuma (?) zīme. Pēc jautājuma zīmes izvēli būs jāveic no visas materiālu datu bāzes. Pēc izsaukuma zīmes no sākuma būs jāizvēlas materiālu grupa un tikai pēc tam materiāls. Materiālu krāsu apzīmējumu var izvēlēties atsevišķi no saraksta ar 100 apzīmējumiem.

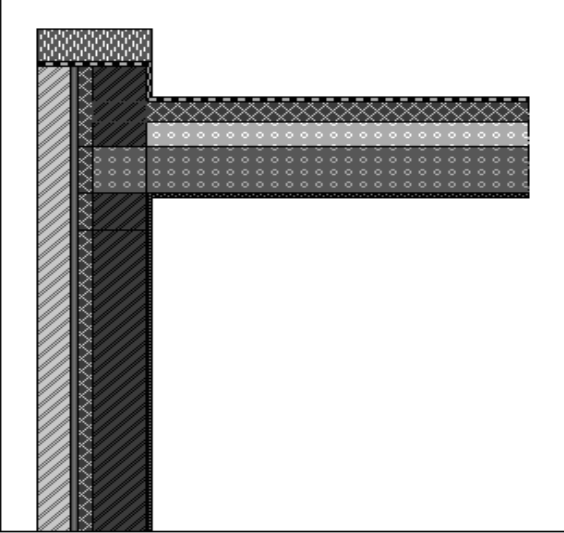
F6>

(Boundary conditions) Ārējie parametri:

Ļauj mainīt ārējos parametrus (27.att.): ārēja un iekšēja gaisa temperatūras, virsmas siltuma apguves un atdeves koeficientus h , W/(m²·K), virsmas siltuma plūsmas intensitāti, W/m² (termisko tiltu aprēķinos parasti pieņem nulles intensitāti).

Latvijā iekšējās virsmas siltuma apguves koeficientu $h=5$ W/(m²·K) ir obligāti jāmaina uz $h_i = 7,69$ W/(m²·K), lai virsmas termiskā pretestība būtu 0,13 m²·K/W. Ārēja gaisa temperatūru bieži ir jānomaina pret apkures aprēķina temperatūru -20 °C, lai droši novērtētu kondensācijas iespēju ziemā.

Group: S2GB_A - Detail: MBI0EQ00
p.34-09



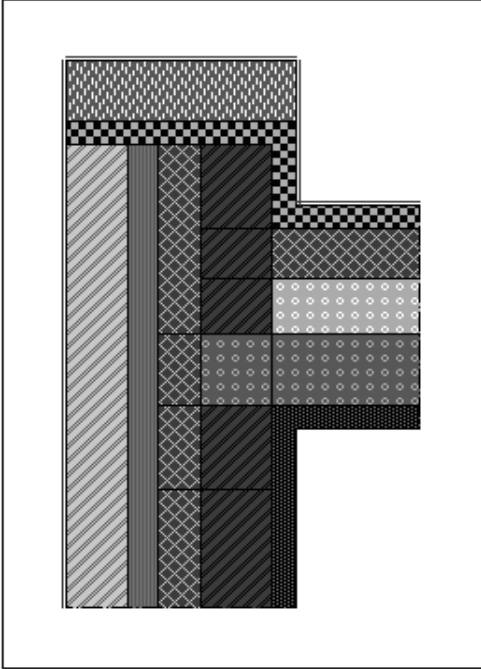
EDIT MATERIALS	
Material	W/mK
stone +-3000	3.500
bitumen felt	0.230
brickwork 2200	0.900
CEN_HF_I	0.116
polyurethane	0.027
polyurethane	0.027
polyurethane	0.027
polyurethane	0.027
brickwork 1400	0.430
brickwork 1400	0.430
brickwork 1400	0.430
brickwork 1400	0.430
brickwork 1400	0.430
polyurethane	0.027
light conc 1600	0.510
reinf concrete	2.200
reinf concrete	2.200
gypsum 1000	0.350

Select material More: PgDn

polyurethane	extruded PS 30	glasswool 20	rockwool 30	expanded PS 15
cork 150	cell glass 130	perlite 170	woodwool(wg) 50	woodwool 400
brickwork 1000	brickwork 1400	brickwork 2200	silicate 1700	cell concr 600
light conc 700	light conc 1200	light conc 1600	concrete 2400	reinf concrete
ins plaster 300	gypsum 1000	lght mortar 800	mortar 1800	clay or silt
sand or gravel	rock	stone +-3000	stone +-2000	plastic

26.att. Materiālu nomaina izmantojot materiālu datu bāzi

Group: S2GB_A - Detail: MBI0EQ00
p.34-09



EDIT BOUNDARY CONDITIONS			
Environment	°C	W/m2K	W/m2
outside	0.0	25.0	0.0
inside	20.0	5.0	0.0

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
redraw		horiz sizes	vertic sizes	mate- rials	bound condit	title	show real view	auto redraw on	exit edit

27.att. Ārējo parametru nomaina

- <F7> (Title) Nosaukums:**
Ļauj nomainīt konstrukcijas nosaukumu, var izmantot arī dažādām piezīmēm, datumiem, etc.
- <F8> (Topo view/real view) Topo izskats/ reāls izskats :**
Ļauj pārslēgt konstrukcijas attēlu no reāla izskata, kas ir dots mērogā, uz topo izskatu, kur arī vismazākie slāņi būs parādīti ar pietiekošu biezumu un būs labi saskatāmi (piem. 27.att. ir dota 26. att. konstrukcija topo izskatā) .
- <F9> (Auto redraw on/off) Auto pārzīmēšanas ieslēgšana/atslēgšana:**
Ļauj aktivizēt vai noņemt automātisko konstrukcijas pārzīmēšanu pēc izmēru un citu parametru izmaiņām. Funkcija var būt lietderīga strādājot ar lēniem datoriem.
- <F10> (Exit edit) Iziēt no rediģēšanas režīma:**
Mainot parametrus nekad nav jāspiež F10, jo F10 aktivizē konstrukcijas pārrēķinu un atsakoties no pārrēķina jau izmainītie dati būs pazaudēti. Tikai tad, kad visi vajadzīgie parametri jau ir izmainīti, jānospiež F10 un uz jautājumu "recalculate?" jāatbild ar "enter". Izmainītā konstrukcija ir pārrēķināta un gatava analīzei.

Aprēķina piemērs

Noteikt metāla karkasa sienas siltuma caurlaidības koeficientu un temperatūru punktos A,B,C,D. Karkass ir no tērauda ar $\lambda = 75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, biezums 2 mm, solis 600 mm. Konstrukcijas sienas ir no profilētas metāla loksnes ar biezumu $d = 0,5 \text{ mm}$, $\lambda = 75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Siltumizolācijas materiāls PAROC UNS38, $\lambda_{cl} = 0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Pretvēja izolācija - pretvēja plēve.

Aprēķinam pielāgojām koka karkasa konstrukciju, kas ir parādīta 19. att. Šajā aprēķinā labi ventilēta gaisa sprauga nebūs ņemta vērā, atstājot zināmu termiskas pretestības rezervi. Konstrukciju var modelēt arī precīzāk ar gaisa spraugām, izmantojot nākošo modeli no 18. att. (otro augšējā rindā).

Mainām 20.att. <F5> grafiskajos parametros minimālo temperatūru uz $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (22.att).

Izvēlamies no 16.att. konstrukcijas tādu izgriezumumu, kur Z veida profils (termiskais tilts) ir pa vidu un kopējais izgriezuma izmērs ir vienāds ar termiskā tilta soli un ir 60 cm.

Mainot horizontālos izmērus, tie būs:

- 10 (attālums līdz konstrukcijas malai - nemainīgs);
- 29,9;
- 0,2;
- 29,9;
- 10 (attālums līdz konstrukcijas malai - nemainīgs).

Mainot vertikālos izmērus, norobežojošas metāla loksnes biezumu ir jāsadala divās daļās, piemēram, 0,2mm un 0,3 mm, jo standarta konstrukcijā ir divi slāņi, bet mūsu konstrukcijā tikai viens.

Vertikālie izmēri pēc nomaiņas būs:

-10 (attālums līdz konstrukcijas malai - nemainīgs);

- 0,02;

-0,03;

- 5;

- 0,02;

- 0,03;

10 (attālums līdz konstrukcijas malai- nemainīgs).

Materiālu nosaukumus var nemainīt, galvenais ir izmainīt siltumvadītspējas koeficientus. Siltumizolācijas $\lambda = 0,038 + 0,001 = 0,039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ sakrīt ar programmas siltumizolācijas parametriem un to nav jāmaina. Visi pārējie materiāli mūsu gadījumā ir metāls ar $\lambda = 75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Ārējie apstākļi: ārējā gaisa temperatūra $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, iekšējā gaisa temperatūra $+18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, iekšējās virsmas siltuma apguves koeficients $h = 5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ir obligāti jāmaina uz $h_i = 7,69 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, lai virsmas termiskā pretestība būtu $0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

Pārrēķinām konstrukciju nospiežot <F10> un pozitīvi atbildot uz jautājumu "recalculate?". Aprēķina rezultāti ir parādīti 28. att. Konstrukcijas kopējais siltuma caurlaidības koeficients $U = 2,32 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ir daudz lielāks par normatīviem un maksimāli pieļaujamiem lielumiem ražošanas ēkām. Konstrukcijā ir nepieļaujami lieli termisko tiltu siltuma caurlaidības koeficienti un ir liels kondensācijas risks.

Termiskā tilta efektu un kondensācijas risku ļoti labi raksturo temperatūras punktos A,B,C,D (29.-32. att..)

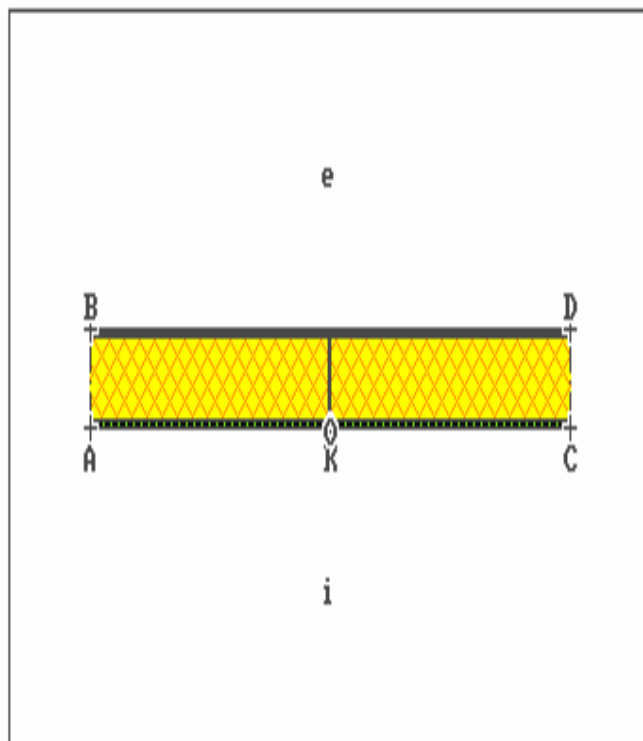
Ja tālu no termiskā tilta iekšējās virsmas temperatūra ir $10,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, tad uz termiskā tilta tā ir tikai $2,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – mazāka par rasas punktu, un šeit noteikti veidosies kondensāts.

Līdzīgu situāciju var vērot arī uz ārējās virsmas. Temperatūra uz termiskā tilta ir $-12,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, bet pa vidu starp termiskiem tiltiem tā ir $-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Konstrukcija tādā veidā nav derīga ekspluatācijai. Lai tā būtu izmantojama ir jāpalielina siltumizolācijas slāņa biezums, vēl labāk ja kopā ar siltumizolācijas slāņa palielināšanu pretvēja plēves vieta būtu izmantota pretvēja izolācija PAROC WAB5t, kas

veidotu nosacīti nepārtrauktu siltumizolācijas slāni un jūtami samazinātu termiskā tilta iespaidu uz konstrukcijas termisko režīmu.

Group: L1AA_A - Detail: MBG70G00
p.01-01



KOBRA RESULTS

$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ $h_i = 7.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\theta_i = 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ $\theta_e = -20.0 \text{ }^\circ\text{C}$

CONDENSATION RISK EVALUATION

Belgium: use $h_i = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$

K: $f(0.13) = 0.57$ $\theta = 2.9 \text{ }^\circ\text{C}$

not OK : high risk (C00)

Q: $f(0.13) = 0.57$ $\theta = 2.9 \text{ }^\circ\text{C}$

not OK : high risk (C00)

HEAT LOSS EVALUATION

use $h_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$ for best accuracy

U-values [$\text{W/m}^2\text{K}$]

A-B: 0.69

Total heat loss $Q(B-D) = 55.75 \text{ W/m}$

Coupling coefficient $L_{ie} = 1.4 \text{ W/mK}$

$\psi_{i-e} = L_{ie} - U(AB) \cdot BD$

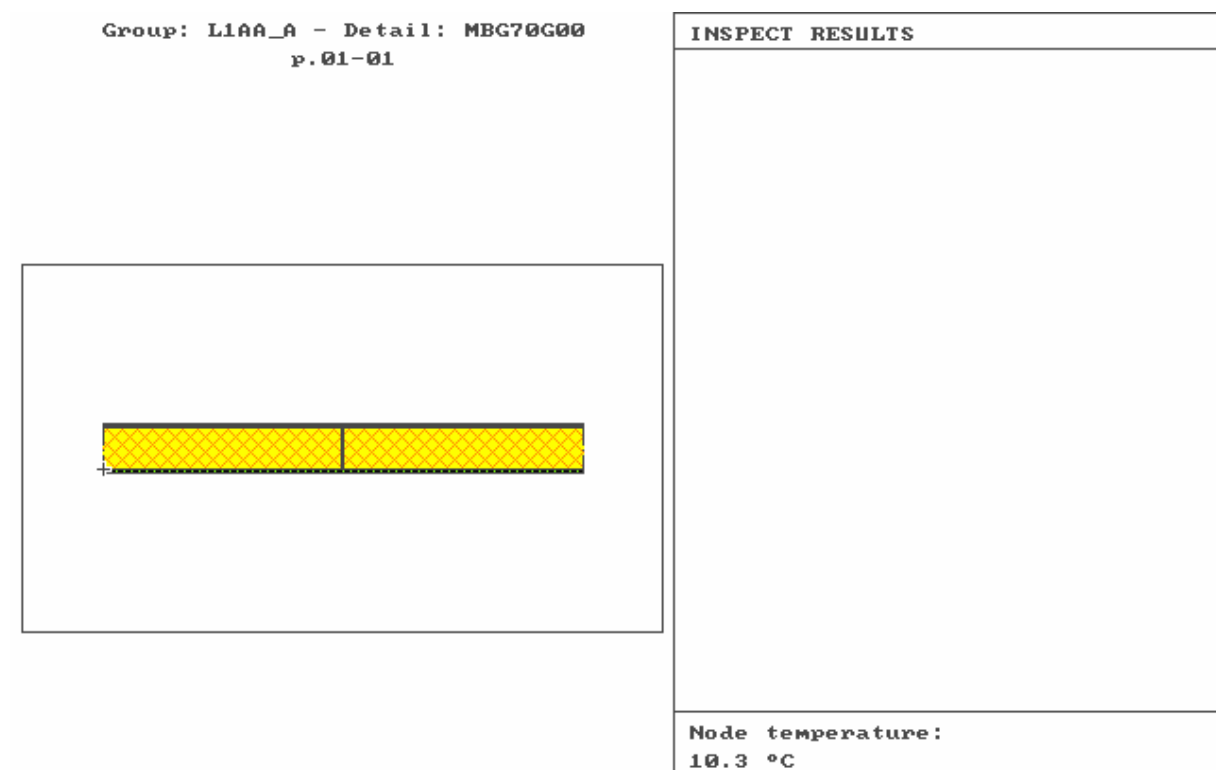
$= 0.98 \text{ W/mK}$ very high (C4)

$\psi_{i-i} = L_{ie} - U(AB) \cdot AC$

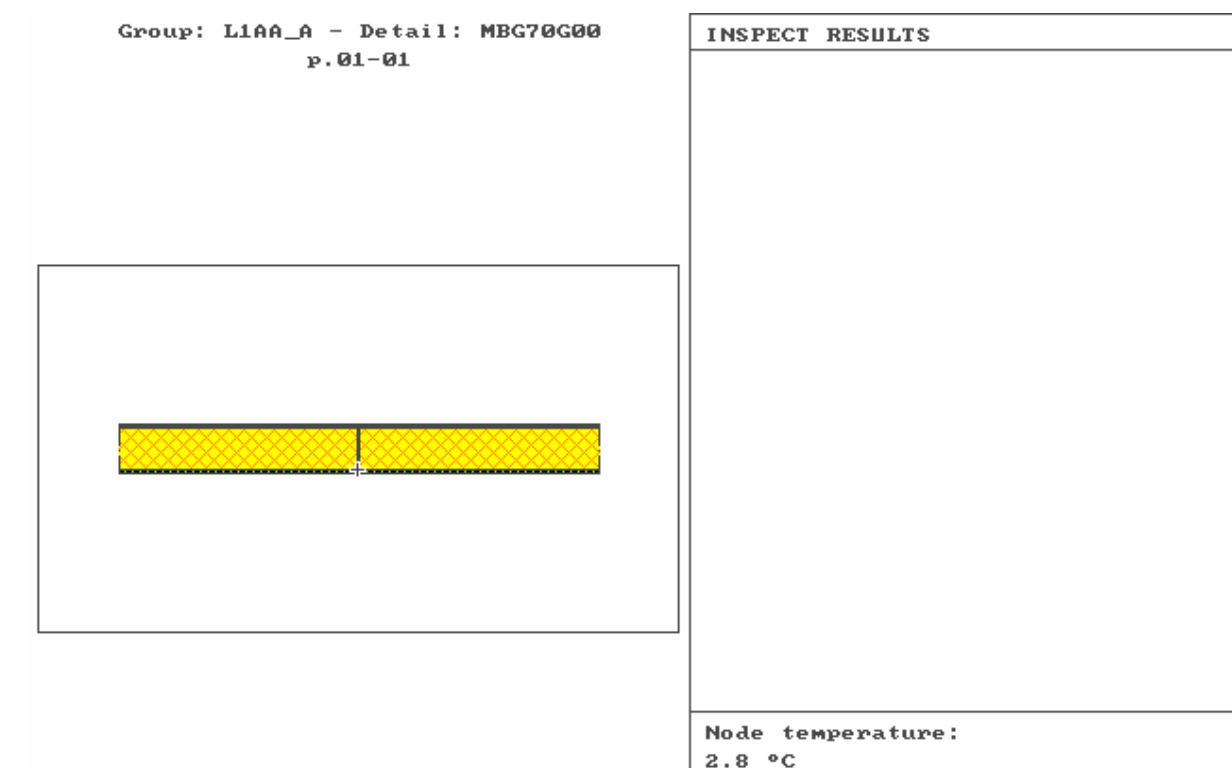
$= 0.98 \text{ W/mK}$ very high (C4)

$U_m = L_{ie}/AC = 2.32 \text{ W/m}^2\text{K}$

28.att. Metāla konstrukcijas aprēķina rezultāti

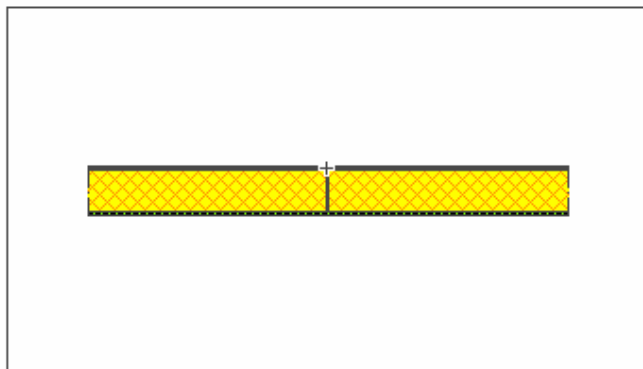


29.att. Iekšējās virsmas temperatūra pa vidu starp termiskiem tiltiem



30.att. Iekšējās virsmas temperatūra uz termiskā tilta

Group: L1AA_A - Detail: MBG70G00
p.01-01

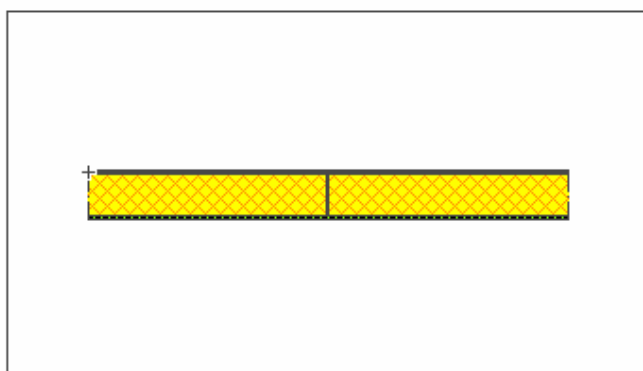


INSPECT RESULTS

Node temperature:
-12.1 °C

31.att. Ārējās virsmas temperatūra uz termiskā tilta

Group: L1AA_A - Detail: MBG70G00
p.01-01



INSPECT RESULTS

Node temperature:
-18.0 °C

32. att. Ārējās virsmas temperatūra pa vidu starp termiskiem tiltiem

Ieteicamās literatūras saraksts

1. Akmens P., Krēsliņš A. Ēku apkure un ventilācija, I. Daļa. -Rīga: "Zvaigzne ABC", 1995.- 166 lpp.
2. Belindževa-Korkla O. Norobežozošo konstrukciju siltumtehnikas aprēķini. Metodiskie norādījumi LBN 002-01 izmantošanai. -Rīga: RTU, 2002. – 168 lpp.
3. Belindževa-Korkla O. Virsmas temperatūras, kas nodrošina konstrukciju drošu ekspluatāciju, noteikšana saskaņā ar EN ISO 13788. - RTU Zinātniskie raksti, sēr. 2 „Arhitektūra un būvzinātne”, sēj. 3, Rīga, 2002. – lpp. 95.-105.
4. Belindževa-Korkla O., Borodņecs A. Mitruma režīms koka karkasa konstrukcijās. - RTU Zinātniskie raksti, sēr. 2 „Arhitektūra un būvzinātne”, sēj. 4, Rīga, 2003. – lpp. 90.-96.
5. LBN 002-01 “Ēku norobežozošo konstrukciju siltumtehnika”
6. LBN 003-01 "Būvklimateoloģija”
7. EN ISO 6946 “Building components and building elements –Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method”,1996. - 29 p.
- 8.EN ISO 10077-1 "Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: Simplified methods",2000. - 31 p.
9. EN ISO 10211-1 “Thermal bridges in building constructions- Heat flows and surface temperatures - Part 1: General calculation methods”, 1995. - 55 p.
10. EN ISO 10211-2 “Thermal bridges in building constructions - Heat flows and surface temperatures - Part 2: Linear thermal bridges”,2001. - 15 p.
11. EN ISO 13370 “Building components and building elements –Heat transfer via ground– Calculation method”, 1998. - 50 p.
12. EN ISO 13788 “Hydrothermal performance of building components and building Elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial Condensation - Calculation methods”, 2001. - 25 p.
13. EN ISO 13789 “Thermal performance of buildings – Transmission heat loss coefficient – Calculation method”, 1999. - 10 p.
- 14.EN ISO 14683 “Thermal bridges in building constructions - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values”, 1999. - 26 p.

Normatīvie un maksimāli pieļaujamie siltuma caurlaidības koeficienti

1-1.tabula

Siltuma caurlaidības koeficientu $U_{RN}, W/(m^2 \cdot K)$, un $\psi_{RN}, W/(m \cdot K)$, normatīvās vērtības

Nr. p.k.	Būvelementi	Dzīvojamās mājas, pensionāti, slimnīcas un bērnudārzi	Publiskās ēkas, izņemot pensionātus, slimnīcas un bērnudārzus	Ražošanas ēkas
1.	Jumti un pārsegumi, kas saskaras ar āra gaisu	0,2 κ	0,25 κ	0,35 κ
2.	Grīdas uz grunts	0,25 κ	0,35 κ	0,5 κ
3.	Sienas:			
3.1.	ar masu, mazāku nekā 100 kg/m ²	0,25 κ	0,35 κ	0,45 κ
3.2.	ar masu 100 kg/m ² un vairāk	0,3 κ	0,4 κ	0,5 κ
4.	Logi, durvis un stiklotas sienas	1,8 κ	2,2 κ	2,4 κ
5.	Termiskie tilti ψ_R	0,2 κ	0,25 κ	0,35 κ

1-2.tabula

Siltuma caurlaidības koeficientu $U_{RM}, W/(m^2 \cdot K)$, un $\psi_{RM}, W/(m \cdot K)$, maksimālās vērtības

Nr. p.k.	Būvelementi	Dzīvojamās mājas, pensionāti, slimnīcas un bērnudārzi	Publiskās ēkas, izņemot pensionātus, slimnīcas un bērnudārzus	Ražošanas ēkas
1.	Jumti un pārsegumi, kas saskaras ar āra gaisu	0,25κ	0,35 κ	0,5 κ
2.	Grīdas uz grunts	0,35 κ	0,5 κ	0,7 κ
3.	Sienas:			
3.1.	ar masu, mazāku nekā 100 kg/m ²	0,30κ	0,4 κ	0,5κ
3.2.	ar masu 100 kg/m ² un vairāk	0,40 κ	0,5 κ	0,6 κ
4.	Logi, durvis un stiklotas sienas	2,7 κ	2,9 κ	2,9 κ
5.	Termiskie tilti ψ_{RM}	0,25 κ	0,35 κ	0,5 κ

Piezīme: κ – temperatūras faktors.

$$\kappa = 19 / (\theta_i - \theta_e), \quad (1-1)$$

kur θ_i – iekštelpu aprēķina temperatūra (°C) atbilstoši Latvijas būvnormatīva LBN 211-98

"Daudzstāvu daudzdzīvokļu dzīvojamie nami" 4.pielikumam, ja attiecīgo ēku tipu reglamentējošie būvnormatīvi nenosaka citādi;

θ_e – āra gaisa vidējā temperatūra apkures sezonas laikā (°C) atbilstoši Latvijas būvnormatīvam LBN 003-01 "Būvklimateoloģija" vai temperatūra blakus telpā, ja aprēķinu veic būvelementam, kas atrodas starp divām blakus telpām.

Piesātināta ūdens tvaika spiediens un gaisa mitruma saturs

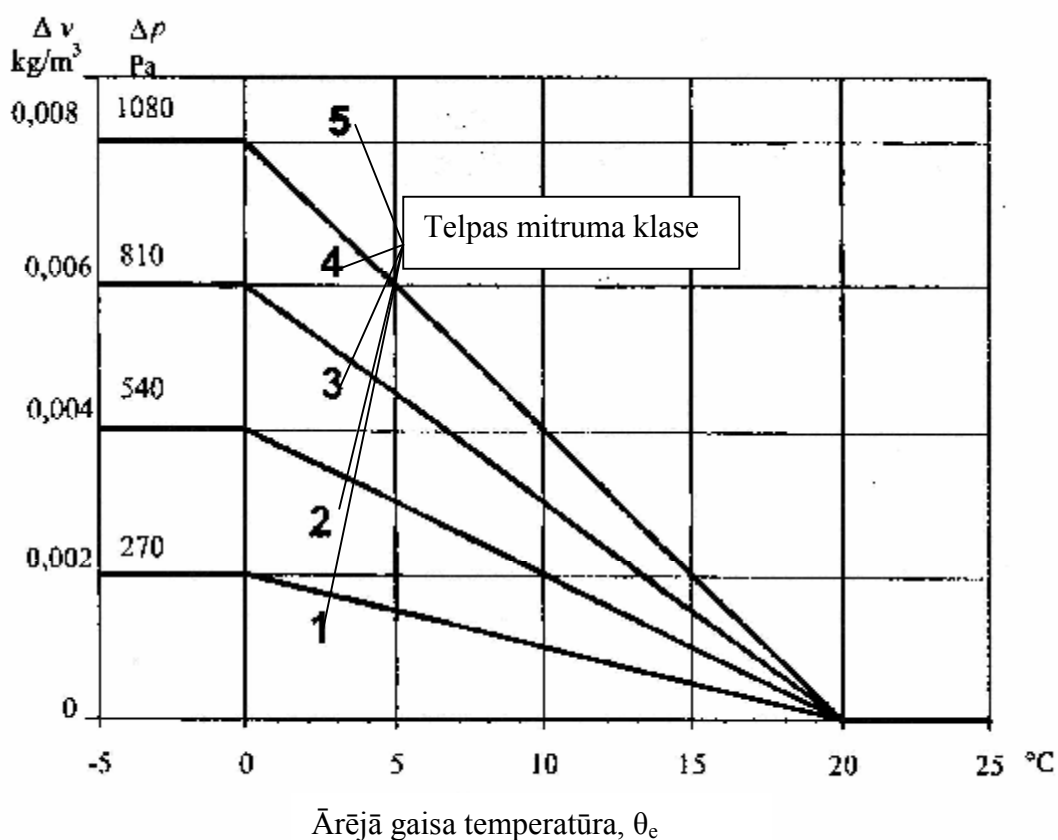
$\theta, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{sat}}, \text{Pa}$	$v_{\text{sat}}, \text{kg/m}^3$	$\theta, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{sat}}, \text{Pa}$	$v_{\text{sat}}, \text{kg/m}^3$	$\theta, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{sat}}, \text{Pa}$	$v_{\text{sat}}, \text{kg/m}^3$
-20	103	0,00088	0	611	0,00484	20	2337	0,01725
-19	113	0,00096	1	656	0,00518	21	2486	0,01828
-18	124	0,00105	2	705	0,00555	22	2642	0,01937
-17	137	0,00115	3	757	0,00593	23	2808	0,02051
-16	150	0,00126	4	813	0,00634	24	2982	0,02171
-15	165	0,00138	5	872	0,00678	25	3166	0,02297
-14	181	0,00151	6	935	0,00724	26	3359	0,02430
-13	198	0,00165	7	1001	0,00773	27	3563	0,02568
-12	217	0,00180	8	1072	0,00825	28	3778	0,02714
-11	237	0,00196	9	1147	0,00880	29	4003	0,02866
-10	259	0,00213	10	1227	0,00938	30	4241	0,03026
-9	283	0,00232	11	1312	0,00999	31	4490	0,03194
-8	309	0,00252	12	1402	0,01064	32	4752	0,03369
-7	338	0,00274	13	1497	0,01132	33	5027	0,03552
-6	368	0,00298	14	1598	0,01204	34	5316	0,03744
-5	401	0,00324	15	1704	0,01280	35	5619	0,03945
-4	437	0,00351	16	1817	0,01360	36	5937	0,04155
-3	475	0,00381	17	1937	0,01444	37	6271	0,04374
-2	517	0,00413	18	2063	0,01533	38	6621	0,04603
-1	562	0,00447	19	2196	0,01626	39	6987	0,04843

Telpu klasifikācija pēc gaisa mitruma

3-1.tabula

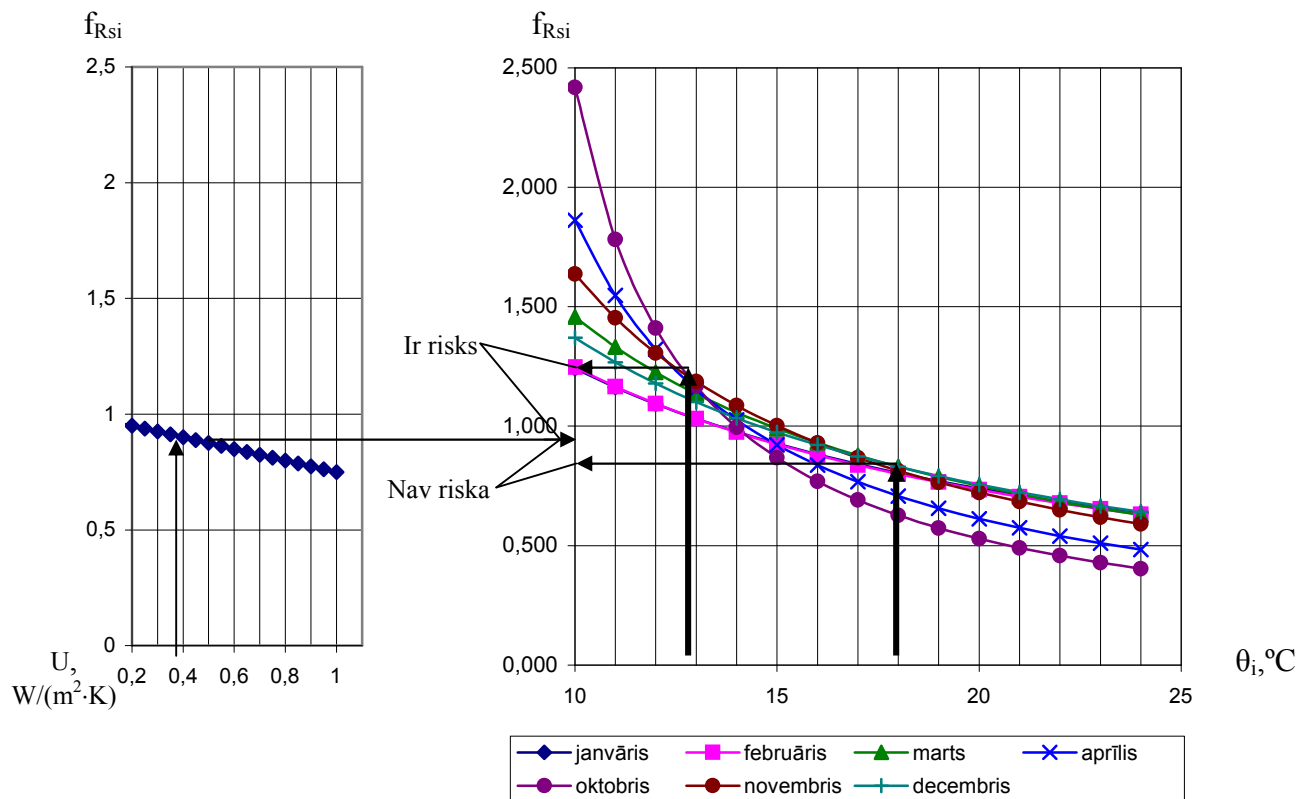
Iekšējā gaisa mitruma klases

Mitruma klase	Ēkas nozīme
1	Noliktavas
2	Ofisa telpas, veikali
3	Dzīvokļi ar zemu apdzīvotības līmeni
4	Dzīvokļi ar augstu apdzīvotības līmeni, sporta zāles, virtuves, ēdnīcas; ēkas, apsildāmas ar gāzes sildītājiem bez dūmgāžu novadīšanas
5	Speciālās nozīmes ēkas, piemēram, veļas mazgātavas, baseini, alus darītavas

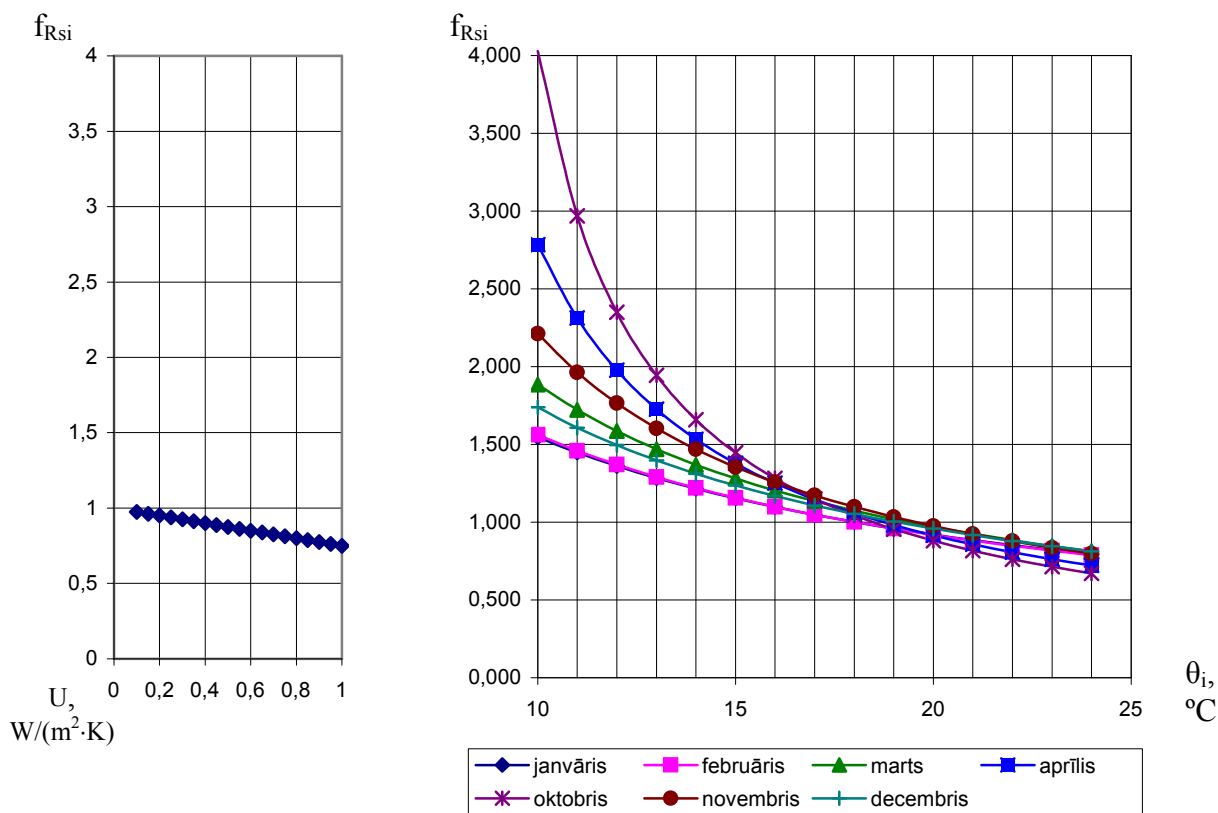


3-1.att. Ārējā un iekšējā gaisa ūdens tvaika parciāla spiediena starpība Δp , Pa un gaisa mitruma satura starpība Δv , kg/m^3 atkarībā no ārējā gaisa temperatūras

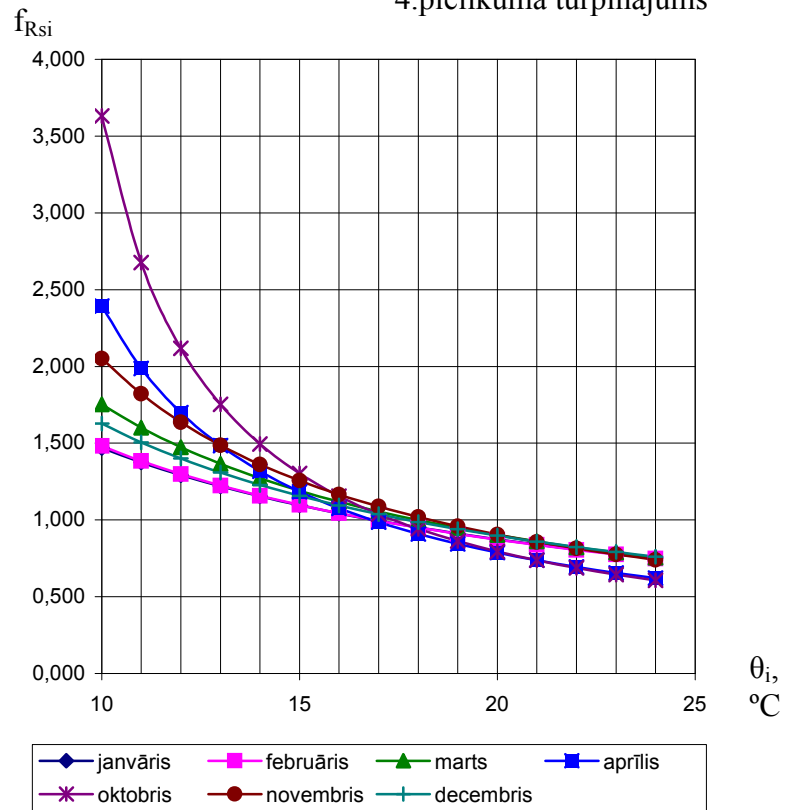
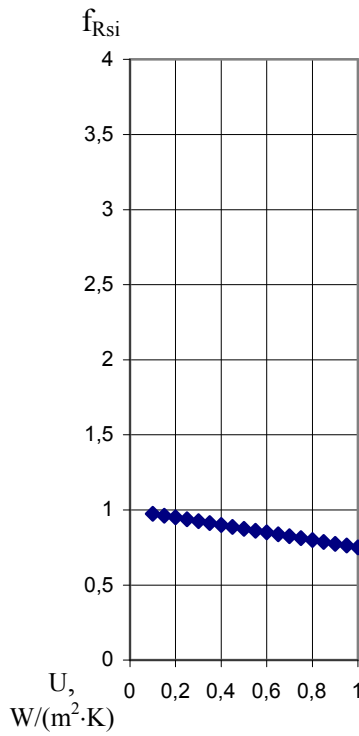
Nomogrammas sēnīšu augšanas un korozijas riska novērtējumam



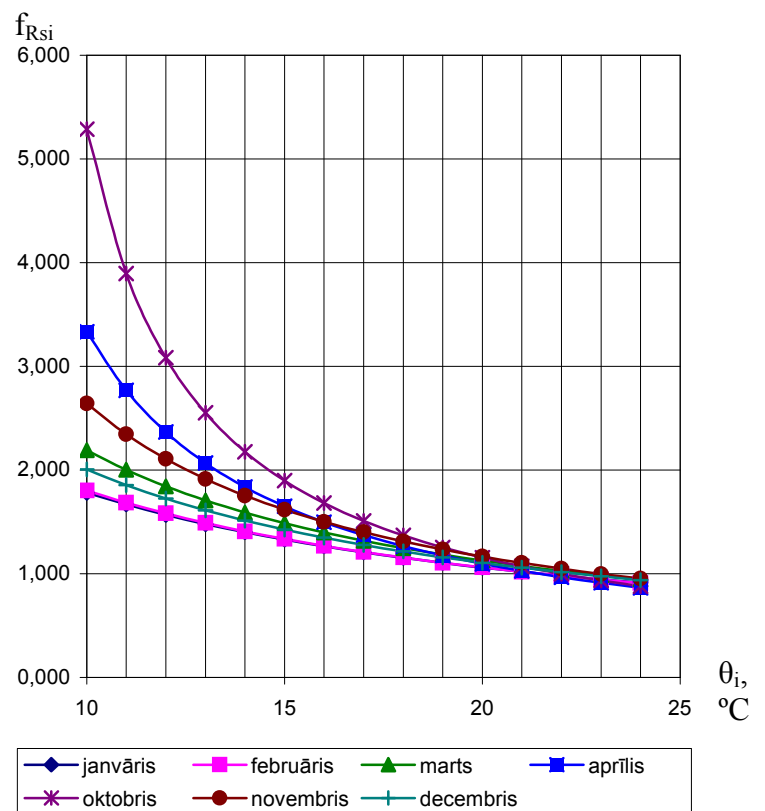
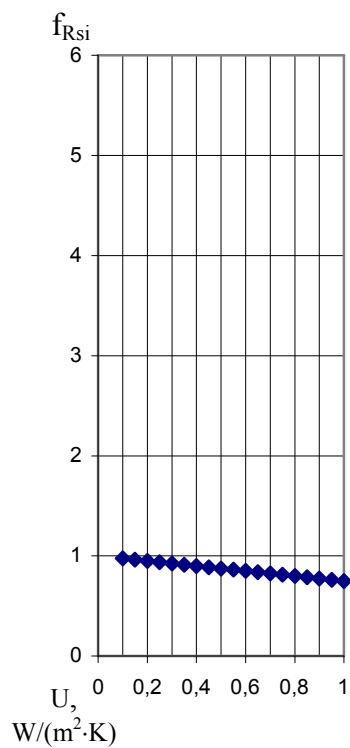
4-1. att. Sēnīšu augšanas riska novērtējums 3. klases telpās



4-2.att. Korozijas riska novērtējums 3.klases telpās



4-3. att. Sēnīšu augšanas riska novērtējums 4.klases telpās



4-4.att. Korozijas riska novērtējums 4.klases telpās

Siltumvadītspējas koeficienta korekcija siltumizolācijas materiālu darba apstākļiem

Labojuma koeficients $\Delta\lambda_w$ W/(m·K) būvelementos lietojamiem siltumizolācijas materiāliem
un izstrādājumiem dažādos siltumizolācijas darba apstākļos
(LBN 002-01 pielikuma 2.tabula)

Nr. p.k.	Siltumizolācijas materiāla vai izstrādājuma nosaukums un blīvums	Ventilēts būvelements	Neventilēts būvelements
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 $\rho = 35\text{--}75 \text{ kg/m}^3$	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 $800 < \rho \leq 1000 \text{ kg/m}^3$	0,05	0,07
26.	Kūdras plāksnes $200 \leq \rho \leq 300 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,02
27.	Kokšķiedru un kokskaidu plāksnes $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,015	nedrīkst lietot
28.	Kokšķiedru un kokskaidu plāksnes $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	0,11	nedrīkst lietot
29.	Putustikls $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,025
30.	Putustikls $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$	0,035	0,04

Piezīme. Ventilētās gaisa šķirkārtās siltumizolācijas materiālus no ārpuses aizsargā ar vēja barjeru vai to virsmu nodrošina ar siltumizolācijas materiālu pret piespiedu konvekcijas ietekmi uz siltumizolācijas materiāla siltuma caurlaidību. Šis nosacījums neattiecas uz aukstajiem bēniņiem, kur gaisa plūsmas ātrums virs siltumizolācijas materiāla nav lielāks par 0,5 m/s.

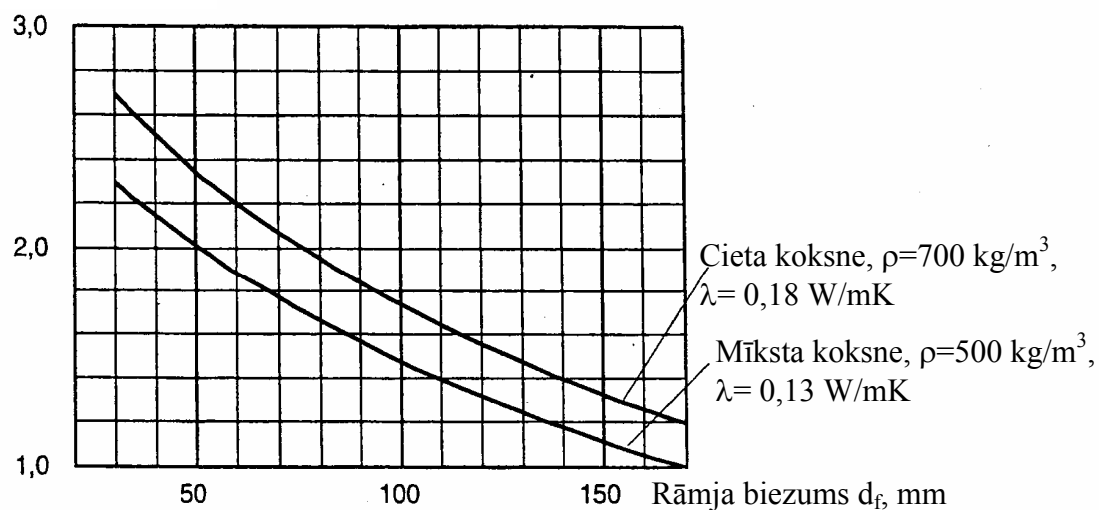
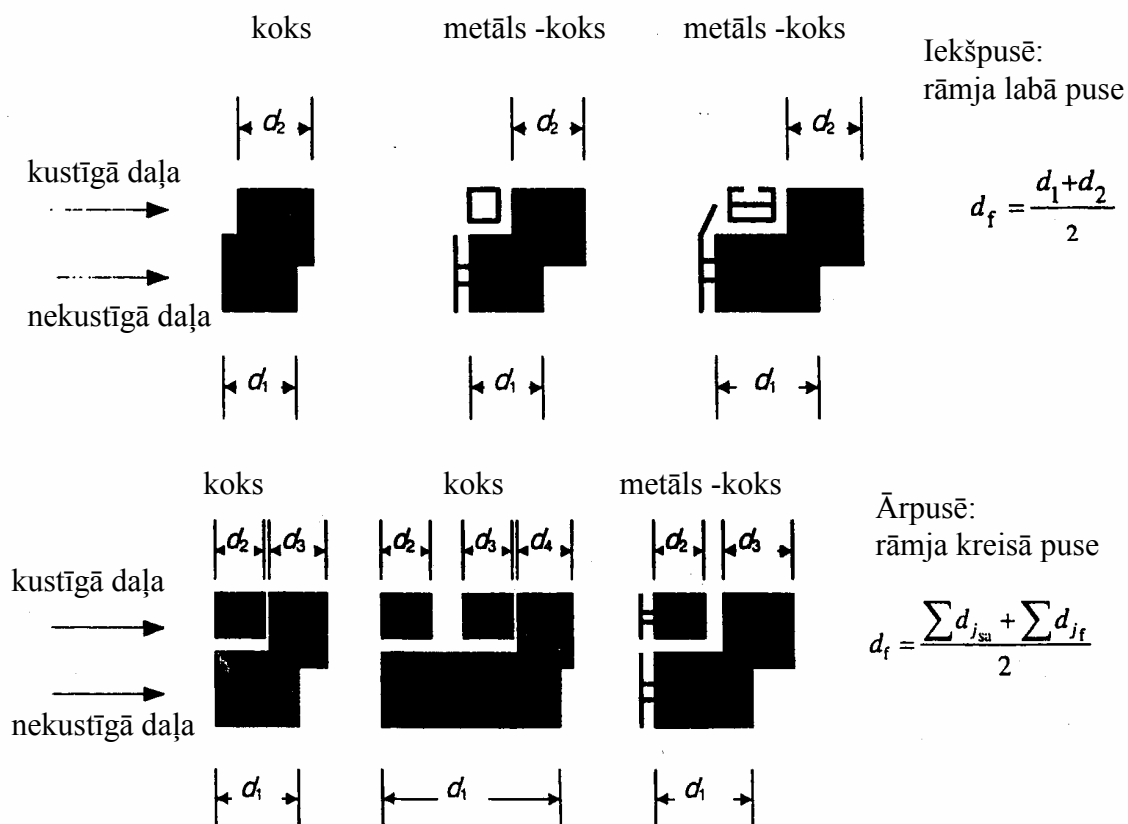
Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents membrānmateriāliem

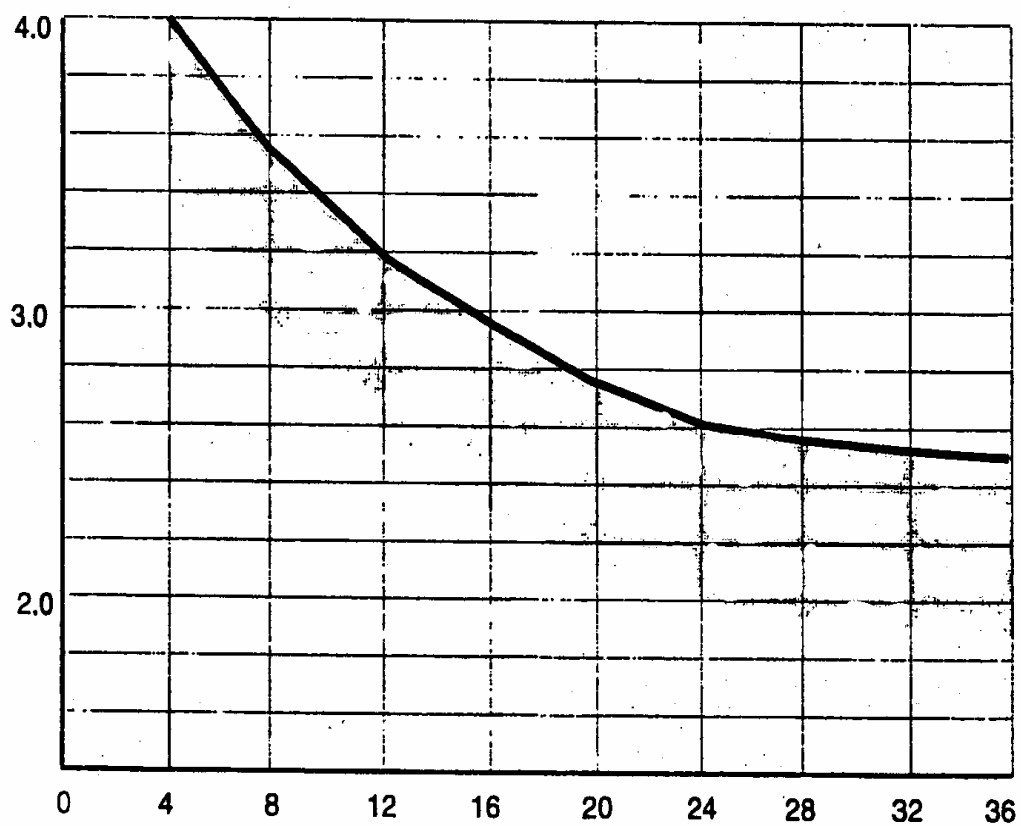
Nr. p.k.	Izstrādājums vai materiāls	Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents s_d , m
1.	Polietilēna plēve 0,15 mm	50
2.	Polietilēna plēve 0,2 mm	75
3.	Polietilēna plēve 0,25 mm	100
4.	Poliestera plēve 0,2 mm	50
5.	Polivinilhlorīda (PVC) plēve	30
6.	Alumīnija folija 0,05 mm	1500
7.	Polietilēna plēve (skavota) 0,15 mm	8
8.	Polietilēna plēve (skavota) 0,20 mm	12
9.	Pergamīns 1 mm	2
10.	Ruberoīds	15
11.	Aluminizēts papīrs 0,4 mm	10
12.	Gaiscaurlaidīga (elpojoša) pretvēja membrāna	0,2
13.	Akrila krāsa (0,1–0,2 mm kārtā)	1
14.	Lateksa krāsa (0,1 mm kārtā)	0,3
15.	Alkīda krāsa (0,1 mm kārtā)	4
16.	Poliuretāna krāsa (0,03 mm kārtā)	4
17.	Silikātkrāsa (0,1 mm kārtā)	0,2
18.	Vinila tapetes	2

Siltuma caurlaidības koeficienti U_g , $W/(m^2 \cdot K)$ stikla paketēm ar dažādu aizpildījumu

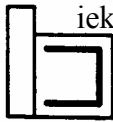
Stiklojums				Starpstiklu aizpildījuma gāze ar koncentrāciju >90%			
veids	stikls	emisijas spēja	izmēri, mm	gaiss	argons	kriptons	SF6
Divkārsš stiklojums	bez pārklājuma (parastais)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-4	3,0	2,8	2,6	3,1
			4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1
	viena pārklāta virsma	$\leq 0,4$	4-6-4	2,9	2,6	2,2	2,6
			4-9-4	2,6	2,3	2,0	2,7
			4-12-4	2,4	2,1	2,0	2,7
			4-15-4	2,2	2,0	2,0	2,7
			4-20-4	2,2	2,0	2,0	2,7
	viena pārklāta virsma	$\leq 0,2$	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3
			4-9-4	2,3	2,0	1,6	2,4
			4-12-4	1,9	1,7	1,5	2,4
			4-15-4	1,8	1,6	1,6	2,5
			4-20-4	1,8	1,6	1,6	2,5
	viena pārklāta virsma	$\leq 0,1$	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1
			4-9-4	2,1	1,7	1,3	2,2
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3
			4-15-4	1,6	1,4	1,3	2,3
			4-20-4	1,6	1,4	1,3	2,3
	viena pārklāta virsma	$\leq 0,05$	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0
			4-9-4	2,0	1,6	1,3	2,1
			4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,2
			4-15-4	1,5	1,2	1,1	2,2
			4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2
Trīskārsš stiklojums	bez pārklājuma (parastais)	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	2,0
			4-9-4-9-4	2,0	1,9	1,7	2,0
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0
	divas virsmas pārklātas	$\leq 0,4$	4-6-4-6-4	2,0	1,7	1,4	1,6
			4-9-4-9-4	1,7	1,5	1,2	1,6
			4-12-4-12-4	1,5	1,3	1,1	1,6
	divas virsmas pārklātas	$\leq 0,2$	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3
			4-9-4-9-4	1,4	1,2	0,9	1,3
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,4
	divas virsmas pārklātas	$\leq 0,1$	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,2
			4-9-4-9-4	1,3	1,0	0,8	1,2
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2
	divas virsmas pārklātas	$\leq 0,05$	4-6-4-6-4	1,6	1,3	0,9	1,1
			4-9-4-9-4	1,2	0,9	0,7	1,1
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1

Koka loga rāmju siltuma caurlaidības koeficienti

 $U_f, \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Rāmja biezuma d_f definējums atkarībā no rāmja veida

Metāla logu rāmju siltuma caurlaidības koeficienti $U_f, \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Mazākais attālums starp rāmja metāla detaļām, d , mm

Plastikāta logu rāmju siltuma caurlaidības koeficienti

Rāmja materiāls	Rāmja veids	U_f W/(m ² ·K)
Poliuretāns (PUR)	Ar metāla karkasu, PUR biezums $\geq 5\text{mm}$	2,8
PVC profili ar dobumiem ¹	ārpuse iekšpuse Divas tukšas kameras 	2,2
	ārpuse iekšpuse Trīs tukšas kameras 	2,0
1) Attālums starp tukšo kameru sienīņām vismaz 5 mm		

Logu ar rāmja laukuma 20% īpatsvaru siltuma caurlaidības koeficienti U_w , $W/(m^2 \cdot K)$

Stiklojuma veids	U_g , $W/(m^2 \cdot K)$	U_f , $W/(m^2 \cdot K)$								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Vienkāršs	5,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,0
Dubults	3,3	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	4,0
	3,1	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,2	3,7
	2,7	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,6
	2,5	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,3
	2,1	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
Trīskāršs	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,9
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	2,2
	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,8

Iekrāsotie ir logu siltuma caurlaidības koeficienti U_w , $W/(m^2 \cdot K)$, kas atbilst LBN 002-01 dzīvojamo ēku normatīvām prasībām.

Logu ar rāmja laukuma 30% īpatsvaru siltuma caurlaidības koeficienti U_w , $W/(m^2 \cdot K)$

Stiklojuma veids	U_g , $W/(m^2 \cdot K)$	U_f , $W/(m^2 \cdot K)$								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Vienkāršs	5,7	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
Dubults	3,3	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	4,4
	3,1	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	4,3
	2,9	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	3,2	3,2	3,3	4,1
	2,7	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0
	2,5	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,9
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8
	2,1	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,6
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5
	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	3,1
Trīskāršs	2,3	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,7
	2,1	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,6
	1,9	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	3,4
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,6
	0,5	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,5

Iekrāsoti ir logu siltuma caurlaidības koeficienti U_w , $W/(m^2 \cdot K)$, kas atbilst LBN 002-01 dzīvojamo ēku normatīvām prasībām.