

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts

Anatolijs Borodiņecs, Andris Krēsliņš

**Būvniecības siltumfizika ēku
projektētājiem**

RTU Izdevniecība
Rīga-2007



Šī grāmata tapusi ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu.

UDK 697.1: 536 (072)
Bo 730 b

Borodiņecs A., Krēsliņš A. Būvniecības siltumfizika ēku projektētājiem. - Rīga: RTU izdevniecība, 2007. - 131 lpp.

Recenzenti: Latvijas Lauksaimniecības universitātes Fizikas
katedras vadītājs Dr.habil.sc.ing., profesors Uldis Iljins

Ekonomikas ministrijas Būvniecības departamenta
Būvnormatīvu nodaļas vadītājs Dr.sc.ing. Andris Steinerts

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2006
© Anatolijs Borodiņecs, 2006
© Andris Krēsliņš, 2006

ISBN 978-9984-39-172-4

Priekšvārds

Šis RTU Siltuma un gāzes tehnoloģijas katedras asistenta M.sc.ing. Anatolija Borodiņeca un profesora Dr.habil.sc.ing. Andra Krēsliņa darbs būtu jānosauca par metodiskajiem norādījumiem atbilstoši mūsu augstākās izglītības tradīcijām. Kaut gan patiesībā ar tā iznākšanu ir sākts jauns posms Latvijas tehniskajā literatūrā. Tiek ieviesta tradīcija, kas jau desmitiem gadu ir lolota ASV un Kanādā, kur 1896. gadā dibinātā profesionālā inženieru savienība "American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)" izdod pamācības (guide lines) par atsevišķu federatīvo būvnoteikumu un nacionālo standartu lietošanu.

Eiropas inženieru savienība, 1964. gadā dibinātā REHVA, līdz šim balstījās uz Vācijas un Apvienotās Karalistes stingro standartu sistēmu (DIN un British Standards), kuru pielietošana bija praktiski obligāta, un kas bija sastādīti tik detalizēti, ka apspriešana nebija vajadzīga, līdzīgi kā mūsu inženieru joprojām dažkārt lietotajiem, līdz 1990. gadu sākumam obligātajiem PSRS SNIPIem un GOSTiem. Rokasgrāmatās un metodiskos norādījumos apsprieda vispārējās inženieru prakses problēmas.

Tomēr pašreiz arī Eiropā notiek pāreja uz standartiem, kas nav obligāti, uz būvkodiem un direktīvām, kas inženieriem dod lielu brīvību, reizē uzliekot arī daudz lielāku atbildību par pieņemtajiem risinājumiem.

Metodiskie norādījumi pozitīvi izceļas ar jaunākos normatīvos aktos izvirzīto prasību analīzi un izpildes nosacījumiem, Eiropas standartu piemērošanas specifiku, kā arī ar norādēm uz pieejamām datorprogrammām un šo datorprogrammu izmantošanas specifiku. Darbā ietvertas ērti lietojamas tabulas, kas atvieglo norobežojošo konstrukciju tehniskā risinājuma un galveno parametru izvēli. Papildināti ar praktiskiem aprēķinu piemēriem, šie metodiskie norādījumi, atšķirībā no dažiem iepriekš izdotajiem, izceļas ar ļoti plašu apskatāmo jautājumu loku. Dažos aprēķina piemēros analizēti siltuma un mitruma pārnese procesi un to ietekme uz konstrukciju un visas ēkas ekspluatāciju.

Būtiski aktuāls ir rūpīgi veiktais skaidrojums par Latvijas būvnoteikumu LBN 002-01 "Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika" jaunākās redakcijas un Ēku energoefektivitātes (Energy performance of buildings) direktīvas 2002/91/EK lietošanu, projektējot ēku ārējās norobežojošās konstrukcijas.

Metodiskie norādījumi būs labs mācību līdzeklis universitāšu būvniecības speciālistu studentiem, kā arī lietderīgs palīglīdzeklis būvinženieriem un arhitektiem ekspluatācijā drošu un energoefektīvu ēku projektēšanā.

*Latvijas Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas inženieru savienības prezidents,
Būvniecības fakultātes Siltuma un gāzes tehnoloģijas katedras vadītājs
Profesors, Dr.habil.sc.ing. Egils Dzelsītis*

Simboli un mērvienības

	Lielums	Mērvienība
A	laukums	m ²
d	biezums	m
P	grīdas atklātais perimetrs	m
D	malas siltumizolācijas platums vai dziļums	m
w	ārējo sienu biezums	m
R	siltumpretestības vērtība aprēķiniem	m ² ·K/W
R _{SE}	ārējās virsmas siltumpretestība	m ² ·K/W
R _{SI}	iekšējās virsmas siltumpretestība	m ² ·K/W
R _T	kopējā siltumpretestība (no vides uz vidi)	m ² ·K/W
R' _T	kopējās siltumpretestības augšējā robežvērtība	m ² ·K/W
R' _T	kopējās siltumpretestības apakšējā robežvērtība	m ² ·K/W
R _U	neapsildāmo platību siltumpretestība	m ² ·K/W
U	siltumcaurlaidība, siltumcaurlaidības koeficients	W/(m ² ·K)
U ₀	grīdas pārsedzes uz grunts galvenais siltuma caurlaidības koeficients	W/(m ² ·K)
h	siltumpārejas koeficients	W/(m ² ·K)
λ	aprēķina siltumvadītspēja	W/(m·K)
λ _{cl}	materiāla deklarētā siltumvadītspējas klase	W/(m·K)
f _{Rsi}	iekšējās virsmas temperatūras faktors	-----
f _{Rsi, min}	aprēķina iekšējās virsmas temperatūras faktors	-----
g	ūdens tvaika plūsmas blīvums	kg/(m ² ·s)
n	gaisa apmaiņas biezums	h-1
p	ūdens tvaika spiediens	Pa
S _d	ūdens tvaika difūzijas ekvivalentais gaisa slāņa biezums	m
R _{tv}	tvaika caurlaidības pretestība	m ² ·h·Pa/m

δ _p	materiāla ūdens tvaika caurlaidība attiecībā pret parcelālo tvaika spiedienu	kg/(m·s·Pa)
δ ₀	gaisa ūdens tvaika caurlaidība attiecībā pret parcelālo tvaika spiedienu	kg/(m·s·Pa)
Δ _p	iekšējā gaisa tvaika spiediena	Pa
φ	relatīvais gaisa mitrums	-----
s	ūdens tvaika pretestības faktors	-----
δ	Tvaika caurlaidības koeficients	mg/m·h·Pa
θ	celsija (skalas) temperatūra	°C
θ _{Si, min}	minimāla pieļaujamā virsmas temperatūra	°C
χ	punktveida siltuma caurlaidības koeficients	W/K
Ψ	lineārās siltuma caurlaidības koeficients	W/(m·K)
ΔΨ	korekcijas koeficients grīdas pārsedzes malas siltumizolācijai	W/(m·K)
Ψ _g	lineārās siltuma caurlaidības koeficients, kas saistīts ar sienas/grīdas savienojumu	W/(m·K)
L ^{2D}	lineārais termiskās saites koeficients	W/(m·K)
H _T	siltumpārvades zudumu koeficients	W/K

SATURS

1. Norobežozošo konstrukciju siltumtehniskā aprēķina pamatnosacījumi	8
2. Konstrukciju, kas ir saskarē ar āra gaisu, siltumtehniskie aprēķini	10
2.1. Konstrukciju aprēķina metodikas vispārīgie norādījumi	10
2.2. Norobežozošo konstrukciju siltumpretestība	11
2.2.1. Siltumpretestība norobežozošajām konstrukcijām ar homogēniem slāņiem	11
2.2.2. Siltumpretestība norobežozošajām konstrukcijām ar nehomogēniem slāņiem	12
2.3. Neapkurināto telpu termiskā pretestība	20
2.4. Gaisa slāņu termiskā pretestība	21
2.5. Grīda virs aukstās pagrīdes	22
2.6. Bēniņu pārsegums	25
2.7. Savietotais jumts	27
2.8. Mansarda jumts	29
2.9. Norobežozošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficients	31
3. Ēkas elementu, kas atrodas saskarē ar zemi, siltumtehniskie aprēķini	38
3.1. Aprēķina metožu vispārīgie paskaidrojumi	38
3.2. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana grīdām uz grunts bez sānu virsmas izolācijas	40
3.3. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana grīdām uz grunts ar sānu virsmas izolāciju	42
3.4. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana grīdām virs zemes līmeņa	47
3.5. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana apkurinātiem pagrabiem	48
3.6. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana neapkurinātiem pagrabiem	50
3.7. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana daļēji apkurinātiem pagrabiem	50
4. Konstrukciju ar termiskajiem tiltiem siltumtehniskie aprēķini	51
4.1. Termisko tiltu aprēķina metodika. Vispārīgie paskaidrojumi	51
4.2. Kvazihomogēnais slānis	59
5. Logu, durvju un slēģu siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana	65
5.1. Vispārīgie norādījumi	65
5.2. Stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients	65
5.2.1. Logs ar vienu rāmi	66
5.2.2. Dubultlogs	67
5.2.3. Logs ar savietotiem rāmjiem	68
5.3. Rāmja siltuma caurlaidības koeficients	69
5.4. Loga siltuma caurlaidības koeficienta vienkāršota aprēķināšanas metode	70
5.5. Slēģu siltuma caurlaidības koeficients	73
6. Mitruma režīms konstrukcijās	75
6.1. Vispārīgie norādījumi	75
6.2. Temperatūras un piesātinātā ūdens tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā	76
6.3. Mitruma režīma novērtējums konstrukcijās saskaņā LVS EN ISO 13788 prasībām	79
6.3.1. Jēdzieni un definīcijas	79
6.3.2. Pelējuma sēnīšu augšanas un korozijas riska novērtējums saskaņā ar LVS EN ISO 13788	81
6.3.3. Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums ar LVS EN ISO 13788 metodi	83
6.4. Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums saskaņā ar Fokina metodi	98

6.4.1. Kondensācijas uz norobežozošās konstrukcijas iekšējās virsmas novērtējums	98
6.4.2. Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums ar Fokina metodi	99
7. Ēku atsevišķu norobežozošo konstrukciju siltumtehniskās īpašības saskaņā ar LBN 002-01 prasībām	104
7.1. Norobežozošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienta normatīvās un maksimālās vērtības.	104
7.2. Aprēķina un normatīvais ēkas siltuma zudumu koeficients	106
Literatūra	114
Pielikumi	115
1. pielikums. LBN 002 - 01 "Ēku norobežozošo konstrukciju siltumtehnika"	115
2. pielikums. Simboli un mērvienības	

1. Norobežozošo konstrukciju siltumtehnikā aprēķina pamatnosacījumi

Norobežozošo konstrukciju būvelementu siltumtehnikā projektēšanas kārtību Latvijā regulē būvnormatīvs LBN 002-01 "Norobežozošo konstrukciju siltumtehnika" (apstiprināts ar Ministru kabineta 2001.gada 27.novembra noteikumiem Nr. 495), kas ir spēkā kopš 2003.gada 1.janvāra.

Šis būvnormatīvs nosaka ēku ārējo norobežozošo konstrukciju būvelementu siltumtehnikā projektēšanas kārtību jaunbūvējamām un renovējamām apkurināmām ēkām, kā arī esošajās ēkās ierīkojamām jaunām apkurināmām telpām, kurās apkures sezonā tiek uzturēta temperatūra 8°C un augstāka. Veicot ēkas remontu un rekonstrukciju, var piemērot šī būvnormatīva prasības, lai nodrošinātu labu siltumtehniko kvalitāti.

Būvnormatīva mērķis ir samazināt enerģijas patēriņu ēkās, paaugstinot enerģijas izmantošanas efektivitāti. Ēku projektēšanā un būvniecībā paredz enerģētiski efektīvus būvelementus, kas ierobežo oglekļa dioksīda emisijas.

LBN 002-01 nosaka prasības ne tikai attiecībā uz ēku atsevišķo norobežozošo konstrukciju siltumcaurlaidību, bet arī attiecībā uz visas ēkas siltuma zudumiem.

Ēkas siltuma zudumi tiek normēti, izmantojot ēkas siltuma zudumu koeficientu (H , W/K). Šis koeficients norāda enerģijas zudumus caur ēkas būvelementiem, ja temperatūras starpība uz to pretējām virsmām ir viens grāds.

Saskaņā ar LBN 002-01 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 norobežozošās 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. Ēkas siltuma zudumu koeficienta normatīvās vērtības noteikšanas metodes plašāk tiks aprakstītas 2. nodaļā.

Pēc 2004. gada 27.jūlijā ar Ministru kabineta noteikumiem Nr. 621 veiktajiem grozījumiem LBN-002-01, siltumizolācijas materiālu aprēķina siltumvadītspējas koeficientu λ_d W/(m x K) nosaka saskaņā ar formulu:

$$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta \lambda_w \quad W/(m^*K), \quad (1.2)$$

kur:

- λ_{cl} - siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēja, W/(m*K);
- λ_{cl} - materiāla deklarētā siltumvadītspējas klase, W/(m*K);
- $\Delta \lambda_w$ - labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem, W/(m*K), pēc LBN - 002 -01 pielikuma 2. tabulas.

Siltumizolācijas materiāliem, kas ražoti un kuru atbilstība ir apliecināta saskaņā ar harmonizētajiem Eiropas Standartiem, un kuri ir marķēti ar CE zīmi, siltumvadītspējas klase ir vienāda ar siltumvadītspējas deklarēto vērtību, kas noteikta saskaņā ar attiecīgo harmonizēto Eiropas standartu:

$$\lambda_{cl} = \lambda_D \quad W/(m^*K).$$

Ja siltumizolācijas materiāliem, kas ražoti saskaņā ar harmonizētajiem Eiropas Standartiem un ir marķēti ar CE zīmi, ir deklarēta izstrādājuma siltumpretestība R_D (m²K/W), šo izstrādājumu siltumvadītspējas klasi nosaka saskaņā ar formulu:

$$\lambda_{cl} = \frac{d_N}{R_D} \quad W/(m^*K). \quad (1.3)$$

Iegūto vērtību noapaļo uz augšu līdz tuvākajai vērtībai ar precizitāti līdz 0,001 W/(m·K). d_N -siltumizolācijas izstrādājuma nominālais biezums saskaņā ar attiecīgo harmonizēto Eiropas Standartu. Šajā gadījumā ražotājs norāda λ_D vai R_D uz iepakojuma, nenorādot ar atsevišķu apzīmējumu siltumvadītspējas klasi.

Pārējiem būvmateriāliem, kuru atbilstība netiek apliecināta kā siltumizolācijas materiāliem saskaņā ar Ministru kabineta 2001.gada 30.aprīļa noteikumiem Nr.181 "Būvizrādājumu atbilstības novērtēšanas kārtība reglamentētajā sfērā", nosakot siltumvadītspējas koeficientu, mitruma apstākļi netiek ņemti vērā. Šo materiālu siltumvadītspējas koeficienti ir atrodamī LBN 002-01 pielikuma 7.tabulā.

LBN 002-01 nosaka, ka būvprojektā obligāti jānorāda kopējos siltumenerģijas zudumus

$E_{\Sigma G}$ kilovatstundās un īpatnējo siltuma zudumu koeficientu e_G kilovatstundās uz kvadrātmētru normatīvā gada laikā. Ēkas kopējos siltumenerģijas zudumus nosaka saskaņā ar vienādojumu:

$$E_{\Sigma G} = H_T * T_{gd} * 24 * 10^{-3}, \text{ kWh}, \quad (1.4)$$

kur:

- H_T - ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients vatos uz grādu (W/ K);
- T_{gd} - normatīvais grāddienu skaits būvvieta viena gada apkures periodā, ko nosaka saskaņā ar formulu.

Normatīvais grāddienu skaits:

$$T_{gd} = \sum D * (\Theta_i - \Theta_e), \quad (1.5)$$

kur:

- $\sum D$ - apkures dienu skaits būvvieta, ko nosaka saskaņā ar Latvijas būvnormatīvu LBN 003-01 "Būvklimateoloģija";
- Θ_i - iekštelpu temperatūra, °C;
- Θ_e - vidējā ārējais temperatūra, °C apkures periodā, ko nosaka saskaņā ar Latvijas būvnormatīvu LBN 003-01 "Būvklimateoloģija".

Ēkas īpatnējo siltuma zudumu koeficientu e_G kilovatstundās uz kvadrātmētru kWh/m² nosaka, izmantojot šādu vienādojumu:

$$e_G = \frac{E_{\Sigma G}}{L} \text{ kWh/m}^2, \quad (1.6)$$

kur:

- L - ēkas kopējā apkurināmā platība, m².

Aprēķinātais ēkas īpatnējo siltuma zudumu koeficients izmantojams projektētās ēkas energosertifikāta sastādīšanai.

Saskaņā ar LBN 002 - 01 aprēķina siltuma caurlaidības koeficienta U_i vērtību nosaka Latvijas nacionālie standarti. Katram norobežozošās konstrukcijas tipam tiek izmantots speciālais Latvijas nacionālais standarts (LVS). Spēkā esošo standartu un to darbības jomu saraksts ir dots 1.1. tabulā.

1.1. tabula

Latvijas nacionālie standarti attiecībā uz siltuma caurlaidības koeficienta noteikšanu

Darbības joma	Standarts
Sienas, jumti un grīdas, kas ir saskarē ar āra gaisu	LVS EN ISO 6946
Grīdas, kam nav saskares ar āra gaisu	LVS EN ISO 13370
Logi un durvis	LVS ISO 10077-1
Termiskie tilti	LVS EN ISO 10211-1, LVS ISO 10211-2 vai LVS ISO 14683

Iepriekš minēto normatīvu aprēķinu paņēmieni ir detalizēti apskatīti turpmākajās nodaļās.

LBN 002-01 "Norobežozošo konstrukciju siltumtehnika" īpašu uzmanību pievērš pareiza mitruma režīma nodrošināšanai kokā konstrukcijās. Būvnormatīva 31.punkts nosaka, ka koka būvelementos kondensāta rašanās nav pieļaujama.

Vispārējā gadījumā konstrukcijas mitruma režīmu nav jāpamato ar aprēķinu, ja būvelementa siltumizolācijas siltajā pusē esošo slāņu kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents s_d ir vismaz piecas reizes lielāks par siltumizolācijas aukstajai pusei piegulošo slāņu kopējo ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalentu s_d . Bet būvnormatīva 31.

punkta prasība praktiski liek ar aprēķinu pamatot koka karkasa konstrukciju mitruma režīmu visos gadījumos.

Atšķirībā no norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficientiem, kuru noteikšana ir veicama saskaņā ar EN ISO standartiem, LBN 002-01 tieši nenosaka, ar kādām metodēm ir jānovērtē konstrukciju mitruma režīmu. Tāpēc var izmantot gan agrāk izmantotās metodes, gan novērtējumu veikt saskaņā ar LVS EN ISO 13788 "Ēku būvmaterialu un būvelementu higrosiltumtēhniskās īpašības. Iekšējās virsmas temperatūra, lai izvairītos no kritiskā virsmas mitruma un iekšējās kondensācijas. Aprēķina metodes."

2. Konstrukciju, kas ir saskarē ar āra gaisu, siltumtēhniskie aprēķini

2.1 Konstrukciju aprēķina metodikas vispārīgie norādījumi

Šajā nodaļā tiks apskatītas norobežojošās konstrukcijas, uz kurām attiecas Latvijas nacionālais standarts LVS EN ISO 6946+A1 "Ēku daļas un būvkonstrukcijas. Siltumpretestība un siltumvadītspēja. Aprēķina metode", t.i., ārējās sienas, jumti, bēniņu pārsegumi un grīdas virs aukstās pagrīdes.

Šis standarts sniedz iespēju aprēķināt siltumcaurlaidības koeficientu gan norobežojošajām konstrukcijām, kas sastāv no vairākiem homogēniem slāņiem, gan nehomogēniem norobežojošajām konstrukcijām. Papildus tam standartā tiek dotas metodes, kas ļauj aprēķināt siltumcaurlaidības koeficientu konstrukcijas sastāvdaļām ar ķīļveida sāniem.

Norobežojošās konstrukcijas aprēķins pamatā sastāv no sekojošiem soļiem:

1. aprēķina norobežojošās konstrukcijas kopējo siltumpretestību, R_T $m^2 \cdot K/W$;
2. pie konstrukcijas kopējās siltumpretestības pieskaita klāt papildus termiskās pretestības (piemēram, neapkurināto telpu, kas atrodas aiz norobežojošās konstrukcijas, termisko pretestību);
3. aprēķina norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientu U , $W/(m^2 \cdot K)$;
4. veic siltuma caurlaidības koeficienta korekciju ΔU , $W/(m^2 \cdot K)$ (korekcija gaisa spraugām, korekcija slāņa mehāniskajam stiprinājumam un korekcija apvēršiem jumtiem).

Vispārēja gadījuma norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana ir balstīta uz sekojošu vienādojumu:

$$U = \frac{1}{R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}}, W/(m^2 \cdot K), \quad (2.1)$$

kur:

- R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$;
- R_n - atsevišķa slāņa termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$;
- R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$.

Atkarībā no konstrukcijas tipa un tās izvietojuma ēkā, atsevišķa slāņa termiskā pretestība var tikt aprēķināta ar dažādām metodēm, izmantojot attiecīgā standarta prasības. Slāņa termiskās pretestības aprēķina metode ir atkarīga arī no tā, vai slānis ir homogēns vai nehomogēns. Gaisa slānis, kas atrodas norobežojošajā konstrukcijā, var tikt uzskatīts par slāni ar termisko pretestību.

Virsmu siltuma zudumu pretestības (R_{SI} , R_{SE}) lielumi ir atkarīgi tikai no siltuma plūsmas "virziena" un tās lielumi ir doti 2.1. tabulā. Siltuma plūsmas virziens tiek uzskatīts par horizontālu, ja tas atrodas $\pm 30^\circ$ no horizontālas virsmas.

2.1. tabula

Norobežojošās konstrukcijas virsmu siltuma zudumu pretestība, $m^2 \cdot K/W$

	Siltuma plūsmas virziens		
	Uz augšu	Horizontāls	Uz leju
Iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība, R_{SI}	0,10	0,13	0,17
Ārējās virsmas siltuma zudumu pretestība, R_{SE}	0,04	0,04	0,04

Veicot siltumtēhniskos aprēķinus konstrukcijām, kuru sastāvā ir labi ventilēts gaisa slānis, pilno termisko pretestību nosaka, pieņemot gaisa slāņa un visu slāņu, kas seko aiz tā uz ārpusi, termisko pretestību vienādu ar 0, un ārējās virsmas termisko pretestību pieņem vienādu ar šī būvelementa iekšējās virsmas termisko pretestību.

Gaisa šķirkārta ir ventilēta, ja ir izpildīti šādi nosacījumi:

- ventilācijas atveru šķērsriezuma laukums ir ne mazāks par 15 cm^2 uz katru vertikālas gaisa šķirkārta garuma (pa ēkas perimetru) metru;
- ventilācijas atveru šķērsriezuma laukums ir ne mazāks par 15 cm^2 uz katru norobežojošās konstrukcijas virsmas kvadrātmētru horizontālai gaisa šķirkārtai.

2.2. Norobežojošo konstrukciju siltumpretestība

2.2.1. Siltumpretestība norobežojošajām konstrukcijām ar homogēniem slāņiem

Gadījumā, ja norobežojošā konstrukcija sastāv no vairākiem homogēniem slāņiem, konstrukcijas termisko pretestību nosaka, izmantojot sekojošo vienādojumu:

$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}, m^2 \cdot K/W, \quad (2.2)$$

kur

- R_{SI} - iekšējās virsmas siltumpretestība (2.1. tabula), $m^2 \cdot K/W$;
- R_n - atsevišķa slāņa siltumpretestība, $m^2 \cdot K/W$;
- R_{SE} - ārējās virsmas siltumpretestība (2.1. tabula), $m^2 \cdot K/W$.

Siltumpretestības vērtībām, kas izmantotas aprēķiniem, jābūt noteiktām ar vismaz 3 decimālajām zīmēm.

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} \cdot m^2 \cdot K/W, \quad \text{Atsevišķa homogēna slāņa siltumpretestība:}$$

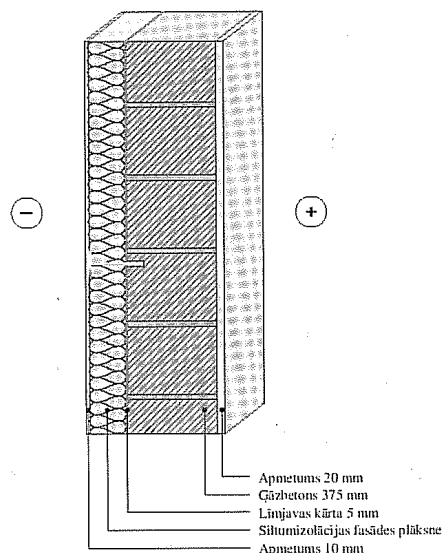
(2.3)

kur:

- d_n - slāņa biezums, m;
- λ_n - slāņa n materiāla aprēķina siltumvadītspēja, $W/(m \cdot K)$

Siltumizolācijas materiāla siltumvadītspējas koeficientu nosaka saskaņā ar harmonizētajos būvuzstrādājumu standartos noteikto vai saskaņā ar 1.2. vienādojumu. Pārējo materiālu siltumvadītspējas koeficienti ir atrodamā LBN 002-01 pielikuma 7. tabulā.

Tālāk apskatīsim piemēru ar ārējās sienas konstrukciju, kura sastāv no homogēniem slāņiem. Sienas konstrukcija ir parādīta 2.1. zīmējumā.



2.1. zīm. Ārējās sienas konstrukcija ar homogēniem slāņiem

Apskatāmā siena sastāv no šādiem slāņiem:

1. iekšēja apdare - apmetums ($d = 0.02\text{m}$ un $\lambda = 0.9\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$);
2. gāzbetons ($\rho \leq 400\text{ kg/m}^3$) - $d = 0.375\text{m}$ un $\lambda = 0.11\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$;
3. siltumizolācija - akmens vate $\rho > 24\text{ kg/m}^3$ ($d = 0.05\text{m}$ un $\lambda_{\text{CL}} = 0.037\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$);
4. ārēja apdare - apmetums ($d = 0.01\text{m}$ un $\lambda = 0.9\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$).

Šajā piemērā pieņemsim siltumizolācijas stiprināšanas detaļas siltumvadītspēju mazāku par $1\text{ W/m}\cdot\text{K}$. Līdz ar to sienu var uzskatīt par konstrukciju ar homogēniem slāņiem.

Siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēja, ņemot vērā labojuma koeficientu darba (ekspluatācijas) apstākļiem, sastāda:

$\lambda_d = \lambda_{\text{cl}} + \Delta\lambda_w = 0.037 + 0.002 = 0.039\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, kur labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_w$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas kā minerālvates (akmens vate, stikla vate) izstrādājumiem ar $R_a > 6\text{ kPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$. Šajā piemērā siltumizolācijas materiāls ir apskatīts kā neventilēts būvelements. Zinot katra slāņa biezumu un siltumvadītspēju, varam aprēķināt sienas konstrukcijas siltumpretestību, izmantojot 2.2. vienādojumu:

$$R_r = 0.13 + \frac{0.02}{0.9} + \frac{0.375}{0.11} + \frac{0.05}{0.037 + 0.002} + \frac{0.01}{0.9} + 0.04 = 4.85, \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

Tātad apskatāmas sienas konstrukcijas pilnā siltumpretestība ir vienāda ar $4.85\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

2.2.2. Siltumpretestība norobežojošajām konstrukcijām ar nehomogēniem slāņiem

Nehomogēnais slānis ir slānis, kurš sastāv no diviem vai vairāk materiāliem ar atšķirīgu siltumvadītspēju. Pie šiem slāņiem var arī pieskatīt viendabīgu slāni ar mainīgu biezumu.

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

$$R_T = \frac{R'_r + R''_r}{2}, \text{ m}^2\cdot\text{K/W}, \quad (2.4)$$

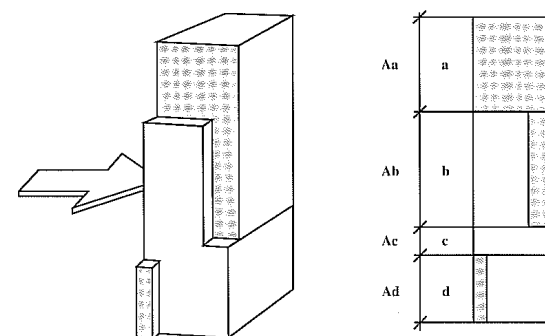
kur:

- R'_r - termiskās pretestības augšējā robeža, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;
- R''_r - termiskās pretestības apakšējā robeža, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$.

Termiskās pretestības augšējās robežas R'_r noteikšana

Lai aprēķinātu norobežojošās konstrukcijas augšējo robežu ar plakni, kas ir perpendikulāra norobežojošās konstrukcijas virsmai, konstrukciju sadala daļās, kas sastāv tikai no homogēniem slāņiem (2.2. zīmējums). Pēc tam katrai daļai nosaka siltumpretestību un relatīvo platību. Daļas relatīvā platība ir šīs platības attiecība pret kopējo norobežojošās konstrukcijas virsmas platību. Konstrukcijas visu relatīvo platību summa:

$$\sum_{n=1}^q f_n = 1. \quad (2.5)$$



2.2. zīm. Nehomogēnās konstrukcijas sadalījums sekcijās

Siltumpretestību katrai daļai aprēķina šādi:

$$R_{Tn} = R_{S1} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}, \text{ m}^2\cdot\text{K/W}, \quad (2.6)$$

kur: R_1, R_2, R_n - konstrukcijas homogēno daļu termiskās pretestības.

Zinot katras daļas termisko pretestību un relatīvo platību, var aprēķināt konstrukcijas termiskās pretestības augšējo robežu R'_r :

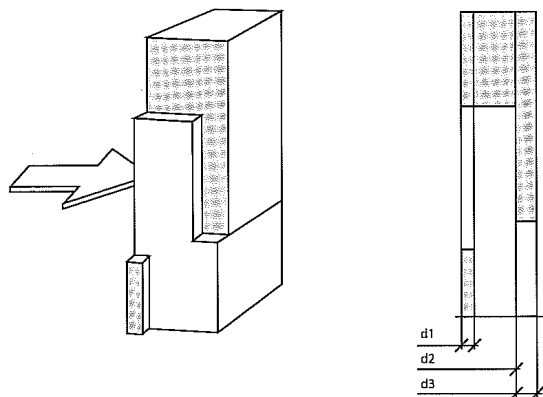
$$\frac{1}{R'_r} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \quad (2.7)$$

kur:

- $(R_{Ta} - R_{Tq})$ - siltuma zudumu pretestība konstrukcijas daļām ar homogēniem slāņiem;
- $(f_a - f_q)$ - konstrukcijas daļu relatīvās platības.

Termiskās pretestības apakšējās robežas R_j' noteikšana

Lai aprēķinātu norobežojošās konstrukcijas apakšējo robežu, nehomogēnos slāņus aizvieto ar nosacīti homogēniem slāņiem ar ekvivalentu siltumvadītspēju (2.3. zīmējums). Lai aprēķinātu ekvivalento siltumvadītspēju, nehomogēno slāni sadala atsevišķās daļās tā, lai katra daļa sastāvētu tikai no viena homogēna materiāla ar zināmu siltumvadītspēju. Pēc tam nosaka katras daļas relatīvo platību (vai īpatsvaru slānī).



2.3. zīm. Nehomogēnās konstrukcijas sadalījums sekcijās slāņos

Nehomogēna slāņa ekvivalentā siltumvadītspēja:

$$\lambda_j = \lambda_{aj} \cdot f_a + \lambda_{bj} \cdot f_b + \dots + \lambda_{qj} \cdot f_q, W/(m \cdot K), \quad (2.8)$$

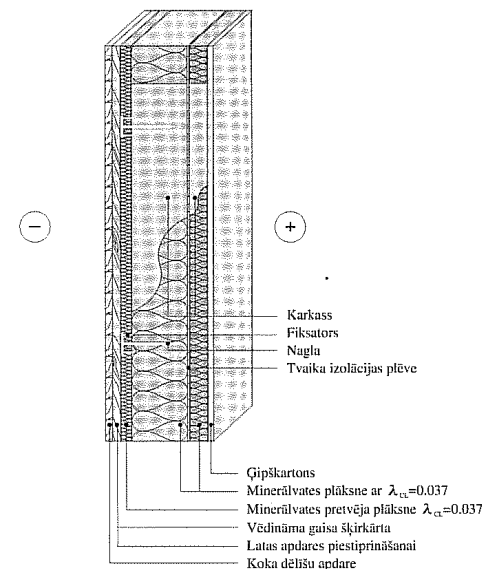
kur:

- $(\lambda_{aj} \dots \lambda_{qj})$ - slāni veidojošo materiālu siltumvadītspējas aprēķina koeficienti, $W/(m \cdot K)$;
- $(f_a \dots f_q)$ - atsevišķo materiālu relatīvās platības.

Nehomogēna slāņa ekvivalento siltumvadītspēju izmanto, lai aprēķinātu nehomogēna slāņa termisko pretestību:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}, m^2 \cdot K/W \quad (2.9)$$

Lai uzskatāmāk parādītu, kā praktiski izmantot iepriekšminētās formulas, apskatīsim aprēķina piemēru koka karkasa sienas konstrukcijai. Sienas konstrukcija parādīta 2.4. zīmējumā.



2.4 zīm. Ārējās sienas konstrukcija ar nehomogēniem slāņiem

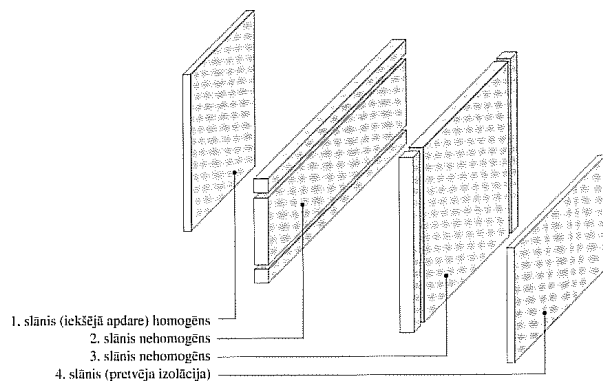
Dotā sienas konstrukcija sastāv no sešiem slāņiem, un viens no tiem ir labi ventilējams gaisa slānis, tāpēc paša gaisa slāņa un visu pārējo slāņu no gaisa slāņa uz ārpusi termisko pretestību aprēķinā ņem vērā, bet ārējās virsmas termisko pretestību palielina līdz iekšējās virsmas termiskās pretestības līmenim: $R_{SE}=R_{SI}=0,13 m^2 \cdot K/W$. (Saskaņā ar LVS EN ISO 6946+A1 norādījumiem, skatīt 2.1. apakšnodaļu.) Konstrukcijā paliek 4 slāņi:

- 1 - iekšējā apdare (ģipskartons) ($d=0,013 m, \lambda=0,25 W/(m \cdot K)$);
- 2 - horizontālais koka karkass ar siltumizolāciju ($d=0,05 m$);
- 3 - vertikālais koka karkass ar siltumizolāciju ($d=0,15 m$);
- 4 - pretvēja izolācija ($d=0,03 m, \lambda_{cl}=0,034 W/(m \cdot K)$).

Konstrukcijas shematiskais attēls ir parādīts 2.5. zīmējumā.

Siltumizolācijas materiāla deklarētais siltumvadītspējas koeficients tiek pieņemts vienāds ar $\lambda_{cl} = 0,037 W/(m \cdot K)$. Tālāk ir jāizmanto aprēķina siltumvadītspējas koeficients $\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta \lambda_w W/(m \cdot K)$, kurš ir atkarīgs no siltumizolācijas materiāla tipa un izvietošanas konstrukcijā.

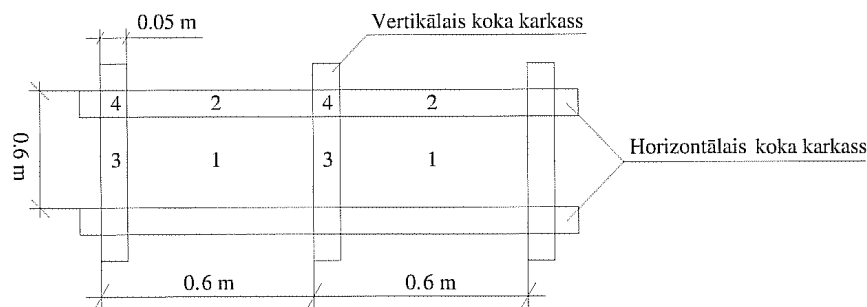
Koka un ģipskartona siltumvadītspējas koeficienti ir atrodami LBN 002-01 pielikuma 7. tabulā. Korekciju darba apstākļiem šiem materiāliem nav jāveic (LBN 002-01 20. punkts).



2.5. zīm. Ārējas sienas konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem shematiskais attēls

Termiskās pretestības augšējās robežas R'_r noteikšana

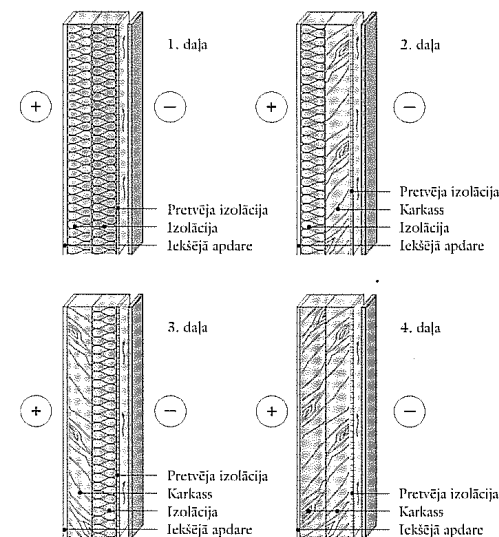
Skatoties siltuma plūsmas virzienā, konstrukcijā var izdalīt četras daļas, kur visi slāņi ir homogēnie. Homogēnu daļu izvietojums ir parādīts 2.6. zīmējumā.



2.6. zīm. Homogēno zonu sadalījums

Sadalot konstrukciju zonās relatīvo platību aprēķinam, ir jāizdala konstrukcijai raksturīgs elements, kas atkārtojas konstrukcijā vairākas reizes. Tā var būt gan viena rūtiņa starp karkasu asīm, gan konstrukcijas gabals veselos metros, kas katrā virzienā bez atlikuma dalās ar karkasa soli.

Dotajā piemērā ir iespējams izvēlēties konstrukcijas elementu, kurš ir ierobežots ar vertikālu un horizontālu karkasa soli. Apskatāmais sienas elements sastāv no četrām homogēnām daļām (2.7. zīmējums).



2.7. zīm. Homogēnas daļas konstrukcijā

Tagad nosakām katras daļas relatīvās platības un siltumpretestību. 1. daļas relatīvā platība tiek aprēķināta sekojoši:

$$f_1 = \frac{F_1}{F_{kop}} = \frac{(0.6 - 0.05)(0.6 - 0.05)}{0.6 \cdot 0.6} = 0.84$$

1. daļas relatīvā siltumpretestība:

Skatoties no iekšpuses, pirmie divi siltumizolācijas materiāli nav ventilēti. Tāpēc aprēķina siltumvadītspēja, ņemot vērā labojuma koeficientu darba apstākļiem, šiem materiāliem sastāda:

$\lambda_{d1} = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0.037 + 0.002 = 0.039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, kur labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_w$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas.

Pretvēja izolācija atrodas tiešā saskarē ar labi ventilēto gaisa slāni. Ņemot vērā šī materiāla izvietojumu konstrukcijā, aprēķina siltumvadītspēju sastāda:

$\lambda_{d2} = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0.034 + 0.001 = 0.035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, kur labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_w$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas.

$$R_1 = 0.13 + \frac{0.013}{0.25} + \frac{0.05}{0.039} + \frac{0.15}{0.039} + \frac{0.03}{0.035} + 0.13 = 6.297, \text{ m}^2\cdot\text{K/W.}$$

Tā kā karkasa solis un biezums 2. un 3. daļai ir vienāds, relatīvās platības šīm daļām būs vienādas:

$$f_2 = f_3 = \frac{F_{2vai3}}{F_{kop}} = \frac{(0.6 - 0.05) \cdot 0.05}{0.6 \cdot 0.6} = 0.0764$$

Ja karkasa solis slāņos nebūtu vienāds, tad arī relatīvās platības nebūtu vienādas.

Siltumpretestība 2. daļai:

$$R_2 = 0.13 + \frac{0.013}{0.25} + \frac{0.05}{0.039} + \frac{0.15}{0.13} + \frac{0.03}{0.035} + 0.13 = 3.605, \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

Siltumpretestība 3. daļai:

$$R_3 = 0.13 + \frac{0.013}{0.25} + \frac{0.05}{0.13} + \frac{0.15}{0.039} + \frac{0.03}{0.035} + 0.13 = 5.40, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

4. daļas relatīvā platība un siltumpretestība:

$$f_4 = \frac{F_4}{F_{kop}} = \frac{0.05 \cdot 0.05}{0.6 \cdot 0.6} = 0.0069$$

$$R_4 = 0.13 + \frac{0.013}{0.25} + \frac{0.05}{0.13} + \frac{0.15}{0.13} + \frac{0.03}{0.035} + 0.13 = 2.708 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

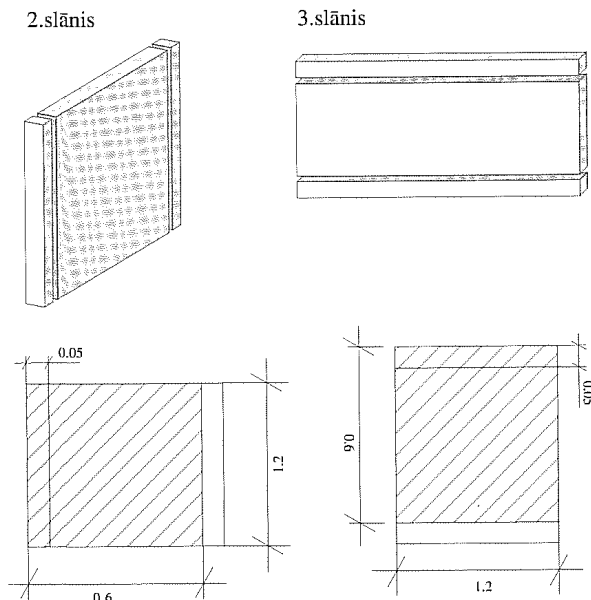
Zinot katras homogēnas daļas termisko pretestību un relatīvo platību, ir iespējams aprēķināt termiskās pretestības augšējo robežu:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{0.84}{6.297} + \frac{0.0764}{3.605} + \frac{0.0764}{5.40} + \frac{0.0069}{2.708} = 0.171, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$R'_T = \frac{1}{0.171} = 5.848 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Termiskās pretestības augšējās robežas R'_T noteikšana

Konstrukcijā skatoties no iekšpuses, otrais un trešais slānis ir nehomogēni. Tie sastāv no izolācijas un karkasa. Izolācijas un karkasa izvietojums katrā no slāņiem ir parādīts 2.8. zīmējumā.



2.8. zīm. Karkasa izvietojums slāņī

Aprēķina siltumvadītspēju, ņemot vērā labojuma koeficientu darba apstākļiem nevientilētiem siltumizolācijas materiāliem, sastāda:

$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0.037 + 0.002 = 0.039 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, kur labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_w$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas.

Pretvēja izolācija atrodas tiešā saskarē ar labi ventilēto gaisa slāni, tādēļ aprēķina siltumvadītspēju sastāda:

$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0.034 + 0.001 = 0.035 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, kur labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_w$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas.

Koka un ģipskartona siltumvadītspējas koeficienti ir atrodamā LBN 002-01 pielikuma 7. tabulā. Korekciju darba apstākļiem šiem materiāliem nav jāveic (LBN 002-01 20. punkts).

Lai aprēķinātu relatīvās platības, ir jāapskata konstrukcijas izgriezumu veselos metros, kas vienā virzienā bez atlikuma dalās ar karkasa soli, piemēram, 1.2x1.2 m, kur ietilpst 2 karkasi. Bet šajā gadījumā var apskatīt arī 0,6x1.2 m ar vienu karkasu.

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

Izolācijas relatīvā platība:

$$f_{izol} = \frac{F_{izol}}{F_{kop}} = \frac{(0.6 - 0.05) \cdot 1.2}{0.6 \cdot 1.2} = 0.92$$

Karkasa relatīvā platība:

$$f_K = \frac{F_K}{F_{kop}} = \frac{0.05 \cdot 1.2}{0.6 \cdot 1.2} = 0.08$$

Tā kā otrais un trešais slānis sastāv no vienādiem materiāliem, ekvivalentā siltumvadītspēja tiem ir vienāda un tiek aprēķināta sekojoši:

$$\lambda^* = 0.92 \cdot (0.037 + 0.002) + 0.08 \cdot 0.13 = 0.0463, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}.$$

Zinot katra homogēna slāņa siltumvadītspējas koeficientu un katra nehomogēna slāņa ekvivalento siltumvadītspēju, ir iespējams aprēķināt termiskās pretestības apakšējo

$$R_T^* = 0.13 + \frac{0.013}{0.25} + \frac{0.05}{0.0463} + \frac{0.15}{0.0463} + \frac{0.03}{0.035} + 0.13 = 5.489, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}.$$

Sienas konstrukcijas siltumpretestība:

$$R_T = \frac{5.848 + 5.489}{2} = 5.67, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}.$$

Apskatāmās nehomogēnās sienas konstrukcijas pilnā siltumpretestība ir vienāda ar $5.67 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Nehomogēnas konstrukcijas siltumpretestības aprēķinu var veikt EXCEL vidē, izmantojot 2.2. tabulu.

2.2. tabula

Daļas relatīvā platība:				Siltumpretestības augšējā robeža				Siltumpretestības apakšējā robeža		
				1.daļa	2.daļa	3.daļa	4.daļa	f	$\lambda, \text{W/mK}$	$R, \text{m}^2\text{K/W}$
Nr.		d, m	$\lambda d, \text{W/mK}$	$R_i, \text{m}^2\text{K/W}$	$R_e, \text{m}^2\text{K/W}$	$R_s, \text{m}^2\text{K/W}$	$R_t, \text{m}^2\text{K/W}$			
	iekšējā virsma			0.130	0.130	0.130	0.130			0.130
1	ģipskartons	0.013	0.25	0.052	0.052	0.052	0.052		0.25	0.052
2	Karkass	0.05	0.13			0.385	0.385	0.08	0.0463	1.080
	Siltumizolācija		0.039	1.282	1.282			0.92		
3	karkass	0.15	0.13		1.154		1.154	0.08	0.0463	3.240
	siltumizolācija		0.039	3.846		3.846		0.92		
4	pretvēja izolācija	0.03	0.035	0.857	0.857	0.857	0.857		0.035	0.857
	ārējā virsma			0.130	0.130	0.130	0.130			0.130
			kopā	6.297	3.605	5.400	2.708			5.489
				5.848						

Sienas konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem aprēķins
Jumta konstrukcijas siltumpretestība:

$$R_T = \frac{5.848 + 5.489}{2} = 5.67, \text{m}^2\text{K/W}.$$

2.3. Neapkurināto telpu termiskā pretestība

Neapkurināto bēniņu termisko pretestību R_u , ja jumta konstrukcijā nav siltumizolācijas materiālu, var noteikt pēc 2.3. tabulas datiem.

2.3. tabula

Nr.	Jumta konstrukcijas raksturojums	$R_u, \text{m}^2\text{K/W}$
1.	Jumta segums no gabalmateriāliem bez nepārtraukta nesošā vai hidroizolācijas slāņa (dēļi, ruberoīds, u.c.)	0,06
2.	Jumta segums no gabalmateriāliem ar nepārtrauktu nesošo vai hidroizolācijas slāni (dēļi, ruberoīds, u.c.)	0,2
3.	Tāpat kā 2., bet ar alumīniju vai cita zemas emisivitātes materiāla slāni jumta iekšpusē	0,3
4.	Jumts, klāts ar dēļiem un miksto jumta segumu	0,3

Bēniņu termiskā pretestība

Ja ēkai ir nelielas neapkurinātās telpas, tādas kā garāžas, noliktavas, stiklotie ziemas dārzi, to konstrukciju un pašu šo telpu termiskā pretestība tiek pieņemta kā vēl viena homogēna slāņa termiskā pretestība R_u (ja tā ir mazāka vai vienāda ar $0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$):

$$R_u = 0,09 + 0,4 \frac{A_i}{A_e}, \text{m}^2\text{K/W} \quad (2.10)$$

kur:

- A_i - visu norobežojošo virsmu starp iekšējo vidi un neapkurināto telpu platība, m^2 ;
- A_e - visu norobežojošo virsmu starp neapkurināto telpu un ārējo vidi platība, m^2 .

Ja starp neapkurināto telpu un iekšējo vidi ir vairāku būvelementu norobežojošās virsmas (piemēram, sienas un grīdas), papildus termisko pretestību R_u ir jāiekļauj katra būvelementa termiskajā pretestībā.

2.4. Gaisa slāņu termiskā pretestība

Ar zemāk aprakstītām metodēm tiek noteikta gaisa slāņu termiskā pretestība, ja gaisa slānis atbilst sekojošām prasībām:

- tas ir norobežots ar divām paralēlām virsmām, izvietots perpendikulāri siltuma plūsmai un tā emisivitāte ir lielāka par 0,8;
- gaisa slāņa biezums siltuma plūsmas virzienā ir mazāks par katru no diviem citiem virzienu izmēriem reizinātiem ar 0,1 un nav lielāks par 0,3 m;
- tam nav saskares ar telpas gaisu.

Ja augstāk minētās prasības nav ievērotas, ir jāizmanto aprēķina metodi, kas ir dota LVS EN ISO 6946 B pielikumā.

Gaisa slāņi, kas atbilst augstāk minētajiem nosacījumiem, ir sadalīti:

- neventilētos gaisa slāņos;
- vāji ventilētos gaisa slāņos;
- labi ventilētos gaisa slāņos.

Par neventilēto gaisa slāni tiek uzskatīts tāds slānis, caur kuru nav iespējama gaisa kustība. Neventilētā gaisa slāņa termiskā pretestība ir dota 2.4.tabulā. Lielumus, kas atbilst "horizontālai" siltuma plūsmai, ir jāizmanto, ja siltuma plūsmas virziens atšķiras no horizontālā ne vairāk par $\pm 30^\circ$. Termiskās pretestības lielumus pie gaisa slāņa biezumiem, kas nav norādīti tabulā un atrodas starp norādītajiem, ir jāaprēķina ar interpolācijas metodi.

Gaisa slānis tiek uzskatīts par neventilēto arī tad, ja to ar ārējo vidi savieno nelieli atvērumi, kas ir izvietoti tā, lai neatļautu gaisa kustību slānī, un starp to un ārējo vidi neatrodas izolācijas slānis. Atvērumu izmēriem jābūt mazākiem par:

- 500 mm^2 uz 1 m (slāņa izmērs pa horizontāli) vertikālajiem slāņiem;
- 500 mm^2 uz horizontālas virsmas 1 m^2 horizontālajiem slāņiem.

2.4.tabula

Neventilēto gaisa slāņu termiskā pretestība R_g m²·K/W augstās emisivitātes (>0,8) virsmām

Gaisa slāņa biezums, mm	Siltuma plūsmas virziens		
	Uz augšu	Horizontāls	Uz leju
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Vāji ventilēts gaisa slānis dod iespēju ierobežotai gaisa cirkulācijai starp slāni un ārējo vidi. Atvērumu izmēri atrodas šādās robežās:

- >500 mm², bet ≤ 1500 mm² uz 1 m (slāņa izmērs pa horizontāli) vertikālajiem slāņiem;
- >500 mm², bet ≤ 1500 mm² uz horizontālas virsmas 1 m² horizontālajiem slāņiem.

Vāji ventilēta gaisa slāņa termiskā pretestība ir 0,5 no 2.4. tabulā norādītā lieluma. Ja 2.4. tabulā norādītais gaisa slāņa termiskās pretestības lielums ir virs 0,15 m²·K/W, tad aprēķinot vāji ventilētā slāņa termisko pretestību, to ir jāsamazina līdz 0,15 m²·K/W.

Labi ventilēts gaisa slānis ir tāds, ko ar ārējo gaisu savieno atvērumi, kas ir lielāki par:

- 1500 mm² uz 1 m (slāņa izmērs pa horizontāli) vertikālajiem slāņiem;
- 1500 mm² uz horizontālas virsmas 1 m² horizontālajiem slāņiem.

Ja būvelementā ir labi ventilēts gaisa slānis, pilno termisko pretestību nosaka, pieņemot gaisa slāņa un visu slāņu, kas seko aiz tā uz ārpusi, termisko pretestību vienādu ar 0. Toties ārējās virsmas termisko pretestību pieņem vienādu ar šī būvelementa iekšējās virsmas termisko pretestību.

2.5. Grīda virs aukstās pagrīdes

Saskaņā ar LBN 002-01 15. punktu siltuma caurlaidības normatīvās un maksimālās grīdām, kas saskaras ar āra gaisu, ir tādas pašas, kā jumtiem, bet grīdām virs neapkurinātiem pagrābiem - tādas pašas kā grīdām uz grunts.

Veicot aprēķinus grīdām virs aukstās pagrīdes, jāņem vērā, ka siltuma plūsma nāk uz leju. Iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība R_{st} būs vienāda ar 0,17 m²·K/W. Pārējie aprēķini ir līdzīgi sienas konstrukcijām, iedalot tos konstrukcijās ar homogēniem vai nehomogēniem slāņiem.

Tālāk apskatīsim piemēru grīdai virs aukstās pagrīdes. Konstrukcijā ir trīs nevienādīgi slāņi. Konstrukcijas siltuma zudumu pretestību ir jānosaka pēc 2.4. vienādojuma.

Konstrukciju var iedalīt četros slāņos, kas sastāv no sekojošiem materiāliem:

1. melnā grīda ($d = 0,025$ m, $\lambda = 0,13$ W/(m·K));
2. latojums ($d = 0,04$ m, $\lambda = 0,13$ W/(m·K));
3. koka karkass ar siltumizolāciju ($d=0,2$ m, $\lambda_{cl}= 0,037$ W/(m·K)) un pretvēja izolāciju ($d=0,03$ m, $\lambda_{cl}= 0,032$ W/(m·K)).

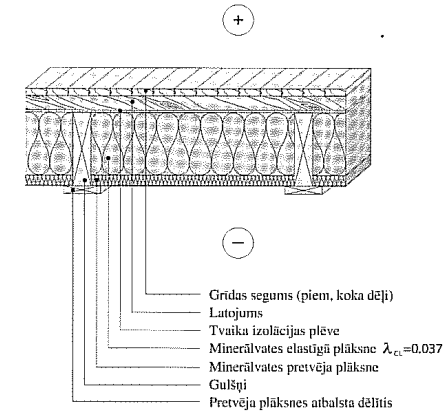
Siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēja, ņemot vērā labojuma koeficientu darba apstākļiem (materiāls nav ventilēts):

$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0,037 + 0,002 = 0,039$ W/(m·K), kur labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_w$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas.

Pretvēja izolācija atrodas tiešā saskarē ar labi ventilēto gaisa slāni. Ņemot vērā šī materiāla izvietojumu konstrukcijā, aprēķina siltumvadītspēju sastāda:

$$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0,032 + 0,001 = 0,033$$
 W/(m·K)

Koka siltumvadītspējas koeficients ir atrodams LBN 002-01 pielikuma 7. tabulā. Korekciju darba apstākļiem koka materiāliem nav jāveic (LBN 002-01 20. punkts).



2.9. zīm. Grīda virs aukstās pagrīdes

Otrajā slānī starp koka latojumu nav paredzēta siltumizolācija, un kā aizpildījums tiek izmantots gaiss. Tālākajos aprēķinos tiek pieņemts, ka gaisam nav saskares ar iekšējo gaisu un tā siltumpretestība ir sniegta LVS EN ISO 6946 standarta 2. tabulā, kā arī šīs grāmatas 2.4. nodaļā.

Pie biezuma 45 mm gaisa slāņa siltumpretestība ir vienāda ar $R_g = 0,21$ m²·K/W. Latojuma solis tiek pieņemts vienāds ar 300mm.

Trešais slānis dotajā konstrukcijā sastāv no koka karkasa, starp kuru tiek izvietots siltumizolācijas materiāls un pretvēja izolācija. Siltumizolācijas slānis nav ventilēts, bet pretvēja izolācija ir ventilējama. Koka elementu relatīvā platība siltumizolācijas slānī ir $f_a=0,08$. Koka karkasa biezums ir 50mm, un solis starp karkasa elementiem sastāda 600 mm.

Tvaika izolācijas siltumpretestība aprēķinos netika ņemta vērā.

Termiskās pretestības augšējās un apakšējās robežas noteikšana ir parādīta 2.5. tabulā. Zemāk tiek parādīts, kā tiek aprēķinātas konstrukcijas homogenās daļas relatīvās platības siltumpretestības augšējās robežas noteikšanai.

1.daļas relatīvā platība tiek aprēķināta:

$$f_1 = \frac{F_1}{F_{kap}} = \frac{(0,6 - 0,05) * (0,3 - 0,05)}{0,6 * 0,3} = 0,764$$

2. daļas relatīvā platība:

$$f_2 = \frac{F_2}{F_{kap}} = \frac{(0,3 - 0,05) * 0,05}{0,6 * 0,3} = 0,069$$

3. daļas relatīvā platība:

$$f_3 = \frac{F_3}{F_{kop}} = \frac{(0.6 - 0.05) * 0.05}{0.6 * 0.3} = 0.153$$

4. daļas relatīvā platība:

$$f_4 = \frac{F_4}{F_{kop}} = \frac{0.05 * 0.05}{0.6 * 0.3} = 0.014$$

Augšējās robežas siltumpretestības noteikšanai aprēķināsim materiālu relatīvās platības katrā atsevišķā slānī.

2. slānis

Gaisa relatīvā platība:

$$f_{gais} = \frac{F_{gais}}{F_{kop}} = \frac{(0.3 - 0.05) * 0.6}{0.3 * 0.6} = 0.83$$

Karkasa relatīvā platība:

$$f_K = \frac{F_K}{F_{kop}} = \frac{0.05 * 0.6}{0.3 * 0.6} = 0.17$$

Tā kā gaisa slānim nav zināma siltumvadītspēja, bet ir zināma siltumpretestība, nosakām 2. slāņa ekvivalento siltumpretestību:

$$R_2 = \frac{1}{\frac{f_{gais}}{R_{gais}} + \frac{f_K}{R_K}} = \frac{1}{\frac{0.83}{0.21} + \frac{0.17}{0.308}} = 0.22, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}.$$

Materiālu relatīvās platības un ekvivalentā siltumvadītspēja 3. slānī tiek aprēķināti līdzīgi kā apakšnodalā 2.2.2. apskatītajai sienas konstrukcijai.

2.5. tabula

		Siltumpretestības augšējā robeža				Siltumpretestības apakšējā robeža		
		1.daļa	2.daļa	3.daļa	4.daļa	f	λ , W/mK	R, m ² K/W
Daļas relatīvā platība:		0.764	0.069	0.153	0.014			
Nr.		d, m	λ d, W/mK	R, m ² K/W	R, m ² K/W	R, m ² K/W		
	iekšējā virsma			0.17	0.17	0.17		0.10
1	melna grīda	0.025	0.13	0.192	0.192	0.192	0.13	0.192
2	latojums	0.04	0.13			0.308	0.17	
	gaiss			0.21	0.21		0.83	0.22
3	karkass	0.2	0.13		1.528		0.08	
	siltumizolācija		0.039	5.128		5.128	0.92	0.0463
	karkass	0.03	0.13		0.231		0.08	
	pretvēja izolācija	0.03	0.033	0.909		0.909	0.92	0.0408
	ārējā virsma			0.04	0.04	0.04		0.04
			kopā	6.649	2.371	6.747		5.607
				5.78				

Jumta konstrukcijas siltumpretestība:

$$R_T = \frac{5.78 + 5.607}{2} = 5.69, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}.$$

2.6. Bēniņu pārsegums

Bēniņu pārseguma aprēķins ir līdzīgs sienas konstrukcijas aprēķinam, bet jāņem vērā, ka šajā gadījumā siltuma plūsma nāk uz augšu un iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība R_{SI} būs vienāda ar 0.10 m²·K/W.

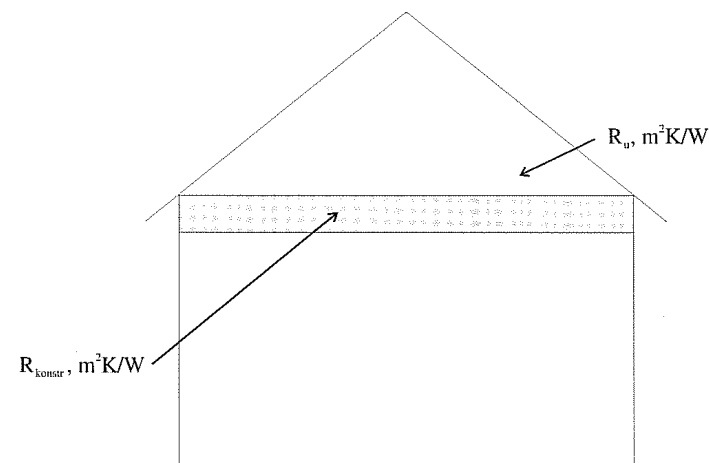
Veicot termiskās pretestības aprēķinus bēniņu pārsegumam, jāņem vērā arī neapkurināto bēniņu telpu termiskā pretestība. Vispārīgā gadījumā bēniņu pārseguma zem neapkurinātiem bēniņiem siltuma zudumu pretestība var būt izteikta sekojoši:

$$R_T = R_{SI} + R_{konstr} + R_u + R_{SE}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (2.11)$$

kur:

- R_{konstr} - bēniņu pārseguma termiskā pretestība, m²·K/W;
- R_u - bēniņu termiskā pretestība, m²·K/W (2.6. tabula).

Neapkurināto bēniņu shematiskais attēls ir parādīts 2.10. zīmējumā.



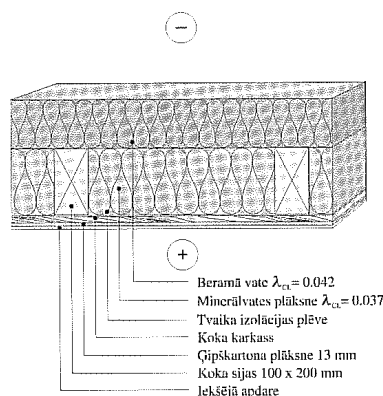
2.10. zīm. Neapkurināto bēniņu shematiskais attēls

Bēniņu termiskā pretestība

2.6. tabula

Jumta konstrukcijas raksturojums	$R_u, \text{m}^2\text{K/W}$
Jumta segums no gabalmateriāliem bez nepārtraukta nesošā vai hidroizolācijas slāņa (dēļi, ruberoids, u.c.)	0,06
Jumta segums no gabalmateriāliem ar nepārtrauktu nesošo vai hidroizolācijas slāni (dēļi, ruberoids, u.c.)	0,2
Tas pats, bet ar alumīnija vai cita zemas emisivitātes materiāla slāni jumta iekšpusē	0,3
Jumts, klāts ar dēļiem un mīksto jumta segumu	0,3

Kā aprēķina piemēru apskatīsim bēniņu pārseguma konstrukciju, kas sastāv no nehomogēniem slāņiem (2.11. zīmējums).



2.11. zīm. Bēniņu pārsegums

Apskatāmais bēniņu pārsegums pieder pie konstrukcijām ar nehomogēniem slāņiem. Doto bēniņu pārseguma konstrukciju nosacīti var sadalīt četros slāņos, kuri sastāv no sekojošiem materiāliem:

1. iekšējā apdare (ģipškartons) ($d=0,013 \text{ m}$, $\lambda = 0,25 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$);
2. koka karkass ($d=0,015 \text{ m}$, $\lambda = 0,13 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$);
3. koka karkass ar siltumizolāciju ($d=0,2 \text{ m}$, $\lambda_{cl}= 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$);
4. siltumizolācija ($d=0,15 \text{ m}$, $\lambda_{cl}= 0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$).

Bēniņu telpa tiek uzskatīta par papildu pretestību siltuma zudumiem. Tās siltumpretestību $R_u, \text{m}^2\text{K/W}$ pieņemsim vienādu ar $0,06 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Koka elementu relatīvā platība $f_a=0,08$, siltumizolācijas relatīvā platība $f_b=0,92$. Siltumpretestību konstrukcijai ar tik mazu koka elementu īpatsvaru var rēķināt pēc siltuma zudumu pretestības apakšējās robežas.

Otrajā slānī starp koka latojumu nav paredzēta siltumizolācija, un kā aizpildījums tiek izmantots gaiss. Tālākajos aprēķinos tiek pieņemts, ka gaisam nav saskares ar iekšējo gaisu, un tā siltumpretestība ir sniegta LVS EN ISO 6946 standarta 2. tabulā, kā arī šīs grāmatas 2.4. nodaļā.

Pie gaisa slāņa biezuma 15 mm tā siltumpretestība ir vienāda ar $R_g = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$. Latojuma solis tiek pieņemts vienāds ar 300 mm .

Saskaņā ar LBN 002-01 38. punktu ir jāņem vērā siltumizolācijas materiāla sēšanās tā kalpošanas laikā. Brīvi bērtai stikla un akmens vatei sēšanās sasniedz 5% . Siltumizolācijas materiāla biezums tālākajos aprēķinos tiek pieņemts $d = 0,15-0,15 \times 0,05 = 0,143 \text{ m}$.

Minerālvates plāksnes deklarētais siltumvadītspējas koeficients tiek pieņemts vienāds ar $\lambda_{cl} = 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Tālāk ir jāizmanto aprēķina siltumvadītspējas koeficients λ_d , kas ir atkarīgs no siltumizolācijas materiāla tipa un izvietojuma konstrukcijā.

Ņemot vērā, ka minerālvates plāksnes nav ventilētas, aprēķina siltumvadītspēja sastāda: $\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0,037 + 0,002 = 0,039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Beramas minerālvates slānis tiek uzskatīts par labi ventilētu slāni, un labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_w$ sastāda $0,008 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas).

Beramas minerālvates aprēķina siltumvadītspēja, ņemot vērā labojuma koeficientu darba apstākļiem, sastāda:

$$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0,042 + 0,008 = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Koka un ģipškartona siltumvadītspējas koeficienti ir atrodami LBN 002-01 pielikuma 7. tabulā. Korekciju darba apstākļiem šiem materiāliem nav jāveic (LBN 002-01 20. punkts).

Tā kā gaisa slānim nav zināma siltumvadītspēja, bet ir zināma siltumpretestība, nosakām 2.slāņa ekvivalento siltumpretestību:

$$R_2 = \frac{1}{\frac{f_{gaiss}}{R_{gaiss}} + \frac{f_k}{R_k}} = \frac{1}{\frac{0,83}{0,16} + \frac{0,17}{0,115}} = 0,15, \text{ m}^2\text{K/W},$$

kur:

$$f_{gaiss} - \text{gaisa relatīvā platība, } f_{gaiss} = \frac{F_{gaiss}}{F_{kop}} = \frac{(0,3-0,05) \cdot 0,6}{0,3 \cdot 0,6} = 0,83$$

$$f_k - \text{karkasa relatīvā platība, } f_k = \frac{F_k}{F_{kop}} = \frac{0,05 \cdot 0,6}{0,3 \cdot 0,6} = 0,17$$

Ekvivalentā siltumvadītspēja trešajam slānim tiek aprēķināta sekojoši:

$$\lambda' = 0,92 \cdot (0,037 + 0,002) + 0,08 \cdot 0,13 = 0,0463 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Termiskās pretestības apakšējo robežu ir iespējams aprēķināt, zinot katra homogēna slāņa siltumvadītspējas koeficientu un katra nehomogēna slāņa ekvivalento siltumvadītspēju:

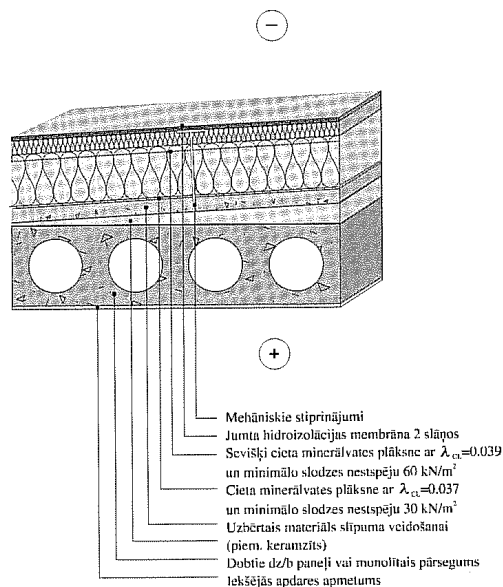
$$R_T' = 0,10 + \frac{0,013}{0,25} + 0,15 + \frac{0,2}{0,0463} + \frac{0,143}{0,05} + 0,04 = 7,522, \text{ m}^2\text{K/W}$$

Bēniņu pārsegumam zem neapkurinātiem bēniņiem:

$$R_T = 7,522 + 0,06 = 7,582, \text{ m}^2\text{K/W}$$

2.7. Savietotais jumts

Savietotais jumts (2.12. zīmējums) ir tāds jumts, kurā siltumizolācijas slānis novietots zem hidroizolācijas slāņa.



2.12. zīm. Savietotais jumts

Šajā piemērā pieņemsim siltumizolācijas stiprināšanas detaļas siltumvadītspēju mazāku par $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Līdz ar to sienu var uzskatīt par konstrukciju ar homogēniem slāņiem.

Pirmajā siltumizolācijas slānī ir izveidoti speciāli vēdināšanas kanāli. Tāpēc šo slāni var uzskatīt par ventilētu. Ventilēta siltumizolācijas materiāla siltumvadītspējas labojuma koeficients ir $\Delta\lambda_w = 0.001 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Slīpumu veidojošo slāni aprēķinā var neņemt vērā, jo līdz ar betona javas lielu siltumvadītspēju tas neatstāj jūtamu iespaidu uz konstrukcijas siltuma zudumu pretestību. Gadījumā, kad slīpumu veidojošais slānis ir ar mazu siltumvadītspēju, siltumcaurlaidības koeficientu šim slānim ir iespējams atrast, izmantojot metodes, kas ir sniegtas Latvijas nacionālā standarta LVS EN ISO 6946 C pielikumā.

Apskatāmais jumts sastāv no šādiem slāņiem:

- iekšējā apdare - apmetums ($d = 0.01 \text{ m}$ un $\lambda = 0.9 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- dzelzsbetona panelis ($d = 0.22 \text{ m}$ un $\lambda = 0.58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- slīpumu veidojošais slānis (aprēķinos netiek ņemts vērā);
- izlīdzinošais slānis ($d = 0.04 \text{ m}$, $\lambda = 0.9 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- tvaika izolācija (aprēķinos netiek ņemta vērā tās siltumpretestība);
- cietā minerālvate $\rho > 24 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($d = 0.14 \text{ m}$ un $\lambda_{CL} = 0.037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- sevišķi cietā minerālvates plāksne ($d = 0.04 \text{ m}$ un $\lambda_{CL} = 0.039 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- jumta segums (aprēķinos netiek ņemta vērā slāņa siltumpretestība);

Zinot katra slāņa biezumu un siltumvadītspēju, varam aprēķināt jumta konstrukcijas siltumpretestību, izmantojot 2.2. vienādojumu:

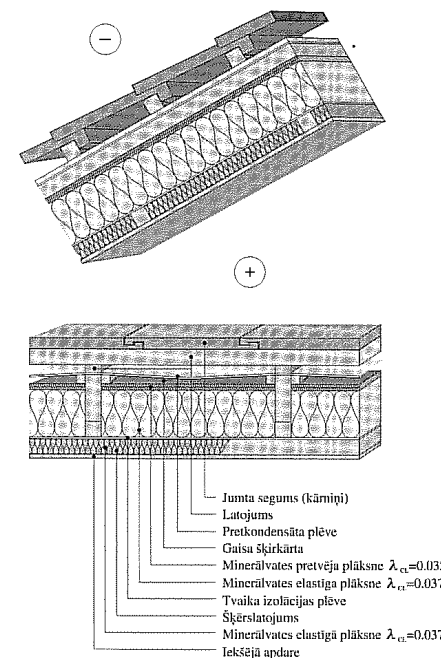
$$R_T = 0.10 + \frac{0.01}{0.9} + \frac{0.22}{0.58} + \frac{0.04}{0.9} + \frac{0.14}{0.037 + 0.001} + \frac{0.04}{0.039 + 0.001} + 0.04 = 5.25, \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}.$$

Tātad apskatāmas jumta konstrukcijas pilnā siltumpretestība ir vienāda ar $5.25, \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

2.8. Mansarda jumts

Mansarda jumta konstrukcijas aprēķins ir līdzīgs sienas konstrukcijas aprēķinam, bet jāņem vērā, ka virsmu termiskā pretestība ir atkarīga gan no siltuma plūsmas virziena, gan no jumta slīpuma. Ja jumta slīpums ir lielāks par 30° , tad iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība R_{S1} būs vienāda ar $0.10 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Tālāk šajā apakšnodaļā tiek sniegts praktisks aprēķins mansarda jumta konstrukcijai, kura sastāv no trim nehomogēniem slāņiem un viena homogēna slāņa. Materiālu izvietojums konstrukcijā ir parādīts 2.13. zīmējumā.



2.13. zīm. Mansarda jumts

Apskatāmā mansarda jumta konstrukcija sastāv no šādiem slāņiem:

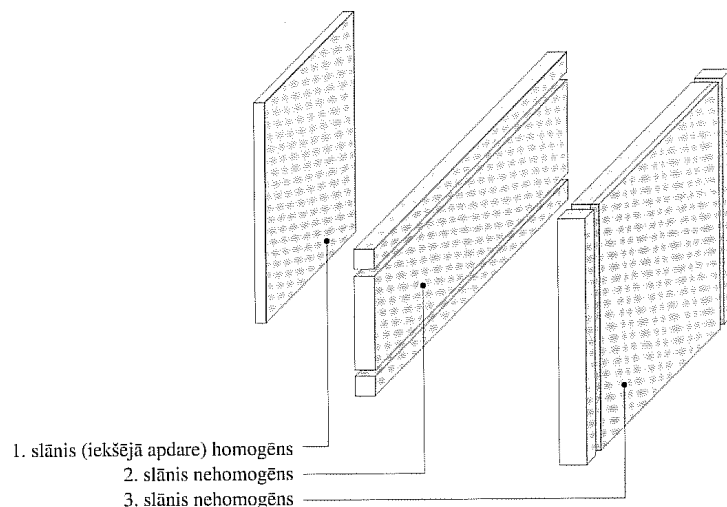
1. iekšējā apdare ($d = 0.013 \text{ m}$, $\lambda = 0.25 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
2. koka karkass ar siltumizolāciju ($d = 0.05 \text{ m}$, $\lambda_{CL} = 0.037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
3. koka karkass ar siltumizolāciju ($d = 0.15 \text{ m}$, $\lambda_{CL} = 0.037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) un pretvēja izolāciju ($d = 0.03 \text{ m}$, $\lambda_{CL} = 0.032 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$).

Konstrukcijas siltumpretestības aprēķinā nav iekļauti slāņi, kas atrodas aiz labi ventilētā gaisa slāņa. Veicot manuālo aprēķinu, gandrīz nav iespējams novērtēt koka karkasa izvirzījumu virs siltumizolācijas materiāla ietekmi uz konstrukcijas kopējo termisko pretestību. Šajā aprēķinā koka karkasa biezums tiek nosacīti pielīdzināts siltumizolācijas materiāla biezumam.

Konstrukcijas shematiskais attēls ir parādīts 2.14. zīmējumā.

Jumta konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem aprēķins

		Siltumpretestības augšējā robeža				Siltumpretestības apakšējā robeža		
		1.daļa	2.daļa	3.daļa	4.daļa	f	$\lambda',$ W/mK	$R,$ m ² K/W
Nr		Daļas relatīvā platība:		$\lambda_d,$ W/mK	$R,$ m ² K/W	$R,$ m ² K/W	$R,$ m ² K/W	$R,$ m ² K/W
		d, m						
	Iekšējā virsma			0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
1	Gipskartons	0.013	0.25	0.052	0.052	0.052	0.25	0.052
2	Karkass	0.05	0.13			0.385	0.08	1.080
	Siltumizolācija		0.039	1.282	1.282		0.92	
3	Karkass	0.15	0.13		1.154	1.154	0.08	3.240
	Siltumizolācija		0.039	3.846		3.846	0.92	
	Karkass	0.03	0.13		0.231	0.231	0.08	0.735
	Pretvēja izolācija	0.03	0.033	0.909		0.909	0.92	
	Arējā virsma			0.10	0.10	0.10		0.10
			kopā	6.289	2.919	5.392		5.307
				5.56				



2.14. zīm. Jumta konstrukcijas ar nehomogēniem slāņiem shematiskais attēls

Lai aprēķinātu konstrukcijas siltumpretestību, ir nepieciešams noteikt siltumpretestības augšējo un apakšējo robežu. Trešais slānis dotajā konstrukcijā sastāv no koka karkasa, starp kuru tiek izvietots siltumizolācijas materiāls un pretvēja izolācija.

Siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēja, ņemot vērā labojuma koeficientu darba apstākļiem (materiāls nav ventilēts):

$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_v = 0.037 + 0.002 = 0.039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, kur labojuma koeficients darba (ekspluatācijas) apstākļiem $\Delta\lambda_v$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas.

Pretvēja izolācija atrodas tiešā saskarē ar labi ventilēto gaisa slāni. Ņemot vērā šī materiāla izvietojumu konstrukcijā, aprēķina siltumvadītspēju sastāda:

$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_v = 0.032 + 0.001 = 0.033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Koka siltumvadītspējas koeficients ir atrodams LBN 002-01 pielikuma 7. tabulā. Korekciju darba apstākļiem koka materiāliem nav jāveic (LBN 002-01 20. punkts).

Termiskās pretestības augšējās robežas R'_r noteikšana

Dotajā piemērā ir iespēja izvēlēties konstrukcijas elementu, kurš ir ierobežots ar vertikālu un horizontālu karkasa soli. Skatoties siltuma plūsmas virzienā, konstrukcijā var izdalīt 4 zonas, kur visi slāņi ir homogēni. Materiāla izvietojums katrā zonā ir līdzīgs 2.2.2. nodaļā apskatāmajai sienas konstrukcijai.

Termiskās pretestības apakšējās robežas R''_r noteikšana

Konstrukcijā otrais un trešais slānis, skatoties no iekšpuses, ir nehomogēni. Tie sastāv no izolācijas un karkasa. Dotajā konstrukcijā materiālu relatīvās platības otrajā un trešajā slānī ir vienādas. Termiskās pretestības augšējās un apakšējās robežas noteikšana ir parādīta 2.7. tabulā.

Jumta konstrukcijas siltumpretestība:

$$R_T = \frac{5.56 + 5.307}{2} = 5.43, \text{ m}^2\cdot\text{K/W}.$$

2.9. Norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficients

Norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients:

$$U = \frac{1}{R_T}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad (2.12)$$

kur R_T - norobežojošās konstrukcijas termiskā pretestība, m²·K/W.

Iegūto siltuma caurlaidības koeficientu ir jākorrigē. Koriģētais konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_c = U + \Delta U, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad (2.13)$$

kur:

- U - norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, W/(m²·K);
- ΔU - korekcijas lielums, W/(m²·K).

Korekcijas lielums ņem vērā visus faktorus, kuri ietekmē siltuma caurlaidības koeficientu:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \quad (2.14)$$

kur

- ΔU_g - korekcija gaisa spraugām, W/(m²·K);
- ΔU_f - korekcija slāņa mehāniskam stiprinājumam, W/(m²·K);
- ΔU_r - korekcija apvēršiem jumtiem, W/(m²·K).

Ja korekciju lielums ir mazāks par 3%, būvelementa siltuma caurlaidības koeficients nav jākorrigē.

Korekcija gaisa spraugām:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_T} \right)^2, W/(m^2 \cdot K), \quad (2.15)$$

kur:

- R_1 - slāņa ar gaisa spraugu siltuma zudumu pretestība, noteikta kā homogēna slāņa siltuma zudumu pretestība, $m^2 \cdot K/W$;
- R_T - būvelementa kopējā siltuma zudumu pretestība, $m^2 \cdot K/W$;
- $\Delta U''$ - korekcijas lielums atkarībā no gaisa spraugu tipa, $W/(m^2 \cdot K)$ (2.8. tabula).

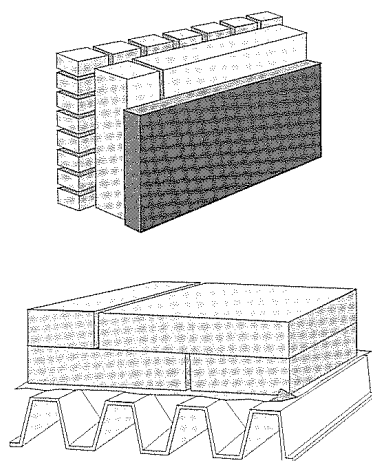
2.8. tabula

Korekcija gaisa spraugām

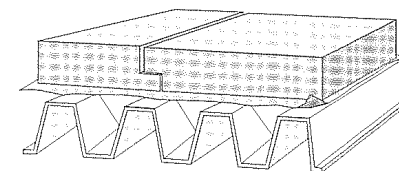
Limenis	$\Delta U'', W/(m^2 \cdot K)$	Spraugu apraksts
0	0,00	Izolācija ir uzstādīta tā, ka izolācijas siltajā pusē nav iespējama gaisa cirkulācija. Nav gaisa spraugu, kas šķērsotu visu siltumizolācijas slāni
1	0,01	Izolācija ir uzstādīta tā, ka izolācijas siltajā pusē nav iespējama gaisa cirkulācija. Ir gaisa spraugas, kas šķērsu visu siltumizolācijas slāni
2	0,04	Izolācija ir uzstādīta tā, ka izolācijas siltajā pusē ir iespējama gaisa cirkulācija. Ir gaisa spraugas, kas šķērsu visu siltumizolācijas slāni

Gaisa spraugu ilustrējošie piemēri ir 2.15. - 2.22. zīmējumos. Šie piemēri neaptver visus iespējamās gaisa spraugu tipus, un tiem ir informatīvs raksturs.

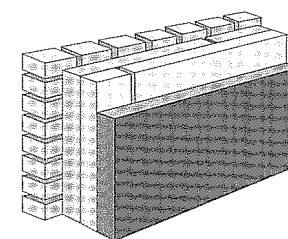
Korekcijas 0. līmenis



2.15. zīm. Nepārtrauktā izolācija vairākos slāņos ar nesavietotām savienojuma vietām

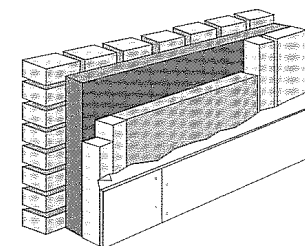


2.16. zīm. Viens izolācijas slānis ar pārklāto savienojuma vietu



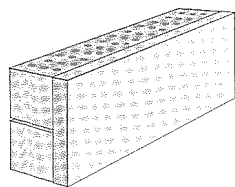
2.17. zīm. Nepārtraukts izolācijas slānis ar taisno savienojumu

Ja materiāli nav griezti zem taisna leņķa, tos nav iespējams blīvi savienot, un rodas gaisa spraugas. 2.17. zīmējumā parādītais izolācijas veids atbilst "0" līmeņa prasībām, ja spraugas starp izolācijas veidgabaliem ir mazākas par 5 mm. Šis nosacījums ir ievērojams, ja gabalmateriāla visu izmēru pielaižu summa ir mazāka par 5 mm.



2.18. zīm. Divi izolācijas slāņi

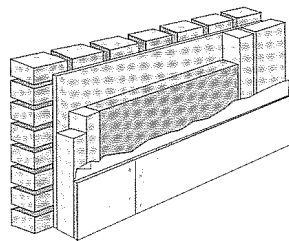
Divi izolācijas slāņi atbilst "0" līmeņa prasībām, ja viens no tiem ir ievietots starp karkasa elementiem, bet otrs pārklāj pirmo izolācijas slāni.



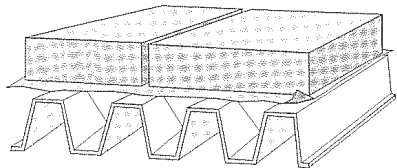
2.19. zīm. Viens izolācijas slānis

Viens izolācijas slānis atbilst "0" līmeņa prasībām, ja konstrukcijas termiskā pretestība, atskaitot izolācijas slāņa termisko pretestību, ir vismaz 50% no konstrukcijas pilnās termiskās pretestības.

Korekcijas 1. līmenis



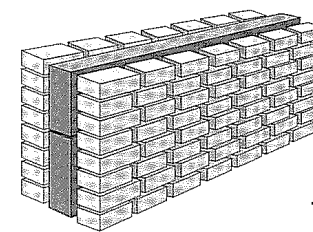
2.20. zīm. Viens izolācijas slānis starp karkasa elementiem



2.21. zīm. Viens izolācijas slānis ar taisno savienojumu vietu

Viens izolācijas slānis ar taisno savienojuma vietu pieder pie 1. korekcijas līmeņa, ja gabalmateriāla visu izmēru pielaižu summa ir lielāka par 5 mm vai ja nogrieztās virsmas atkāpe no taisna līnija ir lielāka par 5 mm. Tas noved pie tā, ka starp izolācijas slāņa veidgabaliem veidojas gaisa spraugas, lielākas par 5 mm.

Korekcijas 2. līmenis



2.22. zīm. Konstrukcijas ar gaisa cirkulācijas iespēju siltajā izolācijas pusē, ko izraisa siltumizolācijas slāņa nepietiekošs noblīvējums augšā un apakšā

Korekcija mehāniskiem stiprinājumiem:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \lambda_f \cdot h_f \cdot A_f, W/(m^2 \cdot K),$$

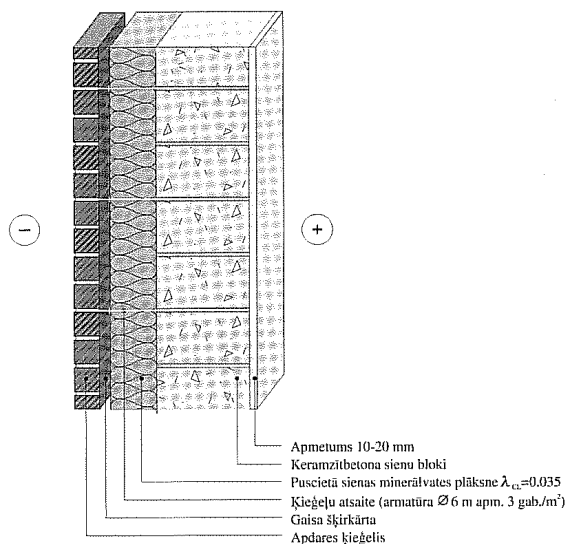
kur:

- α - koeficients, kas ir atkarīgs no stiprinājuma tipa, ķieģeļu sienu savienojošai armatūrai. To pieņem vienādu ar 6 m⁻¹, bet jumta savienojošām detaļām - 5 m⁻¹;
- λ_f - stiprinājuma siltumvadītspēja, W/(m·K);
- h_f - stiprinājumu skaits gabalos uz 1 m²;
- A_f - stiprinājumu šķēsgriezuma platība, m².

Korekciju mehāniskiem stiprinājumiem nav jāveic, ja:

- sienu savienojošā detaļa šķērso gaisa slāni (bez izolācijas);
- sienu savienojošā detaļa savieno ķieģeļu sienu un koka karkasu;
- savienojošās detaļas vai tās daļas siltumvadītspēja ir mazāka par 1 W/(m·K).

Korekciju mehāniskiem stiprinājumiem nedrīkst piemērot savienojošām detaļām, kas savieno metāla sienas. Tādas konstrukcijas ir jāreķina tikai pēc LVS EN ISO10211-1 "Termiskie tilti virszemes būvniecībā. Siltuma plūsmas un virsmas temperatūras. 1. daļa" metodēm.



2.23. zīm. Ventilējamas sienas konstrukcija ar vienu minerālvates slāni

Sienu bloku siltumvadītspēja tiek pieņemta vienāda ar $0.24 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Armatūras siltumvadītspējas koeficients tiek ņemts no LBN 002-01 pielikuma 7. tabulas, un tas ir vienāds ar $17 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Konstrukcijas siltumpretestības aprēķinā nav iekļauti slāņi, kas atrodas aiz labi ventilētā gaisa slāņa.

No sākuma aprēķinām siltumpretestību un siltumcaurlaidības koeficientus kā konstrukcijai ar homogēniem slāņiem. Zinot katra slāņa biezumu un siltumvadītspēju, varam aprēķināt sienas konstrukcijas pilno siltumpretestību:

$$R_r = 0.13 + \frac{0.01}{0.9} + \frac{0.25}{0.24 + 0.045} + \frac{0.05}{0.035 + 0.001} + 0.13 = 2.45, \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}.$$

Tagad nosakām konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficientu pēc 2.12. vienādojuma:

$$U = \frac{1}{2.45} = 0.41, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Dotajā konstrukcijā ir jāpiemēro labojums ΔU mehāniskiem stiprinājumiem, kas savieno divas sienas kārtas. Lai noteiktu, vai dotajai konstrukcijai jāpiemēro siltumcaurlaidības koeficienta korekciju atkarībā no konstrukcijas gaisa spraugām, vajag salīdzināt siltumizolācijas slāņa siltumpretestību ar konstrukcijas pilno siltumpretestību.

Siltumizolācijas slāņa siltumpretestību sastāda $\frac{0.05}{0.036} = 1.389$, kas ir 57% no konstrukcijas pilnās termiskās pretestības. Tas nozīmē, ka korekcijas līmenis gaisa spraugām ir 0.

Korekcija mehāniskiem stiprinājumiem:

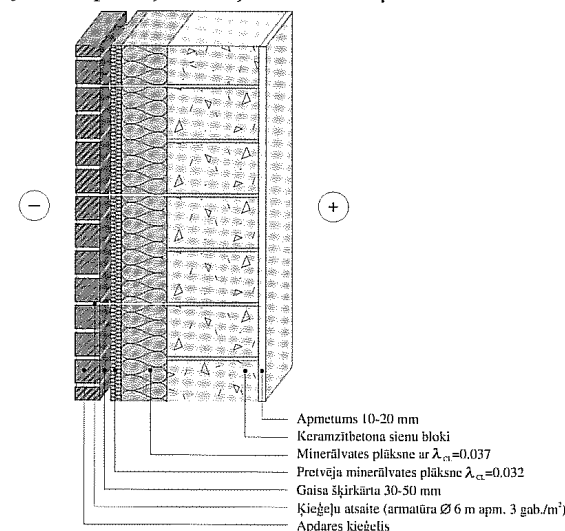
$$\Delta U_f = 6 * 17 * 3 * 0.000113 = 0.0346, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Koriģētais konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_c = 0.41 + \Delta 0.0346 = 0.44, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Var secināt, ka apskatāmā sienas konstrukcija atbilst LBN 002-01 normatīvajām vērtībām, kas attiecas uz ražošanas ēkām, un LBN 002-01 maksimālajām vērtībām, kas attiecas gan uz publiskām, gan uz ražošanas ēkām. Lai šī konstrukcija atbilstu LBN 002-01 normatīvajām vērtībām attiecībā uz dzīvojamām ēkām, ir lietderīgi palielināt siltumizolācijas materiāla biezumu.

Lai uzskatāmāk parādītu siltumizolācijas materiāla ietekmi uz konstrukcijas kopējo siltumcaurlaidības koeficientu, apskatīsim ventilējamo sienas konstrukciju ar dalītu minerālvates slāni (2.24. zīmējums). Sienas konstrukcijas sastāvs ir līdzīgs iepriekšējam variantam, tikai papildināts no ārpuses ar pretvēja izolāciju.



2.24. zīm. Ventilējamas sienas konstrukcija ar dalītu minerālvates slāni

Konstrukcijas pilnā siltumpretestība:

$$R_r = 0.13 + \frac{0.01}{0.9} + \frac{0.25}{0.24 + 0.045} + \frac{0.05}{0.037 + 0.002} + \frac{0.03}{0.032 + 0.001} + 0.13 = 3.24, \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}.$$

Konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficients:

$$U = \frac{1}{3.24} = 0.31, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Korekcijas mehāniskajiem stiprinājumiem:

$$\Delta U_f = 6 * 17 * 3 * 0.000113 = 0.0346, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Koriģētais konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_c = 0.31 + \Delta 0.0346 = 0.34, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Analizējot iegūto rezultātu, var secināt, ka šī sienas konstrukcija atbilst LBN 002-01 normatīvajām vērtībām, kas attiecas uz publiskām ēkām, izņemot pansionātus, slimnīcas un bērnudārzus.

3. Ēkas elementu, kas atrodas saškarē ar zemi, siltumtehniskie aprēķini

3.1. Aprēķina metožu vispārīgie paskaidrojumi

Ēkas elementu, kas atrodas saškarē ar zemi (grīdas uz grunts, grīdas virs neapkurinātas zemgrīdas telpas, apkurinātie un neapkurinātie pagrabi), siltumtehniskais aprēķins tiek veikts saskaņā ar LVS EN ISO 13370 "Ēku siltumtehniskās īpašības. Siltuma zudumi caur pamatiem. Aprēķina metodes".

Formulas, kas ir dotas LVS EN ISO 13370, apskata grīdu izolēti, neņemot vērā sienu un grīdas savstarpējo ietekmi. Faktiski uz sienu un grīdas robežas veidojas termiskie tilti, kurus ir jāņem vērā, rēķinot ēkas kopējos siltuma zudumus. Tipiskie lineāro termisko tiltu lielumi ir doti 3.1. tabulā. Pagrabu termiskie tilti ir niecīgi, un tos var neņemt vērā.

3.1. tabula.

Lineārie termiskie tilti grīdām uz grunts un grīdām virs zemgrīdas telpas

Isolācijas veids	Lineārā tilta siltuma caurlaidības koeficients, Ψ , W/m·K
Neizolēta grīda vai grīda, kur grīdas izolācija savienota ar sienas izolāciju	0,0
Sienas izolācija nav tieši savienota ar grīdas izolāciju, bet pārsedz to vismaz par 200 mm	0,1
Sienas izolācija nav savienota ar grīdas izolāciju	0,2

Lai veiktu siltumtehniskos aprēķinus ēkas konstrukcijām, kas atrodas saškarē ar zemi, ir nepieciešams noteikt grīdas raksturīgo izmēru un ekvivalento biezumu. Grīdas "raksturīgais izmērs" tiek aprēķināts kā attiecība starp grīdas laukumu un perimetra pusi:

$$B' = \frac{A}{0.5P} \text{ m}, \quad (3.1)$$

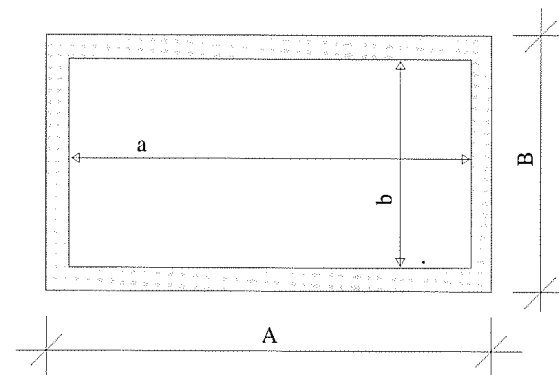
kur:

- A - grīdas platība, m²;
- P - grīdas perimetrs, m.

Pagraba grīdu gadījumā B' aprēķina, ņemot vērā tikai pagraba grīdu izmērus, neieskaitot pagraba sienas. Šajā gadījumā izmanto arī papildus rādītāju, kas ņem vērā perimetra un pagraba dziļuma zem zemes virsmas attiecību.

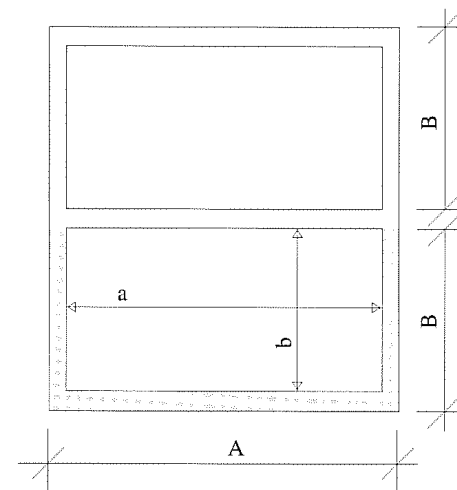
Standartā LVS EN ISO 13370 grīdas perimetrs ir pilns ārējais sienu garums, kas atdala apkurināto ēku no ārējās vides vai neapkurinātas daļas.

Visai ēkai perimetrs "P" ir ēkas kopējais perimetrs, un laukums "A" ir grīdas uz grunts laukums. Visparastākais gadījums ir parādīts 3.1. zīmējumā. Aprēķinot perimetru, ir nepieciešams ņemt sienas ārējos izmērus ("A" un "B" izmēri), bet laukuma aprēķināšanai - iekšējos izmērus ("a" un "b" izmēri).



3.1.zīm. Visas ēkas izmēru noteikšana perimetra un grīdas laukuma aprēķināšanai

Ēkas daļai (piemēram, atsevišķai ēkai rindu ēkā) perimetrā ir ieskaitīts ārējais sienu, kas norobežo ēku no ārējās vides, biezums, un nav ieskaitīts to sienu biezums, kas norobežo ēkas daļu no blakus esošām apkurinātām telpām. Laukums, līdzīgi kā visai ēkai, ir grīdas uz grunts laukums. Visparastākajā gadījumā (3.2. zīmējums), aprēķinot perimetru, ir nepieciešams ņemt vērā sienas ārējos izmērus ("A" un "B" izmēri), bet laukuma aprēķināšanai - iekšējos izmērus ("a" un "b" izmēri).



3.2.zīm. Ēkas daļai izmēru noteikšana perimetra un laukuma aprēķināšanai

Neapkurinātas platības ārpus ēkas, tādas kā garāžas, noliktavas, terases, tiek izslēgtas, nosakot perimetru un laukumu (bet, nosakot perimetru, sienas biezums starp apkurināto un neapkurināto daļu tiek ierēķināts perimetrā).

Ekvivalentais biezums ir grunts biezums, kam ir tāda pati termiskā pretestība kā apskatāmai grīdai. Izšķir ekvivalento biezumu d_e grīdai un ekvivalento biezumu d_w pagraba

sienai, kas atrodas zem zemes virsmas līmeņa. Grīdas ekvivalentā biezuma aprēķina metodes ir atkarīgas no grīdas konstrukcijas, un tās tiek apskatītas turpmākajās nodaļās.

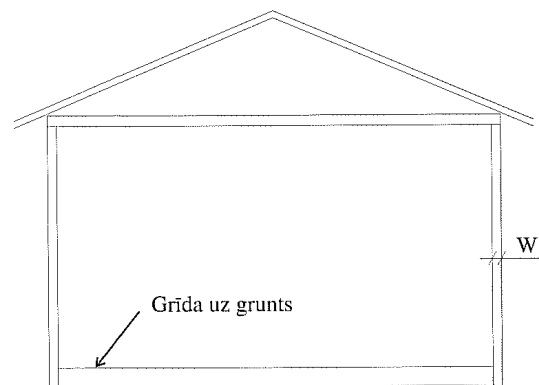
Rēķinot siltumcaurlaidības koeficientu grīdai uz grunts, ir jāņem vērā zemes siltumvadītspēja. Zemes siltumvadītspēju nosaka konkrētai vietai pie normāla mitruma satura dziļumā, kas ir vienāds ar ēkas pusplatumu. Ja tādu datu nav, bet ir zināms grunts sastāvs, tad māla iežiem un nogulumiežiem siltumvadītspēju pieņem 1,5 W(m·K), smiltīm un grantij - 2,0 W(m·K), homogēniem kalnu iežiem - 3,5 W(m·K). Ja datu par grunts sastāvu nav, zemes siltumvadītspēju pieņem 2,0 W(m·K).

Iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība ir 0,17 m²·K/W pie siltuma plūsmas no augšas uz leju; 0,13 m²·K/W pie horizontālas siltuma plūsmas un 0,10 m²·K/W pie siltuma plūsmas no lejas uz augšu. Siltuma zudumu pretestība 0,17 m²·K/W pie siltuma plūsmas no augšas uz leju attiecas arī uz zemgrīdas telpu grīdas un griestu virsmām. Siltuma zudumu pretestība 0,10 m²·K/W pie siltuma plūsmas no lejas uz augšu attiecas uz apsildāmām grīdām un uz aukstām noliktavām. Ārējās virsmas siltuma zudumu pretestība ir 0,04 m²·K/W visos gadījumos.

Nosakot grīdas konstrukciju siltuma zudumu pretestību, tajā drīkst neiekļaut smago betonu un plānu virsslāņu siltuma zudumu pretestību.

3.2. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana grīdām uz grunts bez sānu virsmas izolācijas

Pie "grīdas uz grunts" kategorijas pieder tādas grīdas, kurām viss grīdas laukums saskaras ar zemi, neatkarīgi no tā, vai grīda konstruktīvi balstās uz zemi vai nē, kā arī grīdas, kas atrodas tuvu zemes virsmas līmenim (3.3. zīmējums). Šī grīda var būt neizolēta vai vienmērīgi izolēta (ar izolācijas slāni virs, zem vai iekšpus grīdas konstrukcijas).



3.3.zīm. Grīdas uz grunts shematiskais attēls

Aprēķina secība grīdām uz grunts bez sānu virsmas izolācijas ir sekojoša:

- 1) nosaka grīdas raksturojošo izmēru - B', m (3.1. vienādojums);
- 2) nosaka ekvivalento biezumu - d_i, m;
- 3) nosaka bāzes siltuma caurlaidības koeficientu - U₀, W/(m²·K);
- 4) grīdas siltuma caurlaidības koeficients U=U₀, W/(m²·K).

Grīdas uz grunts bez sānu virsmas izolācijas ekvivalentais biezums:

$$d_i = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}), \text{ m}, \quad (3.2)$$

kur:

- w - pilns sienas biezums, ieskaitot visus sienas slāņus, m;

- λ - nesasalušas zemes siltumvadītspēja, W(m·K);
- R_{si} - iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība, m²·K/W;
- R_f - grīdas konstrukcijas siltuma zudumu pretestība, m²·K/W;
- R_{se} - ārējās virsmas siltuma zudumu pretestība, m²·K/W.

Bāzes siltuma caurlaidības koeficients U₀ ir atkarīgs no grīdas siltuma izolācijas. Grīdas bez sānu virsmas izolācijas var iedalīt divās kategorijās:

1. neizolētas (vai vidēji izolētas);
2. labi izolētas grīdas.

Neizolētai un vidēji izolētai grīdai d_i < B'. Labi izolētai grīdai d_i ≥ B'.

Bāzes siltuma caurlaidības koeficients U₀ neizolētai un vidēji izolētai grīdai tiek aprēķināts sekojoši:

$$U_0 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_i} \ln \left(\frac{\pi \cdot B' + d_i}{d_i} + 1 \right), \text{ W/(m}^2\text{·K)}, \quad (3.3)$$

kur:

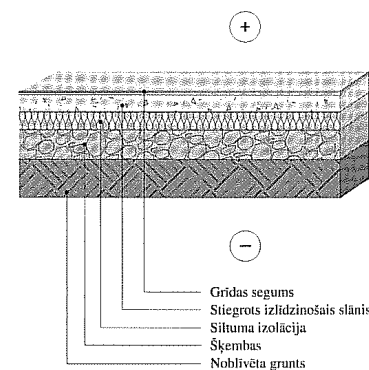
- λ - nesasalušas zemes siltumvadītspēja, W(m·K);
- B' - grīdas raksturojošais izmērs, m;
- d_i - grīdas ekvivalentais biezums, m;
- π - 3,14.

Bāzes siltuma caurlaidības koeficients U₀ neizolētai un vidēji izolētai grīdai tiek aprēķināts sekojoši:

$$U_0 = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_i}, \text{ W/(m}^2\text{·K)}. \quad (3.4)$$

Lai uzskatāmāk parādītu, kā iepriekšminētās formulas tiek izmantotas praksē, apskatīsim aprēķina piemēru grīdai uz grunts bez sānu virsmas izolācijas (3.4. zīmējums). Apskatāmā grīda sastāv no šādiem slāņiem:

- grīdas segums - linolejs (d = 0.002m un λ = 0.17 W(m·K));
- stiegrots izlīdzinošais slānis - java (d = 0.05m un λ = 0.9 W(m·K));
- siltumizolācija - cieta minerālvates plāksne (d=0.05m un λ_{CL}=0.037 W(m·K));
- šķembas (d = 0.08m);
- noblīvēta grunts.



3.4.zīm. Grīda uz grunts

Kā siltumizolācijas materiāls tiek izmantota cieta minerālvates plāksne ar horizontālo slodzes izturību min 20 kPa. Materiālu labojuma koeficientu $\Delta\lambda_w$ ir jāpieņem no LBN 002-01 pielikuma 3. tabulas kā materiāliem, kas tieši saskaras ar grunti paaugstināta mitruma apstākļos. Šajā gadījumā izolācijas materiāla siltumvadītspēja, ņemot vērā korekcijas faktoru, sastāda $\lambda_{izol}=0,037 + 0,005 = 0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Šķembu slāņa termiskā pretestība netiek ņemta vērā, jo tiek uzskatīts, ka šim slānim ir tāda pati siltumvadītspēja kā gruntij. Nesasalušas zemes siltumvadītspēja tiek pieņemta $2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Grīdas konstrukcijas termiskā pretestība tiek aprēķināta sekojoši:

$$R_f = \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,05}{0,9} + \frac{0,05}{0,042} = 1,26, \text{ m}^2\cdot\text{K/W}.$$

Grīdas uz grunts siltuma zudumu pretestība ir atkarīga no grīdas raksturojošā izmēra B' un ekvivalentā biezuma d_t . Pieņemsim, ka ēkas perimetrs sastāda 45 m^2 un laukums - 95 m^2 . Ārējo sienu biezums sastāda 380 mm . Zinot ēkas perimetru un laukumu, pēc 3.1. vienādojuma varam aprēķināt grīdas raksturojošo izmēru:

$$B' = \frac{95}{0,5 \cdot 45} = 4,2 \text{ m}.$$

Tālāk nosakām ekvivalento biezumu (3.2. vienādojums):

$$d_t = 0,38 + 2,0 \cdot (0,17 + 1,26 + 0,04) = 3,36, \text{ m}.$$

Tā kā grīdas raksturojošais izmērs ir lielāks par ekvivalento biezumu ($B' > d_t$), doto grīdu var uzskatīt par neizolēto vai vidēji izolēto grīdu. Šādai grīdai bāzes siltuma caurlaidības koeficientu U_0 nosaka, izmantojot 3.3. vienādojumu:

$$U_0 = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 4,2 + 3,36} \ln\left(\frac{3,14 \cdot 4,2}{3,36} + 1\right) = 0,38, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

Apskatāmā grīda ir bez sānu virsmas izolācijas. Šajā gadījumā bāzes siltuma caurlaidības koeficients U_0 būs vienāds ar aprēķināto siltuma caurlaidības koeficientu, kuru izmanto tālākajos siltumtehnikajos aprēķinos.

Analizējot iegūto rezultātu, var secināt, ka apskatāmā grīda atbilst LBN 002-01 normatīvajām vērtībām, kas attiecas uz ražošanas ēkām, un LBN 002-01 maksimālajām vērtībām, kas attiecas gan uz publiskām, gan uz ražošanas ēkām. Lai šī grīda atbilstu LBN 002-01 normatīvajām vērtībām attiecībā uz dzīvojamām ēkām, ir lietderīgi palielināt siltumizolācijas materiāla biezumu.

3.3. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana grīdām uz grunts ar sānu virsmas izolāciju

Grīdām uz grunts ar sānu virsmas izolāciju ir vertikālā vai horizontālā izolācija pa ēkas perimetru. Šajā apakšnodaļā aplūkotās formulas var izmantot, ja izolācijas slāņa platums vai dziļums D ir mazāks par ēkas platumu un termiskais tilts gar ēkas perimetru ir tik mazs, ka to var neņemt vērā.

Par vertikālo izolāciju tiek uzskatīti pamati, ja to siltumvadītspēja ir mazāka nekā zemei.

Ja pamatu konstrukcijā ir vairāki sānu izolācijas elementi, ir jāaprēķina sānu faktors $\Delta\Psi$ katram elementam, un tālākos aprēķinos jāizmanto lielākais no iegūtajiem lielumiem.

Aprēķina secība:

- 1) nosaka grīdas raksturojošo izmēru B' , m;
- 2) nosaka ekvivalento biezumu d_t , m;
- 3) nosaka bāzes siltuma caurlaidības koeficientu U_0 , $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$;
- 4) nosaka sānu faktoru $\Delta\Psi$, $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$;
- 5) nosaka grīdas siltuma caurlaidības koeficientu.

Grīdas raksturojošo izmēru un ekvivalento biezumu nosaka, izmantojot 3.1. un 3.2. vienādojumu.

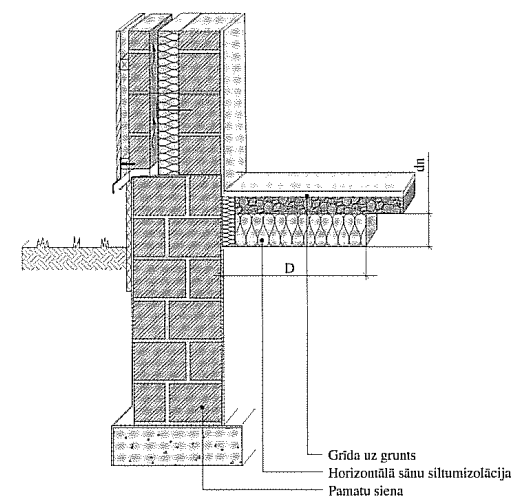
Pie horizontālās sānu izolācijas, ierīkotas pa ēkas perimetru (3.5. zīm.), sānu faktors ir:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right], \text{ W/(m}\cdot\text{K)}, \quad (3.5)$$

kur:

- D - izolācijas slāņa raksturojošais lielums (platums vai dziļums), m;
- d' - papildus ekvivalentais biezums, kas rodas, pateicoties sānu izolācijai, m.

Šo vienādojumu var izmantot arī gadījumos, kad horizontālā izolācija ir ierīkota grīdas virspusē vai ārpus ēkas.



3.5. zīm. Horizontālās sānu izolācijas shematiskais attēls

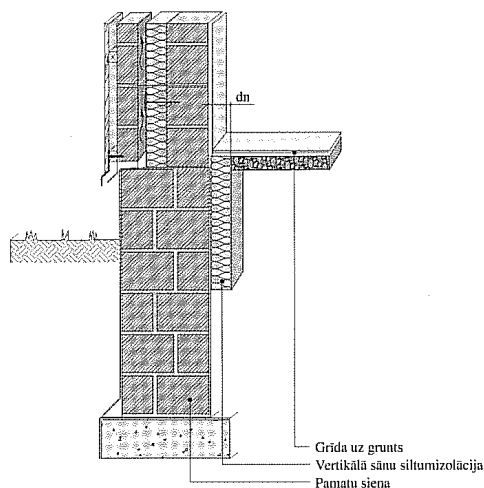
Pie vertikālās izolācijas, kas ir ierīkota pa ēkas perimetru zem zemes virsmas līmeņa vertikāli (3.6. zīmējums), kā arī, ja pamatu siltumvadītspēja ir mazāka par zemes siltumvadītspēju (3.7. zīmējums), sānu faktors tiek aprēķināts sekojoši:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln\left(\frac{2D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1\right) \right], \text{ W/(m}\cdot\text{K)}, \quad (3.6)$$

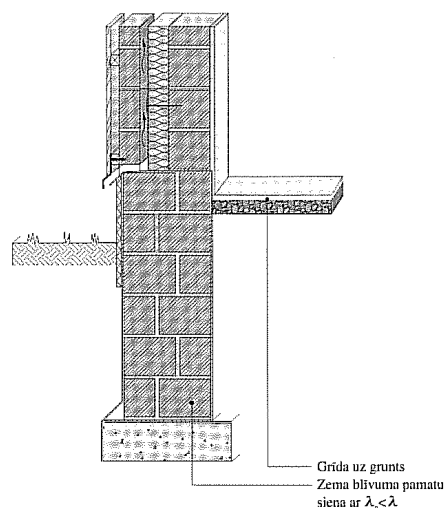
kur:

- D - vertikālās izolācijas dziļums zem zemes līmeņa (metros) vai sienas pamatu dziļums zem zemes virsmas līmeņa, ja pamatu siltuma caurlaidības koeficients ir mazāks par grunts siltumvadītspējas koeficientu.

3.6. vienādojums attiecas arī uz vertikālu izolāciju, kas ir ierīkota ārpus ēkas vai pamatos.



3.6. zīm. Vertikālā sānu siltumizolācija



3.7.zīm. Pamatu siltumvadītspēja ir mazāka par zemes siltumvadītspēju

Papildus ekvivalents biezums:

$$d' = R' \cdot \lambda, \text{ m}, \quad (3.7)$$

kur:

- R' - papildus siltuma zudumu pretestība, kas veidojas, pateicoties sānu izolācijai, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$.

Papildus siltuma zudumu pretestība ir starpība starp izolācijas slāņa siltuma zudumu pretestību un zemes siltuma zudumu pretestību, ko šis slānis aizvieto:

$$R' = R_{\text{ins}} - \frac{d_{\text{ins}}}{\lambda}, \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}, \quad (3.8)$$

kur:

- R_{ins} - horizontālās vai vertikālās sānu izolācijas (pamatu) siltuma zudumu pretestība, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$;
- d_{ins} - izolācijas slāņa (pamatu) biezums, m;
- λ - nesasalušas zemes siltumvadītspēja, $\text{W}(\text{m} \cdot \text{K})$.

Grīdas uz grunts ar sānu virsmas izolāciju siltuma caurlaidības koeficients, ņemot vērā sānu faktoru:

$$U = U_0 + \frac{2\Delta\Psi}{B}, \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}). \quad (3.9)$$

Kā aprēķina piemēru apskatīsim grīdas uz grunts konstrukciju, kuras siltuma caurlaidības koeficients tika aprēķināts 3.2. nodaļā. Šajā piemērā konstrukcija tika papildināta ar vertikālu un horizontālu malas siltumizolāciju (3.8. zīmējums).

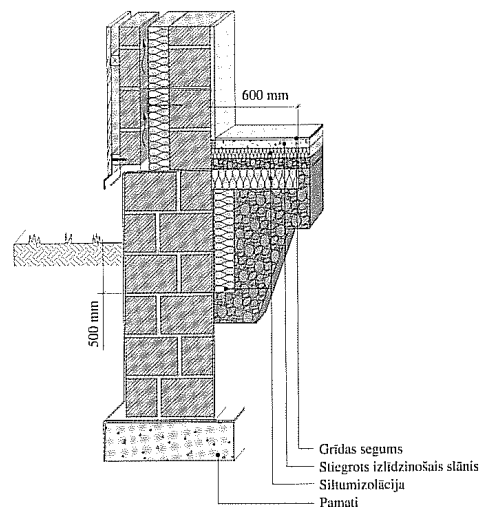
Apskatāmā grīda uz grunts sastāv no šādiem slāņiem:

- grīdas segums - linolejs ($d = 0.002\text{m}$ un $\lambda = 0.17 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$);
- stiegrots izlīdzinošais slānis - java ($d = 0.05\text{m}$ un $\lambda = 0.9 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$);
- siltumizolācija - cieta minerālvates plāksne ($d=0.05\text{m}$ un $\lambda_{\text{CL}}=0.037 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$);
- šķembas ($d = 0.08\text{m}$);
- noblīvēta grunts.

Gan vertikālā, gan horizontālā siltumizolācija ir 50 mm biezs slānis ar siltumvadītspēju $\lambda_{\text{CL}}=0.037 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$ un labojuma koeficientu $\Delta\lambda_w = 0.005 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$. Katras malas izolācijas slāņa termiskā pretestība tiek aprēķināta šādi:

$$R_f = \frac{0.05}{0.042} = 1.19 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}.$$

Vertikālās malas izolācijas dziļums zem zemes līmeņa sastāda 500 mm, un horizontālās malas izolācijas platums - 600 mm. Kā siltumizolācijas materiāls tiek izmantota cieta minerālvates plāksne ar horizontālo slodzes izturību min 20 kPa.



3.8.zīm. Grīda uz grunts ar malu siltumizolāciju

Šķembu slāņa termiskā pretestība netiek ņemta vērā, jo tiks uzskatīts, ka šim slānim ir tāda pati siltumvadītspēja kā gruntij.

Dotās grīdu konstrukcijas termiskā pretestība - $R_f = 1.26 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Grīdas raksturojošais izmērs - $B = 4.2 \text{ m}$. Ekvivalentais biezums - $d_e = 3.36 \text{ m}$. Bāzes siltuma caurlaidības koeficients $U_0 = 0.38 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

No sākuma pēc vienādojuma 3.4 aprēķinām papildus siltuma zudumu pretestību, kas veidojas, pateicoties sānu izolācijai. Tā kā gan vertikālā, gan horizontālā siltumizolācija tiek veidota no viena un tā paša materiāla un ar vienādu biezumu, papildus siltuma zudumu pretestība būs vienāda abiem slāņiem:

$$R' = 1.19 - \frac{0.05}{2} = 1.165 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}.$$

Zinot papildus siltuma zudumu pretestību, kas veidojas, pateicoties sānu izolācijai, ir iespējams aprēķināt papildus ekvivalento biezumu:

$$d' = 1.165 \cdot 2.0 = 2.33 \text{ m}$$

Tagad nosakām sānu faktoru horizontālajai sānu izolācijai, ierīkotai pa ēkas perimetru:

$$\Delta\Psi = -\frac{2.0}{3.14} \left[\ln\left(\frac{0.6}{3.36} + 1\right) - \ln\left(\frac{0.6}{3.36 + 2.33} + 1\right) \right] = -0.041 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}).$$

Pie vertikālās izolācijas sānu faktoru sastāda:

$$\Delta\Psi = -\frac{2.0}{3.14} \left[\ln\left(\frac{2 \cdot 0.5}{3.36} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \cdot 0.5}{3.36 + 2.33} + 1\right) \right] = -0.063 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}).$$

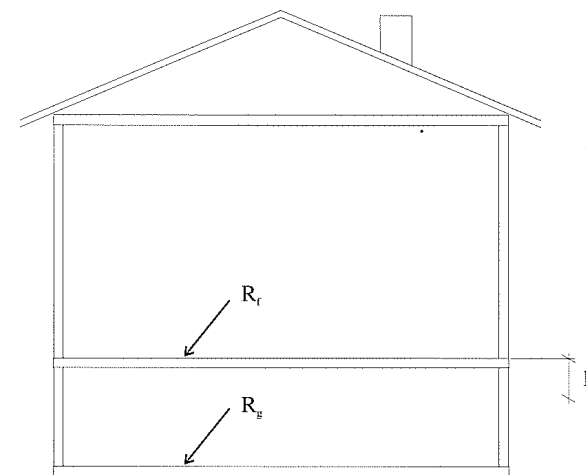
Kā redzams, grīdas konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientu vairāk ietekmē vertikālās izolācijas sānu faktors. Līdz ar to grīdas siltuma caurlaidības koeficientu nosaka, izmantojot vertikālās izolācijas sānu faktoru:

$$U = 0.38 + \frac{2 \cdot (-0.063)}{4.2} = 0.35 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}).$$

Analizējot iegūto rezultātu, var secināt, ka šī grīda atbilst LBN 002-01 normatīvajām vērtībām, kas attiecas uz publiskām ēkām.

3.4. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana grīdām virs zemes līmeņa

Pie grīdām virs zemes līmeņa pieder visas grīdas, kas nesaskaras ar zemi un ir dabiski ventilētas (3.9. zīmējums).



3.9. zīm. Grīdu virs zemes līmeņa shematisks attēls

Grīdu siltuma zudumu pretestību nosaka ar formulu:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_s}, \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}, \quad (3.10)$$

kur:

- U_f - grīdas konstrukcijas (starp iekštelpām un zemgrīdas telpu) siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, kas tiek aprēķināts saskaņā ar LVS EN ISO 6946 noteikumiem;
- U_g - grīdas uz grunts siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$;
- U_s - zemgrīdas telpas ekvivalentais siltuma caurlaidības koeficients, ko nosaka siltuma vadāmība caur zemgrīdas telpas sienām un zemgrīdas telpas ventilācija, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Grīdas uz grunts siltuma caurlaidības koeficientu U_g nosaka, ņemot vērā grīdas raksturojošo izmēru B' (3.3.vienādojums) un ekvivalento biezumu d_g .

$$d_g = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se}), \text{ m}, \quad (3.11)$$

kur:

- R_g - zemgrīdas pamatnes izolācijas slāņu siltuma zudumu pretestība, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

Grīdas uz grunts siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g} + 1\right), \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}). \quad (3.12)$$

Ja zemgrīdas telpas vidējais dziļums ir lielāks par 0,5 m zem zemes virsmas līmeņa, U_g jāaprēķina pēc formulas:

$$U_{\text{e}} = U_{\text{bf}} + zPU_{\text{bw}}/A, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \quad (3.13)$$

kur:

- U_{bf} - pagraba grīdas siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- U_{bw} - pagraba sienu siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- z - pagraba grīdas dziļums zem zemes virsmas līmeņa, m;
- P - grīdas perimetrs, m;
- A - grīdas platība, m^2 .

Pagraba grīdas siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_{\text{bf}} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_i + 0,5 \cdot z} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_i + 0,5 \cdot z} + 1 \right), \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}). \quad (3.14)$$

Pagraba sienu siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_{\text{bw}} = \frac{2\lambda}{\pi \cdot z} \left(1 + \frac{0,5d_i}{d_i + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right), \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}). \quad (3.15)$$

Zemgrīdas telpas ekvivalents siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + \frac{1450\varepsilon v f_w}{B'}, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \quad (3.16)$$

kur:

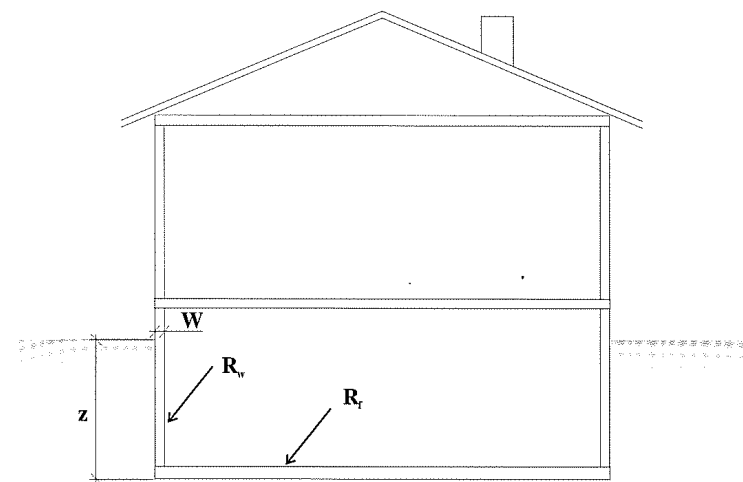
- h - attālums (vidējais) no zemes virsmas līmeņa līdz telpas grīdas līmenim, m;
- U_w - zemgrīdas telpas sienu, kas atrodas virs zemes līmeņa, siltuma caurlaidības koeficients, kas ir aprēķināts saskaņā ar LVS EN ISO 6946, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- ε - ventilācijas caurumu platība uz zemgrīdas telpas perimetra 1 metru, m^2/m ;
- v - vidējais vēja ātrums 10 m augstumā, m/s ;
- f_w - vēja ierobežojuma koeficients, kas ir atkarīgs no ēkas izvietojuma, pieņemams pilsētas centrā - 0,02; vidēji atklātām ēkām - 0,05; atklātām ēkām (laukos) - 0,10.

3.5. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana apkurinātiem pagrabiem

Šajā nodaļā apskatītas ēkas, kurās daļa no dzīvojamām telpām atrodas zem zemes virsmas līmeņa (3.10. zīmējums). Aprēķina metodes tādām konstrukcijām ir līdzīgas 3.2. punktā aprakstītajām aprēķina metodēm grīdām uz grunts, bet 3.3. un 3.4. formulā papildus ņem vērā:

- pagraba grīdas dziļumu zem zemes virsmas līmeņa z , m;
- dažādu izolācijas slāņu iespējamību sienām un pagraba grīdai.

Gadījumā, ja pagraba grīdas dziļums zem zemes virsmas līmeņa ir dažāds, aprēķinos jāizmanto vidējais lielums. Sienas, kas ir virs zemes līmeņa, aprēķins tiek veikts saskaņā ar LVS EN ISO 6946 metodēm.



3.10. zīm. Ēkas ar apkurinātu pagrabu shematiskais attēls

Efektīvais siltuma caurlaidības koeficients, kas raksturo visu pagrabstāvu, kas ir saskarē ar grunti:

$$U' = \frac{AU_{\text{bf}} + zPU_{\text{bw}}}{A + zP}, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \quad (3.17)$$

kur:

- U_{bf} - pagraba grīdas siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- U_{bw} - pagraba sienu siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- z - pagraba grīdas dziļums zem zemes virsmas līmeņa, m;
- P - grīdas perimetrs, m;
- A - grīdas platība, m^2 .

Pirms U_{bf} noteikšanas, jānosaka grīdas raksturojošais izmērs B' un pagraba grīdas ekvivalents biežums d_i :

$$d_i = w + \lambda (R_{\text{si}} + R_f + R_{\text{se}}), \text{ m}, \quad (3.18)$$

kur:

- w - pilns sienas biežums, ieskaitot visu slāņu biežumu, m;
 - R_f - pagraba grīdas pilnā pretestība siltuma zudumiem, ieskaitot visus izolācijas slāņus virs grīdas, zem grīdas un grīdas iekšpusē, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.
- Aprēķinā drīkst ņemt vērā smago betonu slāņu un plānu seguma kārtu siltuma zudumu pretestību. Zemgrīdas sagataves siltuma zudumu pretestība tiek uzskatīta par tādu pašu kā zemes siltuma zudumu pretestība.

Ja pagrabstāva grīda ir bez siltumizolācijas vai ar mazu izolāciju ($(d_i + 0,5z) < B'$) tad:

$$U_{\text{bf}} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_i + 0,5 \cdot z} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_i + 0,5 \cdot z} + 1 \right), \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}). \quad (3.19)$$

Ja pagrabstāva grīda ir labi izolēta ($(d_i + 0,5z) \geq B'$), tad

$$U_{\text{bf}} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_i + 0,5 \cdot z}, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}). \quad (3.20)$$

Pagraba sienu siltuma caurlaidības koeficients ir atkarīgs no pagraba sienas ekvivalentā biezuma:

$$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{sc}), m, \quad (3.21)$$

kur:

- R_w - pagraba sienas pilnā siltumu zudumu pretestība, $m^2 \cdot K/W$.

Ja $d_w \geq d_t$, tad pagraba sienu siltuma caurlaidības koeficients tiek noteikts šādi:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi \cdot z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_w + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right), W/(m^2 \cdot K). \quad (3.22)$$

Ja $d_w < d_t$, tad 3. 22 formulā dt jāaizvieto ar d_w .

3.6. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana neapkurinātiem pagrabiem

Neapkurināto pagrabu, kas ir ventilēti ar ārējo gaisu, siltuma caurlaidības koeficients ir nosakāms, izmantojot formulu:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{AU_{bf} + zPU_{bw} + hPU_w + 0,33nV}, m^2 \cdot K/W, \quad (3.23)$$

kur:

- U_f - siltuma caurlaidības koeficients pārsegumam starp pirmā stāva telpām un neapkurināto pagrabu, $W/(m^2 \cdot K)$, ko aprēķina saskaņā ar LVS EN ISO 6946 ;
- U_w - pagraba sienu, kas atrodas virs zemes līmeņa, siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2 \cdot K)$, ko aprēķina saskaņā ar LVS EN ISO 6946;
- n - pagraba gaisa apmaiņas koeficients, ko pieņem vienādu ar 0,3 (ja nav citu datu);
- V - pagraba telpu tilpums, m^3 .

Neapkurināta pagraba sienu un grīdas siltuma caurlaidības koeficientus aprēķina tāpat kā apkurinātam pagrabam.

3.7. Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana daļēji apkurinātiem pagrabiem

Nosakot daļēji apkurināta pagraba siltuma caurlaidības koeficientu, ir jāaprēķina :

- apkurināta pagraba siltuma caurlaidības koeficients;
- neapkurināta pagraba siltuma caurlaidības koeficients;
- siltuma caurlaidības koeficients daļēji apkurinātam pagrabam, nosakot apkurinātās daļas proporciju kopējā.

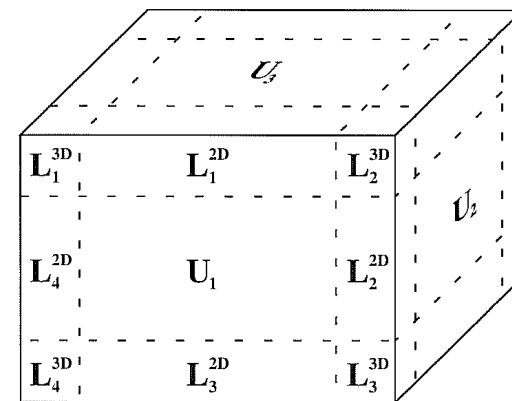
4. Konstrukciju ar termiskajiem tiltiem siltumtehnikie aprēķini

4.1. Termisko tiltu aprēķina metodika. Vispārīgie paskaidrojumi

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

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

Termiskā tilta zonās veidojas divdimensiju un trīsdimensiju siltuma plūsmas. Pat ēkā ar viendabīgām norobežojošām konstrukcijām tādas zonas ir norobežojošo virsmu savienojuma vietās (4.1 zīmējums).



4.1 zīm. Ēkas dalījums 3-D, 2-D un 1-D ģeometriskos modeļos

Lai noteiktu termiskā tilta siltumvadāmību, ir nepieciešams veikt konstrukcijas divdimensiju vai trīsdimensiju aprēķinus.

Termiskās mijiedarbības koeficients $L_{i,j}$ - siltuma plūsma caur apskatāmo konstrukciju, attiecina uz ārējās un iekšējās vides temperatūras starpības vienību.

Lineārās siltumvadāmības koeficients Ψ - korekcijas faktors lineārā termiskā tilta ietekmei uz konstrukcijas siltumvadāmību, ja termiskās mijiedarbības koeficients ir noteikts viendimensionālā aprēķinā.

Punkta termiskā siltumvadāmība $\mathcal{X}$ - korekcijas faktors punktteida termiskā tilta ietekmei uz konstrukcijas siltumvadāmību, ja termiskās mijiedarbības koeficients ir noteikts viendimensionālā aprēķinā.

Termiskās mijiedarbības koeficients konstrukcijai, kas ir attēlota 4.1. zīmējumā, ir:

$$Li.j. = \sum_{n=1}^N L_{n(i,j)}^{3D} + \sum_{m=1}^M L_{m(i,j)}^{2D} \cdot l_m + \sum_{k=1}^K U_{k(i,j)} \cdot A_k, W/K, \quad (4.1)$$

kur:

- $L_{n(i,j)}^{3D}$ - termiskās mijiedarbības koeficients, kas ir noteikts trīsdimensiju aprēķinā;
- $L_{m(i,j)}^{2D}$ - termiskās mijiedarbības koeficients, kas ir noteikts divdimensiju aprēķinā;
- l_m - garums, kurā notiek divdimensiju siltuma plūsma un ko raksturo $L_{m(i,j)}^{2D}$;
- $U_{k(i,j)}$ - konstrukcijas siltumvadāmības koeficients, kas ir noteikts viendimensiju aprēķinā;
- A_k - platība, kurā notiek viendimensiju siltuma plūsma un kuru raksturo $U_{k(i,j)}$ (ši platība ir mazāka par būvelementa kopējo virsmas platību);
- N - 3D daļu kopējais skaits ēkā;
- M - 2D daļu kopējais skaits ēkā;
- K - 1D daļu kopējais skaits ēkā.

Termiskās mijiedarbības koeficienta alternatīvā formula, kurā tiek izmantoti lineārās un punktveida termiskās siltumvadāmības koeficienti, ir:

$$Li.j. = \sum_{n=1}^N \chi_{n(i,j)} + \sum_{m=1}^M \psi_{m(i,j)} \cdot l_m + \sum_{k=1}^K U_{k(i,j)} \cdot A_k, W/K, \quad (4.2)$$

kur:

- $\chi_{n(i,j)}$ - punktveida siltumvadāmības koeficients, W/K;
- $\psi_{m(i,j)}$ - lineārā tilta siltumvadāmības koeficients, W/(m·K);
- l_m - garums, kurā notiek divdimensiju siltuma plūsma un kuru raksturo $L_{m(i,j)}^{2D}$;
- $U_{k(i,j)}$ - konstrukcijas siltumvadāmības koeficients, kas ir noteikts viendimensiju aprēķinā;
- A_k - platība, kurā notiek viendimensiju siltuma plūsma un ko raksturo $U_{k(i,j)}$ (tā ir vienāda ar būvelementa kopējo virsmas platību);
- N - 3D daļu kopējais skaits ēkā;
- M - 2D daļu kopējais skaits ēkā;
- K - 1D daļu kopējais skaits ēkā.

Lineārās termiskās siltumvadāmības koeficientu var noteikt, izmantojot vienādojumu:

$$\Psi = L^{2D} \cdot \sum_{j=1}^J U_j \cdot l_j, W/(m \cdot K) \quad (4.3)$$

kur:

- L^{2D} - termiskās mijiedarbības koeficients, kas ir noteikts divdimensiju aprēķinā W/(m·K);
- l_j - garums, kurā notiek divdimensiju siltuma plūsma un ko raksturo L^{2D} , m;
- U_j - konstrukcijas siltumvadāmības koeficients, kas ir noteikts viendimensiju aprēķinā, W/(m²·K).

Punktveida siltumvadāmības koeficients:

$$\chi = L^{3D} - \sum_{j=1}^J L_j^{2D} \cdot l_j + \sum_{i=1}^I U_i \cdot A_i, W/K, \quad (4.4)$$

kur:

- L^{3D} - termiskās mijiedarbības koeficients, kas ir noteikts trīsdimensiju aprēķinā;
- L_j^{2D} - termiskās mijiedarbības koeficients, kas ir noteikts divdimensiju aprēķinā;
- l_j - garums, kurā notiek divdimensiju siltuma plūsma un ko raksturo L_j^{2D} , m;
- U_i - konstrukcijas siltumvadāmības koeficients, kas ir noteikts viendimensiju aprēķinā, W/(m²·K);

- A_j - platība, kurā notiek viendimensiju siltuma plūsma un ko raksturo U_j , m;
- J - 2D daļu skaits ēkā;
- I - 1D daļu skaits ēkā.

Lai noteiktu lineārā un punktveida termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficientus, ir nepieciešams zināt konstrukcijas termiskās mijiedarbības koeficientus L^{2D} un L^{3D} .

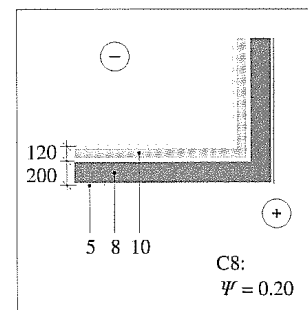
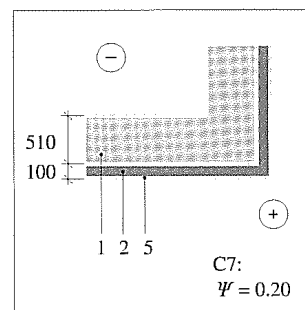
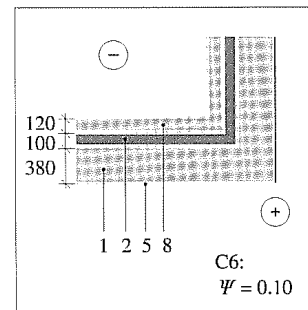
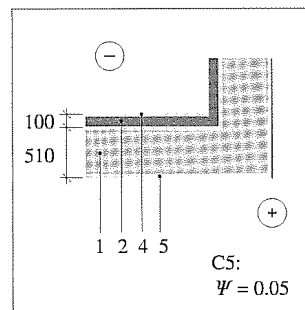
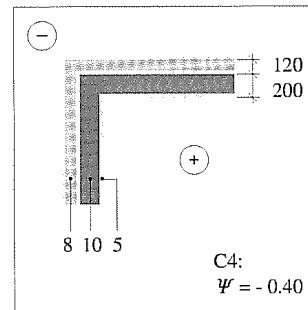
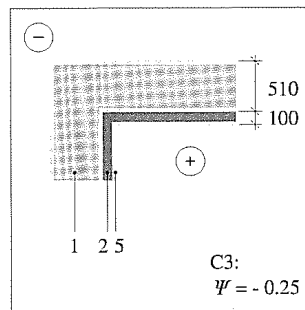
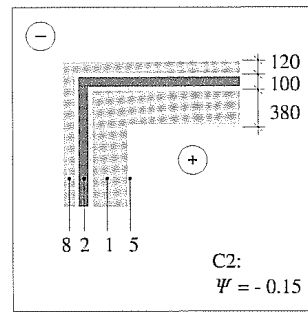
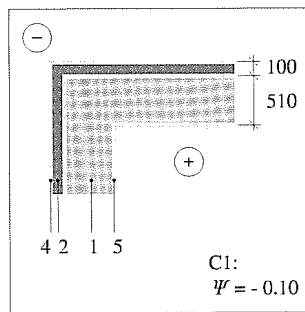
Termiskās mijiedarbības koeficienta divdimensiju un trīsdimensiju aprēķinus nav iespējams veikt manuāli. LVS EN ISO 10211-1 un LVS EN ISO 10211-2 nosaka aprēķina modeļu veidošanas principus, kā arī izstrādāto programmu pārbaudes mehānismus un nepieciešamo precizitātes pakāpi. Eiropas Savienībā pārsvarā izmanto *Physibel* programmas, par kurām informācija ir atrodamā internetā: www.physibel.be. Vislabākās ir jaunākās programmas *BISCO* un *TRISCO*, kas aprēķina konstrukciju pēc ievadīta zīmējuma. Šīs programmas ir izveidotas atbilstoši EN ISO prasībām. Konstrukciju divdimensiju aprēķinus ir iespējams veikt ar ASV veidotās programmas *THERM* palīdzību, kas bez maksas ir atrodamā Lawrence Berkeley National Laboratory mājas lapā <http://windows.lbl.gov/>, iedaļā "software". Turpat var atrast arī bezmaksas programmas logu aprēķinam un ēku kopējo siltuma zudumu aprēķinam gada laikā.

Termisko tiltu aprēķiniem var arī rekomendēt programmu *EUROKOBRA*, kas tiek izmantota RTU Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūtā.

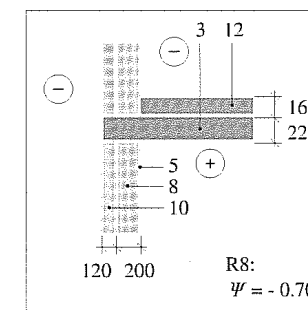
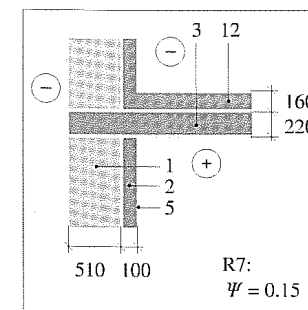
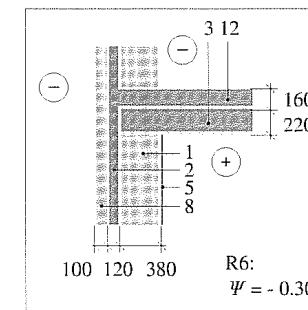
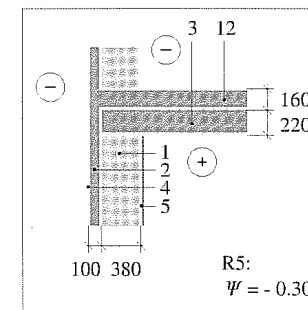
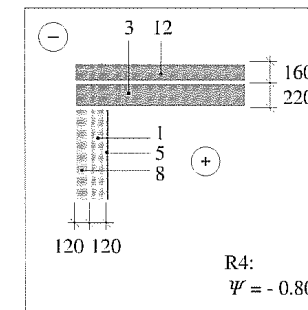
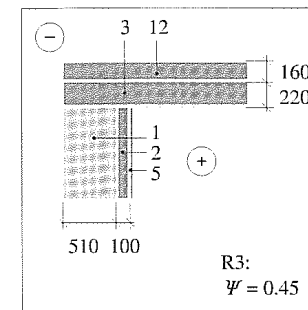
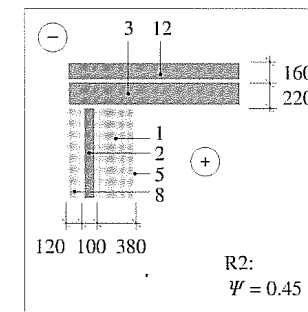
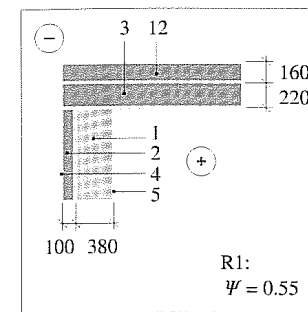
LVS EN ISO 14683+AC "Termiskie tilti būvkonstrukcijās. Lineārā siltuma caurlaidība. Vienkāršotas metodes un pieņemtās vērtības" ir sniegtas tipveida termisko tiltu vērtības, kas ir aprēķinātas konstrukcijām ar minētā standarta informatīvā pielikumā A dotajiem konstrukciju parametriem. Līdz ar to, ka šie konstrukciju parametri (siltuma caurlaidības koeficients sienām ir pieņemts 0,343 W/(m²·K), jumtiem - 0,365 W/(m²·K)) ir stipri lielāki par LBN 002-01 noteiktajām vērtībām (0,2 W/(m²·K)) un 0,25 W/(m²·K) attiecīgi, šīs tipveida termisko tiltu vērtības nedod 100% pareizus rezultātus Latvijas apstākļos. Tomēr, izmantojot šos parametrus, tilta siltuma zudumi netiks novērtēti par zemu.

Termisko tiltu siltuma caurlaidības koeficientu noteikšanai var izmantot Lietuvas pieredzi. Dažādi termisko tiltu konstruktīvie risinājumi, kas ir aprēķināti Lietuvas apstākļiem, ir parādīti 4.2. - 4.6 zīmējumos. Termisko tiltu izvietojumu ēkā ir iespējams noteikt pēc 4.7. zīmējuma. Tomēr jāatceras, ka precīzus datus Latvijas apstākļiem ir iespējams iegūt tikai ar aprēķiniem katram konkrētajam gadījumam.

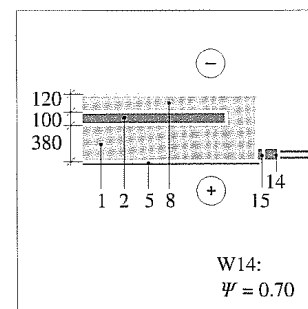
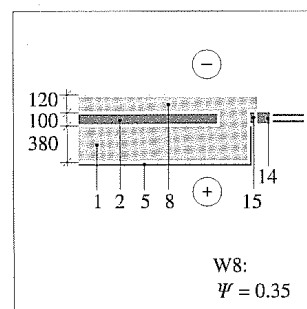
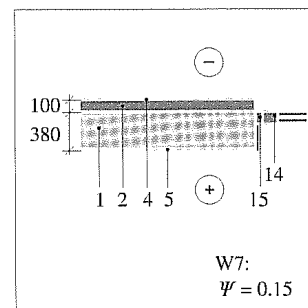
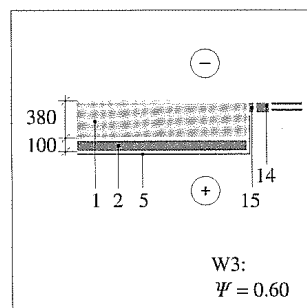
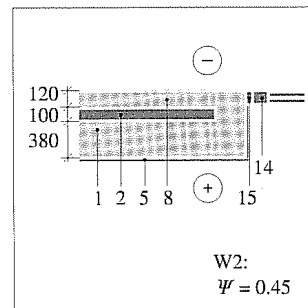
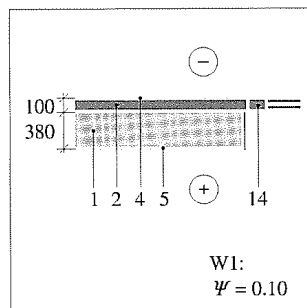
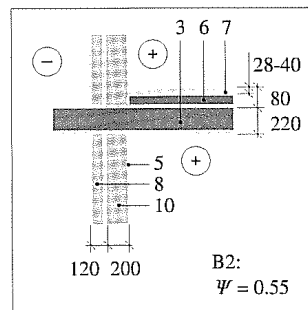
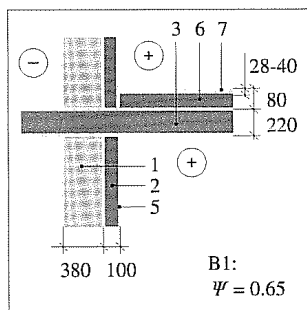
- 1 - Keramisko ķieģeļu siena
- 2 - Minerālvates plāksnes $\rho = 140 \text{ kg/m}^3$ sienas ārpusē vai kā papildus siltumizolācijas slānis no siltās sienas puses (iekšpusēs).
- $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ sienas iekšienē
- $\rho = 75 \text{ kg/m}^3$ ventilējama siena
- 3 - Betona plāksne
- 4 - Plāna apmetuma kārtā
- 5 - Jaukta apmetuma kārtā vai ģipskartona loksne
- 6 - Minerālvates plāksnes ($\rho = 100 - 120 \text{ kg/m}^3$)
- 7 - Grīda: 40mm cementa javas apmetums un grīdas pārklājums (parkets, keramiskās flīzes, paklājs, linolejs)
- 8 - Atklāta ķieģeļu siena vai pret ķieģeļu sienu
- 9 - 20 mm ventilācijas sprauga
- 10 - Jaunās paaudzes gāzbetons ($\rho = 400 - 600 \text{ kg/m}^3$)
- 11 - Keramiskie dobie sienu bloki
- 12 - Kombinēts slānis 160 mm no minerālvates plāksnēm (20 mm $\rho = 230 \text{ kg/m}^3$ un 140mm $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$)
- 13 - Betona kolona
- 14 - Loga rāmis
- 15 - Loga rāmja blīvējums
- ⊕ - Iekšpuse
- ⊖ - Ārpuse



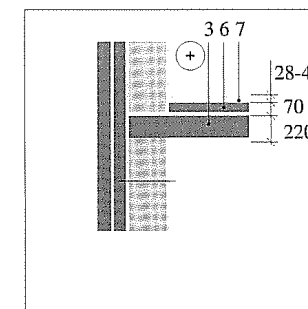
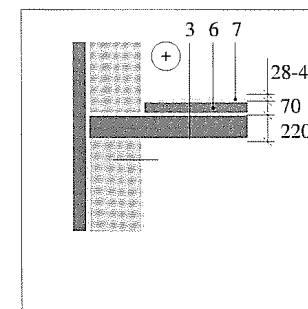
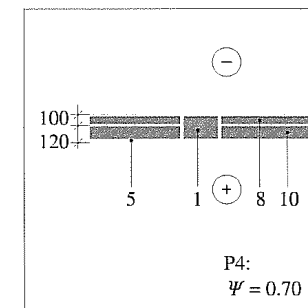
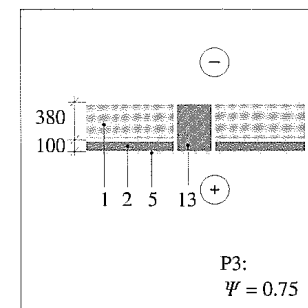
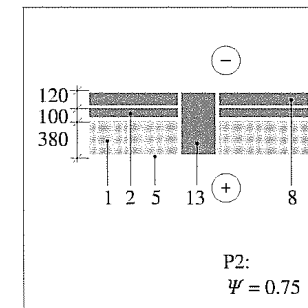
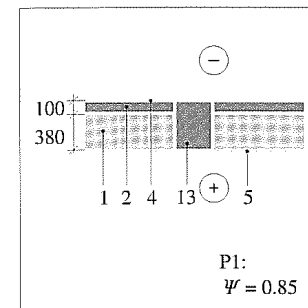
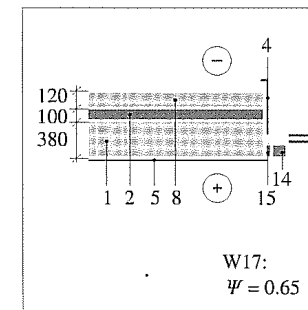
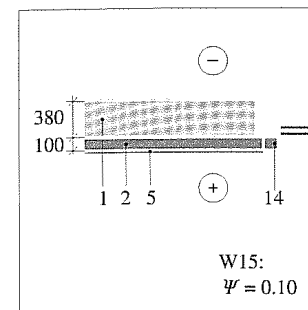
4.2 žim.



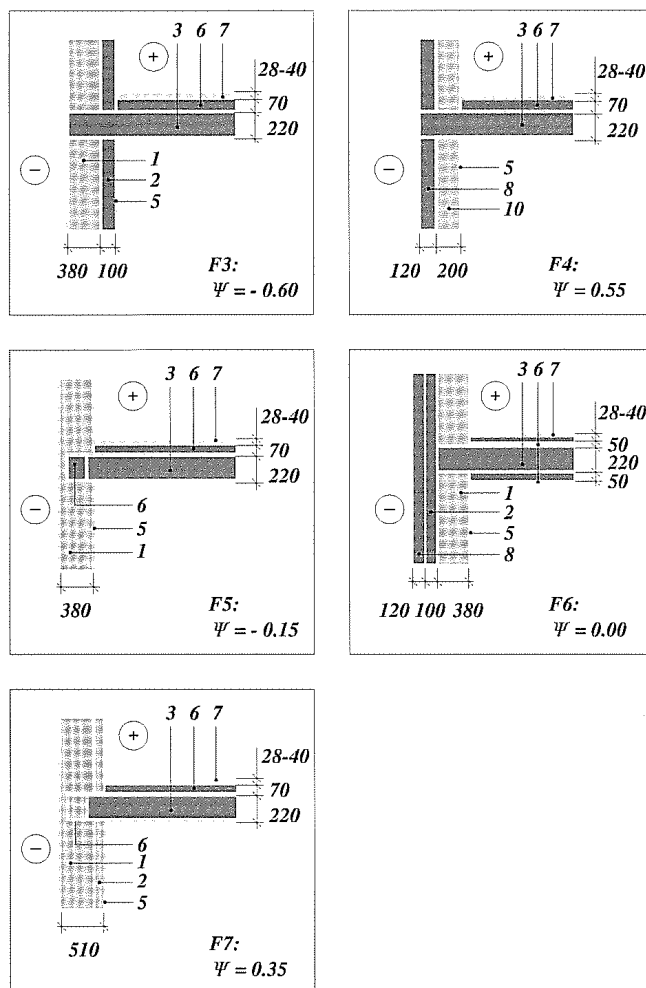
4.3 žim.



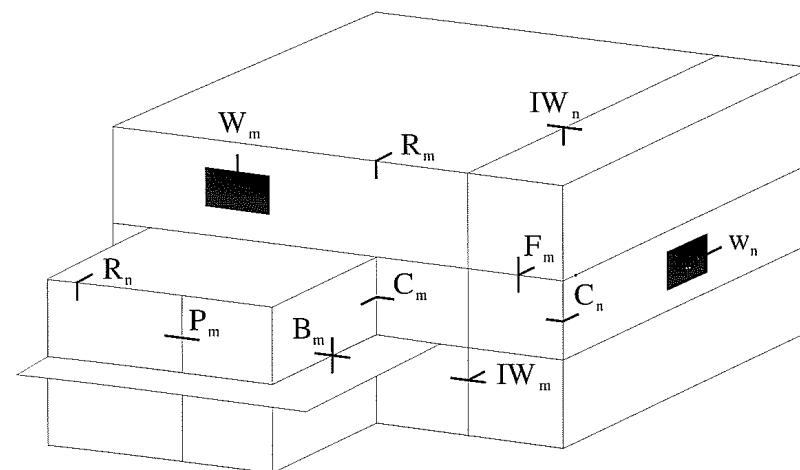
4.4 zīm.



4.5 zīm.



4.6 zīm.



4.7. zīm. Parasti sastopamo termisko tiltu izvietojums saskaņā ar 4.2. - 4.6 zīmējumos noteikto sistēmu

LVS EN ISO 10211 standarti neaizliedz manuālo metožu izmantošanu, bet brīdina, nekad neizmantojot tās ārpus shēmas, kurai tie bija izstrādāti. Tāpēc, piemēram, ir iespējams izmantot SNiP II-3-79** dotās formulas tiem termisko tiltu veidiem, kuriem tās bija izstrādātas, kā arī izmantot citas vispāratzītas manuālās metodes.

Saskaņā ar LVS EN ISO 10211 konstrukciju ar termiskajiem tiltiem manuālais aprēķins ir iespējams tikai tad, kad konstrukcijas slāņus var uzskatīt par kvazihomogēniem. Šajā gadījumā daudzdimensiju aprēķinu ir iespējams aizvietot ar viendimensiju aprēķinu.

4.2. Kvazihomogēnais slānis

Kvazihomogēnais slānis ir norobežojošās konstrukcijas slānis, kas sastāv no diviem vai vairākiem materiāliem ar dažādiem siltumvadītspējas koeficientiem, bet ko var uzskatīt par homogēnu slāni ar efektīvu siltumvadītspēju.

Īstenībā kvazihomogēnā slānī ir trīsdimensiju siltuma plūsmas, bet, nosakot termisko pretestību, šis slānis ar pietiekošu precizitātes pakāpi var tikt aizvietots ar homogēnu slāni ar efektīvo siltumvadītspēju, kuram tiek aprēķināta viendimensiju siltuma plūsma.

Kvazihomogēnā slāņa siltumvadītspējas koeficients var būt aprēķināts kā:

$$\lambda' = \frac{(\lambda_0 A_0 + \dots + \lambda_n A_n)}{(A_0 + \dots + A_n)}, W/(m \cdot K), \quad (4.5)$$

kur:

- λ' - kvazihomogēnā slāņa efektīvā siltumvadītspēja, $W/(m \cdot K)$;
- $(\lambda_0 \dots \lambda_n)$ - atsevišķu materiālu aprēķina siltumvadītspējas koeficienti, $W/(m \cdot K)$;
- $(A_0 \dots A_n)$ - atsevišķu materiālu platības slānī, m^2 .

Slānis ar dažādiem materiāliem var būt aprēķināts kā kvazihomogēns slānis, ja tiek ievēroti sekojošie nosacījumi:

- termiskie tilti apskatāmajā slānī atrodas zem taisna leņķa (vai tuvu tam) pret ārējo vai iekšējo virsmu un iziet cauri visam apskatāmajam slānim;

- konstrukcijas termiskā pretestība (no ārējās virsmas līdz iekšējai virsmai) pēc slāņu konstrukcijas vienkāršošanas ir vismaz $1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
- ir ievēroti vismaz vienas grupas kvazihomogēno slāņu nosacījumi, kas ir aprakstīti 4.1.tabulā.

Kvazihomogēna slāņa efektīvais siltumvadītspējas koeficients ir tāds pats kā termiskās pretestības apakšējās robežas ekvivalentās siltumvadītspējas koeficients viendimensiju aprēķinā pēc LVS EN ISO 6946.

4.1.tabula

Kvazihomogēno slāņu nosacījumi

Grupa (sk.l.zīm.)	λ_{tb} , $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	A_{tb} , m^2	R_0 , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	$R_{t,i}$, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	λ_i , $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	d_i , m
1	$\leq 1,5$	$\leq 0,05 \text{ t.b.}$	$\leq 0,5$	-	-	-
2	> 3	$\leq 30 \cdot 10^{-6}$	$\leq 0,5$	-	-	-
3	> 3	$\leq 30 \cdot 10^{-6}$	$> 0,5$	$\geq 0,5$	-	-
4	> 3	$\leq 30 \cdot 10^{-6}$	$> 0,5$	$< 0,5$	$\geq 0,5$	$\geq 0,1$

4.1.tabulā ir izmantoti sekojošie apzīmējumi:

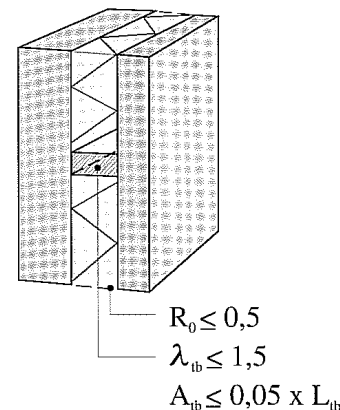
- λ_{tb} - kvazihomogēnā slānī iekļauta termiskā tiltu siltumvadītspējas koeficients, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
- A_{tb} - termiskā tiltu šķēsgriezuma platība, m^2 ;
- l_{tb} - lineārā termiskā tiltu garums, m ;
- R_0 - slāņa termiskā pretestība, kurā nav ņemta vērā termiskā tiltu klātbūtne, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
- $R_{t,i}$ - kopējā termiskā pretestība visiem slāņiem no kvazihomogēnā slāņa līdz iekšējai virsmai, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
- λ_i - siltumvadītspējas koeficients slānim, kas atrodas starp kvazihomogēno slāni un iekšējo virsmu un kas, reizinot ar šī slāņa biezumu d_i , dod vislielāko rezultātu, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
- d_i - augstāk minētā slāņa biezums, m .

Pirmajā grupā (4.8.zīmējums) ietilpst visi lineārie tilti, piemēram, savienojošie elementi ķieģeļu mūrī, koka karkass gaisa slāņos vai neliela biezuma elementi siltumizolācijas slānī.

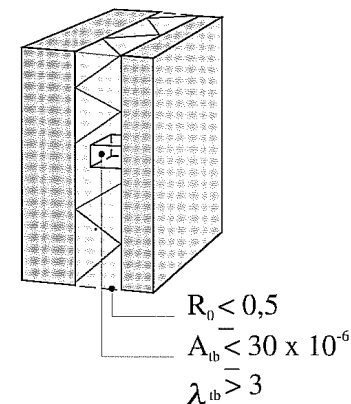
Otrajā grupā ir sienu savienojošās detaļas, ja tās iet caur gaisa slāni, vai skrūves un naglas materiālā.

Trešajā un ceturtajā grupā ietilpst sienu savienojošās detaļas, ja tās iet cauri izolācijas slānim, kam ir lielāka termiskā pretestība nekā 2. grupai. Šajā gadījumā iekšējam slānim ir jābūt ar pietiekoši lielu termisko pretestību, lai izlīdzinātu termiskā tiltu ietekmi uz iekšējās virsmas temperatūru. Tas ir gadījums, kad iekšējam slānim ir pietiekoši liela termiskā pretestība (3.grupa) vai iekšējā slāņa termiskā pretestība ir tāda, ka tā efektīvi sadala termisko plūsmu pa iekšējo virsmu (pie 4. grupas pieder praktiski visas sienas ar ķieģeļu vai betona iekšējo slāni).

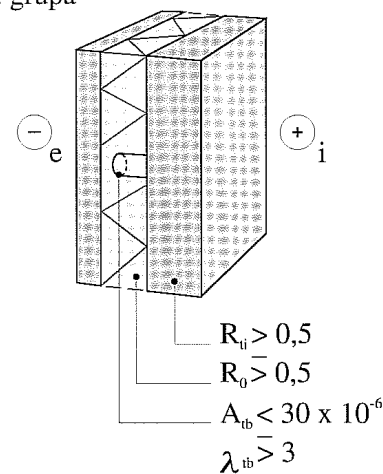
1. grupa



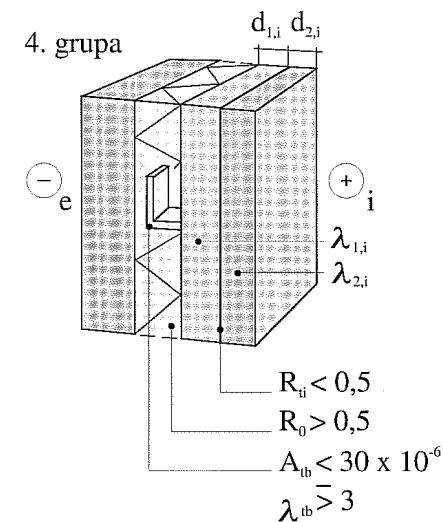
2. grupa



3. grupa

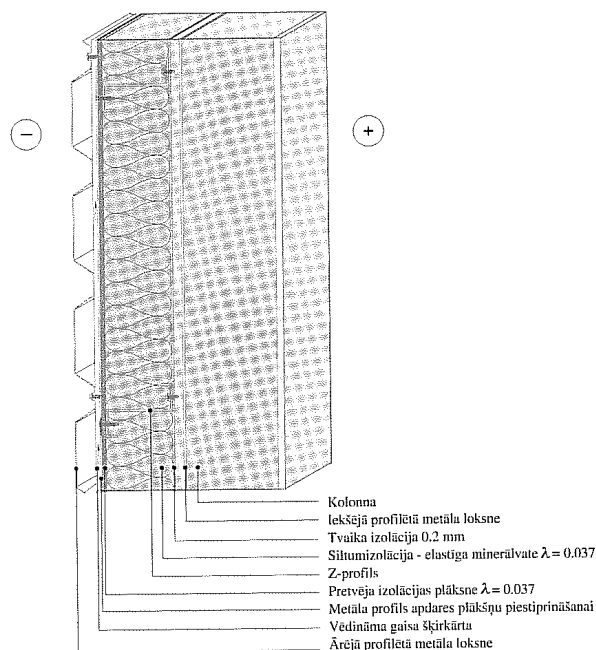


4. grupa



4.8. zīm. Nosacījumi termisko tiltu iekļaušanai kvazihomogēnajos slāņos

Apskatīsim sienu kā konstrukcijas ar termiskiem tiltiem piemēru. Abas sienas norobežojošās virsmas veido profilētais metāla loksnes, kas ik pēc 600 mm ir savienotas ar Z-veida profilu (4.9. zīm.).



4.9. zīm. Vieglskonstrukciju siena

Z-veida profils veido lineāru termisko tiltu, kas savieno divas metāliskas virsmas. Latvijas nacionālajā standartā LVS EN ISO 6946+A1 ir norāde, ka tādas konstrukcijas ir aizliegtas rēķināt ar šī standarta metodēm, un tās ir rēķināmas tikai ar LVS EN ISO 10211 metodēm.

Apskatāma konstrukcija neatbilst kvazihomogēnā slāņa nosacījumiem, jo nevienmērīgā slāņa siltajā pusē nav pietiekoši lielas termiskās pretestības. Konstrukcijas aprēķins tiek veikts sekojošā kārtībā:

- ar *Eurokobra* programmas palīdzību aprēķina konstrukcijas termiskās mijiedarbības koeficientu L^{2D} un nosaka kopējo konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientu U ;
- nosaka konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientu U , $W/(m^2 \cdot K)$, ņemot vērā termisko tiltu;
- pēc 4.3. vienādojuma aprēķina lineārā termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficientu $\Psi W/(m \cdot K)$.

Vieglskonstrukciju siena, skatoties no ārējā gaisa puses, sastāv no sekojošiem slāņiem:

1. profilēta skārda loksne ($\delta=0,00045$ m, $\lambda=75$ W/(m·K)) ar vēdināmām šķirkārtām;
2. metāla karkass un vēdināma šķirkārta;
3. pretvēja izolācijas slānis ($\delta=0,013$ m, $\lambda_{cl}=0,033$ W/(m·K));
4. siltumizolācijas slānis ($d=0,125$ m, $\lambda_{cl}=0,037$ W/(m·K)), caur kuru ar soli 600 mm iet metāla stiprināšanas elements - Z profils ($\delta=0,001$ m, $\lambda=75$ W/(m·K));
5. tvaika izolācija (tās siltumpretestība aprēķinos netiek ņemta vērā);
6. profilēta loksne ($\delta=0,00045$ m, $\lambda=75$ W/(m·K)) ar gaisa šķirkārtu.

Siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēja, ņemot vērā labojuma koeficientu darba (ekspluatācijas) apstākļiem (materiāls nav ventilēts), sastāda:

$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0.037 + 0.002 = 0.039$ W/(m·K), kur labojuma koeficients darba apstākļiem $\Delta\lambda_w$ ir ņemts no LBN 002-01 pielikuma 2. tabulas.

Pretvēja izolācija atrodas tiešā saskarē ar labi ventilēto gaisa slāni. Ņemot vērā šī materiāla izvietojumu konstrukcijā, aprēķina siltumvadītspēja sastāda:

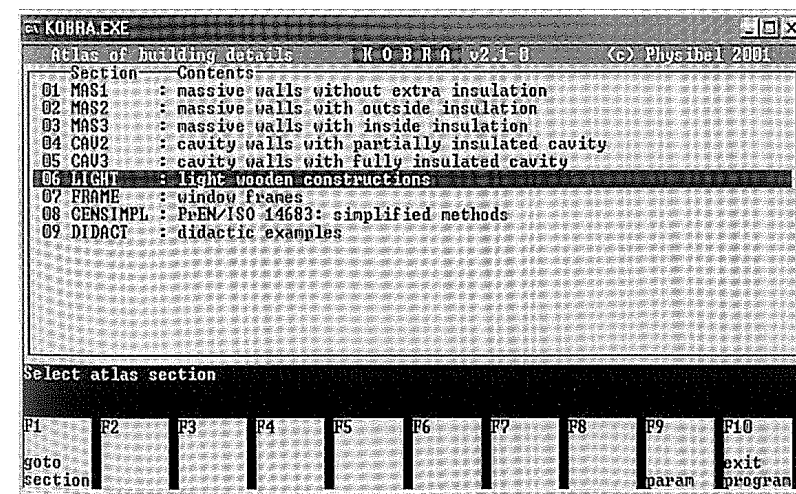
$$\lambda_d = \lambda_{cl} + \Delta\lambda_w = 0.033 + 0.001 = 0.034 \text{ W/(m·K)}.$$

Saskaņā ar LVS EN ISO 10211-1+AC 5.2.1. punktu aprēķinā drīkst ņemt vērā plānus slāņus ar biezumu, mazāku par 1 mm. Dotajā konstrukcijā tādi slāņi ir 1., 5., 6. Aprēķinā netiek ņemtas vērā arī gaisa šķirkārtas:

- ārējā gaisa šķirkārta ir labi vēdināma un netiek ņemta vērā saskaņā ar LVS EN ISO 6946+A1. Ārējās virsmas siltuma zudumu pretestība šajā gadījumā sastāda $0,13$ m²·K/W;
- iekšējā gaisa šķirkārta ir mainīgā šķēsgriezuma (svārstās līdz 0 mm), tās termiskā pretestība ir no 0 līdz $0,10$ m²·K/W un tiek atstāta kā rezerve.

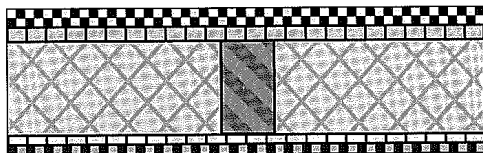
Pretvēja plātes stiprinājumam tiek izmantotas skrūves ar diametru 4,5 mm, skrūvju patēriņš vidēji 3 gb/m², skrūvju relatīvā platība ir $0,000016$ m². Pretvēja plātes ekvivalentā siltumvadītspēja: $\lambda' = 0.000016 \cdot 75 + 0.999984 \cdot 0.034 = 0.0363$ W/(m·K).

Programma Kobra dod iespēju aprēķināt konstrukcijas ar divdimensiju siltuma plūsmām (karkass vienā virzienā). Programma ir veidota DOS vidē. Ieejot programmā, atveras iespējamo konstrukciju saraksts (4.10. zīmējums), no kura ir jāizvēlas piemērotais konstrukciju tips. Sarakstā nav metāla konstrukciju, tāpēc vistuvākais varētu būt vieglās koka konstrukcijas, parādās atsevišķu ēkas elementu saraksts, kas ir veidoti kā vieglās koka konstrukcijas, no kurām jāizvēlas pēc struktūras piemērotā sienas konstrukcija.

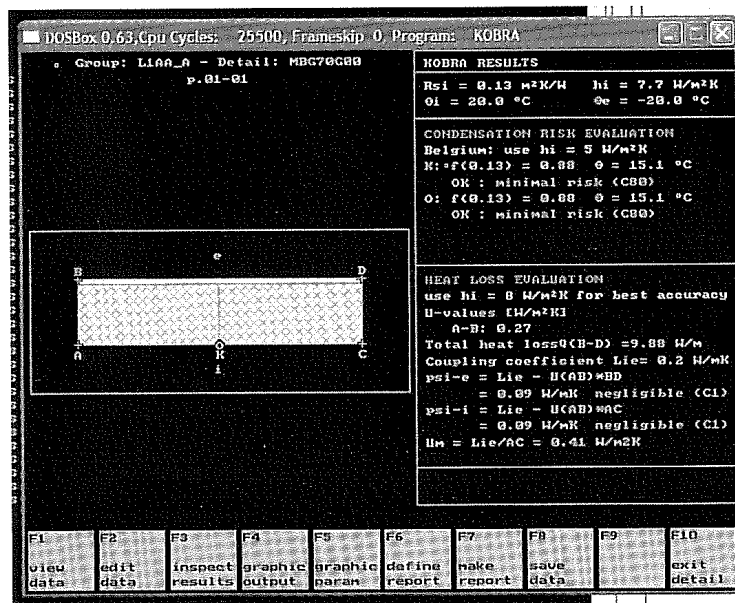


4.10. zīm. Konstrukciju saraksts programmā Kobra

Aprēķinām pielāgojam koka karkasa konstrukciju, kas ir parādīta 4.11. zīmējumā. Šajā aprēķinā labi ventilēta gaisa sprauga nebūs ņemta vērā, atstājot zināmu termiskās pretestības rezervi.



4.11. zīm. Sienas konstruktīvais risinājums



4.12. zīm. Konstrukcijas aprēķina rezultāti

Konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, kas ir noteikts viendimensiju aprēķinā, U_j , tiek aprēķināts sekojoši:

$$U_j = \frac{1}{0.13 + \frac{0.125}{0.039} + \frac{0.013}{0.0363} + 0.13} = 0.26 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

Kā redzams, konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, kas ir noteikts viendimensiju aprēķinā, U_j , $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$, sastāda $0.26 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, un termiskās mijiedarbības koeficients L^{2D} ir vienāds ar $0.2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Tagad, zinot U_j un L^{2D} , ir iespējams noteikt lineārās termiskās siltumvadāmības koeficientu, izmantojot 4.3. vienādojumu.

$$= L^{2D} - \sum_{j=1}^j U_j \cdot l_j = 0.2 - 0.26 \cdot 0.6 = 0.044 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \text{ kur lielums } 0.6 \text{ ir garums, kurā}$$

notiek divdimensiju siltuma plūsma. Šajā piemērā šis garums ir vienāds ar Z-veida profila soli.

Konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, ņemot vērā metāla termisko tiltu, sastāda $0.41 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, kas ir par $0.15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ lielāks nekā konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, kas ir noteikts viendimensiju aprēķinā.

5. Logu, durvju un slēgu siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana

5.1. Vispārīgie norādījumi

Saskaņā ar LBN 002-01 logu siltuma caurlaidības koeficientu nosaka, izmantojot LVS EN ISO 10077-1 "Logu, durvju un slēgu siltumtehnikas īpašības. Siltuma caurlaidības aprēķini. 1.daļa: Vienkāršotā metode".

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

Logi LVS EN ISO 10077-1 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.

Ja durvju konstrukcija ir līdzīga logu konstrukcijai, to siltuma caurlaidības koeficientu nosaka tāpat kā logu siltuma caurlaidības koeficientus.

5.2. Stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients

Vienkāršs stiklojums

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si}}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \quad (5.1)$$

kur:

- R_{si} - iekšējās virsmas termiskā pretestība, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;
- d_j - materiāla biezums, m;
- λ_j - materiāla siltumvadītspējas koeficients, $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (ja nav datu, pieņem $1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$);
- R_{se} - ārējās virsmas termiskā pretestība $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$.

Divkāršs un trīskāršs stiklojums:

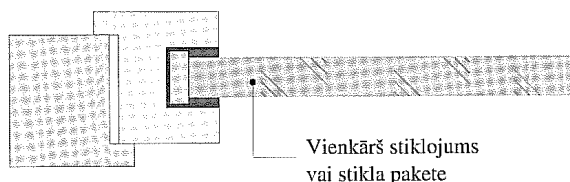
$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{s,j} + R_{si}}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}, \quad (5.2)$$

kur:

- R_{si} - iekšējās virsmas termiskā pretestība, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;
- d_j - materiāla biezums, m;
- λ_j - materiāla siltumvadītspējas koeficients, $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (ja nav datu, pieņem $1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$);
- $R_{s,j}$ - termiskā pretestība gaisa vai gāzes slānim, kas atrodas starp logu stikliem, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$;
- R_{se} - ārējās virsmas termiskā pretestība, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$.

5.2.1. Logs ar vienu rāmi

Logā ar vienu rāmi var būt viena stikla kārta vai stikla pakete ar diviem vai trīs stikliem (5.1. zīmējums).



5.1. zīm. Logs ar vienu rāmi

Siltuma caurlaidības koeficients logam ar vienu rāmi:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \Psi_g}{A_g + A_f}, \text{ W/(m}^2\text{K)}, \quad (5.3)$$

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 5.1. tabulā. Ja logā ar vienu rāmi ir tikai viens stikls, lineāra termiskā tilta ietekmi aprēķinos neņem vērā.

5.1. tabula

Lineāra termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficienti Ψ , W/(m·K) rāmjiem ar alumīnija vai tērauda atstarpī 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 tiek noteikts šādi:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + l_g \Psi_g + l_p \Psi_p}{A_g + A_f + A_p}, \text{ W/(m}^2\text{K)}, \quad (5.4)$$

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.

Vienkāršā stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients:

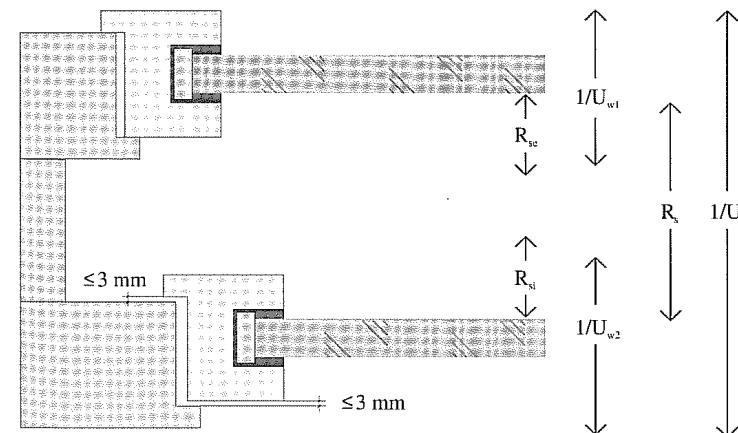
$$U_g = \frac{1}{R_{SE} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{SI}}, \text{ W/(m}^2\text{K)}, \quad (5.5)$$

kur:

- R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība, m²·K/W;
- d_j - materiāla biezums, m;
- λ_j - materiāla siltumvadītspējas koeficients, W/(m·K) (ja nav datu, pieņem 1,0 W/(m·K));
- R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība, m²·K/W.

5.2.2. Dubultlogs

Dubultlogs ir logs, kas sastāv no diviem atsevišķiem logiem ar vienu rāmi (5.2. zīmējums). Katrā no šiem logiem var būt vienkāršs stiklojums vai stikla pakete ar diviem vai trīs stikliem.



5.2. zīm. Dubultlogs ar diviem rāmjiem

Siltuma caurlaidības koeficients dubultlogam ar atsevišķiem rāmjiem:

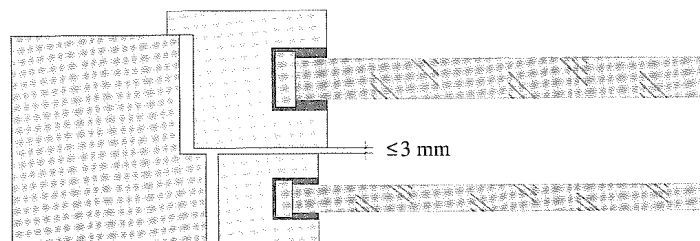
$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{SI} + R_S - R_{SE} + \frac{1}{U_{w2}}}, \text{ W/(m}^2\text{K)}, \quad (5.6)$$

kur:

- U_{w1}, U_{w2} - atsevišķo logu siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2 \cdot K)$;
- R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$;
- R_s - termiskā pretestība gaisa vai gāzes slānim starp logu stikliem, $m^2 \cdot K/W$;
- R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$.

5.2.3. Logs ar savietotiem rāmjiem

Logs ar savietotiem rāmjiem ir logs, kurā divu logu rāmji ir sastiprināti tā, ka tos var atvērt tikai kopā (5.3. zīmējums) 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 trim stikliem.



5.3. zīm. Dubultlogs ar savietotiem rāmjiem

Loga ar savietotiem rāmjiem siltuma caurlaidības koeficientu nosaka pēc 5.3. formulas, bet stiklojuma siltuma caurlaidības koeficientu, kas ir izmantojams 5.3. formulā, nosaka:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{SI} + R_s - R_{SE} + \frac{1}{U_{g2}}}, W/(m^2 \cdot K), \quad (5.7)$$

kur:

- U_{g1}, U_{g2} - atsevišķa loga stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2 \cdot K)$;
- R_{SI} - iekšējās virsmas termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$;
- R_s - termiskā pretestība gaisa vai gāzes slānim starp logu stikliem, $m^2 \cdot K/W$;
- R_{SE} - ārējās virsmas termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$.

Termiskā pretestība gaisa slānim, kas atrodas starp stikliem, dubultlogā vai logā ar savietotiem rāmjiem ir dota 5.2. tabulā, bet 5.4. nodaļā ir doti stiklojuma siltuma caurlaidības koeficienti U_{g1}, U_{g2} stikla paketēm ar divām vai trim stikla kārtām, stikla pārklājumiem ar dažādu emisijas spēju un dažādu starpstiklu aizpildījumu.

5.2. tabula

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

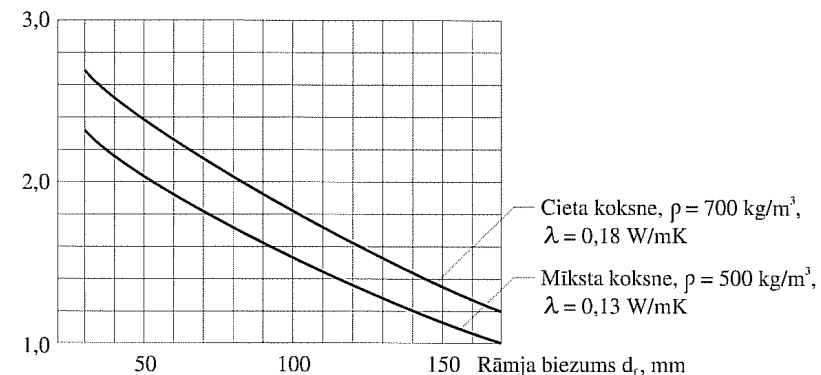
gaisa slāņa biezums, mm	Stikla vienai pusei ir pārklājums ar emisijas spēju				Abas stikla pusēs bezpārklājuma
	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,190	0,163	0,132	0,127
9	0,298	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,376	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,446	0,363	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,335	0,260	0,189	0,179
100	0,376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

5.3. Rāmja siltuma caurlaidības koeficients

Rāmju siltuma caurlaidības koeficientu logu ražotājs izmēra akreditētā laboratorijā, ja tādu datu nav, var izmantot tālāk minētos aprēķina papņēmienus.

No siltumtehniskā viedokļa labāki ir koka rāmji (5.4. zīmējums), kam siltuma caurlaidības koeficienti atkarībā no rāmja biezuma un koka blīvuma ir no 1,0 līdz 2,7 $W/(m^2 \cdot K)$.

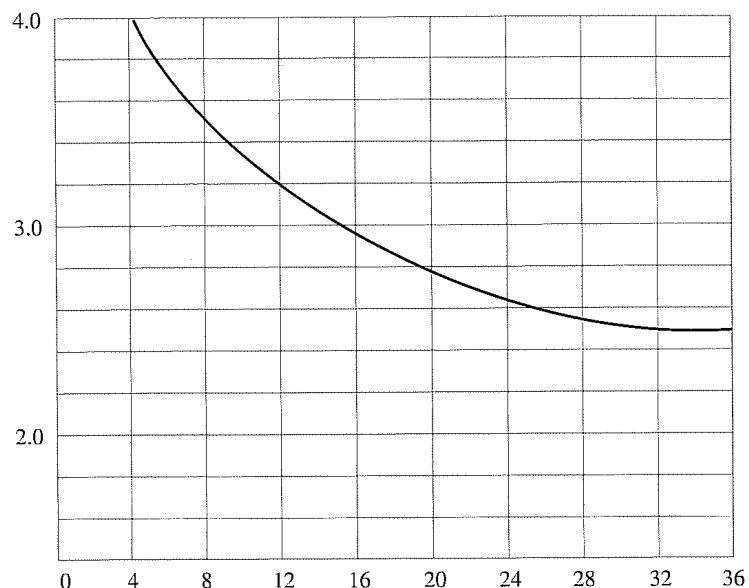
U_r , $W/(m^2 \cdot K)$



5.4. zīm. Koka loga rāmju siltuma caurlaidības koeficienti

Metāla rāmjiem bez termiski izolējošas atstarpes $U_r = 5,9 W/(m^2 \cdot K)$, bet rāmjiem ar termisko atstarpi siltuma caurlaidības koeficienti atkarībā no rāmja biezuma (5.5. zīmējums) svārstās no 1,9 līdz 4,0 $W/(m^2 \cdot K)$.

$U_r, W/(m^2 \cdot K)$



150 Rāmja biezums d_r , mm

5.5.zīm. Metāla logu rāmju siltuma caurlaidības koeficienti

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

- poliuretāna (PUR) rāmis ar metāla karkasu (PUR biezums > 5mm)
 $U_r=2,8 W/(m^2 \cdot K)$;
- polihlorvinila (PVC) rāmis ar divām tukšām kamerām $U_r=2,2 W/(m^2 \cdot K)$;
- PVC rāmis ar trim tukšām kamerām $U_r=2,0 W/(m^2 \cdot K)$.

5.4. Loga siltuma caurlaidības koeficienta vienkāršota aprēķināšanas metode

Loga siltuma caurlaidības koeficienta aprēķināšanas secība ir šāda:

- 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 īpatnību 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 normatīvajām prasībām dzīvojamām ēkām;
- 5) ja aprēķinātais loga siltuma caurlaidības koeficients ir lielāks par ēkas normatīvo siltuma caurlaidības koeficientu, tad, atstājot esošo rāmja konstrukciju, jāpiemeklē tāds stiklojuma veids, lai loga siltuma caurlaidības koeficients atbilstu LBN 002-01 normatīvajām prasībām.

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

5.3. tabula

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	SF 6
Divkārs stiklojums	bez pārklājuma (parastais)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-9	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	≤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	≤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	≤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	≤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
Trīskārs 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 pārklātas virsmas	≤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 pārklātas virsmas	≤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 pārklātas virsmas	≤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 pārklātas virsmas	≤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

Atkarībā no stiklojuma un rāmja siltumcaurlaidības koeficientiem loga siltuma caurlaidības koeficientu ir iespējams noteikt, izmantojot 5.4. un 5.5. tabulas datus.

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

Stiklojuma veids	$U_g, W/(m^2 \cdot K)$	$U_r, W/(m^2 \cdot K)$								
		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	2,4	2,5	2,6	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	3,6
	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

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

Stiklojuma veids	$U_g, W/(m^2 \cdot K)$	$U_r, W/(m^2 \cdot K)$								
		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	2,8	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	4,3
	2,9	2,4	2,7	2,7	2,8	3,0	3,2	3,2	3,3	4,1
	2,7	2,3	2,4	2,5	2,7	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	2,1	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 normatīvajām prasībām.

Aprēķina piemērs.

Loga rāmis ir poliuretāna ar metāla karkasu. Stiklojums divkāršs, 4-6-4, stikla emisijas spēja 0,89, aizpildījums - gaiss. Loga rāmja īpatsvars ir 20%.

Kādu stiklojuma veidu ir jāizvēlas, lai logs atbilstu LBN 002-01 publisko ēku siltuma caurlaidības koeficienta normatīvajam līmenim?

Aprēķina secība:

1. rāmja siltuma caurlaidības koeficients - $U_f=2,8 W/(m^2 \cdot K)$;
2. stiklojuma siltuma caurlaidības koeficients - $U_g=3,3 W/(m^2 \cdot K)$;
3. atkarībā no rāmja īpatsvara, stiklojuma un rāmja siltuma caurlaidības koeficientiem nosakām loga siltuma caurlaidības koeficientu - $U_w=3,35 W/(m^2 \cdot K)$ (5.6. tabula);

5.6. tabula
Izkopējums no 5.4. tabulas

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

4. loga siltuma caurlaidības koeficients ir lielāks par LBN 002-01 normatīvajām vērtībām publiskām ēkām $U_{RN}=2,2 W/(m^2 \cdot K)$;
5. lai nodrošinātu loga ar tādu pašu rāmi, kam ir $U_f=2,8 W/(m^2 \cdot K)$, siltuma caurlaidības koeficientu $U_w=2,2 W/(m^2 \cdot K)$, stiklojuma siltuma caurlaidības koeficientam ir jābūt $U_g=1,8 W/(m^2 \cdot K)$;
6. pēc 5.3. tabulas izvēlamies kādu no stiklojuma veidiem ar siltuma caurlaidības koeficientu $U_g=1,8 W/(m^2 \cdot K)$:
 - stiklojums divkāršs, 4-6-4, stikla emisijas spēja 0,1, aizpildījums - kriptons, $U_g=1,7 W/(m^2 \cdot K)$;
 - stiklojums divkāršs, 4-6-4, stikla emisijas spēja 0,05, kriptons, $U_g=1,5 W/(m^2 \cdot K)$;
7. mainot atstarpi starp stikliem rāmi, varētu izvēlēties arī šādus variantus:
 - stiklojums divkāršs, 4-15-4, stikla emisijas spēja 0,2, aizpildījums - gaiss, $U_g=1,8 W/(m^2 \cdot K)$;
 - stiklojums divkāršs, 4-20-4, stikla emisijas spēja 0,2, aizpildījums - gaiss, $U_g=1,8 W/(m^2 \cdot K)$;
 - stiklojums divkāršs, 4-12-4, stikla emisijas spēja 0,1, aizpildījums - gaiss, $U_g=1,7 W/(m^2 \cdot K)$.

5.5. Slēgu siltuma caurlaidības koeficients

Pateicoties gaisa slānim starp stiklu un slēgi un paša slēga konstrukcijai, slēgi logu ārpusē veido papildus termisko pretestību.

Loga ar aizvērtiem slēgiem siltuma caurlaidības koeficients:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}, \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (5.8)$$

kur:

- U_w - loga siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2 \cdot K)$;
- ΔR - slēga un gaisa slāņa papildus termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$.

Slēga un gaisa slāņa papildus termiskā pretestība tiek noteikta pēc šādām formulām:

$$\text{slēgiem ar ļoti lielu gaisa caurlaidību:} \quad \Delta R = 0,08 \, m^2 \cdot K/W; \quad (5.9)$$

$$\text{slēgiem ar lielu gaisa caurlaidību:} \quad \Delta R = 0,25 R_{sh} + 0,09 \, m^2 \cdot K/W; \quad (5.10)$$

$$\text{slēgiem ar vidēju gaisa caurlaidību:} \quad \Delta R = 0,55 R_{sh} + 0,11 \, m^2 \cdot K/W; \quad (5.11)$$

$$\text{slēgiem ar mazu gaisa caurlaidību:} \quad \Delta R = 0,80 R_{sh} + 0,14 \, m^2 \cdot K/W; \quad (5.12)$$

$$\text{blīviem (gaisa necaurlaidīgiem) slēgiem:} \quad \Delta R = 0,95 R_{sh} + 0,17 \, m^2 \cdot K/W; \quad (5.13)$$

R_{sh} - slēga termiskā pretestība, $m^2 \cdot K/W$.

Formulas (5.8) - (5.12) ir spēkā, ja slēga termiskā pretestība $R_{sh} < 0,3 \, m^2 \cdot K/W$. Ja nav izmērīto vai aprēķināto datu par slēga termisko pretestību, var izmantot aptuvenos datus no 5.7. tabulas.

5.7. tabula

Slēgu papildus termiskā pretestība

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

*gaisa caurlaidības definējums ir dots 5.8. tabulā.

$$\text{Slēgu gaisa caurlaidība tiek izteikta ar kopējo efektīvo gaisa spraugu:} \quad b_{sh} = b_1 + b_2 + b_3, \, \text{mm} \quad (5.14)$$

kur:

- b_1 - gaisa spraugas starp slēgi un palodzi vidējais izmērs, mm;
- b_2 - gaisa spraugas starp slēga augšdaļu un norobežojošo konstrukciju vidējais izmērs, mm;
- b_3 - gaisa spraugas starp slēgi un norobežojošo konstrukciju vienā no slēga sāniem vidējais izmērs (gaisa caurlaidību vairāk ietekmē gaisa spraugas no augšas un apakšas, tāpēc no sāniem ņem tikai vienas sānu spraugas izmēru), mm.

5.8. tabula

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 $b_2 + b_3 = 0$

Otrajai klasei un augstāk slēga struktūrā nedrīkst būt atvērumi gaisam. Piektajai klasei jāatbilst sekojošiem kritērijiem:

a) rullējamiem slēgiem sānu un apakšējā 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.

6. Mitruma režīms konstrukcijās

6.1. Vispārīgie norādījumi

LBN 002-01 "Norobežojošo konstrukciju siltumtehnika" tieši nenosaka, ar kādām metodēm ir jānovērtē konstrukciju mitruma režīms. Tāpēc šim mērķim var izmantot gan agrāk izmantoto metodi (Fokina metode), gan veikt novērtējumu saskaņā ar LVS EN ISO 13788 "Ēku būvmateriālu un būvelementu higosiltumtehnikas īpašības. Iekšējās virsmas temperatūra, lai izvairītos no kritiskā virsmas mitruma un iekšējās kondensācijas. Aprēķina metodes".

Vispārīgā gadījumā konstrukcijas mitruma režīma novērtēšanas gaitā ūdens tvaiku spiediens (p_x) vienmēr tiek salīdzināts ar piesātināto ūdens tvaiku spiedienu (p_{sat}). Konstrukcijā nav mitruma kondensācijas, ja visos konstrukcijas slāņos $p < p_{sat}$. Šo rezultātu ir pieņemts rādīt grafiski.

Līdz LVS EN ISO 13788 plašai ieviešanai Latvijā tika pielietota Fokina metode. Pēc Fokina metodes mitruma režīma aprēķinu rezultātus parāda grafiski, zīmējot p_x un p_{sat} atkarību no konstrukcijas reālā biezuma. Piesātinātā ūdens tvaika spiediena līkne veidojas atkarībā no temperatūras sadalījuma konstrukcijā.

Saskaņā ar LVS EN ISO 13788 metodi p_x un p_{sat} parāda atkarībā no ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalenta s_d . Ūdens tvaika difūzijas ekvivalents gaisa slāņa biezums ir nekustīga gaisa slāņa biezums, kam ir tāda pati ūdens tvaika difūzijas pretestība kā apskatāmajam materiālam. LVS EN ISO metodē konstrukcijas reālais biezums tiek aizvietots ar nekustīga gaisa slāņa biezumu ar līdzvērtīgu pretestību ūdens tvaiku difūzijai. Tāpat kā Fokina paņēmienā, piesātinātā ūdens tvaika spiediena līkne veidojas atkarībā no temperatūras sadalījuma konstrukcijā. Bet daļēji spiediena p_x sadalījumu konstrukcijā parāda, savienojot ar taisnu līniju ārējā gaisa un iekšējā gaisa daļējo spiedienu.

Vispārējā gadījumā konstrukcijas mitruma režīmu nav jāpamato ar aprēķinu, ja būvelementa 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_{d1} .

Jāatzīmē, ka LBN 002-01 31. punkta prasība praktiski visos gadījumos liek ar aprēķinu pamatot koka karkasa konstrukciju mitruma režīmu.

Koka karkasā un pie koka karkasa temperatūras izmaiņas ir straujākas nekā griestā caur siltumizolāciju. No kondensācijas iespējamības viedokļa visbīstamākā ir koka karkasa un siltumizolācijas saskares vieta, jo šeit temperatūras sadalījums ir tāds pats kā karkasam, bet siltumizolācijas pretestība ūdens tvaika caurlaidībai ir daudz mazāka nekā kokam.

6.2. Temperatūras un piesātinātā ūdens tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā

Neatkarīgi no konstrukcijas mitruma režīma aprēķina metodes, lai veiktu mitruma režīma novērtējumu, ir nepieciešams aprēķināt temperatūras sadalījumu konstrukcijā.

Temperatūras sadalījumu homogēnā konstrukcijā aprēķina pēc sekojošas formulas:

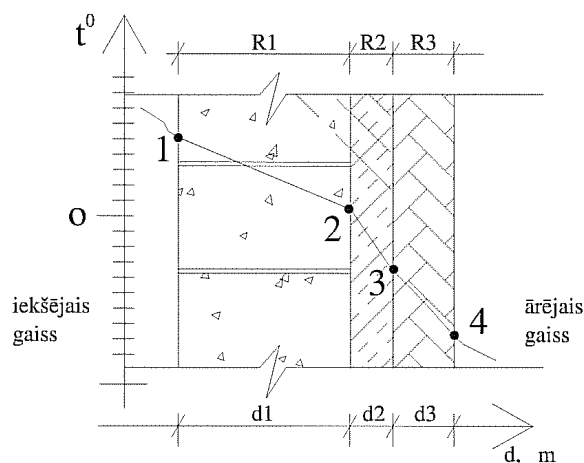
$$\theta_x = \theta_i - \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{R_T} (\theta_i - \theta_e), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6.1)$$

kur:

- θ_x - temperatūra konstrukcijas šķērsgriezuma x punktā, $^\circ\text{C}$;
- θ_i - telpas gaisa temperatūra, $^\circ\text{C}$;
- θ_e - ārējā 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, kas atrodas starp iekšējo gaisu un šķērsgriezuma x punktu, kurā tiek noteikta temperatūra, termiskā pretestība, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

Nehomogēnas konstrukcijas temperatūras sadalījums ir atšķirīgs dažādās konstrukcijas vietās. Līdz ar to, šāda tipa konstrukcijas temperatūras sadalījumu ir iespējams aprēķināt tikai ar datorprogrammas palīdzību.

Kā aprēķina piemēru temperatūras sadalījumam apskatīsim norobežojošo konstrukciju, kas sastāv no trim homogēniem slāņiem (6.1. zīmējums).



6.1. zīm. Temperatūras sadalījums norobežojošajā konstrukcijā, kas sastāv no trim homogēniem slāņiem

Lai noteiktu temperatūru uz norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas, tiek ņemta attiecība starp iekšējās virsmas termisko pretestību un konstrukcijas pilno termisko pretestību:

$$\theta_1 = \theta_i - \frac{R_{s1}}{R_T} (\theta_i - \theta_e), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Temperatūra uz pirmā un otrā slāņa robežas (punktā 2) tiek aprēķināta, ņemot vērā termisko pretestību iekšējai virsmai RSI un pirmajam slānim R1:

$$\theta_2 = \theta_i - \frac{R_{s1} + R1}{R_T} (\theta_i - \theta_e), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Temperatūra uz otrā un trešā slāņa robežas (punktā 3) tiek aprēķināta, ņemot vērā termisko pretestību iekšējai virsmai RSI, pirmajam slānim R1 un otrajam slānim R2:

$$\theta_3 = \theta_i - \frac{R_{s1} + R1 + R2}{R_T} (\theta_i - \theta_e), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Temperatūra uz norobežojošās konstrukcijas ārējās virsmas (punktā 4) tiek aprēķināta, ņemot vērā termisko pretestību iekšējai virsmai RSI un visos konstrukcijas slāņos:

$$\theta_4 = \theta_i - \frac{R_{s1} + R1 + R2 + R3}{R_T} (\theta_i - \theta_e), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Temperatūras sadalījumu konstrukcijā parāda grafiski attiecībā pret slāņa biezumu vai pret slāņu termisko pretestību.

Ūdens tvaika daļējais spiediens raksturo ūdens tvaika daudzumu gaisā. Maksimāli iespējamais ūdens tvaika daļējais spiediens (vai piesātinātais ūdens tvaika spiediens) p_{sat} ir tad, kad gaisa relatīvais mitrums ir $\phi=100\%$, vai, citiem vārdiem sakot, gaiss ir pilnīgi piesātināts ar ūdens tvaikiem. Piesātinātā ūdens tvaika spiediens ir tieši atkarīgs no gaisa temperatūras - jo lielāka ir gaisa temperatūra, jo lielāku ūdens tvaiku daudzumu ir spējīgs uzņemt gaiss. Katrai gaisa temperatūrai θ , $^\circ\text{C}$ piemīt noteikts piesātināto ūdens tvaiku spiediens. Šis lielums ir atrodams pēc tabulas (6.1. tabula) vai vienādojuma:

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{17,269\theta}{237,3+\theta}}, \text{ Pa ja } \theta \geq 0^\circ\text{C} \quad (6.2)$$

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{21,875\theta}{265,5+\theta}}, \text{ Pa ja } \theta < 0^\circ\text{C} \quad (6.3)$$

6.1.tabula

Piesātināto tvaiku spiediens un 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

Zinot piesātināto ūdens tvaika spiedienu, var aprēķināt gaisa temperatūru:

$$\theta = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)}, ^\circ\text{C} \quad \text{ja } p_{\text{sat}} \geq 610,5 \text{ Pa}; \quad (6.4)$$

$$\theta = \frac{265,5 \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)}, ^\circ\text{C} \quad \text{ja } p_{\text{sat}} < 610,5 \text{ Pa}. \quad (6.5)$$

6.3. Mitruma režīma novērtējums konstrukcijās saskaņā LVS EN ISO 13788 prasībām

6.3.1. Jēdzieni un definīcijas

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 Θ_i un ārējā Θ_e gaisa temperatūru starpību:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (6.6)$$

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

$$f_{Rsi \cdot \min} = \frac{\theta_{si \cdot \min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (6.7)$$

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

Iekšējā mitruma pārpalikums ir mitruma veidošanās ātrums telpā, dalīts ar gaisa apmaiņas biežumu un telpas apjomu:

$$\Delta v = v_i - v_e = \frac{G}{n \cdot V}, \text{ kg/m}^3 \quad (6.8)$$

kur:

- G - mitruma veidošanas ātrums iekšējā gaisā, kg/h;
- n - gaisa apmaiņas biežums, h⁻¹;
- V - telpas apjoms, m³.

Ūdens tvaika difūzijas ekvivalents gaisa slāņa biežums ir nekustīga gaisa slāņa biežums, kam ir tāda pati ūdens tvaika difūzijas pretestība kā apskatāmajam materiālam:

$$s_d = \mu \cdot d, \text{ m} \quad (6.9)$$

kur:

- μ - ūdens tvaika pretestības faktors;
- d - materiāla slāņa biežums, m.

Ūdens tvaika pretestības faktoru nosaka saskaņā ar standartu LVS EN 12086 vai pēc LBN 002-01 pielikuma 6. un 7. tabulas, kur ir noteiktas μ vērtības viendabīgiem būvmateriāliem un siltumizolācijas materiāliem.

Relatīvais mitrums ir gaisa mitruma attiecība pret piesātinātā tvaika spiedienu pie tādas pašas temperatūras:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{sat}}} \cdot 100\% \quad (6.10)$$

kur:

- p - ūdens tvaika parcālais spiediens, Pa

Nosakot ārējā gaisa mitruma apstākļus, izmanto mitruma saturu v_e vai ūdens tvaika parcālo spiedienu p_e .

Mēneša vidējo ūdens tvaika parcālo spiedienu vai vidējo mitruma saturu var aprēķināt, izmantojot vidējo mēneša temperatūru un relatīvo mitrumu:

$$\bar{p}_e = \bar{\varphi}_e p_{\text{sat}}(\bar{\theta}_e), \text{ Pa} \quad (6.11)$$

$$\bar{v}_e = \bar{\varphi}_e v_{\text{sat}}(\bar{\theta}_e), \text{ kg/m}^3 \quad (6.12)$$

kur:

- $\bar{p}_e$ - ārējā gaisa mēneša vidējais ūdens tvaika parciālais spiediens, Pa;
- p_{sat} - ārējā gaisa piesātinātā ūdens tvaika spiediens, Pa;
- $\bar{\varphi}_e$ - ārējā gaisa mēneša vidējais relatīvais mitrums, %;
- v_{sat} - piesātināto ūdens tvaiku mitruma saturs.

Karstā klimatā minētās formulas nedod korektus rezultātus, jo atkarība nav lineāra.

Mitruma kondensācijas noteikšanai uz zemas inerces elementiem ir jāizmanto relatīvais mitrums, kas atbilst gada visaukstākās dienas vidējai temperatūrai.

Iekšējā gaisa mitrumu un ūdens tvaika parciālo spiedienu nosaka, izmantojot sekojošās atkarības:

$$p_i = p_e + \Delta p, \text{ Pa}; \quad (6.13)$$

$$v_i = v_e + \Delta v, \text{ kg/m}^3. \quad (6.14)$$

Lielumus Δp un Δv var pieņemt atbilstoši ēkas nozīmei (mitruma klases ir parādītas 6.2. tabulā) pēc 6.2. zīmējuma, drošības nolūkos palielinot tos 1,1 reizi. Dati ir izstrādāti Rietumeiropas valstīm ar mēreno klimatu, un to izmantošana nav obligāta. Aprēķinos var izmantot nacionālajos standartos noteiktus datus. Drošības koeficients 1,1 ir ieviests, lai kompensētu metodes neprecizitātes. Dotās metodes pamatā ir statistiskā stāvokļa aprēķini. Īstenībā apskatāmā sistēmā mainās vairāki faktori. Mainās ārējā gaisa temperatūra, mainās saules radiācija, mitruma kondensāciju uz virsmas var ietekmēt materiālu higroskopiskās īpašības un mainīga siltuma padeve telpā. Aprēķinos netiek ņemta vērā arī iemītnieku uzvedība, kas var jūtami izmainīt ventilācijas režīmus.

Gadījumos, kad iekšējā gaisa apstākļus uztur gaisa kondicionēšanas sistēmas, relatīvais mitrums ir zināms un ir pastāvīgs φ_i . Nosakot iekšējā gaisa parciālo spiedienu, drošības nolūkos to ir jāpalielina 1,05 reizes.

Gadījumā, kad iekšējā gaisa relatīvais mitrums ir zināms, gaisa ūdens tvaika parciālo spiedienu nosaka, izmantojot sekojošu vienādojumu:

$$p_i = \varphi_i p_{sat}(\theta_i), \text{ Pa}, \quad (6.15)$$

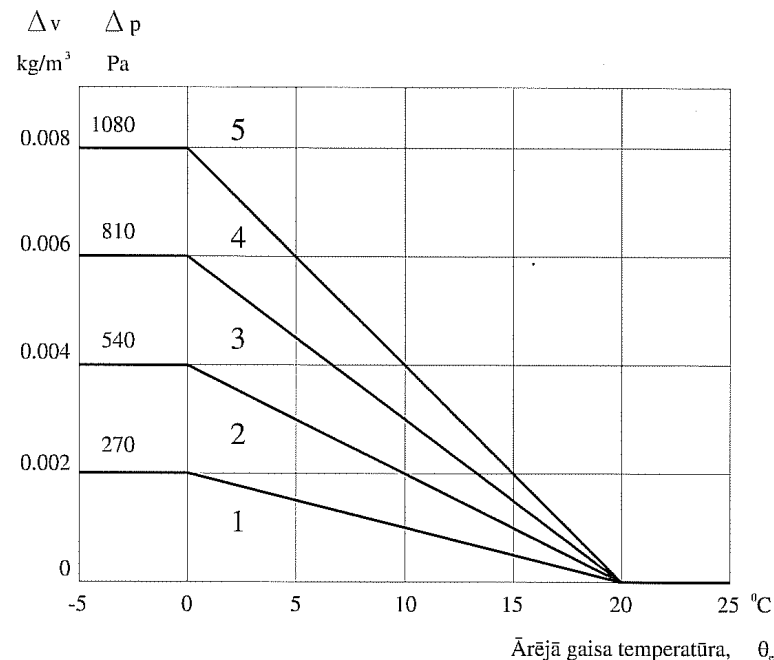
kur:

- p_i - iekšējā gaisa ūdens tvaika parciālais spiediens, Pa;
- p_{sat} - iekšējā gaisa piesātinātā ūdens tvaika spiediens, Pa;
- φ_i - iekšējā gaisa vidējais mēneša relatīvais mitrums, %.

Iekšējā gaisa mitruma klases

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

6.2. tabula



6.2.zīm. Mitruma klases atkarībā no ārējā gaisa temperatūras

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

Kritisko virsmas relatīvo mitrumu, kas izsauc pelējuma sēnīšu un korozijas risku, nosaka saskaņā ar standartu LVS EN ISO 13788. Tiek uzskatīts, ka sēnīšu augšanas risks pastāv, ja virsmas mitrums vairākas dienas pēc kārtas pārsniedz 80%, bet korozijas risks pastāv, ja virsmas mitrums vairākas dienas pēc kārtas pārsniedz 60%. Sēnīšu augšanas un korozijas riska novērtējums balstās uz temperatūras faktoru aprēķinu un salīdzināšanu.

Temperatūras faktoru aprēķina katram mēnesim un izvēlas kritisko mēnesi. Kritiskais mēnesis ir mēnesis ar lielāko nepieciešamo $f_{Rsi, min}$. Šī mēneša temperatūras faktoru sauc par maksimālo temperatūras faktoru $f_{Rsi, max}$.

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

Konkrētai ēkas norobežojošajai konstrukcijai f_{Rsi} var noteikt, izmantojot sekojošu formulu:

$$f_{Rsi} = \frac{U^{-1} - R_{si}}{U^{-1}} \quad (6.16)$$

kur:

- U - norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2 \cdot K)$;
- R_{si} - iekšējās virsmas siltuma zudumu pretestība, $m^2 \cdot K/W$ (stiklojumam un rāmjiem pieņem $0,13 m^2 \cdot K/W$, pārējām norobežojošām konstrukcijām to pieņem vienādu ar $0,25 m^2 \cdot K/W$).

Pelējuma sēnišu augšanas un korozijas riska novērtējumu saskaņā ar LVS EN ISO 13788 aprēķina šādā secībā:

- 1) nosaka visu mēnešu vidējās temperatūras;
- 2) nosaka ārējā gaisa mitruma saturu vai ūdens tvaika spiedienu;
- 3) nosaka iekšējā gaisa temperatūru, atbilstoši pieņemtajai nacionālajai praksei;
- 4) aprēķina iekšējā gaisa ūdens tvaika spiedienu;
- 5) aprēķina minimālo pieļaujamo piesātinātības ūdens tvaiku spiedienu, izmantojot maksimālo pieļaujamo relatīvo mitrumu:

$$p_{sat}(\theta_{si}) = \frac{p_i}{0,8}, \text{ Pa.} \quad (6.17)$$

Kritērijs 0,8 ir pieņemts, lai novērtētu sēnišu augšanas risku. Ja ir nepieciešams novērtēt citus riska apstākļus, var būt pieņemti arī citi kritēriji, piemēram, korozijas riska novērtēšanai būtu jāpieņem kritēriju 0,6.

- 6) no minimāli pieļaujamā piesātinātā gaisa mitruma satura (piesātinātā ūdens tvaika spiediena) nosaka minimālo pieļaujamo virsmas temperatūru;
- 7) izmantojot iekšējā un ārējā gaisa temperatūras un iepriekš noteikto minimālo pieļaujamo virsmas temperatūru,;
- 8) pēc 6.2. formulas nosaka minimālu temperatūras faktoru $f_{Rsi.min}$ konkrētajam mēnesim;
- 9) no aprēķina temperatūras faktoriem izvēlas lielāko $f_{Rsi.max}$ un salīdzina to ar norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktoru f_{Rsi} , nosakot, vai pastāv sēnišu augšanas vai korozijas risks.

Tālāk praktiskajā piemērā novērtēsim sēnišu augšanas risku uz norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas. Apskatāmās konstrukcijas siltumcaurlaidības koeficients tiek pieņemts 0.30, W/(m²·K), kas atbilst LBN 002-01 normatīvajām vērtībām, kas attiecas uz dzīvojamām ēkām.

No sākuma aprēķināsim temperatūras faktoru katram mēnesim. Temperatūras faktors f_{Rsi} tiek noteikts Rīgas meteoroloģiskiem apstākļiem, kuri ir atrodamī LBN 003-01 "Būvklimatoloģija". Iekšējā gaisa temperatūra tiek pieņemta 20°C. Sēnišu augšanas riska novērtējumam tiek veikts 3. mitruma klases telpai. Temperatūras faktors f_{Rsi} Rīgai ir parādīts 6.3. tabulā

6.3.tabula.

Temperatūras faktors Rīgai 3. klases telpām pie telpas temperatūras 20°C

Mēnesis	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	φ_e	p_e, Pa	$\Delta p, \text{Pa}$	p_i, Pa	p_{sat}, Pa	$\theta_{si.min}, ^\circ\text{C}$	$\theta_i, ^\circ\text{C}$	f_{Rsi}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Janvāris	-4,7	0,85	350	891	1241	1551	13.54	20	0.738
Februāris	-4,3	0,82	349	891	1240	1550	13.53	20	0.734
Marts	-0,6	0,79	459	891	1350	1687	14.85	20	0.750
Aprīlis	5,1	0,73	641	656	1297	1621	14.22	20	0.612
Maijs	11,4	0,69	930	360	1290	1612	14.15	20	0.320
Jūnijs	15,4	0,72	1259	101	1360	1700	14.96	20	-0.096
Jūlijs	16,9	0,76	1463	99	1562	1952	17.13	20	0.074
Augusts	16,2	0,78	1436	123	1559	1948	17.10	20	0.237
Septembris	11,9	0,81	1128	348	1476	1845	16.24	20	0.536
Oktobris	7,2	0,83	843	433	1276	1594	13.97	20	0.529
Novembris	2,1	0,86	611	755	1366	1707	15.03	20	0.722
Decembris	-2,3	0,86	434	891	1325	1656	14.55	20	0.756

Pēc aprēķina rezultātiem ir redzams, ka kritiskais mēnesis ir decembris, un tam ir aprēķina temperatūras faktors $f_{Rsi.min}=0,756$.

Dotās konstrukcijas temperatūras faktors:

$$f_{Rsi} = \frac{0.30^{-1} - 0.25}{0.30^{-1}} = \frac{3.33 - 0.25}{3.33} = 0.925$$

Salīdzinot konstrukcijas temperatūras faktoru ar kritiskā mēneša temperatūras faktoru, var secināt, ka dotajai ēkai ar 3. klases telpām Rīgā ar iekšējā gaisa temperatūru 20°C un drošības pakāpi 0,8, mitruma kondensācija uz sienas virsmām nav iespējama, jo $f_{Rsi} > f_{Rsi.min}$.

Zemāk tiek parādīta aprēķinu secība janvāra mēnesim:

- 1) nosakām ārējā gaisa ūdens tvaika daļiālo spiedienu pēc formulas 6.6:
 $p_e = 0.85 \cdot 411.76 = 350, \text{ Pa};$
- 2) pēc 6.1. zīm. atbilstoši telpas mitruma klasei nosakām ārējā un iekšējā gaisa ūdens tvaiku daļiālo spiedienu starpību Δp , drošības nolūkos palielinot to 1,1 reizi;
 $\Delta p = 810 \cdot 1.1 = 891, \text{ Pa};$
- 3) atrodam iekšējā gaisa ūdens tvaiku daļiālo spiedienu:
 $p_i = 350 + 891 = 1241 \text{ Pa};$
- 4) aprēķinām minimālo pieļaujamo piesātināto ūdens tvaiku spiedienu sēnišu augšanas riska novērtējumam:

$$p_{sat} = \frac{1241}{0.8} = 1551 \text{ Pa};$$

- 5) pēc formulas 2.11 vai 6.3. tabulas nosakām minimālo pieļaujamo temperatūru $\theta_{si.min}, ^\circ\text{C}$, kas atbilst piesātinātā ūdens tvaika spiedienam 1551 Pa. Minimālā pieļaujamā virsmas temperatūra ir 13,54°C. Pie virsmas temperatūras pazemināšanas zem 13,54°C pastāv sēnišu augšanas risks;
- 6) nosakām aprēķina temperatūras faktoru:

$$f_{Rsi.min} = \frac{13.54 - (-4.7)}{20 - (-4.7)} = 0.738$$

Pēc tam, kad ir noteikti visu mēnešu aprēķina temperatūras faktori, izvēlēties lielāko no tiem. Šajā gadījumā kritiskais mēnesis ir decembris, jo tam ir lielākais nepieciešamais $f_{Rsi.min}$. Decembra temperatūras faktors šajā gadījumā ir maksimālais temperatūras faktors: $f_{Rsi.max}=0,756$.

Salīdzinām norobežojošās konstrukcijas temperatūras faktoru $f_{Rsi}=0,925$ ar maksimālo temperatūras faktoru: $f_{Rsi.max}=0,756$. Tā kā $f_{Rsi} > f_{Rsi.max}$, sēnišu augšanas risks uz dotās norobežojošās konstrukcijas nepastāv.

6.3.3. Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums ar LVS EN ISO 13788 metodi

Konstrukcijas mitruma režīma novērtējumu saskaņā ar LVS 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 pati ūdens tvaika difūzijas pretestība kā apskatāmajam materiālam. Citiem vārdiem sakot, materiāla slānis tiek aizvietots ar gaisa slāni, kam ir tikpat liela pretestība ūdens tvaika caurlaidībai kā apskatāmajam materiāla slānim.

Saskaņā ar LBN 002-01 25. punkta prasību konstrukcija, kas sastāv no dažādiem slāņiem, ir derīga ekspluatācijai un tai nav vajadzīgi papildus mitruma režīma aprēķini, ja siltumizolācijas slāņā pusē esošo slāņu kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents s_d ir vismaz piecas reizes lielāks par aukstajai pusē piegulošo slāņu kopējo ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalentu $s_{d,i}$. Ja šī prasība nav izpildīta, tad saskaņā ar LBN 002-01 31. punktu ar

aprēķinu ir jāapliecina, ka kondensāta uzkrāšanās balance gada laikā nav pozitīva un nekaitē konstrukcijai. Koka būvelementos kondensāta rašanās vispār nav pieļaujama.

Saskaņā ar LVS 13788 metodi aprēķinu veic pie vidējām mēneša temperatūrām un vidējā mēneša relatīvā mitruma visiem gada mēnešiem. Aprēķinos pieņem viendimensijas plūsmu stacionārā režīmā. Gaisa plūsma caur būvelementiem vai būvelementos netiek ņemta vērā. Sākot ar mēnesi, kad ir iespējama kondensācija, sāk aprēķināt mitruma kondensācijas vai iztvaikošanas daudzumu katram mēnesim un salīdzina gada laikā uzkrāto kondensātu ar iztvaikotā kondensāta daudzumu.

Mitruma režīma aprēķinu 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;
- 4) atkarībā no temperatūras sadalījuma nosaka piesātināto ūdens tvaiku spiedienu P_{sat} un parāda to grafiski atkarībā no gaisa difūzijas ekvivalenta;
- 5) nosaka visu mēnešu vidējās temperatūras, relatīvo mitrumu un ārējā gaisa parciālo spiedienu P_e , Pa;
- 6) nosaka ārējā un iekšējā gaisa ūdens tvaiku parciālo spiedienu starpību Δp , drošības nolūkos palielinot to 1,1 reizi;
- 7) aprēķina iekšējā gaisa ūdens tvaiku parciālo spiedienu P_i , Pa;
- 8) grafikā, kur ir parādīta piesātinātā tvaika spiediena atkarība no gaisa difūzijas ekvivalenta, atzīmē iekšējā un ārējā gaisa spiedienu un savieno tos ar taisnu līniju;
- 9) analizē grafiku;
- 10) ja konstrukcijā notiek kondensācija, aprēķina kondensācijas ātrumu;
- 11) aprēķina mēnesi uzkrātā kondensāta daudzumu;
- 12) aprēķina kondensāta iztvaikošanas ātrumu. Ziemas laikā uzkrātam kondensātam obligāti jāiztvaiko vasaras mēnešos. Šajā gadījumā jānovērtē materiālu bojāšanas risks un būvelementa termisko īpašību pasliktināšanās, kas ir saistīta ar aprēķināto maksimālo mitruma daudzumu.

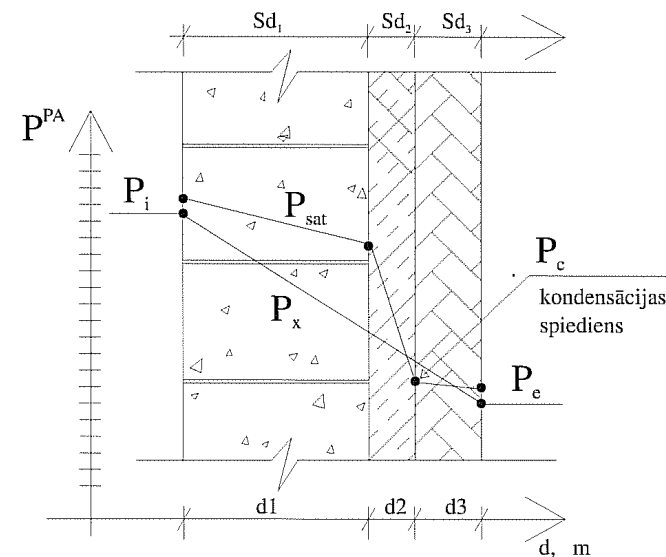
Gadījumā, kad iekšējā gaisa relatīvais mitrums ir zināms, mitruma režīma aprēķināšanas secības 5. punkts var būt izslēgts, un gaisa ūdens tvaiku parciālo spiedienu nosaka, izmantojot 6.15. vienādojumu.

Kondensācijas ātrumu konstrukcijā ar tvaika kondensāciju vienā plaknē (6.3. zīmējums) nosaka kā starpību starp īpatnējo mitruma plūsmu, ar kuru mitrums tiek piegādāts līdz kondensācijas plaknei, un īpatnējo mitruma plūsmu no kondensācijas plaknes:

$$g_c = \delta_o \left(\frac{P_i - P_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{P_c - P_e}{s'_{d,c}} \right), \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}), \quad (6.18)$$

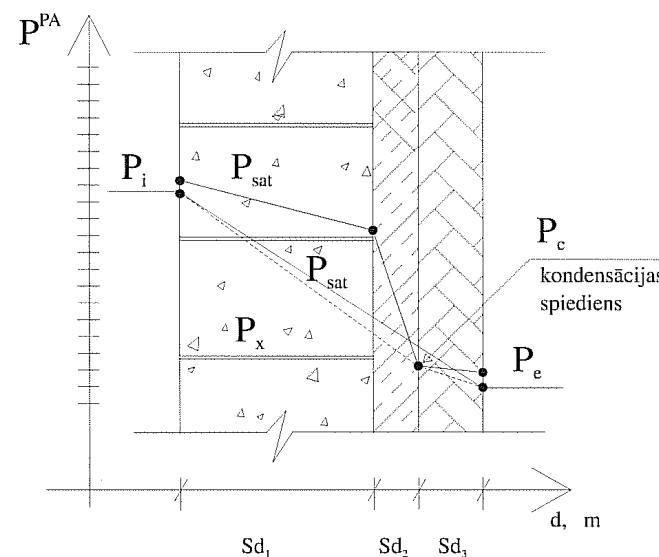
kur:

- δ_o - gaisa tvaika caurlaidības koeficients, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ (aprēķinos tiek pieņemts $2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, 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;
- $s'_{d,c}$ - gaisa difūzijas ekvivalents tiem slāņiem, kas atrodas starp kondensācijas plakni un konstrukcijas ārējo virsmu;
- $s'_{d,T}$ - konstrukcijas pilns (visu slāņu) gaisa difūzijas ekvivalents, m.



6.3. zīm. Tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā ar tvaika kondensāciju vienā plaknē

Ja kādā no slāņu robežām ūdens tvaika spiediens pārsniedz piesātinātā tvaika spiedienu, ūdens tvaika spiediena līniju pārzīmē kā vairākas līnijas tā, lai ūdens tvaika līnija saskartos, bet nešķērsotu piesātinātā tvaika spiediena līniju (6.4. zīmējums). Saskarsmes punktus sauc par kondensācijas plaknēm.



6.4. zīm. Tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā ar tvaika kondensāciju vienā plaknē

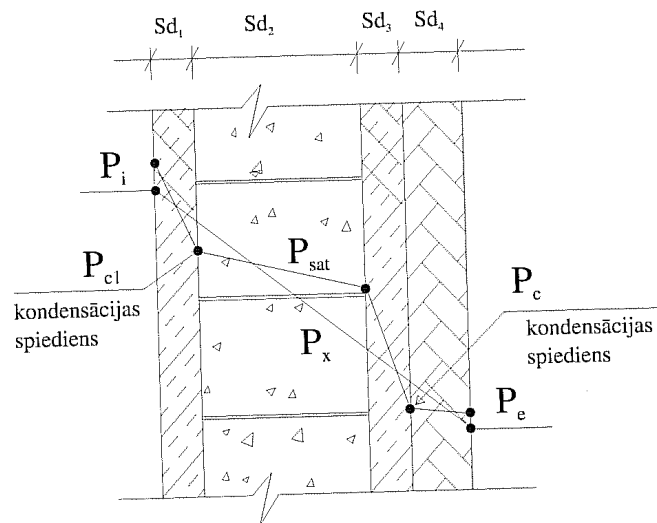
Ja būvelementā mitruma kondensācija notiek vairākās plaknēs (6.5. zīm.), ir nepieciešams

uzskaitīt kondensētā mitruma daudzumu katrā no kondensācijas plaknēm.
Kondensācijas plakne c1:

$$g_{c1} = \delta_o \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}). \quad (6.19)$$

Kondensācijas plakne c2:

$$g_{c2} = \delta_o \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}). \quad (6.20)$$



6.5. zīm. Tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā ar tvaika kondensāciju divās plaknēs

Mēnesī uzkrātā kondensāta daudzumu aprēķina sekojoši:

$$M = 86400 \cdot N \cdot g_c, \text{ kg}, \quad (6.21)$$

kur:

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

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 mēnesis, kurā tas tiek novērots. Ir jānovērtē materiālu bojāšanas risks un būvelementa termisko īpašību pasliktināšanās, kas ir saistīta ar aprēķināto maksimālo mitruma daudzumu;
- 3) kondensāts vienā vai vairākās plaknēs pilnībā neizžūst vasaras mēnešos. Šajā gadījumā konstrukcija nav derīga ekspluatācijai. Ir jāparāda maksimālais uzkrātais kondensāta daudzums un mēnesis, kad tas notiek, kā arī pēc 12 mēnešiem paliekošā kondensāta daudzums.

Iztvaikošanas ātrums:

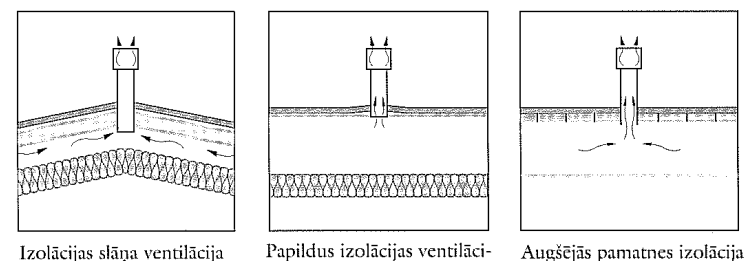
$$g_{ev} = \delta_o \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}), \quad (6.22)$$

Kā redzams, iztvaikošanas un kondensācijas ātruma formulas ir vienādas. Ir pieņemts, ka mitrums kondensējas, ja formulas rezultāts ir pozitīvs, bet iztvaiko, ja rezultāts ir negatīvs.

Būvelementā ar vairākām kondensācijas plaknēm iztvaikošanas ātrumu jāaprēķina atsevišķi katrai kondensācijas plaknei.

Nepieciešamības gadījumā iztvaikošanas efektu var pastiprināt ar deflektoriem vai vakuma ventilatoru izmantošanu. Pēc Somijas jumīķu asociācijas datiem savietotos jumtos ar akmens vates izolāciju, kas papildus ir aprīkota ar vēdināšanas caurulēm un ar 10 m darbības rādiusu (6.20. zīm.), ideālos iztvaikošanas apstākļos var iztvaikot līdz 0,5 kg ūdens no 1 m² dienā, bet visā vasaras periodā no 1 m² vidēji iztvaiko 5 kg ūdens. Tas notiek pateicoties tam, ka akmens vatei ūdens tvaika gaisa difūzijas ekvivalents ir vienāds ar 1 un ūdens tvaiki viegli pārvietojas vates slāni.

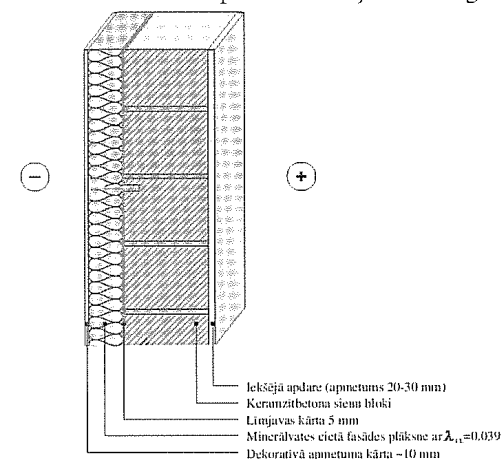
Iztvaikošanas efektu pastiprina rievotās lēzeno jumtu siltumizolācijas plāksnes izmantošana, jo rievas organizē un uzlabo ūdens tvaiku plūsmu.



6.6. zīm. Deflektoru izmantošanas shēmas izolācijas slāņa ventilācijai

Tālāk apskatīsim ārsienas konstrukciju, kura sastāv no homogēniem slāņiem. Sienas konstrukcija tiek parādīta zīmējumā 6.7.

Šajā piemērā pieņemsim siltumizolācijas stiprināšanas detaļas siltumvadītspēju mazāku par 1 W/m·K. Līdz ar to sienu var uzskatīt par konstrukciju ar homogēniem slāņiem.



6.7. zīm. Ārējās sienas konstrukcija ar homogēniem slāņiem

Lai pārbaudītu LBN 002-01 25. punkta prasību izpildi attiecībā uz konstrukcijas mitruma režīmu, ir nepieciešams aprēķināt slāņa ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalentu pēc 2.18. vienādojuma.

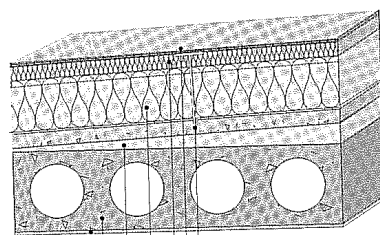
Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents S_d konstrukcijas siltajā pusē:
 $S_d = 0,25 \cdot 6 + 0,01 \cdot 6 = 1,56 \text{ m}$.

Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents S_d konstrukcijas aukstajā pusē:
 $S_d = 0,01 \cdot 6 = 0,06 \text{ m}$.

Kā redzams, LBN 002-01 25. punkta prasība ir izpildīta, jo 0,06 ir 31 reizi mazāka par 1.56.

Tas nozīmē, ka konstrukcijas mitruma režīms nav jāpamato ar aprēķinu.

Lai plašāk apskatītu LVS EN ISO 13788 norādījumu praktisko piemērošanu, apskatīsim savietotā jumta konstrukciju (6.8. zīmējums) ar siltumvadītspējas koeficientu, kas atbilst LBN 002-01 normatīvajām prasībām.



Mehāniskie stiprinājumi
 Jumta hidroizolācijas membrāna 2 slāņos
 Sevišķi cieti minerālvates plāksne ar $\lambda_{0.039}$
 un minimālo slodzes nestspēju 60 kN/m²
 Cieti minerālvates plāksne ar $\lambda_{0.037}$
 un minimālo slodzes nestspēju 30 kN/m²
 Uzbūvētais materiāls slīpuma veidošanai
 (piem. keramzīts)
 Dobtie dz/h paneļi vai monolītais pārsegums
 Iekšējās apdares apmetums

6.8. zīm. Savietotais jumts

6.4. tabulā tiek norādīta katra slāņa siltumpretestība un ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents. Tālāk tabulā 6.5. tabulā tiek parādīts temperatūras, piesātinātā un parciālā ūdens tvaika sadalījums konstrukcijā. Zemāk ir dots aprēķinu piemērs iepriekšminēto parametru noteikšanai starp cementa-smilšu javas slāni un siltumizolācijas slāni oktobrī.

$$\theta = 20 - \frac{0.10 + 0.011 + 0.379 + 0.044}{5.306} (20 - 7.2) = 20 - \frac{0.534}{5.306} \cdot 12.8 = 18.71^\circ\text{C}$$

Piesātinātā ūdens tvaika spiediens:

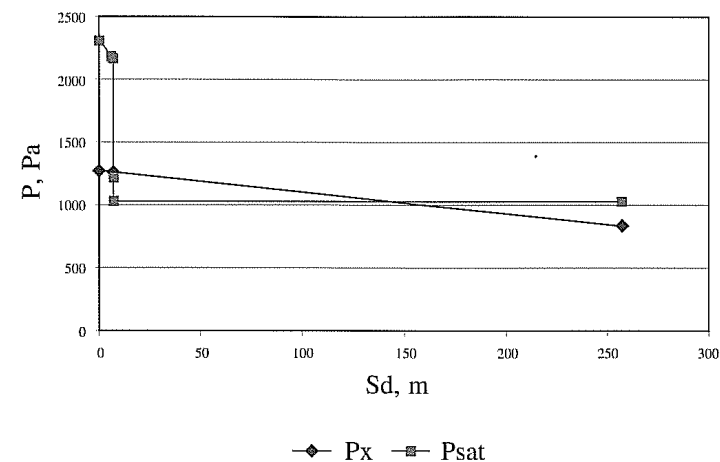
$$p_{sat} = 610.5e^{\frac{17,269 \cdot 18.71}{237,3 + 18.71}} = 2156.73, \text{ Pa}$$

Parciālais ūdens tvaika spiediens:

$$P_x = 1276 - \frac{0.06 + 6.6 + 0.24}{257.08} (1276 - 843) = 1276 - \frac{6.9}{257.08} \cdot 433 = 1264.38, \text{ Pa}$$

Parciālā un piesātinātā ūdens tvaika spiediena sadalījums oktobrī tiek parādīts 6.9. zīmējuma.

Oktobris



6.9. zīm. Ūdens tvaika spiediena sadalījums septembrī

6.4. tabula

Konstrukcijas siltumpretestība un ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents

	Slānis	d, m	λ , $W/(m \cdot K)$	R , $(m^2 \cdot K)/W$	s	S_d
1	iekšējā virsma			0.10		
2	iekšējā apdare	0.01	0.9	0.011		0.06
3	slāņu robeža					
4	dzelzsbetona panelis	0.22	0.58	0.379	30	6.6
5	slāņu robeža					
6	cementa-smilšu java	0.04	0.9	0.044	6	0.24
7	slāņu robeža					
8	siltumizolācija	0.14	0.038	3.684	1	0.14
9	slāņu robeža					
10	siltumizolācija	0.04	0.039	1.026	1	0.04
11	slāņu robeža					
12	hidroizolācija	0.005	0.23	0.022	50000	250
13	ārējā virsma			0.04		
	kopā:			5.306		257.0800

6.5. tabula

Temperatūras, piesātinātā un daļēji tvaika sadalījums

Septembris 11,9			Oktobris 7,2			Novembris 2,1		
Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa
1	19.85	2315.34	1476	19.76	2302.46	1276	19.66	2288.22
2								
3	19.83	2312.47	1475.92	19.73	2298.18	1275.90	19.63	2283.96
4								
5	19.25	2230.64	1466.98	18.82	2171.61	1264.78	18.35	2108.66
6								
7	19.18	2220.93	1466.66	18.71	2156.73	1264.38	18.20	2088.91
8								
9	13.56	1552.68	1466.47	9.82	1212.59	1264.14	5.77	919.85
10								
11	11.99	1400.88	1466.42	7.35	1025.66	1264.08	2.31	721.09
12								
13	11.96	1398.11	1128	7.30	1022.15	843	2.23	716.98
Decembris -2,3			Janvāris -4,7			Februāris -4,3		
Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa
1	19.58	2742.73	1325	19.53	2269.82	1241	19.54	2271.23
2								
3	19.53	2732.94	1324.79	19.48	2262.78	1240.79	19.49	2264.19
4								
5	17.94	2055.06	1301.92	17.72	2026.79	1217.92	17.76	2031.91
6								
7	17.76	2031.91	1301.09	17.51	2000.13	1217.09	17.55	2005.18
8								
9	2.27	719.03	1300.60	0.36	626.68	1216.60	0.68	641.38
10								
11	-2.04	515.38	1300.46	-4.41	422	1216.46	-4.02	436.14
12								
13	-2.13	511.51	434	-4.41	422	350	-4.02	436.14
Marts -0,6			Aprīlis 5,1			Maijs 11,4		
Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa
1	19.61	2281.13	1350	19.72	2296.75	1297	19.84	2313.91
2								
3	19.57	2275.47	1349.79	19.69	2292.48	1296.85	19.82	2311.04
4								
5	18.10	2075.84	1326.92	18.62	2144.63	1280.01	19.21	2225.09
6								
7	17.93	2053.77	1326.09	18.50	2128.58	1279.39	19.13	2214.02
8								
9	3.62	791.36	1325.60	8.16	1083.95	1279.04	13.16	1512.70
10								
11	-0.36	592.63	1325.46	5.27	888.43	1278.93	11.50	1356.26
12								
13	-0.44	588.73	459	5.21	884.73	641	11.46	1352.67

Jūnijs 15,4			Jūlijs 16,9			Augusts 16,2		
Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa	Θ _n , °C	P _{sat} , Pa	P _x , Pa
1	19.91	2323.96	1360	19.94	2328.29	1562	19.93	2326.84
2								
3	19.90	2322.52	1359.98	19.94	2328.29	1561.98	19.92	2325.40
4								
5	19.58	2276.88	1357.38	19.71	2295.33	1559.44	19.65	2286.80
6								
7	19.54	2271.23	1357.29	19.69	2292.48	1559.34	19.62	2282.54
8								
9	16.34	1857.12	1357.23	17.54	2003.92	1559.29	16.98	1934.20
10								
11	15.45	1754.42	1357.22	16.04	1929.30	1559.27	16.24	1845.32
12								
13	15.43	1752.17	1259	16.92	1926.85	1463	16.23	1844.15

Tabulās atspoguļotie mitruma režīma novērtējuma aprēķina dati liecina par to, ka kondensācija pie vidējām mēneša temperatūrām notiek divās plaknēs:

- 1. plakne: starp siltumizolāciju un jumta segumu;
- 2. plakne: starp siltumizolācijas slāņiem.

Kondensācija jumta konstrukcijā notiek laikā posmā no oktobra līdz maijam. Šajā laikā uzkrātā kondensāta daudzumam jāiztvaiko parējos mēnešos.

Saskaņā ar LVS EN ISO 13788:2001 prasībām kondensāta daudzumu jāuzskaita katrā kondensācijas plaknē un jāaprēķina pēc 6.19. - 6.20. vienādojuma.

Kondensāta daudzuma aprēķina rezultāti pirmajā un otrajā kondensācijas plaknē ir parādīti 6.6. un 6.7. tabulā.

Kā aprēķina piemēru apskatīsim kondensācijas vai iztvaikošanas ātrumu marta mēnesī:

1. plaknē:

$$g_{c1} = \delta_o \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) = 2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{791.36 - 592.63}{250.04 - 250} - \frac{592.63 - 459}{250} \right) = 2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{198.73}{0.04} - \frac{334.08}{250} \right) = 2 \cdot 10^{-10} * 4966.91 = 9933.82 * 10^{-10} = 0.000000993382$$

kg/(m²·s)

$$g_{c2} = \delta_o \left(\frac{p_l - p_{c2}}{s'_{d,l} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) = 2 * 10^{-10} \left(\frac{1350 - 791.36}{257.08 - 250.04} - \frac{791.36 - 592.63}{250.04 - 250} \right) = 2 * 10^{-10} \left(\frac{558.69}{7.04} - \frac{198.73}{0.04} \right) = 2 * 10^{-10} * (-4888.84) = -0.000000977778$$

kg/(m²·s)

6.6. tabula

Mitruma režīms 1. kondensācijas plāknē

Mēnesis	Ūdens tvaika spiediens, Pa			g, 10 ⁻¹⁰ kg/(m ² s) 1. plāknē	Kondensāta daudzums, g, kg/(m ² s)	
	P _e	P _{e1}	P _i		mēnesī	uzkrātais
oktobris	843	1025.7	1276	0.00000093450	2.502965	2.502965
novembris	611	721.09	1366	0.00000099371	2.575696	5.078661
decembris	434	515.38	1325	0.00000101818	2.727093	7.805754
janvāris	350	422	1241	0.00000102494	2.745199	10.550953
februāris	349	436	1240	0.00000102493	2.479511	13.030464
marts	459	592.63	1350	0.00000099354	2.661098	15.691562
aprīlis	641	888.43	1297	0.00000097740	2.533421	18.224983
maijs	930	1356.26	1290	0.00000078186	2.094134	20.319117
jūnijs	1259	1754.42	1360	0.00000051310	1.329955	21.649072
jūlijs	1463	1929.30	1562	0.00000037273	0.998320	22.647392
augusts	1436	1845	1559	0.00000044467	1.191004	23.838396
septembris	1128	1400.88	1476	0.00000075878	1.966758	25.805154

Mitruma režīms 2. kondensācijas plāknē

6.7. tabula

Mēnesis	Ūdens tvaika spiediens, Pa			g, 10 ⁻¹⁰ kg/(m ² s) 2. plāknē	Kondensāta daudzums, g, kg/(m ² s)	
	P _e	P _{e2}	P _i		mēnesī	uzkrātais
oktobris	843	1212.59	1276	-0.00000093285	-2.498545	-2.498545
novembris	611	919.85	1366	-0.00000098113	-2.543089	-5.041634
decembris	434	719.03	1325	-0.00000100103	-2.681159	-7.722793
janvāris	350	627	1241	-0.00000100756	-2.698649	-10.421442
februāris	349	641	1240	-0.00000100798	-2.438505	-12.859947
marts	459	791.36	1350	-0.00000097778	-2.618886	-15.478833
aprīlis	641	1083.95	1297	-0.00000097155	-2.518258	-17.997091
maijs	930	1512.70	1290	-0.00000078853	-2.111999	-20.109090
jūnijs	1259	1857.12	1360	-0.00000052762	-1.367591	-21.476681
jūlijs	1463	2003.92	1562	-0.00000038565	-1.032925	-22.509606
augusts	1436	1934	1559	-0.00000045565	-1.220413	-23.730019
septembris	1128	1552.68	1476	-0.00000076118	-1.972979	-25.702998

Veicot aprēķinu saskaņā ar augstāk minētajiem norādījumiem, izskaitļojot kondensāta daudzumu katrā no plāknēm, var konstatēt, ka aprēķins dod nekorektus rezultātus: pārlietu liels kondensāta daudzums pirmajā plāknē un intensīva iztvaikošana otrajā plāknē, neskatoties uz to, ka tajā tvaika spiediens ir virs piesātinātā tvaika spiediena.

Analizējot situāciju, var secināt, ka šajā gadījumā sakarā ar salīdzinoši mazu siltumizolācijas slāņa tvaika difūzijas gaisa ekvivalenta slāņa biezumu s_d par iespējamo kondensācijas

plakni ir jāuzskata plakne aiz hidroizolācijas slāņa (virzienā no ārpuses uz iekšpusi). Praktiskajos aprēķinos ir iespējams veikt konstrukcijas mitruma režīma novērtējumu tikai pirmajā kondensācijas plāknē starp siltumizolāciju un jumta segumu. Kondensāta daudzuma aprēķina rezultāti pirmajā kondensācijas plāknē ir parādīti 7.8. tabulā.

Kā aprēķina piemēru apskatīsim kondensācijas vai iztvaikošanas ātrumu marta mēnesī:

$$g_c = \delta_a \left(\frac{P_i - P_e}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{P_e - P_e}{s'_{d,c}} \right) = 2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1350 - 592.63}{257.08 - 250} - \frac{592.63 - 459}{250} \right) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{757.37}{7.08} - \frac{133.63}{250} \right) = 2 \cdot 10^{-10} \cdot 106.44 = 212.88 \cdot 10^{-10} = 0.00000002129$$

kg/m²s

Marta mēnesī uzkrātā kondensāta daudzumu aprēķina sekojoši:

$$M = 86400 \cdot N \cdot g_c = 86400 \cdot 31 \cdot 0.00000002129 = 0.057023 \text{ kg}$$

6.8. tabula

Mitruma režīma novērtējums 1. kondensācijas plāknē

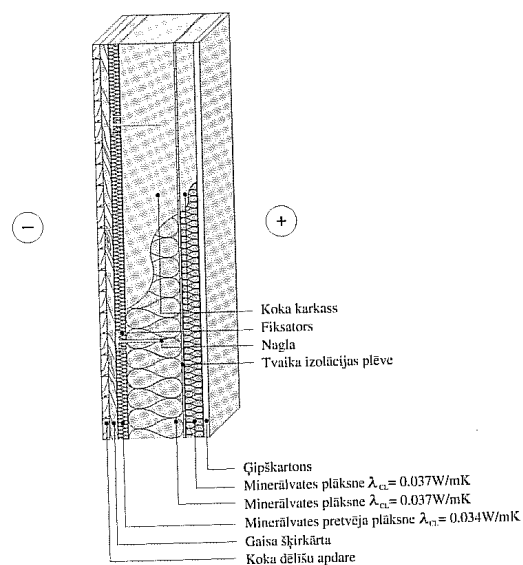
Mēnesis	Ūdens tvaika spiediens, Pa			g, 10 ⁻¹⁰ kg/(m ² s)	Kondensāta daudzums, g, kg/(m ² s)	
	P _e	P _e	P _i		mēnesī	uzkrātais
septembris	843	1398.11	1476	0.00000000198	0.005132	0.005132
oktobris	611	1025.7	1276	0.00000000693	0.018561	0.023693
novembris	434	721.09	1366	0.00000001813	0.046993	0.070686
decembris	350	515.38	1325	0.00000002281	0.061094	0.131780
janvāris	349	422	1241	0.00000002308	0.061817	0.193597
februāris	459	436	1240	0.00000002264	0.054771	0.248368
marts	641	592.63	1350	0.00000002129	0.057023	0.305391
aprīlis	930	888.43	1297	0.00000001134	0.029393	0.334784
maijs	1259	1356.26	1290	-0.00000000221	-0.005919	0.328865
jūnijs	1463	1754.42	1360	-0.00000001154	-0.029912	0.298953
jūlijs	1436	1929.30	1562	-0.00000001075	-0.028793	0.270160
augusts	1128	1845	1559	-0.00000000841	-0.022525	0.247635

Aprēķina rezultāts parāda, ka uzkrātais mitrums neizžūst vasaras periodā. Uz 1 m² gada laikā uzkrājas 0,25 kg ūdens, un tāpēc dotais jumta konstrukcijas risinājums nav derīgs ekspluatācijai.

Apskatāmās konstrukcijas mitruma režīmu būtiski uzlabo tvaika izolācijas slānis, kuru novieto starp cementa-smilšu javas un siltumizolācijas slāņiem.

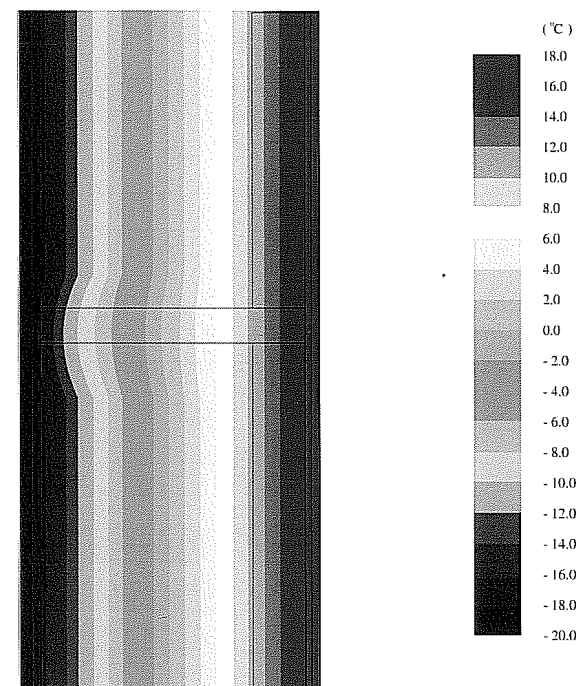
Otrajā aprēķinu piemērā izskatīsim koka karkasa konstrukciju (6.10. zīmējums). Lai nodrošinātu LBN 002-01 31. punkta prasības izpildi, ir nepieciešams pārbaudīt konstrukcijas mitruma režīmu pie apkures aprēķina temperatūras. Tas nozīmē, ka, lai pārlicinātos, ka uz koka elementiem neveidosies kondensāts, ir jāveic mitruma režīma analīze pie visaugstākās piecu dienu vidējās temperatūras.

6.11. zīmējumā ir parādīts temperatūras sadalījums dotajā konstrukcijā pie iekšējā gaisa temperatūras +18°C un ārējā gaisa temperatūras -20°C. Karkasa konstrukcijas temperatūras sadalījumu var aprēķināt tikai ar datorprogrammas palīdzību. Konkrētais temperatūras sadalījums ir iegūts ar programmas *Eurokobra* palīdzību. Ar šo programmu var iepazīties internetā <http://www.eurokobra.org>.



6.10. zīm. Koka karkasa konstrukcija

Temperatūras sadalījums konstrukcijā ir atšķirīgs dažādās konstrukcijas vietās. Koka karkasā un pie koka karkasa temperatūras izmaiņas ir straujākas nekā griezumā caur siltumizolāciju. No kondensācijas iespējamības viedokļa visbīstamākā ir koka karkasa un siltumizolācijas saskares vieta, jo šeit temperatūras sadalījums ir tāds pats, kā karkasam, bet siltumizolācijas pretestība ūdens tvaika caurlaidībai ir daudz mazāka nekā kokam.



6.11. zīm. Temperatūras sadalījums karkasa konstrukcijā (pagriezts par 90°)

6.9. tabulā ir parādīti konstrukcijas aprēķina rezultāti, veikti konstrukcijai ar nesoša karkasa biezumu 175 mm. Temperatūras un spiediena dati katrā rindā atbilst griezumam aiz dotā slāņa.

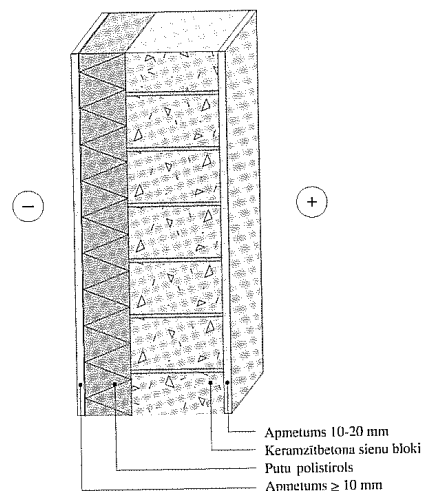
6.9. tabula

Nr.	Slānis	d, m	θ , °C	P_{sat} , Pa	s	s_d , m	p_x , Pa
			18	2062,8			1237,7
1.	Apdare	0,013	16,1	1828,9	10	0,13	1235,65
2.	Siltumizolācija	0,05	9,3	1170,9	0,05	1236,13	
3.	Tvaika izolācija	0,0002	9,3	1170,9		75	54,44
4.	Siltumizolācija	0,175	-18,7	182,32	1	0,175	51,68
5.	Pretvēja izolācijas plāksne	0,02	-20	102,74	1	0,02	51,37

Konstrukcijas mitruma režīma aprēķins pie nesoša karkasa biezuma 175 mm. Kā redzams, pie plēves uz karkasa veidosies neliela kondensācijas zona. Tā būs īslaicīga, jo ārējā gaisa temperatūra -20°C ir reta parādība. Aprēķini rāda, ka lielāka kondensācija dotajā konstrukcijā šajā plāknē tiek novērota arī pie visiem mazākiem karkasa biezumiem. Izteikti negatīva ietekme ir tvaika izolācijas novietojumam nevis konstrukcijas iekšpusē uzreiz aiz apdares, bet ar 5 cm nobīdi uz iekšpusi.

Iespējams, ka tāds risinājums pasargā tvaika barjeru no pārrāvumiem, kas varētu rasties iemītnieku darbības dēļ, bet tas jūkami pasliktina konstrukcijas mitruma režīmu.

Tagad apskatīsim mitruma režīmu ārsienas konstrukcijā, kura sastāv no keramzītbetona blokiem un putu polistirola siltumizolācijas. Sienas konstrukcija tiek parādīta 6.12. zīmējumā.



6.12. zīm. Sienas konstrukcija ar putu polistirolu un plāno apmetumu

Sienas konstrukcijas mitruma režīma novērtējums, izmantojot ūdens tvaika pretestības faktoru ir dots 6.10. tabulā.

Ārējās apdares ūdens tvaika pretestība (S_d) tiek pieņemta, balstoties uz ražotāju datiem. Aprēķinā S_d vērtība sastāda 2.0 m, kas ir vislielākā vērtība no apskatītajiem apdares materiāliem, kuri ir paredzēti ārējiem darbiem. Vispārējā gadījumā ūdens tvaika pretestība dažādiem apdares apmetumiem svārstās robežās no 0.06 m līdz 2 m un vidējā vērtība sastāda 0.32 m.

6.10 tabula
Sienas konstrukcijas mitruma režīma novērtējums, izmantojot ūdens tvaika pretestības faktoru

Slānis	d, m	$\frac{\lambda}{W}$, $\frac{m}{K}$	$\frac{R}{m^2 \cdot K}$, $\frac{1}{W}$	θ_x , °C	P_{sat} , Pa	s	S_d , m	P_x , Pa
iekšējais gaiss				20				1402.2
iekšējā virsma			0,13	18.51	1933.33			
iekšējā apdare	0.01	0.9	0.011			6	0.06	
uz slāņu robežas				18.38	1917.74			1363.65
keramzītbetons	0,25	0.285	0.877			6	1.5	
uz slāņu robežas				8.32	1024.96			1180.11
siltumizolācija	0,10	0,043	2.326			60	6	
uz slāņu robežas				-18.38	120			325.93
ārējā apdare	0.01	0.9	0.011				2	
ārējā virsmā			0.13	-18.51	119			41.2
ārējais gaiss				-20				
			3.49				9.56	

Kā redzams, dotajā konstrukcijā pie āra gaisa temperatūras - 20°C veidojas kondensāts starp siltumizolāciju un ārējo apdari.

Lai izvairītos no kondensācijas pie temperatūras - 20°C, ir ieteicams izmantot ārējo apmetumu ar ūdens tvaika pretestību (S_d) zemāku par 0.4 m.

Tomēr konstrukcijas aprēķins keramzītbetona sienai ar putu polistirola siltinājumu pie mēneša vidējām temperatūrām (6.11. tabula) parādīja, ka ziemas laikā uzkrātais kondensāts izzūst vasaras laikā.

6.11. tabula
Mitruma režīms sienai ar putu polistirola siltinājumu pie mēneša vidējām temperatūrām

Mēnesis	Ūdens tvaika spiediens, Pa			g , 10^{-10} kg/(m ² s)	Kondensāta daudzums, g, kg/(m ² s)	
	P_e	P_c	P_i		mēnesī	uzkrātais
novembris	611	724.18	1366	0.00000000566	0.014671	0.014671
decembris	434	518.84	1325	0.00000001284	0.034391	0.049062
janvāris	350	425	1241	0.00000001409	0.037739	0.086801
februāris	349	439	1240	0.00000001219	0.029490	0.116291
marts	459	596.07	1350	0.00000000624	0.016713	0.133004
aprīlis	641	892.15	1297	-0.00000001440	-0.037325	0.095679
maijs	930	1358.95	1290	-0.00000004472	-0.119778	-0.024099
jūnijs	1259	1756.67	1360	-0.00000006026	-0.156194	-0.180293
jūlijs	1463	1930.52	1562	-0.00000005650	-0.151330	-0.331623
augusts	1436	1848	1559	-0.00000004885	-0.130840	-0.462463
septembris	1128	1403.66	1476	-0.00000002565	-0.066485	-0.528948
oktobris	843	1028.47	1276	-0.00000001200	-0.032141	-0.561089

6.4 Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums saskaņā ar Fokina metodi

6.4.1. Kondensācijas uz norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas novērtējums

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 piesātinātā gaisa mitruma saturs. Pie temperatūras pazemināšanas relatīvais mitrums var pieaugt līdz 100%, kad gaiss būs pilnībā piesātināts ar ūdens tvaikiem. Temperatūru, pie kuras dotais 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.

Kondensācijas novērtējumu veic sekojošā secībā:

- 1) nosaka iekšējā gaisa parametrus (parasti šim mērķim tiek izmantota gaisa temperatūra un relatīvais mitrums);
- 2) atkarībā no gaisa temperatūras aprēķina piesātinātā ūdens tvaika parciālo spiedienu;
- 3) izmantojot piesātinātā ūdens tvaika parciālo spiedienu un gaisa relatīvo mitrumu, nosaka ūdens tvaika parciālo spiedienu;
- 4) nosaka, pie kādas temperatūras parciālais spiediens kļūs vienāds ar piesātināto ūdens tvaiku spiedienu;
- 5) ja norobežojošās konstrukcijas virsmas temperatūra pazemināsies līdz 4. punktā noteiktajai temperatūrai, notiks mitruma kondensācija uz šīm virsmām.

Ūdens tvaika parciālo spiedienu nosaka, izmantojot sekojošu vienādojumu:

$$p = \varphi * p_{sat}(\theta), \text{ Pa}, \quad (6.23)$$

kur:

- p - gaisa ūdens tvaika parciālais spiediens, Pa;
- p_{sat} - gaisa piesātinātā ūdens tvaika spiediens, Pa;
- φ - gaisa mēneša vidējais relatīvais mitrums, %.

Tālāk noteiksim, pie kādas virsmas temperatūras būs novērojama mitruma kondensācija uz norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas, ja gaisa temperatūra telpā ir 20 °C un gaisa relatīvais mitrums sastāda 80% Pa.

No sākuma nosakām piesātinātā ūdens tvaika spiedienu:

Pie 20 °C tas ir 2337 Pa.

Pēc tam nosakām ūdens tvaiku parciālo spiedienu:

$$p_x = \varphi * p_{sat} = 0.80 * 2337 = 1870, \text{ Pa}$$

Lai noteiktu rasas punkta temperatūru, nosakām, pie kādas temperatūras parciālais spiediens 1870 Pa kļūst vienāds ar piesātinātu ūdens tvaiku spiedienu:

➤ pie 16°C piesātinātā ūdens tvaika spiediens ir 1817 Pa,

➤ pie 17°C tas ir 1937 Pa.

$$\text{Rasas punkta temperatūra: } t_{ras} = 16 + \frac{1870 - 1817}{1937 - 1817} = 16.48, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

6.4.2. Konstrukcijas mitruma režīma novērtējums ar Fokina metodi

Mitruma režīma novērtējums, izmantojot Fokina metodi, balstās uz ūdens tvaiku parciālā spiediena sadalījuma konstrukcijā salīdzināšanu ar piesātinātā ūdens tvaika spiediena sadalījumu. Konstrukcijā nav kondensācijas, ja katrā no šķēsgriezuma punktiem parciālais spiediens ir mazāks par piesātinātā tvaika spiedienu.

Konstrukcijas mitruma režīma novērtējumu saskaņā ar Fokina metodi veic, izmantojot slāņa pretestības tvaika caurlaidībai jēdzienu. Atsevišķa slāņa tvaika caurlaidības pretestība:

$$R_{iv} = \frac{d}{\delta}, \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{m} \quad (6.24)$$

kur:

- d ir slāņa biezums, m;
- δ ir materiāla tvaika caurlaidības koeficients, $\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$.

Materiāla tvaika caurlaidības koeficients rāda, cik miligramu ūdens tvaika izplūst caur 1 m bieža materiāla slāni 1 m² sekundē (vai stundā), ja ūdens tvaika parciālo spiedienu starpība uz pretējām sienām ir 1 Pa.

Dažādu lokšņu un plānu tvaika izolācijas materiālu tvaika caurlaidības pretestība ir parādīta 6.12. tabulā.

6.12. tabula

Dažādu lokšņu un plānu tvaika izolācijas materiālu tvaika caurlaidības pretestība

Materiāls	Materiāla	Tvaika caurlaidības pretestība $R_{iv}, \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{m}$
Kartons	1,3	0,016
Ģipškartons	10	0,12
Karstā bituma krāsojums viena kārtā	2	0,3
Karstā bituma krāsojums divās kārtās	4	0,48
Emaljas krāsas pārklājums	-	0,48
Polietilēna plēve	0,16	7,3
Ruberoīds	1,5	1,1
Jumta pape	1,9	0,4
Trīs kārtās līmētais saplāksnis	3	0,15

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

$$R_{tv} = \sum_{i=1}^n R_{iv,i}, \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg} \quad (6.25)$$

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

6.13. tabulā tiek parādīti atsevišķu materiālu tvaika caurlaidības koeficienti.

6.13. tabula

Atsevišķu materiālu tvaika caurlaidības koeficients

Materiāls	Blīvums ρ_0 kg/m ³	Tvaika caurlaidības koeficients δ , mg/(m·h·Pa)
Lietie betoni ar šķembām vai oļiem	2400	0,03
Lietie betoni ar šķembām vai oļiem	2200	0,04
Dzelzsbetons	2500	0,03
Normāla mūrjava, iejaukta būvobjektā	1800	0,09
Kalku-smilšu-cementa java	1700	0,098
Kalku-smilšu	1600	0,12
Keramikas ķieģeļi 1400 kg/m ³ bruto cementa-smilšu java	1600	0,14
Keramikas ķieģeļi 1300 kg/m ³ bruto cementa- smilšu java	1400	0,16
Keramikas ķieģeļi 1000 kg/m ³ bruto cementa- smilšu java	1200	0,17
Silikātķieģeļi cementa-smilšu java	1500	0,13
Silikātķieģeļi cementa-smilšu java	1400	0,14
Keramzītbetons	800	0,19
Priede un egle šķērsām šķiedrām	500	0,06
Priede un egle paralēli šķiedrām	500	0,32
Ozols šķērsām šķiedrām	700	0,05
Ozols paralēli šķiedrām	700	0,30
Saplāksnis	600	0,02
Presētais kartons	1000	0,06
Daudzslāņu kartons	650	0,083
Kokšķiedru plātne	1000	0,12
Kokšķiedru plātne	800	0,12
Kokšķiedru plātne	600	0,13
Kokšķiedru plātne	400	0,19
Kokšķiedru plātne	200	0,24
Putu polistirols	40	0,05
Minerālvates plāksnes	30	1
Smilts	1600	0,17
Asfaltbetons	2100	0,008
Daudz slāņu linolejs polivinilhlorīda	1800	0,002
Daudz slāņu linolejs polivinilhlorīda	1600	0,002
Linolejs polivinilhlorīda uz auduma pamata	1800	0,002
Linolejs polivinilhlorīda uz auduma pamata	1600	0,002
Linolejs polivinilhlorīda uz auduma pamata	1400	0,002
Stiegrojuma tērauds	7850	0
Cuguns	7200	0
Alumīnijs	2600	0
Varš	8500	0

Mitruma režīma novērtējumu veic sekojošā secībā:

- 1) nosaka iekšējā un ārējā gaisa aprēķina parametrus: temperatūru un relatīvo mitrumu;
- 2) aprēķina katra slāņa un konstrukcijas kopējo termisko pretestību;
- 3) aprēķina temperatūras sadalījumu konstrukcijā un parāda to grafiski atkarībā no konstrukcijas biezuma;
- 4) atkarībā no temperatūras sadalījuma nosaka piesātināto ūdens tvaiku spiedienu;
- 5) aprēķina katra slāņa pretestību tvaika caurlaidībai;
- 6) aprēķina daļiālā spiediena sadalījumu konstrukcijā un parāda to grafiski atkarībā no konstrukcijas biezuma;
- 7) tiek salīdzināti faktiskais ūdens tvaiku daļiālais spiediens un piesātināto ūdens tvaiku spiediens katrā šķērsgrīzumā, un tiek noteiktas kondensācijas zonas.

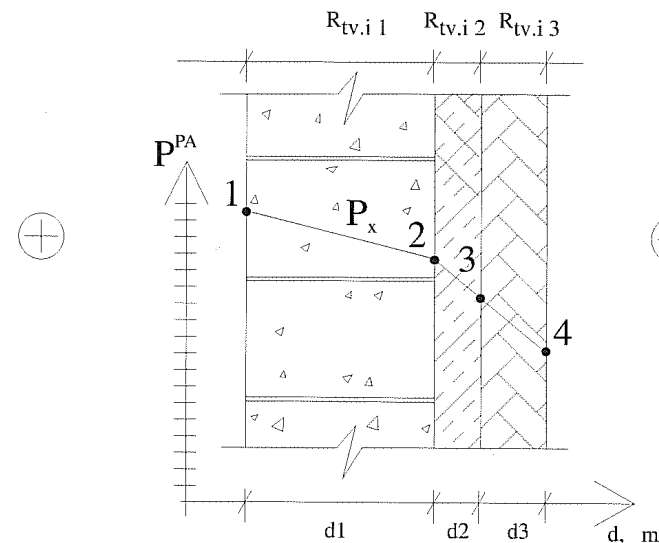
Parciālā spiediena sadalījumu konstrukcijā aprēķina līdzīgi temperatūras sadalījumam konstrukcijā, tikai slāņa termiskās pretestības vietā izmanto slāņa tvaika caurlaidības pretestību:

$$p_x = p_i - \frac{\sum_{i=1}^n R_{tv,i}}{R_n} (p_i - p_e), \text{ Pa}, \quad (6.26)$$

kur:

- p_x - daļiālais spiediens konstrukcijas šķērsgrīzuma x punktā, Pa;
- p_i - iekšējā gaisa daļiālais spiediens, Pa;
- p_e - ārējā gaisa daļiālais spiediens, Pa;
- R_{tv} - konstrukcijas pilnā pretestība tvaika caurlaidībai, m²·h·Pa/mg.

Kā aprēķina piemēru daļiālā spiediena sadalījumam apskatīsim norobežojošo konstrukciju, kas sastāv no 3 homogēniem slāņiem (6.13. zīmējums).



6.13. zīm. Parciālā spiediena sadalījums norobežojošajā konstrukcijā, kas sastāv no trim homogēniem slāņiem

Parciālais spiediens uz norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas ir vienāds ar iekšējā gaisa parciālo spiedienu:

$$p_x = p_i, \text{ Pa}$$

Parciālais spiediens uz pirmā un otrā slāņa robežas (punktā 2) tiek aprēķināts, ņemot vērā pirmā slāņa pretestību tvaika caurlaidībai $R_{tv,1}$:

$$p_x = p_i - \frac{R_{tv,1}}{R_{iv}} (p_i - p_e), \text{ Pa},$$

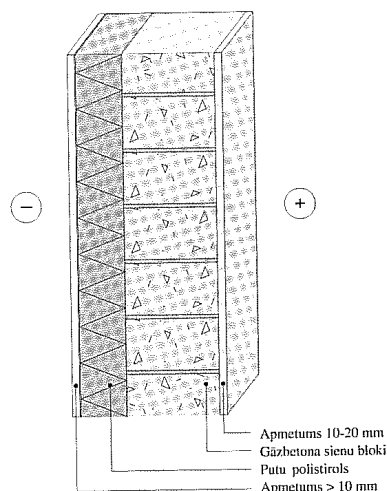
Parciālais spiediens uz otrā un trešā slāņa robežas (punktā 3) tiek aprēķināts, ņemot vērā pirmo un otro slāņa pretestību tvaika caurlaidībai:

$$p_x = p_i - \frac{R_{tv,1} + R_{tv,2}}{R_{iv}} (p_i - p_e),$$

Parciālais spiediens uz norobežojošās konstrukcijas ārējās virsmas ir vienāds ar ārā gaisa parciālo spiedienu:

$$p_x = p_e, \text{ Pa}$$

Tagad apskatīsim mitruma režīmu ārējās konstrukcijā, kura sastāv no homogēniem slāņiem. Konstrukcija ir parādīta 6.14. zīmējumā.



6.14. zīm. Sienas konstrukcija ar putu polistirolu un plāno apmetumu

Apskatāmā siena sastāv no šādiem slāņiem:

1. iekšējā apdare - apmetums ($d = 0.01\text{m}$ un $\lambda = 0.9 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);
2. gāzbetons ($\rho \leq 400 \text{ kg}/\text{m}^3$) - $d = 0.375\text{m}$ un $\lambda = 0.11 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;
3. siltumizolācija - putu polistirols ($d = 0.1\text{m}$ un $\lambda_{CL} = 0.039 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);
4. ārējā apdare - apmetums ($d = 0.01\text{m}$ un $\lambda = 0.9 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

6.14. tabulā noteikta katra slāņa siltumpretestība un pretestība tvaika caurlaidībai. Temperatūras uz robežas starp keramzītbetonu un izolāciju aprēķina piemērs:

$$\theta_x = 20 - \frac{0.13 + 0.011 + 0.877}{3.40} (20 - (-20)) = 8.32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pie gaisa relatīvā mitruma 60% iekšējā gaisa parciālo spiedienu sastāda:

$$p_i = 0.60 \cdot 2337 = 1402.2 \text{ , Pa}$$

Pie gaisa relatīvā mitruma 40% ārējā gaisa parciālo spiedienu sastāda:

$$p_e = 0.40 \cdot 103 = 41.2 \text{ , Pa}$$

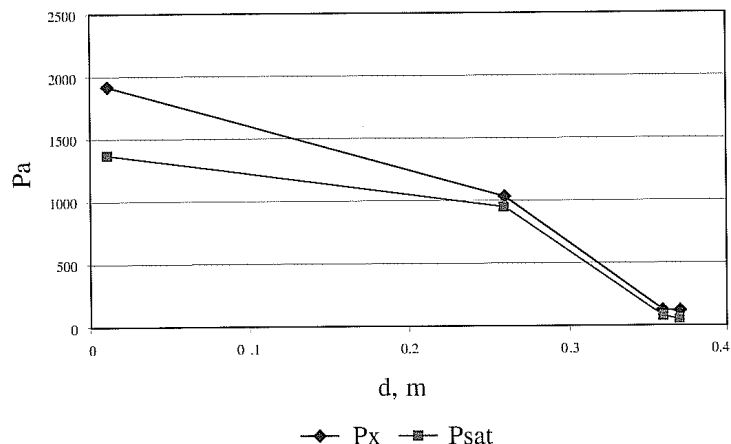
Parciālā spiediena starp keramzītbetonu un izolāciju aprēķina piemērs:

$$p_x = 1402.2 - \frac{0.1 + 1.32}{3.52} (1402.2 - 41.2) = 853.72 \text{ Pa}$$

6.14. tabula
Sienas konstrukcijas mitruma režīma novērtējums

Slānis	d,m	$\lambda, \frac{W}{m \cdot K}$	$R, \frac{m^2 \cdot K}{W}$	$\theta_x, ^\circ\text{C}$	p_{sat}, Pa	$\delta, \frac{mg}{m \cdot h \cdot Pa}$	$R_{tv}, \frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{mg}$	p_x, Pa
iekšējais gaiss				20				
iekšējā virsma			0.13	18.51	1933.33			1402.2
iekšējā apdare	0.01	0.9	0.011			0.098	0.10	
uz slāņu robežas				18.38	1917.74			1364.1
keramzītbetons	0.25	0.285	0.877			0.19	1.32	
uz slāņu robežas				8.32	1024.96			853.72
siltumizolācija	0.10	0.043	2.326			0.05	2	
uz slāņu robežas				-18.38	120			79.38
ārējā apdare	0.01	0.9	0.011			0.098	0.10	
ārējā virsmā			0.13	-18.51	119			
ārējais gaiss				-20				41.2
			3.49				3.52	

Konstrukcijā nav novērojama ūdens tvaika kondensācija, jo katrā konstrukcijas šķēsgriezuma punktā izpildās prasība $p_x < p_{sat}$. Grafiski aprēķina rezultāti ir parādīti 6.15. zīmējumā. Lai pasargātu doto sienas konstruktīvo risinājumu no kondensāta veidošanas, nav rekomendēts izmantot ārējās apdares materiālus ar tvaika caurlaidības pretestību lielāku par $0.22 \text{ (m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa)}/\text{mg}$.



6.15. zīm. Ūdens tvaika spiediena sadalījums konstrukcijā

7. Ēku atsevišķu norobežojošo konstrukciju siltumtehnikās īpašības saskaņā ar LBN 002-01 prasībām

7.1. Norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienta normatīvās un maksimālās vērtības

Latvijas būvnormatīvs nosaka norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficientu maksimālās un normatīvās vērtības. Faktiskie siltuma caurlaidības koeficienti drīkst būt lielāki vai mazāki par normatīvajiem lielumiem, tajā pašā laikā tie nedrīkst pārsniegt maksimālos siltuma caurlaidības koeficientus. Šāda kārtība sniedz projektētajiem plašas iespējas izvēlēties norobežojošās konstrukcijas tipu. Ēkas norobežojošo konstrukciju projektēšanā var būt šādi pamatvarianti:

- ēkā ir ieprojektētas norobežojošās konstrukcijas ar normatīvajiem siltumcaurlaidības koeficientiem, un stiklojuma laukums sastāda 20% no grīdas laukuma. Šajā gadījumā projektējamā ēka pilnībā atbilst LBN 002-01 prasībām;
- ēkā ir ieprojektētas norobežojošās konstrukcijas ar normatīvajiem siltumcaurlaidības koeficientiem, bet stiklojuma platība ir lielāka par 20% no grīdas laukuma. Šajā gadījumā palielināto logu laukumu (stiklojuma laukus) var kompensēt ar siltuma caurlaidības koeficienta samazinājumu kādā no norobežojošajām konstrukcijām (sienā, grīdā vai jumtā). Stiklojuma palielināto platību var kompensēt arī ar stiklojuma siltumcaurlaidības koeficienta samazināšanu. Siltuma caurlaidības koeficientu izvēlas, veicot ēkas aprēķina un ēkas normatīvo siltuma zudumu koeficientu salīdzinājumu;
- ēkā ir ieprojektētas norobežojošās konstrukcijas ar normatīviem siltumcaurlaidības koeficientiem, bet stiklojuma platība ir mazāka par 20% no grīdas laukuma. Šajā gadījumā var palielināt siltuma caurlaidības koeficientu kādā no norobežojošajām konstrukcijām (vai arī visām konstrukcijām), tomēr ir jāņem vērā, ka siltumcaurlaidības koeficienti nedrīkst pārsniegt maksimālos siltuma caurlaidības koeficientus. Siltumcaurlaidības koeficienta izvēle jāpamato, salīdzinot ēkas aprēķina un ēkas normatīvo siltuma zudumu koeficientus.

Iepriekš aprakstītie norobežojošo konstrukciju projektēšanas pamata varianti nav vienīgi, tāpēc visos gadījumos ēkas projektēšanas laikā ir jāievēro šādi pamatprincipi:

- 1) faktiskie siltuma caurlaidības koeficienti drīkst būt lielāki vai mazāki par normatīvajiem lielumiem, tajā pašā laikā tie nedrīkst pārsniegt maksimālos siltuma caurlaidības koeficientus;
- 2) visas ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients H_T nedrīkst pārsniegt normatīvo vērtību H_{TR} .

Ēkas aprēķina un ēkas normatīvo siltuma zudumu koeficientu aprēķināšanas metodes tiek apskatītas 7.2. nodaļā. Norobežojošo konstrukciju normatīvās un maksimālās vērtības ir parādītas 7.1. un 7.2. tabulā.

7.1. 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, pansionāti, slimnīcas un bērnudārzi	Publiskās ēkas, izņemot pansionātus, slimnīcas un bērnudārzus	Ražošanas ēkas
1.	Jumti un pārsegumi, kas saskaras ar āra gaisu	0,2 K	0,25 K	0,35 K
2.	Grīdas uz grunts	0,25 K	0,35 K	0,5 K
3.	Sienas:			
3.1.	ar masu, mazāku nekā 100 kg/m ²	0,25 K	0,35 K	0,45 K
3.2.	ar masu 100 kg/m ² un vairāk	0,3 K	0,4 K	0,5 K
4.	Logi, durvis un stiklotas sienas	1,8 K	2,2 K	2,4 K
5.	Termiskie tilti Ψ_{RM}	0,2 K	0,25 K	0,35 K

7.2. 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, pansionāti, slimnīcas un bērnudārzi	Publiskās ēkas, izņemot pansionātus, slimnīcas un bērnudārzus	Ražošanas ēkas
1.	Jumti un pārsegumi, kas saskaras ar āra gaisu	0,25 K	0,35 K	0,5 K
2.	Grīdas uz grunts	0,35 K	0,5 K	0,7 K
3.	Sienas:			
3.1.	ar masu, mazāku nekā 100 kg/m ²	0,30 K	0,4 K	0,5 K
3.2.	ar masu 100 kg/m ² un vairāk	0,40 K	0,5 K	0,6 K
4.	Logi, durvis un stiklotas sienas	2,7 K	2,9 K	2,9 K
5.	Termiskie tilti Ψ_{RM}	0,25 K	0,35 K	0,5 K

Piezīme: K - temperatūras faktors.

Temperatūras faktoru K nosaka saskaņā ar formulu:
 $k = 19 / (\Theta_i - \Theta_e)$

(7.1)

kur:

- Θ_i - iekštelpu aprēķina temperatūra ($^{\circ}\text{C}$) 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 ($^{\circ}\text{C}$) atbilstoši Latvijas būvnormatīvam LBN 003-01 "Būvklimateoloģija" vai temperatūra blakus telpā, ja aprēķinu veic būvelementam, kas atrodas starp divām blakus telpām. Āra gaisa vidējā temperatūra apkures sezonas laikā Rīgā pēc LBN 003-01 datiem ir $0,0^{\circ}\text{C}$, bet citās Latvijas pilsētās tā svārstās no $-1,9^{\circ}\text{C}$ līdz $+0,6^{\circ}\text{C}$.

Temperatūras faktoru aprēķina pie vidējās svērtās iekšējās gaisa temperatūras. To nosaka, summējot katras telpas aiz norobežojošās konstrukcijas temperatūras reizinājumu ar attiecīgo platību un dalot minēto summu ar norobežojošās konstrukcijas kopējo platību.

$$\bar{\theta}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, ^{\circ}\text{C}, \quad (7.2)$$

kur:

- Θ_i - telpas temperatūra, $^{\circ}\text{C}$;
- A_i - telpas norobežojošās konstrukcijas platība, m^2 .

Latvijas būvnormatīvs LBN 211-98 "Daudzstāvu daudzdzīvokļu dzīvojamie nami" (apstiprināts ar Ministru kabineta 1998. gada 20. oktobra noteikumiem Nr. 409) nosaka gaisa temperatūru dzīvojamās telpās $+18^{\circ}\text{C}$, vannas istabās $+25^{\circ}\text{C}$, koridoros un kāpņu telpās $+16^{\circ}\text{C}$. Ja dzīvojamo telpu temperatūras ir lielākas, temperatūras faktoru ir jāpieņem saskaņā ar 1.2. tabulas datiem.

7.3. tabula

Temperatūras faktora lielumi Latvijas ģeogrāfiskajos punktos pēc LBN 003-01 "Būvklimateoloģija"

Pilsēta un apkures sezonas vidējā temperatūra	Dzīvojamo telpu temperatūra, Θ_i , $^{\circ}\text{C}$				
	20	21	22	23	24
Ainaži; $-0,5^{\circ}\text{C}$	0,93	0,88	0,84	0,81	0,78
Alūksne; $-1,9^{\circ}\text{C}$	0,87	0,83	0,79	0,76	0,73
Daugavpils; $-1,3^{\circ}\text{C}$	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75
Dobeļe; $-0,4^{\circ}\text{C}$	0,93	0,89	0,85	0,81	0,78
Liepāja; $0,6^{\circ}\text{C}$	0,98	0,93	0,89	0,85	0,81
Mērsrags; $0,4^{\circ}\text{C}$	0,97	0,92	0,88	0,84	0,81
Priekulji; $-1,1^{\circ}\text{C}$	0,90	0,86	0,82	0,79	0,76
Rīga; 0°C	0,95	0,90	0,86	0,83	0,79
Stende; $-0,2^{\circ}\text{C}$	0,94	0,90	0,86	0,82	0,79
Zilāni; $-1,3^{\circ}\text{C}$	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75

7.2. Aprēķina un normatīvais ēkas siltuma zudumu koeficients

Ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients H_T vatos uz grādu (W/K) norāda enerģijas zudumus caur ēkas būvelementiem, ja temperatūras starpība uz to pretējām virsmām ir viens grāds. Aprēķina siltuma zudumu vērtības nosaka, izmantojot būvprojektā ieprojektētas norobežojošās konstrukcijas laukumus un siltumcaurlaidības koeficientus. Ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficientu H_T nosaka, izmantojot šādu formulu:

$$H_T = \sum U_i A_i + \sum \Psi_{ji} + \sum \chi_{\Sigma k}, \text{W/K}, \quad (7.3)$$

kur:

- U_i - būvelementa i projektējama siltuma caurlaidības koeficients $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$;
- A_i - būvelementa i projektējama laukums, m^2 ;
- Ψ_{ji} - lineārā termiskā tilta j projektējama siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W/m}\cdot\text{K}$;
- l_j - lineārā termiskā tilta j projektējama garums, m;
- $\chi_{\Sigma k}$ - punktvērtējamā termiskā tilta k punkta projektējama siltuma caurlaidības koeficients, W/K .

Ja būvelementa siltuma caurlaidības koeficientu nosaka saskaņā ar standartu LV EN ISO 6946:2003+ALL, ņemot vērā būvelementa konstruktīvo slāņu nevienādību un termiskus tiltus, ēkās aprēķina siltuma zudumu koeficientu H_T nosaka saskaņā ar 7.4. vienādojumu (norobežojošās konstrukcijas platību nosakot pēc būvelementa ārējiem izmēriem):

$$H_T = \sum U_i A_i. \quad (7.4)$$

Ēkas normatīvo siltuma zudumu koeficientu H_{TR} nosaka, izmantojot norobežojošās konstrukcijas normatīvus laukumus un siltumcaurlaidības koeficientus. Normatīvā siltuma zudumu koeficienta noteikšanai izmanto sekojošo vienādojumu:

$$H_{TR} = \sum U_{Rni} A_i + \sum \Psi_{Rnj} l_j, \quad (7.5)$$

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, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;
- A_i - būvelementa i normatīvais laukums, m^2 ;

Ēkas norobežojošās konstrukcijas normatīvo laukumu vērtības tiek aprēķinātas, ņemot vērā, ka logu (stiklotu paneļu un citu stiklotu virsmu) laukumi nepārsniedz 20 % no apkurinātā grīdas laukuma.

Pastāv arī vienkāršota metode lai aprēķinātu ēkas normatīvo siltuma zudumu koeficientu dzīvojamām ēkām, pansionātiem, slimnīcām un bērnudārziem. Šim nolūkam LBN 002-01 piedāvā izmantot šādu vienādojumu:

$$H_{TR} = h_A A, \text{W/K}, \quad (7.6)$$

kur

- h_A - ēkas 1 m^2 īpatnējo siltuma zudumu koeficients, W/m^2 ;
- A - dzīvojamās mājas apkurināmo grīdas laukumu summa visos stāvos, m^2 .

Ēkas 1 m^2 īpatnējo siltuma zudumu koeficienta h_A , $\text{W/m}^2 \text{ K}$ lielumi dzīvojamām ēkām, pansionātiem, slimnīcām un bērnudārziem ir sniegti 7.4. tabulā.

7.4. tabula

Ēkas 1 m^2 īpatnējo siltuma zudumu koeficients

Ēkas stāvu skaits	Īpatnējo siltuma zudumu koeficients h_A , W/m^2
Vienstāva ēkas	1,05
Divstāvu ēkas	0,8
Trīsstāvu un četrstāvu ēkas	0,7
Piecu un vairāk stāvu ēkas	0,6

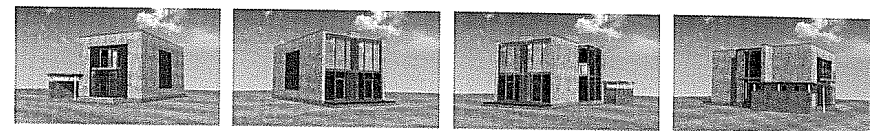
Tomēr šī vienkāršotā H_{TR} koeficienta noteikšana nav 100% precīza un tās izmantošana var uzlikt stingrākas prasības ēkas norobežojošo konstrukciju siltumtehniskajām īpašībām, sevišķi mazstāvu apbūvei. Vienkāršotās metodes izmantošana var novest pie tā, ka ēkas būs jābūvē no norobežojošajām konstrukcijām ar zemākiem siltumcaurlaidības koeficientiem, kas savukārt palielinās ēkas celtniecības izmaksas.

Kā jau tika minēts iepriekšējā nodaļā, lai projektējamā ēka atbilstu LBN 002-01 prasībām, visas ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients H_T nedrīkst pārsniegt normatīvo vērtību H_{TR} :

Lai uzskatāmāk parādītu, kā šī prasība var tikt īstenota praksē, apskatīsim piemēru ar vienkāršu ģimenes dzīvojamo māju ar izmantojamu mansardu. Mājas stāvu plāni un vizuālais izskats ir parādīti 7.1. zīmējumā. Mājai ir šādi tehniskie parametri:

- 1. stāva izmantojamā platība - 97.50 m²;
- mansarda izmantojamā platība - 79.90 m²;
- pirmā un otrā stāva augstums - 3.00 m;
- stiklojumu laukums - 109.18 m²;
- sienas platība - 209.6 m² (izmantoja sienas konstrukcija ar masu 100 kg/m² un vairāk);
- jumta platība - 116.3 m²;
- grīdas platība - 177.4 m².

Mājas norobežojošās konstrukcijas ir ieprojektētas ar normatīvajiem siltuma caurlaidības koeficientiem. Objekta atrašanās vieta - Rīga. Apkures perioda ilgums sastāda 203 dienas un gaisa vidēja temperatūra apkures periodā ir 0 °C. Iekšējā gaisa temperatūra tiek pieņemta 23°C.



MĀJAS RAKSTUROJUMS

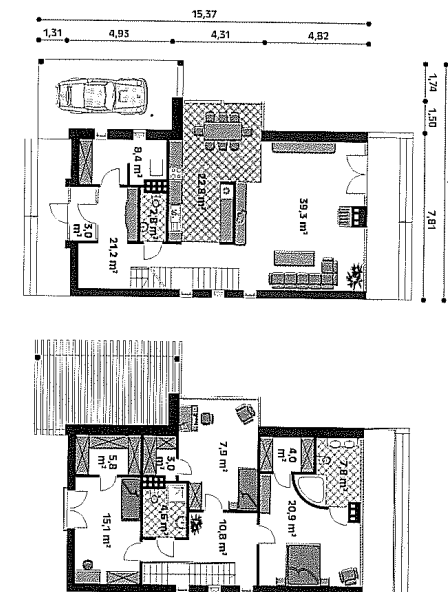
- Viengimenes divfunkciju māja, paredzēta četriem cilvēkiem.
- Pirmajā stāvā ieprojektētas dienas zonas telpas, tādas, kā dienas istaba, ēdamistaba, virtuve, katlu telpa un tualete.
- Mansards paredzēts nakts zonas telpām: trīs guļamistabas ar garderobēm un divas vannas istabas, tajā skaitā viena pieejama no divām guļamistabām.

IZPILDES TEHNOLOĢIJA

- jumts plakans jumts (slīpuma leņķis aptuveni 2-3°)
- pārsegumi dzelzbetona, izlejami
- sienas 2-slāņu - keramikas dobjie bloki + putu polistirols

MĀJAS PARAMETRI

1. stāva izmantojamā platība	97,50 m ²
mansarda izmantojamā platība	79,90 m ²
mājas izmantojamā platība	177,40 m ²
apbūves platība	139,40 m ²
kubatūra	750,00 m ³
kores maks. augstums	6,85 m
apbūves gabala min. gabarīti	18,05 x 24,37 m



7.1. zīm. Mājas stāvu plāni un vizuālais izskats

Lai aprēķinātu dotās mājas normatīvo siltuma zudumu koeficientu, vispirms, pārbaudām, vai projektējamā logu platība atbilst normatīvajām prasībām - pie projektējamās grīdas platības 177.4 m² normatīvā logu platība sastāda:

$$A_{norm}^{log.s} = 177.4 * 0.2 = 35.48 \text{ m}^2, \text{ kas ir 3 reizes mazāks nekā projektējamais laukums.}$$

Tas nozīmē, ka normatīvajā ēkā sienu platība būs lielāka, nekā mūsu dotajā ēkā:

$$A_{norm}^{sienu} = 209.6 + 109.18 - 35.48 = 283.3 \text{ m}^2.$$

Tālāk nosakām ēkā izveidoto lineāro termisko tiltu garumus, faktiskos un normatīvos siltuma caurlaidības koeficientus. Dotajai ēkai nav jāņem vērā ārējo un iekšējo sienu savienojuma vietas, jo tās nav savienotas kopā. Pārējo termisko tiltu vērtības tiek dotas 7.5. tabulā.

7.5. tabula.

Termisko tiltu garumi un siltuma caurlaidības koeficienti

Termiskais tilts	Termiskā tilta tips	Siltuma caurlaidības koeficientu projektējamās vērtības, $W/m \cdot K$	Siltuma caurlaidības koeficientu normatīvās vērtības $\Psi_{RN}, W/m \cdot K$	Termiskā tilta projektējamais garums, l, m	Termiskā tilta normatīvais garums, l, m
Siena/jumts	R5	-0.30	0,2	29	29
Siena/siena	C1	-0.10	0,2	13	13
Siena/siena	C8	0.20	0,2	6.5	6.5
Logs	W7	0.15	0,2	68	21.8

No 7.1. tabulas izvēlamies normatīvos siltuma caurlaidības koeficientus, kas atbilst dzīvojamai ēkai, un aprēķinām ēkas normatīvo siltuma zudumu koeficientu H_{TR} , izmantojot termisko tiltu normatīvos garumus:

$$H_{TR} = (0,3 \cdot 283,3 + 1,8 \cdot 35,48 + 0,2 \cdot 116,3 + 0,25 \cdot 97,50) + (0,2 \cdot 29 + 0,2 \cdot 13 + 0,2 \cdot 6,5 + 0,2 \cdot 21,8) = 196,49 + 14,06 = 210,55 W/m$$

Loga normatīvā platība sastāda 32% no projektējamās platības. Attiecīgi tilta W7 normatīvais garums arī sastāda 32% no projektējamā tilta W7 garuma. Pārējo termisko tiltu tipu normatīvie garumi ir vienādi ar projektējamiem garumiem.

Nosakām faktiskās ēkas siltuma zudumu koeficientu:

$$H_{TR} = (0,3 \cdot 209,6 + 1,8 \cdot 109,18 + 0,2 \cdot 116,3 + 0,25 \cdot 97,50) + ((-0,3) \cdot 29 + (-0,2) \cdot 13 + 0,2 \cdot 6,5 + 0,15 \cdot 21,8) = 307,39 + (-6,73) = 300,7 W/m$$

Salīdzinām normatīvo un faktisko ēkas siltuma zudumu koeficientus:

$$H_T(300,7) \geq H_{TR}(210,55).$$

Tas nozīmē, ka ēka neatbilst LBN 002-01 prasībām un logu platības palielinājumu nav iespējams kompensēt ar norobežojošo konstrukciju normatīvajiem siltuma caurlaidības koeficientiem. Lai projektējamā ēka pie projektējamās logu platības 109,18 m² atbilstu LBN 002-01 prasībām, ir nepieciešams samazināt norobežojošās konstrukcijas projektējamās siltuma caurlaidības koeficientus. Viens no iespējamiem variantiem ir parādīts 7.6. tabulā.

7.6. tabula

Būvelementu projektējamie laukumi un siltuma zudumi, W/K

Termiskais tilts	Laukums A, m^2	Siltuma caurlaidības koeficientu projektējamās vērtības $U, W/(m^2 \cdot K)$	$A \cdot U, W/K$
Siena	209.6	0.15	31.44
Stiklojums	109.18	1.10	120.1
Jumts	116.3	0.10	11.63
Grīda	177.4	0.15	26.61
kopā HT:			189.8

Kā redzams no iepriekšējās tabulas, lai ēka atbilstu normatīvajām prasībām, ir nepieciešams ievērojami samazināt norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficientus, kas savukārt paaugstina celtniecības izmaksas. Vislielāko efektu dotajā gadījumā ir

iespējams sasniegt, samazinot stiklojuma laukumu.

Pēc tam, kad ir noskaidrots, ka projektējamā ēka atbilst LBN 002 - 01 prasībām, jānorāda kopējos siltumenerģijas zudumus $E_{\Sigma G}$ kilovatstundās un īpatnējo siltuma zudumu koeficientu e_G kilovatstundās uz kvadrātmētru.

Izmantojot 1.1. vienādojumu, nosakām normatīvo grāudicienu skaitu:

$$T_{gd} = 203 \cdot (23 - 0) = 609$$

Kopējie siltumenerģijas zudumi $E_{\Sigma G}$:

$$E_{\Sigma G} = HT \cdot T_{gd} \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 189 \cdot 609 \cdot 24 \cdot 0.001 = 2762,4 \text{ kWh}.$$

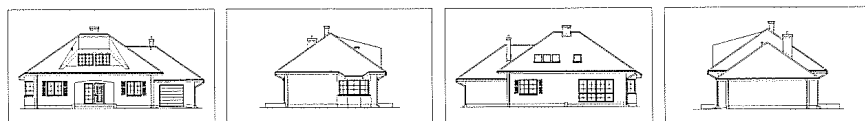
Īpatnējais siltuma zudumu koeficients e_G :

$$e_G = \frac{E_{\Sigma G}}{L} = \frac{2762,4}{177,4} = 15,57 \text{ kWh/m}^2.$$

Tālāk apskatīsim vēl vienu dzīvojamo ēku. Mājas stāvu plāni ir parādīti 7.2. zīmējumā. Mājai ir šādi tehniskie parametri:

- 1. stāva izmantojamā platība - 100.5 m² (garāžas telpa nav iekļauta, jo tā nav apkurināta);
- mansarda izmantojamā platība - 53.50 m²;
- stiklojumu laukums - 23.5 m²;
- sienas platība - 85.63 m² (izmantota sienas konstrukcija ar masu 100 kg/m² un vairāk);
- bēniņu pārseguma platība - 21.8 m²;
- mansarda jumta platība - 185.9 m²;
- 1. stāva augstums - 2.60 m;
- mansarda augstums - 2.50 m.

Arī šajā gadījumā apskatīsim dzīvojamo māju ar norobežojošajām konstrukcijām, kuras ir ieprojektētas ar normatīvajiem siltuma caurlaidības koeficientiem.



MĀJAS RAKSTUROJUMS

- Ģimenes dzīvojamā māja ar izmantojamu mansardu.

- Maza, ērta māja paredzēta 3 - 4 cilvēku ģimenei.

- Pirmajā stāvā ieprojektēta ērta gulamistaba, vannas istaba un plaša dienas istaba ar ēdamistabu.

- Māja ar vienkāršu, kompaktu veidolu ērta celtniecībā un ekonomiska uzturēšanā.

IZPILDES TEHNOLOĢIJA

jumts dakstiņi, slīpuma leņķis 35°

pārsegumi dzelzbetona, izlejami

sienas 2-slāņu - keramikas dobie bloki + putpolistirols

MĀJAS PARAMETRI

1. stāva izmantojamā platība 122,44 m²

mansarda izmantojamā platība 53,50 m²

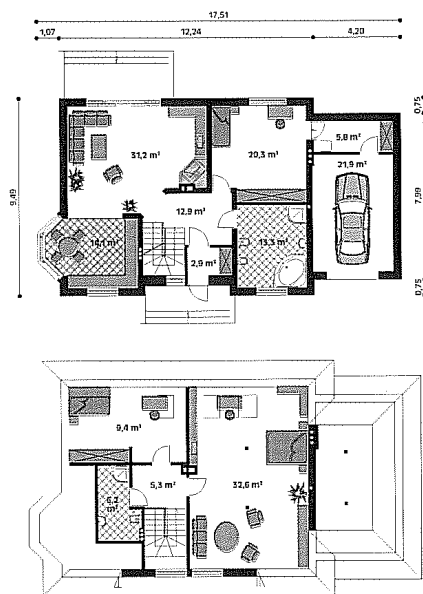
mājas izmantojamā platība 175,90 m²

apbūves platība 152,20 m²

kubatūra 610,00 m³

cores maks. augstums 7,74 m

apbūves gabala min. gabarīti 24,51 x 18,49 m



7.2. zīm. Dzīvojamās mājas vizuālais izskats

Normatīvā logu platība pie projektējamās grīdu platības 154 m² sastāda:

$$A_{norm}^{log.s} = 154 * 0.2 = 30.8 \text{ m}^2, \text{ kas ir par } 30\% \text{ lielāka nekā logu projektējamais laukums.}$$

Tas nozīmē, ka normatīvajā ēkā sienu platība būs mazāka nekā dotajā ēkā. Jāņem vērā tas, ka daļa no logiem ir izvietota jumta konstrukcijā. Ja projektējamā jumta logu platība sastāda 2.8 m², tad jumta logu normatīvā platība būs vienāda ar $2.8 - 2.8 * 0.30 = 1.96 \text{ m}^2$. Parasto (sienu) logu projektējamā platība sastāda $30.8 - 1.96 = 28.84 \text{ m}^2$.

Normatīvajā ēkā sienu platība sastāda:

$$A_{norm}^{siena} = 85.63 + 23.5 - 28.84 = 80.29 \text{ m}^2.$$

Normatīvajā ēkā mansarda jumta platība sastāda:

$$A_{norm}^{m.jumts} = 185.9 + 2.8 - 1.96 = 186.74 \text{ m}^2.$$

Tālāk nosakām ēkā izveidoto lineāro termisko tiltu garumus, faktiskos un normatīvos siltuma caurlaidības koeficientus. Dotajai ēkai nav jāņem vērā ārējo un iekšējo sienu savienojuma vietas, jo tās nav savienotas kopā. Pārējo termisko tiltu vērtības dotas 7.7. tabulā.

7.7. tabula.

Termisko tiltu garumi un siltuma caurlaidības koeficienti

Termiskais tilts	Termiskā tilta tips	Siltuma caurlaidības koeficientu projektējamās vērtības Ψ , W/m ² ·K	Siltuma caurlaidības koeficientu normatīvās vērtības Ψ_{RN} , W/m ² ·K	Termiskā tilta projektējamais garums, l , m	Termiskā tilta normatīvais garums, l , m
Siena/siena	C1	-0.10	0,2	15.6	15.6
Siena/siena	C8	0.20	0,2	5.6	5.6
Logs	W7	0.15	0,2	19.0	24.2

Ēkas normatīvais siltuma zudumu koeficients H_{TR} :

$$H_{TR} = (0,3 * 80.29 + 1,8 * 30.8 + 0,2 * 154 + 0,25 * 186.74 + 0,25 * 21.8) + (0,2 * 15.9 + 0,2 * 5.6 + 0,2 * 24.2) = 156.8 + 10.44 = 172.69 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Nosakām faktiskās ēkas siltuma zudumu koeficientu:

$$H_T = (0,3 * 85.63 + 1,8 * 23.5 + 0,2 * 154.0 + 0,25 * 185.9 + 0,23 * 21.8) + ((-0,1) * 15.9 + 0,2 * 5.6 + 0,15 * 19.0) = 150.23 + 2.38 = 152.61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Salīdzinām normatīvās un faktiskās ēkas siltuma zudumu koeficientus: $H_T(152.61) \leq H_{TR}(172.69)$.

Kā redzams, ēka visumā atbilst LBN 002-01 prasībām, tomēr vēl pastāv iespēja samazināt celtniecības izmaksas, palielinot kādas no norobežozošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficientu (piemēram, sienas).

Lai noteiktu sienas maksimālo pieļaujamo siltuma caurlaidības koeficientu, pielīdzinām normatīvo un faktisko ēkas siltuma zudumu koeficientus un atrodam sienas siltuma caurlaidības koeficientu:

$$(X * 85.63 + 1.8 * 23.5 + 0.2 * 154.0 + 0.25 * 185.9 + 0.23 * 21.8) + ((-0.1) * 15.9 + 0.2 * 5.6 + 0.15 * 19) \leq 172.69$$

$$X * 85.63 + 124.59 + 2.38 \leq 172.69$$

$$X \leq 0.54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

Sienas siltuma caurlaidības koeficients, ar kuru ir iespējams nodrošināt $H_T \leq H_{TR}$, ir lielāks par maksimāli pieļaujamo siltuma caurlaidības koeficientu U_{RM} . Šajā gadījumā faktisko sienas siltuma caurlaidības koeficientu jāsamazina līdz U_{RM} līmenim (0.4 W/m²·K).

LITERATŪRA

1. Belindževa-Korkla O. Norobežojošo konstrukciju siltumtehnikas aprēķini. Metodiskie norādījumi LBN 002-01 izmantošanai. - Rīga: RTU izdevniecība, 2002. - 168 lpp.
2. Belindževa-Korkla O. Metodiskie norādījumi praktiskajiem darbiem priekšmetā "Būvniecības siltumfizika". - Rīga: RTU izdevniecība, 2004. - 84 lpp.
3. Barkauskas V., Stankevičius V. Pastatu atitvaru šilumin fizika. - Kaunas: Technologija, 2000. - 286 p.
4. Фокин К.Ф., Табушников Ю.А., Гагарин В.Г. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 5-е. - Москва: Авок-Пресс, 2006. - 256 с.
5. СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий". - Москва: Госстрой России, 2004
6. СП 23-101 "Проектирование тепловой защиты зданий". - Москва: Госстрой России, 2004.
7. СТО 17532043-001-2005 "Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий" 2006. - Москва: Госстрой России, 2004

Latvijas būvnormatīvi

1. LBN 002-01 "Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika"
2. LBN 003-01 "Būvklimatoloģija"
3. LBN211-98 "Daudzstāvu daudzdzīvokļu dzīvojamie nami"

Latvijas būvnormatīvi

1. LVS EN ISO 6946+A1 "Ēku daļas un būvkonstrukcijas. Siltumpretestība un siltumvadītspēja. Aprēķina metode". 2003. - 28 lpp.
2. LVS EN ISO 10211-1+AC "Termiskie tilti būvkonstrukcijās. Siltuma plūsmu un virsmas temperatūru aprēķins. 1.daļa: Vispārīgās metodes". 2003. - 55 lpp.
3. LVS EN ISO 10211-2 "Termiskie tilti būvkonstrukcijās. Siltuma plūsmu un virsmas temperatūru aprēķins. 2.daļa: Lineārie termiskie tilti". 2004. - 17 lpp.
4. LVS EN ISO 14683+AC "Termiskie tilti būvkonstrukcijās. Lineārā siltuma caurlaidība. Vienkāršotas metodes un pieņemtās vērtības". 2004. - 25 lpp.
5. LVS EN ISO 13370 "Ēku siltumtehnikas īpašības. Siltuma zudumi caur pamatiem. Aprēķina metodes". 2003. - 50 lpp.
6. LVS EN ISO 13788 "Ēku būvmateriālu un būvelementu higrosiltumtehnikas īpašības. Iekšējās virsmas temperatūra, lai izvairītos no kritiskā virsmas mitruma un iekšējās kondensācijas. Aprēķina metodes". 2003. - 36 lpp.
7. LVS EN ISO "Ēku siltumtehnikas īpašības. Siltuma zuduma koeficients. Aprēķina metode". 2003. - 11 lpp.
8. LVS EN ISO 10077-1 "Logu, durvju un slēgu siltumtehnikas īpašības. Siltuma caurlaidības aprēķini. 1.daļa: Vienkāršotā metode". 2004. - 30 lpp.
9. LVS EN ISO 10077-2 "Logu, durvju un slēgu siltumtehnikas īpašības. Siltumvadītspējas koeficienta aprēķināšana. 2.daļa: Aprēķina metode rāmjiem". 2003. - 29 lpp.
10. LVS EN 13125 "Slēgi un žalūzijas. Papildus termiskā izturība. Gaisa caurlaidības klases noteikšana". 2002. - 15 lpp.

1. pielikums

Latvijas būvnormatīvs LBN 002-01
"Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika"

Apstiprināts ar
Ministru kabineta
2001.gada 27.novembra
noteikumiem Nr.495

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 27.07.2004. noteikumiem nr.621 un MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

I. Vispārīgie jautājumi

1. Būvnormatīvs nosaka ēku ārējo norobežojošo konstrukciju būvelementu siltumtehnikas projektēšanas kārtību jaunbūvējamām, rekonstruējamām un renovējamām apkurināmām ēkām, kā arī esošajās ēkās ierīkojamām jaunām apkurināmām telpām, kurās apkures sezonā tiek uzturēta temperatūra 8 °C un augstāka. Veicot ēkas remontu, var piemērot šī būvnormatīva prasības, lai nodrošinātu labu siltumtehnikas kvalitāti.
(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

2. Būvnormatīva mērķis ir samazināt enerģijas patēriņu ēkās, paaugstinot enerģijas izmantošanas efektivitāti. Ēku projektēšanā un būvniecībā paredz enerģētiski efektīvus būvelementus, kas ierobežo oglekļa dioksīda emisiju.

3. Ēku ārējo norobežojošo konstrukciju būvelementi (turpmāk - būvelements) ir ārējās sienas, jumti, bēniņu pārsegumi, pārsegumi, kas saskaras ar āra gaisu (arī virs caurbrauktuvēm), grīdas virs neapkurināmiem pagrabiem, aukstās pagrīdes un grīdas uz grunts, pagrabārsienas, kas saskaras ar āra gaisu vai grunti, āršienas logi, durvis un vārti, kā arī iekšējās sienas un citas virsmas, ja tās norobežo telpas, starp kurām gaisa temperatūras starpība ir 5 °C un vairāk. Enerģētiski efektīvi ir tādi būvelementi, kas pietiekami labi pasargā telpas no atdzišanas ziemā un no pārkaršanas vasarā. Būvprojektā paredzot ēkā izmantojamās būvelementus, novērtē to siltuma inerci un izvēlas piemērotāko masīvo un siltumizolējošo slāņu kombināciju.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

4. Būvnormatīvs neattiecas uz speciālajām ēkām, kurās apkures sezonā pastāvīgi neuzturas cilvēki, uz noliktavām un ražošanas ēkām ar specifiskiem tehnoloģiskajiem procesiem, kurām nepieciešama īpaša apkure (arī uz lauksaimniecības ražošanas ēkām, saldētavām un ēkām, kuras tiek izmantotas epizodiski).

5. Arhitektūras pieminekļa renovācijā Valsts kultūras pieminekļu aizsardzības inspekcija var atļaut atkāpes no šī būvnormatīva prasībām, ja attiecīgo prasību izpilde apdraud kultūras pieminekļa saglabāšanu vai pazeminās tā kultūrvēsturiskā vērtība.

6. Veicot būvelementu siltumtehnikas aprēķinu un projektēšanu, piemēro to Latvijas nacionālo standartu prasības, kuru sarakstu pēc Ekonomikas ministrijas ieteikuma bezpeļņas organizācija valsts sabiedrība ar ierobežotu atbildību "Latvijas standarts" ir publicējusi laikrakstā "Latvijas Vēstnesis" (turpmāk - piemērojamie standarti).

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 27.07.2004. noteikumiem nr.621 un MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

II. Siltuma zudumi

7. Ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficientu HT vatos uz grādu (W/K), kas norāda enerģijas zudumus (vatos) caur ēkas būvelementiem, ja temperatūras starpība uz to pretējām virsmām ir viens grāds, nosaka saskaņā ar formulu (1). Aprēķina siltuma zudumu vērtības nosaka atbilstoši tām raksturlielumu vērtībām, kuras lietotas aprēķinos, veicot būvprojektēšanu, un fiksētas būvprojektā.

$$H_T = \sum U_i A_i + \sum \Psi_j I_j + \sum \chi_k \quad , \quad \text{kur} \quad (1)$$

U_i - būvelementa i aprēķina siltuma caurlaidības koeficients $W/(m^2 \times K)$;
 A_i - būvelementa i projektējamais laukums (m^2);
 Ψ_j - lineārā termiskā tilta j aprēķina siltuma caurlaidības koeficients $W/(m \times K)$;
 l_j - lineārā termiskā tilta j projektējamais garums (m);
 χ_k - punktvēda termiskā tilta k punkta aprēķina siltuma caurlaidības koeficients (W/K).
 7.1 Ja būvelementa siltuma caurlaidības koeficientu nosaka saskaņā ar standartu LV EN ISO 6946:2003+A11, ņemot vērā būvelementa konstruktīvo slāņu neviendabību un termiskus tiltus, ēkās aprēķina siltuma zudumu koeficientu H_T nosaka saskaņā ar formulu (11) (norobežojošās konstrukcijas platību nosakot pēc būvelementa ārējiem izmēriem):

$$H_T = \sum U_i A_i \quad (11)$$

(Ministru kabineta 27.07.2004. noteikumu nr.621 redakcijā)

8. Termiskais tilts ir jebkurš paaugstinātas siltumvadītspējas konstruktīvs ieslēgums būvelementā.

8.1 Būvelementu pārbauda, lai pārliecinātos, ka termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficients nepārsniedz šī būvnormatīva 2.tabulā noteiktās maksimāli pieļaujamās vērtības. (Ministru kabineta 27.07.2004. noteikumu nr.621 redakcijā)

9. Normatīvo siltuma zudumu koeficientu H_{TR} (W/K) nosaka saskaņā ar formulu (2). Normatīvo siltuma zudumu aprēķiniem izmanto šajā būvnormatīvā noteiktās parametru normatīvās vērtības.

$$H_{TR} = \sum U_{Rni} A_i + \sum \Psi_{RNj} l_j, \text{ kur} \quad (2)$$

U_{Rni} - būvelementa i normatīvais siltuma caurlaidības koeficients

$W/(m^2 \times K)$, ko nosaka saskaņā ar šī būvnormatīva 1.tabulu;

Ψ_{RNj} - lineārā termiskā tilta j normatīvais siltuma caurlaidības koeficients $W/(m \times K)$, ko nosaka saskaņā ar šī būvnormatīva 1.tabulu.

Siltuma caurlaidības koeficientu
 $U_{RN} W/(m^2 \times K)$ un $\Psi_{RN} W/(m \times K)$ 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 k	0,25 k	0,35 k
2.	Grīdas uz grunts	0,25 k	0,35 k	0,5 k
3.	Sienas:			
3.1.	ar masu, mazāku nekā 100 kg/m ²	0,25 k	0,35 k	0,45 k
3.2.	ar masu 100 kg/m ² un vairāk	0,3 k	0,4 k	0,5 k
4.	Logi, durvis un stiklotas sienas	1,8 k	2,2 k	2,4 k
5.	Termiskie tilti Ψ_R	0,2 k	0,25 k	0,35 k

Piezīme. k - temperatūras faktors.

10. Temperatūras faktoru k izmanto atsevišķu būvelementu (arī būvelementa starp divām blakus telpām) siltumtehnikajam aprēķinam un aprēķina saskaņā ar formulu (3):

$$K=19/(\Theta_i - \Theta_e), \text{ kur} \quad (3)$$

Θ_i - iekštelpu aprēķina temperatūra ($^{\circ}C$) 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 ($^{\circ}C$) atbilstoši Latvijas būvnormatīvam LBN 003-01 "Būvklimateoloģija" vai temperatūra blakus telpā, ja aprēķinu veic būvelementam, kas atrodas starp divām blakus telpām.

11. Dzīvojamām mājām, pensionātiem, slimnīcām un bērnudārziem normatīvo vērtību H_{TR} var noteikt saskaņā ar formulu (4). Ēkām ar dažādu stāvu skaitu H_{TR} vērtību nosaka katrai ēkas daļai atsevišķi.

$$H_{TR} = h_A A, \text{ kur} \quad (4)$$

h_A - ēkas īpatnējo siltuma zudumu koeficients $W/(m^2 \times K)$, ko nosaka saskaņā ar šī būvnormatīva 12.punktu;

A - dzīvojamās mājas apkurināmo grīdas laukumu summa visos stāvos (m^2).

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

12. Dzīvojamām mājām, pensionātiem, slimnīcām un bērnudārziem īpatnējais siltuma patēriņš h_A vienstāva ēkām ir 1,05 ($W/m^2 \times K$), divstāvu ēkām - 0,8 ($W/m^2 \times K$), trīsstāvu un četrstāvu ēkām - 0,7 ($W/m^2 \times K$), piecu un vairāk stāvu ēkām - 0,6 ($W/m^2 \times K$).

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 27.07.2004. noteikumiem nr.621 un MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

13. Ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients H_T nedrīkst pārsniegt normatīvo vērtību H_{TR} .

14. Atsevišķu būvelementu un lineāro termisko tiltu aprēķina siltuma caurlaidības koeficientu vērtības U_i un Ψ_j var pārsniegt normatīvo siltuma caurlaidības koeficientu U_{RN} un Ψ_{RN} vērtības, bet nedrīkst pārsniegt maksimālās vērtības U_{RM} un Ψ_{RM} , kas noteiktas šī būvnormatīva 2.tabulā. U_{RM} ir attiecīgā būvelementa maksimālais siltuma caurlaidības koeficients $W/(m^2 \times K)$, RM - attiecīgā lineārā termiskā tilta maksimālais siltuma caurlaidības koeficients $W/(m \times K)$.

15. Normatīvās vērtības U_{RN} un maksimālās vērtības U_{RM} grīdām, kas saskaras ar āra gaisu, ir tādas pašas kā jumtiem, bet grīdām virs neapkurinātiem pagrabiem - tādas pašas kā grīdām uz grunts.

16. Logu un gaismu caurlaidīgu stiklotu konstrukciju virsmas laukumi, kurus ņem vērā, veicot šī būvnormatīva 9.punktā minētos aprēķinus, nepārsniedz 20 % no katra stāva apkurināmās grīdas laukuma. Logu laukumu palielinājumu kompensē ar zemākām logu vai citu būvelementu siltuma caurlaidības koeficientu vērtībām, kas noteiktas atbilstoši šī būvnormatīva 13.punktam. 13.punktā noteiktās prasības un šī būvnormatīva 1.tabulā noteiktās normatīvās siltuma caurlaidības koeficientu vērtības nav obligātas pirmo divu stāvu logiem un ārdurvīm veikalos un līdzīgās telpās, kurām funkcionāli nepieciešami lieli logi vai stikla sienas.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

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

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

2.tabula

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

III. Būvmateriālu un būvelementu aprēķina vērtības

18. Aprēķina siltuma caurlaidības koeficienta U_i vērtību nosaka:
 18.1. sienām, jumtiem un grīdām, kas ir saskarē ar āra gaisu, - saskaņā ar standartu LVS EN ISO 6946;
 18.2. grīdām, kam nav saskares ar āra gaisu, - saskaņā ar standartu LVS EN ISO 13370;
 18.3. logiem un durvīm - aprēķina vai nosaka atbilstoši standartam LVS ISO 10077-1;
 18.4. termiskajiem tiltiem Ψ_j , χ_k vērtības nosaka saskaņā ar standartu LVS EN ISO 10211-1, LVS ISO 10211-2 vai LVS ISO 14683.
 19. Aprēķina siltuma caurlaidības koeficientu U_i rūpnieciski ražotiem būvelementiem reglamentētajā sfērā aplicina atbilstības novērtēšanas procesā saskaņā ar Ministru kabineta 2001.gada 30.aprīļa noteikumiem Nr.181 "Būvizrādājumu atbilstības novērtēšanas kārtība reglamentētajā sfērā".
 20. Būvmateriāliem, kuru galvenā funkcija būvelementā nav siltumizolācija un atbilstības novērtēšanas procesā to siltumtehnikās īpašības netiek apliecinātas, aprēķina siltumvadītspējas un citu siltumtehniko raksturlielumu vērtības nosaka saskaņā ar šī būvnormatīva pielikuma 7.tabulu.
 21. Būvelementu aprēķina siltuma caurlaidības koeficienta U_i faktisko vērtību mērījumus veic atbilstoši standartam LVS-EN ISO 8990.

IV. Ēkas gaiscaurlaidība

22. Būvelementu gaiscaurlaidība visai ēkai vai tās daļai, izteikta kā gaisa noplūde $m^3/(m^2 \times h)$, ja spiediena starpība ir 50 Pa, nedrīkst pārsniegt šī būvnormatīva 23.punktā noteiktās vērtības. Minēto prasību var nepiemērot ražošanas ēkām, ja pierāda, ka konkrētajai ēkai minētā prasība nav būtiska.

23. Maksimālā pieļaujamā gaiscaurlaidība, ja spiediena starpība ir 50 Pa, dzīvojamām mājām, pansionātiem, slimnīcām un bērnudārziem ir $3 m^3/(m^2 \times h)$, publiskajām ēkām, izņemot pansionātus un slimnīcas, - $4 m^3/(m^2 \times h)$, ražošanas ēkām - $6 m^3/(m^2 \times h)$. Ēku gaiscaurlaidību var noteikt saskaņā ar piemērojamos standartos noteiktajām metodēm. (Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

24. Ēkas, kur gaiscaurlaidība ir $3 m^3/(m^2 \times h)$ vai mazāka, ja spiediena starpība ir 50 Pa, aprīko ar ventilācijas sistēmām.

V. Būvelementu ūdens tvaika caurlaidība

25. Ja būvelements sastāv no dažādiem slāņiem, tā 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 . Biežāk izmantojamiem membrānmateriāliem s_d vērtības minētas šī būvnormatīva pielikuma 1.tabulā.

26. Viendabīgiem būvmateriāliem un siltumizolācijas materiāliem ūdens tvaika pretestību nosaka, izmantojot formulu (5):

$$s_d = \mu \times d, \text{ kur} \quad (5)$$

s_d - būvmateriāla vai siltumizolācijas materiāla ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents (m);

μ - ūdens tvaika pretestības faktors, kuru nosaka saskaņā ar standartu LVS EN 12086 vai saskaņā ar šī būvnormatīva pielikuma 6. un 7.tabulu, kur noteiktas μ vērtības viendabīgiem būvmateriāliem un siltumizolācijas materiāliem; akmens un stikla vatei bez pārklājuma $\mu = 1$;

d - viendabīgā būvmateriāla vai siltumizolācijas materiāla slāņa biezums (m).

27. Šī būvnormatīva 25.punktā minētās prasības izpildes tehnisko risinājumu norāda būvprojektā.

28. Ja šī būvnormatīva 25.punktā minētās prasības izpildei starp siltumizolāciju vai tai piegulošo vēja barjeru un ārējo apdari nepieciešama gaisa sprauga, siltumizolācijai jābūt ventilējamai. Ventilēta ir tāda siltumizolācija, kuras gaisa šķirkārta ir savienota ar āra gaisu un gaisa plūsmas nosacījumi atbilst standartā LVS EN ISO 6946:2003+A1 "Ēku daļas un būvkonstrukcijas - Siltumpretestība un siltumvadītspēja - Aprēķina metode" noteiktajiem kritērijiem. Gaisa šķirkārta ir ventilēta, ja ir izpildīti šādi nosacījumi:

28.1. ventilācijas atveru šķērsgriezuma laukums ir ne mazāks par 15 cm² uz katru vertikālas gaisa šķirkārtas garuma (pa ēkas perimetru) metru;

28.2. ventilācijas atveru šķērsgriezuma laukums ir ne mazāks par 15 cm² uz katru norobežojošās konstrukcijas virsmas kvadrātmētru horizontālai gaisa šķirkārtai. (Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

29. Stiklam, keramikas flīzēm, metālam un metāla loksnēm s_d ir bezgalīgi liels. Aprēķinos izmanto vērtību 10⁶ m.

30. Hermētiskiem daudzslāņu paneļiem, kas no abām pusēm pārklāti ar metāla loksnēm, starp kurām ir siltumizolācijas slānis, šo noteikumu 25.punktā noteiktā prasība attiecas uz paneļu savienojuma vietām, kas atrodas siltumizolācijai siltajā un aukstajā pusē.

31. Atkāpes no šī būvnormatīva 25.punktā noteiktajām prasībām ir pieļaujamas, ja tās pamatotas ar aprēķinu, kas apliecina, ka kondensāta uzkrāšanās bilance gada laikā nav pozitīva un nekaitē konstrukcijai. Koka būvelementos kondensāta rašanās nav pieļaujama.

VI. Siltumizolācijas materiālu un būvmateriālu siltumtehniskie raksturlielumi

32. Siltumizolācijas materiāla deklarēto siltumvadītspējas koeficientu λ_D vai deklarēto siltumpretestību R_D nosaka saskaņā ar standartu LVS EN ISO 10456:2003 "Būvmateriāli un būvizstrādājumi - Deklarēto un aprēķina siltumtehnisko vērtību noteikšanas procedūras", būvizstrādājumu harmonizētajiem tehniskajiem noteikumiem un piemērojamajiem standartiem.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

33. Siltumtehnisko vērtību konversiju veic saskaņā ar standartu LVS EN ISO 10456.

34. Porainos siltumizolācijas materiālus būvelementos iestrādā atbilstoši ražotāja rekomendācijām, izmantojot speciālās funkcionālās tvaika un vēja barjeras, kas pasargā vieglās konstrukcijas no vēja un ārējā mitruma, kā arī no iekšējā un ārējā ūdens tvaika un gaisa spiedienu starpības negatīvās ietekmes. Konvekcijas ietekmi var neņemt vērā, ja siltumizolācijas blīvums nav mazāks par šī būvnormatīva 3.tabulā minētajām vērtībām. Var izmantot zemāka blīvuma siltumizolācijas materiālus, ja to aprēķina siltumvadītspējas koeficienta Δ_d aprēķiniem izmanto šī būvnormatīva pielikuma 2.tabulā minētās siltumizolācijas darba apstākļu labojuma koeficienta $\Delta\lambda_w$ vērtības.

35. Siltumizolācijai var izmantot brīvi bērtu (arī mehāniski iestrādātu) materiālu, kura īpatnējā gaisa caurlaidības pretestība ir mazāka par $6 \text{ kPa} \times s \times \text{m}^2$, ja aprēķina siltumvadītspējas koeficienta vērtību λ_d iegūst, deklarētajai siltumvadītspējas koeficienta vērtībai λ_d pieskaitot siltumizolācijas darba apstākļu labojuma koeficientu $\Delta\lambda_w$ saskaņā ar šī būvnormatīva pielikuma 2.tabulu.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

36. Ja siltumizolācijai lieto higroskopiskus materiālus, kuru siltumvadītspēja noteikta sausiem paraugiem ar standartā LVS EN ISO 10456 minētajām metodēm, iegūto λ_{10m} vērtību konvertē uz normāliem iekšējiem apstākļiem - temperatūru 23°C un gaisa relatīvo mitrumu 50 %, reizinot to ar korekcijas faktoru F_u , ko nosaka, izmantojot formulu (6):

$$F_u = \exp(f_u \times u_{23,50}), \text{ kur} \quad (6)$$

F_u - korekcijas faktors pārejai no dažāda mitruma vidēm;

f_u - mitruma konversijas koeficients attiecīgajam siltumizolācijas materiālam;

$u_{23,50}$ - mitrums (kg/kg) normālos iekšējos apstākļos.

37. Mitruma konversijas koeficienti f_u un $u_{23,50}$ noteikti šī būvnormatīva pielikuma 6.tabulā.

38. Nosakot būvelementam aprēķina siltuma caurlaidības vērtību U_j un siltumizolācijas slāņa biezumu, ņem vērā brīvi bērtā siltumizolācijas materiāla sēšanas tā kalpošanas laikā. Stikla un akmens vatei sēšanas apmērs ir ne mazāks par 5 %, bet celulozes šķiedrām - ne mazāks par 20 %.

39. Ja siltumvadītspējas mērījumus veic saskaņā ar būvizstrādājumu harmonizētajiem tehniskajiem noteikumiem vai ar izturētiem (novecinātiem) materiāliem, korekcijas faktors $\Delta\lambda_a$ var būt nulle.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

40. Deklarēto siltumvadītspēju $\lambda_D W/(m \times K)$ nosaka saskaņā ar būvizstrādājumu harmonizētajiem tehniskajiem noteikumiem vai izmantojot formulu (7) (ja attiecīgajam siltumizolācijas materiālam nav harmonizēto tehnisko noteikumu vai harmonizētajos tehniskajos noteikumos nav minēts deklarētās siltumvadītspējas noteikšanas veids):

$$\lambda_D \geq \lambda_{10m} + \Delta\lambda_s + \Delta\lambda_a \quad (7)$$

λ_{10m} - siltumizolācijas materiāla siltumvadītspējas vērtība vidējā temperatūrā 10°C saskaņā ar šī būvnormatīva 32. vai 36.punktu;

$\Delta\lambda_s$ - korekcijas faktors novērtētajai standartnovirzei saskaņā ar šī būvnormatīva 32.punktu;

$\Delta\lambda_a$ - novecošanās korekcijas faktors.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

41. Deklarēto siltumvadītspēju $\lambda_D W/(m \times K)$ katram siltumizolācijas produkcijas veidam ražotājs (izplatītājs) norāda atbilstības deklarācijā saskaņā ar harmonizētajiem tehniskajiem noteikumiem vai norāda tehniskajā pasē (ja attiecīgajam siltumizolācijas izstrādājumam nav harmonizēto tehnisko noteikumu).

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

42. Visiem siltumizolācijas materiāliem nosaka deklarētās siltumvadītspējas klasi. Siltumizolācijas materiāla klase ir tā garantētā deklarētā siltumvadītspēja, kas izteikta $W/(m \times K)$ (vatos uz metru un grādu) un noapaļota uz augstāko tuvāko klases rādītāju. Ražotājs (izplatītājs) siltumizolācijas materiāla klasi norāda atbilstoši būvizstrādājuma harmonizētajiem tehniskajiem noteikumiem, kā arī uz izstrādājuma iepakojuma.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 27.07.2004. noteikumiem nr.621 un MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

43. (Svītrots ar 26.09.2006. noteikumiem nr.791).

43.¹ (Svītrots ar 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

43.² Ja siltumizolācijas materiāliem, kas ražoti saskaņā ar harmonizētajiem Eiropas standartiem un marķēti ar CE zīmi, ir deklarēta izstrādājuma siltumpretestība $R_D (m^2K/W)$, šo izstrādājumu siltumvadītspējas klasi nosaka saskaņā ar formulu (7¹) un iegūto vērtību noapaļo uz augšu līdz tuvākajai vērtībai ar precizitāti līdz $0,001 W/(m \times K)$:

$$\lambda_d = d_N/R_D, \text{ kur } (7^1)$$

d_N - siltumizolācijas izstrādājuma nominālais biezums saskaņā ar attiecīgo harmonizēto Eiropas standartu. Šajā gadījumā ražotājs norāda deklarēto siltumvadītspēju λ_D vai būvizstrādājuma deklarēto siltumpretestību R_D uz iepakojuma, nenorādot ar atsevišķu apzīmējumu siltumvadītspējas klasi.

(Ministru kabineta 27.07.2004. noteikumu nr.621 redakcijā)

44. Siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēju $\lambda_d W/(m \times K)$, kur ievērtēti norobežojošās konstrukcijas reālie darba apstākļi, nosaka saskaņā ar standartu LVS EN ISO 6946:2003+A1 "Ēku daļas un būvkonstrukcijas - Siltumpretestība un siltumvadītspēja - Aprēķina metode" vai izmantojot formulu (8), iegūtajam rezultātam pieskaitot siltumizolācijas darba apstākļu labojuma koeficientu λ_w saskaņā ar šī būvnormatīva pielikuma 2.tabulu, ja harmonizētā būvizstrādājuma standartā nav noteikts citādi.

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

45. Būvelementa siltumizolācijas materiāla aprēķina siltumvadītspēju, kas noteikta saskaņā ar šo būvnormatīvu, norāda būvprojekta specifikācijā.

46. Būvelementos biežāk lietojamo siltumizolācijas materiālu labojuma koeficienta $\Delta\lambda_w$ vērtības noteiktas šī būvnormatīva pielikuma 2.tabulā.

47. Šī būvnormatīva pielikuma 3.tabulā noteiktās labojuma koeficienta $\Delta\lambda_w$ vērtības attiecas uz siltumizolācijas materiāliem, kurus izmanto gruntīs, arī pagraba ārsienās, zem grīdas uz grunts vai horizontāli ārpusē kā aizsardzības līdzekli pret grunts izcilāšanos salā. Ja siltumizolācijas materiāla blīvums atbilst tabulā minētajam diapazonam, labojuma koeficienta $\Delta\lambda_w$ vērtības nosaka, lineāri interpolējot. Ja siltumizolācijas materiāla blīvums neatbilst tabulā minētajam diapazonam, tā izmantošana šādā veidā nav pieļaujama.

48. Labojuma koeficienta $\Delta\lambda_w$ vērtības apvērsta jumta konstrukcijām, kuru siltumizolācijai izmantots ekstrudēts putu polistirols (XPS) vai tā rievotas plāksnes, kuras pārklātas ar filtraudumu, noteiktas šī būvnormatīva pielikuma 4.tabulā. Apvērtais jumts ir tāds jumts,

kurā siltumizolācijas slānis novietots virs hidroizolācijas slāņa.

49. Aprēķina siltumvadītspēju izmanto, nosakot būvelementa aprēķina siltuma caurlaidības koeficienta U_i vērtību.

50. Reglamentētajā sfērā lietojamiem būvmateriāliem un būvizstrādājumiem, kuru atbilstība nav apliecināta kā siltumizolācijas materiāliem saskaņā ar Ministru kabineta 2001.gada 30.aprīļa noteikumiem Nr.181 "Būvizstrādājumu atbilstības novērtēšanas kārtība reglamentētajā sfērā", aprēķina siltumvadītspēju Δd nosaka saskaņā ar šī būvnormatīva pielikuma 7.tabulu.

VII. Būvelementu siltuma inerces

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

51. Būvelementa siltuma inerces D aprēķina, izmantojot formulu (9):

$$D = \sum S_i / U = \sum R_i S_i, \text{ kur}$$

S_i - būvelementa siltumapgaves koeficients $W/(m^2 \times K)$;

R_i - būvelementa aprēķina siltumpretestība

$(m^2 \times K)/W$, ko nosaka, izmantojot formulu (10):

$$R_i = 1/U_i (m^2 \times K)/W \quad (10)$$

52. Būvelementa siltumapgaves koeficientu S_i aprēķina, izmantojot formulu (11):

$$S_i = 0,27 \sqrt{\lambda p(0,001c + 0,04w)} W/(m^2 \times K), \text{ kur} \quad (11)$$

λ - būvmateriāla vai siltumizolācijas materiāla siltumvadītspēja $W/(m \times K)$;

Q - būvmateriāla vai siltumizolācijas materiāla blīvums (kg/m^3) ;

c - būvmateriāla vai siltumizolācijas materiāla īpatnējā siltumietilpība $J/(kg \times K)$;

R - būvmateriāla vai siltumizolācijas materiāla svara mitrums procentos $(kg/kg) \times 100$, ko nosaka saskaņā ar šī būvnormatīva pielikuma 5.tabulu.

53. Lielumi λ , Q un c dažādiem būvmateriāliem un siltumizolācijas materiāliem noteikti šī būvnormatīva pielikuma 6. un 7.tabulā. Dažu būvmateriālu un siltumizolācijas materiālu svara mitrums procentos siltuma inerces aprēķiniem noteikts šī būvnormatīva pielikuma 5.tabulā. Siltumizolācijas materiāliem, kuru aprēķina siltuma vadītspēju λ d nosaka saskaņā ar šo būvnormatīvu, inerces aprēķinos $\lambda = \lambda$ d.

54. Būvelementa siltuma inerces D izmanto apkures un ventilācijas sistēmu jaudas aprēķinos saskaņā ar Latvijas būvnormatīvu LBN 231 "Ēku apkure un ventilācija".

VIII. Norobežojošo konstrukciju energoefektivitātes rādītāji

55. Būvprojektā norāda ēkas kopējos siltumenerģijas zudumus $E_{\Sigma G}$ kilovatstundās (kWh) un īpatnējo siltuma zudumu koeficientu e_G kilovatstundās uz kvadrātmetru (kWh/m^2) normatīvā gada laikā. Aprēķināto ēkas īpatnējo siltuma zudumu koeficientu e_G izmanto projektētās ēkas energosertifikāta sastādīšanā.

56. Ēkas kopējos siltumenerģijas zudumus kilovatstundās (kWh) gada laikā nosaka, izmantojot šādu formulu:

$$E_{\Sigma G} = H_T \times T_{gd} \times 24 \times 10^{-3}, \text{ kur} \quad (12)$$

H_T - ēkas aprēķina siltuma zudumu koeficients vatos uz grādu (W/K);

T_{gd} - normatīvais grāddienu skaits būvvieta viena gada apkures periodā, ko nosaka, izmantojot šādu formulu:

$$T_{gd} = \sum D \times (\Theta_i - \Theta_e), \text{ kur} \quad (13)$$

$\sum D$ - apkures dienu skaits būvvieta, ko nosaka saskaņā ar Ministru kabineta 2001.gada 23.augusta noteikumiem Nr.376 "Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-01 "Būvklimatoloģija";

Θ_i - iekštelpu temperatūra $^{\circ}C$;

Θ_e - ārgaisa vidējā temperatūra $^{\circ}C$ apkures periodā, ko nosaka saskaņā ar Ministru kabineta 2001.gada 23.augusta noteikumiem Nr.376 "Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-01 "Būvklimatoloģija".

57. Ēkas īpatnējo siltuma zudumu koeficientu e_G kilovatstundās uz kvadrātmetru (kWh/m^2) nosaka, izmantojot šādu formulu:

$$e_G = E_{\Sigma G} / L, \text{ kur} \quad (14)$$

L - ēkas kopējā apkurināmā platība (m^2).

(Ar grozījumiem, kas izdarīti ar MK 26.09.2006. noteikumiem nr.791)

Pielikums

Latvijas būvnormatīvam LBN 002-01

"Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika"

(apstiprināts ar Ministru kabineta

2001.gada 27.novembra noteikumiem Nr.495)

Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents s_d membrānmateriāliem

1.tabula

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

2.tabula

Labojuma koeficients $\Delta\lambda_w$ W/(m x K) būvelementos lietojamiem siltumizolācijas materiāliem un izstrādājumiem atkarībā no siltumizolācijas darba apstākļiem
(Ministru kabineta 27.07.2004. noteikumu nr.621 redakcijā)

Nr. p.k	Siltumizolācijas materiāla vai izstrādājuma nosaukums, gaisa caurlaidības īpatnējā pretestība vai blīvums	Siltumizolācijas darba apstākļi		Piemērojamais standarts
		ventilēts būvelements $\Delta\lambda_w$ (W/mK)	neventilēts būvelements $\Delta\lambda_w$ (W/mK)	
1	2	3	4	5
1.	Minerālvates (akmens vate, stikla vate) izstrādājumi ar $R_a \leq 6 \text{ kPa} \times \text{s} \times \text{m}^{-2}$	0,006	0,008	LVS EN 13162:2003
2.	Minerālvates (akmens vate, stikla vate) izstrādājumi ar $R_a > 6 \text{ kPa} \times \text{s} \times \text{m}^{-2}$	0,001	0,002	LVS EN 13162:2003
3.	Brīvi bērtā minerālvate ar $R_a \leq 6 \text{ kPa} \times \text{s} \times \text{m}^{-2}$	0,008	nedrīkst lietot	
4.	Brīvi bērtā celulozes šķiedra (ekovate) $\rho > 25 \text{ kg/m}^3$ ($R_a > 6 \text{ kPa} \times \text{s} \times \text{m}^{-2}$)	0,008	nedrīkst lietot	
5.	Celulozes šķiedra ar hidromehanizēto iestrādi $\rho = 35-75 \text{ kg/m}^3$ ($R_a > 6 \text{ kPa} \times \text{s} \times \text{m}^{-2}$)	0,008	0,02	
6.	Ekstrudēta putupolistirola (XPS) plāksnes	0,001	0,002	LVS EN 13164:2003
7.	Fenola un karbamida-formaldehīda putuplasta plāksnes	0,02	0,03	LVS EN 13166:2003
8.	Gāzbetons $r \leq 400 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,02	LVS EN 771-4:2006+A1
9.	Gāzbetons $400 < \rho \leq 600 \text{ kg/m}^3$	0,03	0,04	LVS EN 771-4:2006+A1
10.	Gāzbetons $\rho > 600 \text{ kg/m}^3$	0,07	0,08	LVS EN 771-4:2006+A1
11.	Niedru plāksnes $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,035	nedrīkst lietot	
12.	Perhlorvinila putuplasta loksnes	0,012	0,015	
13.	Uzputota polistirola (EPS) plāksnes	0,003	0,004	LVS EN 13163:2004
14.	Putu ģipsis $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$	0,07	0,08	
15.	Putupoliuretāns un putupoliuretāna plāksnes	0,012	0,015	LVS EN 13165:2003
16.	Salmu plāksnes (ar šķidrā stikla saistvielu) $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$	0,045	nedrīkst lietot	
17.	Fibrolīta plāksnes	0,002	0,003	LVS EN 13168:2002+AC
18.	Arbolīta plāksnes	0,015	0,017	

19.	Keramzītbetons $400 < \rho \leq 600$	0,01	0,02	LVS EN 771-3:2006+A1
20.	Keramzītbetons $600 < \rho \leq 800$	0,025	0,045	LVS EN 771-3:2006+A1
21.	Keramzītbetons $800 < \rho \leq 1000$	0,05	0,07	LVS EN 771-3:2006+A1 LVS
22.	Kūdras plāksnes $200 \leq \rho \leq 300$	0,015	0,02	
23.	Kokšķiedru un kokskaidu plāksnes $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,015	nedrīkst lietot	LVS EN 13171:2003
24.	Kokšķiedru un kokskaidu plāksnes $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	0,11	nedrīkst lietot	LVS EN 13171:2003
25.	Putustikls $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,025	LVS EN 13167:2003
26.	Putustikls $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$	0,035	0,04	LVS EN 13167:2003

Piezīme. Ventilētās gaisa šķirkārtās siltumizolācijas materiālus no ārpusē 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, kuros gaisa plūsmas ātrums virs siltumizolācijas materiāla nav lielāks par 0,5 m/s.

3.tabula

Labojuma koeficients $\Delta\lambda_w$ W/(m x K) paaugstināta mitruma apstākļos dažāda blīvuma ρ (kg/m³) siltumizolācijas materiāliem, kuri tieši saskaras ar grunti
(Ministru kabineta 2006.gada 26.septembra. noteikumu nr.621 redakcijā)

Nr.p.k.	Izolācijas materiāls	Vienpusējai saskarei ar grunti $\Delta\lambda_w$	Divpusējai (abpusējai) saskarei ar grunti $\Delta\lambda_w$	Piemērojamais harmonizētais standarts
1.	Gāzbetons $r = 300-600 \text{ kg/m}^3$	0,02-0,04	nedrīkst lietot	
2.	Keramzītbetons $\rho = 400-600 \text{ kg/m}^3$	0,01-0,02	nedrīkst lietot	
3.	Keramzīta bērums $\rho = 200-400 \text{ kg/m}^3$	0,05-0,06	0,06-0,07	
4.	Minerālvate $\rho \geq 100 \text{ kg/m}^3$	0,005	0,01	LVS EN 13162:2003
5.	Uzputots polistirols (EPS) $\rho \geq 30 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02	LVS EN 13163:2004
6.	Ekstrudēts putupolistirols (XPS) $\rho \geq 25 \text{ kg/m}^3$	0,002	0,004	LVS EN 13164:2003"

4.tabula

Labojuma koeficients $\Delta\lambda_w$ W/(m x K) paaugstināta mitruma apstākļos ekstrudēta putupolistirola (XPS) plāksnēm, kuru blīvums $Q = 25-40$ kg/m³ un kuras atrodas apvērstā jumtā

Nr. p.k.	Konstrukcijas veids	$\Delta\lambda_w$ (W/mK)
1.	Atklāta ventilēta virsma:	
1.1.	viens ekstrudēta putupolistirola (XPS) slānis un grants uzbērums	0,001
1.2.	divi ekstrudēta putupolistirola (XPS) slāņi un grants uzbērums	0,003
2.	Slēgta neventilēta virsma:	
2.1.	jumta terases ar ekstrudēta putupolistirola (XPS) siltumizolāciju un uzbūrtu melnzemi	0,008
2.2.	ekstrudēta putupolistirola (XPS) izolācija zem bruģējuma	0,008
2.3.	ekstrudēta putupolistirola (XPS) izolācija zem betona seguma autostāvvietās	0,008

5.tabula

Dažādu būvmateriālu un siltumizolācijas materiālu svara mītrums R procentos siltuma inerces aprēķināšanai

Nr. p.k.	Materiāls	Svara mītrums ω (%)
1.	Putupolistirols (EPS)	10
2.	Putupoliuretāns	5
3.	Dzelzsbetons	3
4.	Keramzītbetons	10
5.	Izdedžu betons	8
6.	Gāzbetons	12
7.	Java	4
8.	Ķieģeļu mūris	4
9.	Skujų koki	20
10.	Ozols	15
11.	Kokskaidu plātnes	12
12.	Smiltis	2
13.	Keramzīts	3
14.	Izdedži	4

6. tabula

Siltumizolācijas materiālu un būvmateriālu siltumtehniskie raksturlielumi un aprēķina vērtības

Nr. p.k.	Materiāls	Blīvums ρ_0 (kg/m ³)	Mītrums gaisā relatīvajā mitrumā 50 % un 23 °C temperatūrā $w_{23,50}$ (kg/kg)	Mītrums gaisā relatīvajā mitrumā 80 % un 23 °C temperatūrā $w_{23,80}$ (kg/kg)	Mītruma konversijas koeficients f_u	Īdens tvaika pretestības faktors μ	Īpatnējā siltumcīpība c J/(kg x K)
1.	Putupolistirols (EPS)	10-50	0,01	0,01	0,1	60	1450
2.	Ekstrudētais putupolistirols (XPS)	20-65	0,001	0,0015	0,1	150	1450
3.	Putupoliuretāna plātnes	28-55	0,02	0,03	0,3	60	1400
4.	Fenola putuplasti	20-50	0,02	0,03	0,2	50	1400
5.	Stikla vate	10-120	0,004	0,005	2,5	1	1030
6.	Akmens vate	15-200	0,004	0,005	2,5	1	1030
7.	Putustīkls	100-150	0	0	0	106	1000
8.	Perlīta plātnes	140-240	0,02	0,03	0,8	5	900
9.	Korka plāksnes	90-160	0,05	0,07	1,0	10	1560
10.	Fenola un karbamīda-formaldehīda putuplasti	10-30	0,1	0,15	0,7	2	1400
11.	Izpūstas poliuretāna putas	10-30	0,02	0,03	0,3	60	1400
12.	Koka vate ar šķidro stiklu	30-150	0,12	0,2	1,0	5	1600
13.	Koka vate ar cementu	250-450	0,06	0,1	1,0	5	1470
14.	Koksķiedru plāksne (mīkstā)	150-250	0,1	0,16	1,5	10	1400
15.	Beramā stikla vate	15-60	0,004	0,005	2,5	1	1030
16.	Beramā akmens vate	20-60	0,004	0,005	2,5	1	1030
17.	Beramā celulozes šķiedra (ekovate)	20-60	0,11	0,18	0,5	2	1600
18.	Beramais putupearlīts	30-150	0,01	0,02	3	2	900
19.	Beramais keramzīts	200-400	0	0,001	4	2	1080
20.	Beramais putupolistirols (daliņas)	10-30	0,01	0,02	0,2	2	1400
21.	Māla ķieģeļi	1000-2400	0,006	0,01	10	16	1000
22.	Kalcija silikāts	1000-2000	0,006	0,012	4	20	1000
23.	Betons ar pumeka pildījumu	500-1300	0,025	0,045	2,6	50	1000
24.	Betons ar blīvēm pildījumiem	1600-2400	0,011	0,018	6,4	150	1000
25.	Rūpnieciski ražots akmens	1600-2400	0,011	0,018	6,4	150	1000
26.	Betons ar putupolistirola pildījumu	600-1200	0,06	0,10	3	120	1000
27.	Betons ar keramzīta pildījumu	400-700	0,02	0,03	2,6	6	1000

7.tabula

**Būvmateriālu un citu materiālu siltumtehnisko raksturlielumu
aprēķina vērtības**

Nr. p.k.	Materiālu grupa	Materiāls	Blīvums ρ_0 (kg/m ³)	Siltum- vadītspēja $\Delta\lambda$ W/(m × K)	Īpatnējā siltum- ietilpība c J/(kg × K)	Ūdens tvaika pretestības faktors μ
1	2	3	4	5	6	7
1.	Metāli	alumīnijs	2700	220	890	∞ (106)
		dūralumīnijs	2800	160	880	∞ (106)
		misiņš	8400	120	380	∞ (106)
		bronza	8700	65	380	∞ (106)
		varš	8900	370	380	∞ (106)
		mazoglekļa tērauds	7900	75	450	∞ (106)
		čuguns	7500	50	450	∞ (106)
		lēģētais tērauds	7800	50	450	∞ (106)
		stiegrojuma tērauds	7850	58	480	∞ (106)
		nerūsējošais tērauds	7900	17	460	∞ (106)
		svins	11300	35	130	∞ (106)
		cinks	7100	110	380	∞ (106)
2.	Koks un materiāli uz tā bāzes	viendabīgs koks	150	0,07	1610	40
			300	0,10	1610	40
			500	0,13	1610	40
			1000	0,24	1610	40
		saplāksnis	150	0,07	1610	400
			300	0,10	1610	400
			500	0,13	1610	400
			1000	0,24	1610	400
		kokskaidu plātne	300	0,10	1700	50
			500	0,14	1700	50
			700	0,18	1700	50
		kokskaidu plātne ar cementa saistvielu	1200	0,23	1500	50
		koksšķiedru plātne	400	0,09	1700	10
			600	0,15	1700	10
			800	0,18	1700	10
		presētais kartons	1000	0,23	2300	10
		papīrs	1000	0,27	2300	-

1	2	3	4	5	6	7
		gofrētais kartons	650	0,18	2300	7
3.	Ģipsis	ģipsis	600	0,18	1000	10
			1500	0,54	1000	10
		ģipškartons	900	0,25	1050	10
4.	Java	normāla mūrjava, iejaukta būvobjektā	1800	0,9	1100	10
5.	Betoni	lietie betoni ar šķembām vai oļiem	1600	0,7	1080	100
			2400	2,0	1060	130
		dzelzsbetons	2500	2,0	840	100
		māls ar salmiem	800	0,4	1260	-
		skaidbetons	800	0,3	1460	2
			1000	0,4	1520	2,5
		izdedžbetons	1400	0,93	840	30
6.	Akmeņi	bazalts	2700-3000	3,5	860	10000
		granīts	2500-3000	2,8	800	10000
		smilšakmens	2000-2500	2,0	860	40
		kalņakmens	2000-2500	2,5	870	200
		dolomīts	2400	2,2	880	10
7.	Augsnes	māls	1200-1800	1,5	1670-2500	-
		smiltis un grants	1700-2200	2,0	910-1180	-
8.	Ūdens, ledus, sniegs	ūdens (10 °C)	1000	0,6	4187	-
		ledus (0 °C)	900	2,2	2000	-
		sniegs (svaigs) < 30 mm	100	0,06	2000	-
		sniegs (svaigs) 30-70 mm	200	0,12	2000	-
		sniegs (nedaudz nosēdies) 70-100mm	300	0,23	2000	-
		sniegs (stipri nosēdies) > 200 mm	500	0,70	2000	-
9.	Apmetumi	cementa-perlīta	1000	0,3	840	4
		cementa-izdedžu putupolistirols (XPS)	1400	0,7	840	6
		ģipša-perlīta	600	0,25	840	4
		ģipša	1300	0,65	840	6
		kalķu-smilšu-cementa	1700	0,9	840	6
		kalķu-smilšu	1600	0,8	840	5
		polimērcementa	1800	1,0	840	10
10.	Stikli	kvarca stikls	-	1,4	700	∞ (106)
		stikla mozaīka	2000	1,2	1000	∞ (106)
		parastais logu stikls	2500	1,0	720	∞ (106)
11.	Gāzes	gaiss	1,23	0,025	1008	1
		argons	1,7	0,017	519	1

1	2	3	4	5	6	7
		kriptons	3,56	0,009	245	1
		ksenons	5,90	0,0055	160	1
		oglekļa dioksīds(CO2)	1,95	0,014	820	1
12.	Plastmasas, cietas (bez porām)	akrila	1050	0,20	-	10000
		polikarbonātu	1200	0,21	1200	5000
		PTFE	2200	0,23	1000	10000
		cietais polivinilhlorīds (PVC)	1390	0,18	900	50000
		polivinilhlorīds (PVC) ar 40 % mikstinātāju	1200	0,14	1000	50000
		polietilēns, augsta blīvuma (HD)	980	0,40	1800	100000
		polietilēns, zema blīvuma (LD)	920	0,32	2100	100000
		polistirols	1050	0,18	1300	100000
		poliacetāts	1410	0,30	1400	100000
		fenolfomaldehīds	1400-1800	0,3-0,7	1200	-
		polipropilēns	910	0,22	1700	10000
		EPDM	1150	0,20	1000	6000
		PMMA (akrilāts)	1180	0,18	1500	-
		poliuretāns	1200	0,25	1800	6000
		poliamīds	1130	0,25	1700	-
13.	Silikoni	tīrs silikons	1000-1050	0,25-0,35	1000	5000
		pildīts silikons	1300-1450	0,35-0,5	1000	5000
14.	Gumija	poliisobutilēns	920	0,13	1130	-
		butils (karsti kausēts)	1200	0,24	-	200000
		neoprēns	1240	0,23	2140	-
		porgumija	60-80	0,04	1500	7000
15.	Stiklojuma distanceri	butīla cietā gumija	-	0,24	-	200000
		poliesterā sveķi	1,4	0,19	1200	200000
		silikagels	-	0,13	-	-
		silikona putas	-	0,12	-	-
16.	Blīvēšanas materiāli	neilons	1140	0,23	1700	-
		uretāns (šķidr)	-	0,3	-	-
		silikona putas	-	0,12	-	-
		elastīgais vinils	-	0,12	-	-
		elastīgā porgumija	70	0,05	-	-
		polietilēna putas	36	0,06	2300	100
17.	Jumta pārklājumi	asfalts	2100-2300	0,7	1500	50000
		bitums	1000	0,13	1000	50000
		ruberoīds	1100	0,23	1000	50000
		māla dakstiņi	1900	0,9	900	10
		betona dakstiņi	2100	1,4	1000	50

1	2	3	4	5	6	7
18.	Grīdas pārklājumi	linolejs	1300	0,17	1400	5000
		korķa linolejs	500-700	0,10	1300	1500
		paklājgrīdas	-	0,07	-	5
		plastkāti un gumija	1200-1700	0,17-0,27	1400	10000
19.	Pilnkieģeļu mūris	keramikas ķieģeļi	1800	0,81	880	10
		cementa-smilšu java				
		silikātķieģeļi	1800	0,87	880	10
20.	Dobo ķieģeļu mūris	cementa-smilšu java				
		keramikas ķieģeļi	1600	0,64	880	15
		1400 kg/m3 bruto cementa-smilšu java				
		keramikas ķieģeļi	1400	0,58	880	15
		1300 kg/m3 bruto cementa-smilšu java				
		keramikas ķieģeļi	1200	0,52	880	15
		1000 kg/m3 bruto cementa-smilšu java				
		silikātķieģeļi	1500	0,81	880	15
		cementa-smilšu java				
		silikātķieģeļi	1400	0,76	880	15