



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

## **PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts promocijas padomē „RTU P-12” 2013. gada 13. decembrī 12:00 Rīgā, Āzenes ielā 16/20, Būvniecības fakultātes sēžu zālē.

### **OFICIĀLIE RECENZENTI**

Profesors, LZA akadēmiķis Dr.habil.sc.ing. Egils Dzelzītis, (Rīgas Tehniskā universitāte)

Profesors, LZA akadēmiķis Dr.habil.sc.ing. Pēteris Šipkovs, (Fizikālās Enerģētikas Institūts)

Profesors Dr.sc.ing. Genādijs Šahmenko (Rīgas Tehniskā universitāte)

### **APSTIPRINĀJUMS**

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Jeļena Pšeničnaja .....(Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, un secinājumus, literatūras sarakstu, 57 zīmējumus un 34 tabulas, kopā 100 lappuses. Literatūras sarakstā ir 100 nosaukumi.

## ANOTĀCIJA

Apkures sistēmas ar iebūvētiem sildķermeņiem ir aktuāli izmantošanai gadījumos, kad objektos ir paaugstinātas higiēniskās prasības apkures sistēmām un/vai kombinācijās ar zemas temperatūras siltuma avotiem.

Zemas temperatūras apkures sistēmas ir iepriekš padziļināti pētījuši tādi zinātnieki, D. Pertaš, B. A. Missenars, W. Olesen, J. Babiak, R. Bean. Ģeotermālas enerģijas izmantošanu Latvijā, kā arī enerģētisko sistēmu optimizāciju, iepriekš pētījuši tādi zinātnieki, kā E. Dzelzītis, A. Freimanis, I. Gavēna, P. Šipkovs, A. Krēsliņš, I. Škapare.

Promocijas darba gaitā tika izpētīti un reālos apstākļos novērtēti zemas temperatūras apkures sistēmas ar sienās iebūvētiem sildķermeņiem. Iegūtie rezultāti ļaus pielietot šo sistēmu efektīvi un lietderīgi, veicinot iekštelpu mikroklimata komforta līmeņa paaugstināšanu.

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt metodoloģiju apkures sistēmu ar iebūvētiem sildķermeņiem konstruktīvu risinājumu aprēķināšanai pie zemas temperatūras siltuma avotiem.

Mērķa sasniegšanai tika izvirzīti sekojoši uzdevumi: izvērtēt esošo normatīvo bāzi sienās iebūvēto sildķermeņu uzstādīšanas jomā, sagatavot aprēķinu metodiku, piedāvātās aprēķinu metodikas aprobēšana praktiskajos eksperimentos. Ekonomiski pamatojot iebūvētas apkures sistēmas rentabilitāti, sistēma salīdzināta ar tradicionālām apkures sistēmām pie dažādiem siltuma avotiem, izvērtētas siltumsūkņu sistēmas un ģeotermālās enerģijas izmantošanas iespējas, kā varbūtēji siltuma avoti zemas temperatūras apkures sistēmai ar iebūvētiem sildķermeņiem.

Promocijas darba ietvaros veiktie pētījumi balstīti uz teorētiskiem aprēķiniem un praktiskiem eksperimentiem, veiktiem uz eksperimentālā stenda, SGŪTI RTU klimatiskā kamerā un eksperimentāla sildķermeņa dzīvojama mūra ēkā. Promocijas darba zinātniskā novitāte ir vertikālās virsmās iebūvēto sildķermeņu parametru matemātiskā modelēšana, izmantojot eksperimentāli iegūtos datus, aprēķinu metodiku padarot precīzu un reāliem apstākļiem atbilstošu. Promocijas darbā veiktie pētījumi un izstrādātā, ērti praksē pielietojamā vertikālās virsmās iebūvēto sildķermeņu parametru aprēķināšanas metodika, kā arī darba secinājumi, ir praktiski pielietojami projektēšanas organizācijām, projektējot optimāli tehniski un ekonomiski pamatotas apkures sistēmas būvējot un modernizējot esošās apkures sistēmas.

Promocijas darba rezultāti ir ziņoti 13 reizes Starptautiskās Zinātniskās konferencēs un tie atspoguļoti 10 publikācijās. Promocijas darbs sastāv no 5 nodaļām un tā apjoms ir 100 lapaspuses, kurās ietverti 57 attēli, 24 tabulas. Darbā izmantoti 100 literatūras avoti.

IEVADS .....	3
1. ZEMAS TEMPERATŪRAS APKURES SISTĒMU APRĒĶINU METODOLOĢIJAS IZSTRĀDĀŠANA .....	5
2. PIEDĀVĀTĀS SILDĶERMENŪ APRĒĶINU METODOLOĢIJAS EKSPERIMENTĀLA APROBĀCIJA .....	10
4. ZEMAS TEMPERATŪRAS APKURES SISTĒMU EKONOMISKĀS EFEKTIVITĀTES APRĒĶINS.....	17
SECINĀJUMI .....	18

## IEVADS

Mūsdienās, kā sabiedriskās ēkās, tā arī dzīvojamās mājās ir plaša apsildāmo grīdu uzstādīšanas pieredze sanitārās telpās un koplietošanas platībās. Bet pietiekošas pieredzes sildķermeņu uzstādīšanā sienās nav. Metodikas mērķa skaidrai saprašanai promocijas darbā uzmanība tika pievērsta esošai likumdošanai telpas iekšēja klimata jomā. Veicot kritisko apskatu tika konstatēts, ka normatīvā metodikā netiek apskatīti gadījumi, kad sildķermeņi ir iebūvēti starpsienās, kas ir viens no promocijas darbā apskates aspektiem. Kā arī netiek atspoguļota sienu materiāla ietekme uz siltuma plūsmas radītājiem. Šie uzdevumi tika izpildīti izveidotā aprēķinu metodikā, kā rezultātā sienās, kurās ir iebūvēts sildķermenis, siltumtehnisko un konstruktīvo parametru sakarības ļauj novērtēt sistēmas efektivitāti. Praktiskā eksperimenta ietvaros laboratorijā tika izgatavoti dažāda blīvuma betona bloki ar iebūvēto sildķermeni un pieslēgti eksperimentālajam stendam, ar reģipša plāknēm nosegtiem sildķermeņiem tika mērītas virsmu temperatūras SGŪTI RTU klimatiskā kamerā, dzīvojama mūra ēka, ārējā sienā tika izvietots eksperimentālais sildķermenis. Tika nomērītas sildķermeņa virsmas, ārēja un iekšēja gaisa temperatūras, kas atļāva secināt par metodikas veiksmīgo aprobāciju.

Piedāvāju izmantot izstrādāto metodiku apkures sistēmu projektēšanas organizācijām. Izstrādāti priekšlikumi par normatīvo dokumentu papildināšanu. Tika aprakstītas iespējas izmantot zemas temperatūras apkures sistēmas ar sienās iebūvētiem sildķermeņiem kombinācijā ar tādiem siltuma avotiem, kā tradicionālas katlu mājās darbojošās uz dabasgāzes, siltumsūkņiem un ģeotermālas stacijas sistēmām, kas izmanto zemes dziļu siltumu Latvijas ģeotermālas anomālijas zonā.

### **Promocijas darba mērķis:**

Izstrādāt apkures sistēmu konstruktīvos risinājumus pie zemas temperatūras siltuma avotiem.

### **Darba uzdevumi:**

1. Izstrādāt zemas temperatūras apkures sistēmu aprēķinu metodoloģiju;
2. Eksperimentāli aprobēt piedāvāto sildķermeņu aprēķinu metodoloģiju;
3. Izstādāt sildķermeņu konstrukciju aprēķinu metodiku;
4. Izvērtēt zemas temperatūras apkures sistēmas ekonomisko efektivitāti.

### **Pētījumu metodika un līdzekļi**

Promocijas darba gaitā tika novērtēta esošā likumdošanas un normatīvā bāze. Tika piedāvāta apkures sistēmu aprēķiniem nepieciešamo izejas datu klasifikācija, saistībā ar termiskā komforta līmeņa noteikšanu. Papildinot esošos aprēķina paņēmienus tika izveidota kalkulācijas programma, kuru pielietojot projektēšanas organizācijas pārstāvis var noteikt siltumplūsmu no vertikālās virsmās iebūvētiem sildķermeņiem, kas izgatavoti no dažāda materiāla, leņķa faktora koeficientu un telpas virsmu rezultējošo izstarojuma temperatūru cilvēka plānojamā ilglaicīgā atrašanās vietā. Praktiskā eksperimenta ietvaros laboratorijā tika izgatavoti dažāda blīvuma betona bloki ar iebūvēto sildķermeni un pieslēgti eksperimentālam stendam, ar reģipša plāknēm nosegtiem sildķermeņiem virsmas tika mērītas temperatūras SGŪTI RTU klimatiskā kamerā, dzīvojama mūra ēka, ārējā sienā tika izvietots eksperimentālais sildķermenis. Tika nomērītas sildķermeņa virsmas, ārēja un iekšēja gaisa temperatūras, kas atļāva secināt par metodikas veiksmīgo aprobāciju.

### **Darba zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti**

Promocijas darba gaitā ir izstrādāta metodoloģija apkures sistēmu ar iebūvētiem sildķermeņiem konstruktīvo risinājumu aprēķināšanai pie zemas temperatūras siltuma avotiem. Piedāvātā metodoloģija tika aprobēta eksperimentāli.

### **Darba praktiskā nozīme**

Promocijas darba gaitā ir izstrādāta ērti praksē pielietojama vertikālās virsmās iebūvēto sildķermeņu parametru aprēķināšanas metodika. Izstrādātā metodika ir piedāvāta izmantošanai projektēšanas organizācijām optimāli tehniski un ekonomiski pamatotai apkures sistēmu projektēšanai.

Izpētīts un reālos apstākļos novērtēts zemas temperatūras apkures sistēmas ar sienās iebūvētiem sildķermeņiem lietderīgums praktiskajam pielietojumam. Tika noteiktas iebūvētā sildķermeņa siltumtehnisko parametru sakarības un procentuāli paradīti sienas elementu datu ietekme uz siltumplūsmas, virsmas temperatūras un rezultējošās izstarojuma temperatūras

radītājiem. Pēc izstrādātās metodikas ir salīdzināti dažādi sildķermeņu konstruktīvie risinājumi un ir iedotas rekomendācijas praktiskam pielietojumam par iebūvētu sildķermeņu konstruktīvo risinājumu noformējumu un to iespējamo pielietojumu periodiskās apkures sistēmās.

Tika pārbaudīta apkures sistēmas ar sienās iebūvētiem sildķermeņiem ekonomiskā rentabilitāte dažādiem siltuma avotiem, kā arī augstāk minētā sistēma ir salīdzināta ar apkures sistēmu ar tradicionāliem sildķermeņiem.

## **1. ZEMAS TEMPERATŪRAS APKURES SISTĒMU APRĒĶINU METODOLOĢIJAS IZSTRĀDĀŠANA**

Apkures sistēmas, iebūvētās grīdas, griestu vai sienu konstrukcijās, ir centrālas apkures sistēmas tips, kas ļauj kontrolēt iekšējā gaisa parametrus un sasniegt termālo komfortu izmantojot vadītspēju, konvekciju un izstarojumu.

Konstatēts, ka zemas temperatūras apkures sistēmu lietošana sabiedriskās ēkās un dzīvojamās mājās ir ierobežota tikai ar apsildāmām grīdām, jo nav pietiekošas pieredzes sildķermeņu uzstādīšanai sienās, kā arī normatīvos netiek apskatīti gadījumi, kad sildķermeņi ir iebūvēti starpsienās un nav ērti praksē pielietojamas metodikas apkures sistēmas aprēķiniem. Promocijas darbā ir piedāvāta apkures sistēmu aprēķiniem nepieciešamo izejas datu klasifikācija, saistībā ar termiskā komforta līmeņa (termiskās vides kritēriji un indeksi), noteikšanu objektā.

Nepastāvēja vispusējas pieejas pie sildķermeņu iebūvēto vertikālās virsmās aprēķinu metodikas. Atsevišķi tika rēķināta iebūvētā sildķermeņa siltumplūsma, bet uzmanība netika pievērsta ietekmei uz rezultējošo izstarojuma temperatūru un komforta zonām telpā.

Izveidojot aprēķinu programmu, kas sastāv no 3 daļām, projektētājam ir iespējas: aprēķināt siltumplūsmu no sildķermeņa un noteikt nepieciešamo iebūvēto sildķermeņu laukumu objektā (1.daļa); izmantojot virsmas temperatūras aprēķinu programmu noteikt komforta zonu telpā un rezultējošo izstarojuma temperatūru (2. un 3. daļas). Projektējot zemas temperatūras virsmu apkuri ir jārēķinās ar to, ka atkarībā no izvietojuma, virsmām ir dažādi siltuma ietilpības koeficienti, pieņemamas virsmu temperatūras un siltuma ietilpība.

Zemas temperatūras apkures sistēmas tiek būvētas divos veidos:

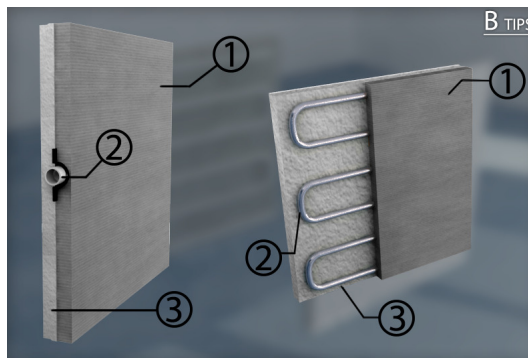
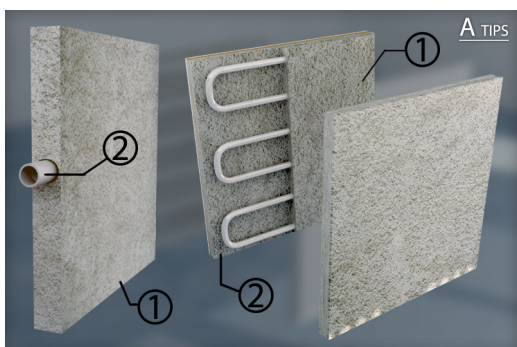
### **A tipa sistēma: apkures sistēmas caurules iebūvētas izlīdzinošā klonā vai betonā**

Šāda veida sistēma ar caurulēm, ieklātām betonā vai izlīdzinošā klonā ir visizplatītākais virsmu apkures veids, kurš tiek pielietots daudzās Eiropas valstīs. Apkures sistēmas

cauruļvadi ir pilnīgi iemontēti betonā un pārvada siltumu no siltuma nesēja aģenta uz izstarojošo virsmu. (1.1 att.).

**B tipa sistēma: apkures sistēmas caurules iebūvētas ārpus izlīdzinošā klonā vai betonā (piemēram, izolācijas slānī)**

Siltumnesēja caurules ir iebūvētas siltuma izolācijas slānī (attēls 1.2). Horizontāla siltuma pārnese ir ierobežota ar sistēmas plāksni. Temperatūras izplatīšanas palielināšanai pielieto siltuma vadīšanas elementus. Siltuma vadīšanas plāksnes darbojās efektīvi, ja viņas ir cieši savienotas starp caurulēm un siltuma vadīšanas ierīcēm.



Att. 1.1 A veida sistēma: caurules iebūvētas izlīdzinošā klonā vai betonā

Att. 1.2 B veida: caurules iebūvētas ārpus izlīdzinošā klonā vai betonā (izolācijas slānī)

Izmantojot izstrādāto projektēšanas aprēķinu programmas 1. daļu var secināt par sildķermeņa, sienas materiāla sastāva un konstruktīvā risinājuma ietekmi uz siltumplūsmas radītājiem. Izvēlētoties **A tipa sistēmu**, apkures sistēmu projektētājs ievada aprēķinu programmā tādus datus, kā sienas virskārtas slāņa biezums, m ( $s_U$ ); attālums starp cauruļu centriem, m ( $T$ ); un cauruļu ārējo diametru, m ( $D$ ).

Siltuma plūsmas blīvums no sildķermeņa tiek noteikta sekojoši:

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_D^{m_D} \cdot a_U^{m_U} \cdot \Delta\theta_H \quad (1.1)$$

Tādas vērtības, kā virsmas pārklājuma siltuma vadāmības pretestība ( $R_{\lambda,B}$ ), betona siltuma vadāmība ( $\lambda_E$ ), cauruļu ārējā diametra koeficients ( $a_D$ ), cauruļu centru attāluma koeficients ( $\alpha_T$ ) un virsmu pārklājuma koeficients ( $\alpha_U$ ) ir atkarīgas no siltumvadāmības pretestības un attāluma starp cauruļu centriem. Augšminētie koeficienti ir tabulārie dati. Esošā aprēķinu metodikā netika ņemti vērā dažāda blīvuma betonu radītāji. Izstrādātā projektēšanas programmā siltuma vadāmības radītāju tabula tika papildināta ar siltuma vadāmības betona datiem ar blīvumu  $1500\text{kg/m}^3$  un  $3700\text{kg/m}^3$ , kas savukārt būtiski ietekmē koeficientu izvēli un kā rezultātā ietekmē siltuma plūsmas radītājus. Koeficients ( $B$ ),  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$  atbilst sistēmas vertikālām izvietojumam telpā.

Tādi parametri, kā virsmas pārklājuma koeficients ( $\alpha_B$ ), cauruļu intervāla koeficients ( $m_T$ ), pārklājuma biezuma faktors ( $m_U$ ) un koeficients, kas izsaka cauruļu diametru ( $m_D$ ) tiek aprēķināti.

Virsmas pārklājuma koeficientu  $\alpha_B$ , tiek noteikts pēc formulas:

$$\alpha_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{U,0}}{\lambda_{U,0}}}{\frac{1}{a} + \frac{S_{U,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} \quad (1.2)$$

Tādi radītāji, kā virsmas novietojuma koeficients, W/m<sup>2</sup>K ( $\alpha$ ), īpatnēja sienas virskārtas siltuma vadāmība ( $\lambda_{U,0}$ ), īpatnējs sienas virskārtas biezums, m ( $S_{U,0}$ ), virsmas pārklājuma siltuma vadāmības pretestība ( $R_{\lambda,B}$ ) un betona siltuma vadāmība ( $\lambda_E$ ) ir tabulāras vērtības.

Izmantojot sistēmā iepļānoto attālumu starp caurulēm ( $T$ ), cauruļu ārējo diametru ( $D$ ), klona biezumu virs apkures caurulēm ( $S_U$ ), aprēķina cauruļu intervāla koeficientu, pārklājuma biezuma faktoru un koeficientu, kas izsaka cauruļu diametru :

$$m_T = 1 - \frac{T}{0.075} \quad (1.3)$$

$$m_U = 100(0.045 - S_U) \quad (1.4)$$

$$m_D = 250(D - 0.020) \quad (1.5)$$

Siltuma nesēja diferenciālās temperatūras ( $\Delta\theta_H$ ) noteikšanai nepieciešams operēt ar tādiem radītājiem, kā turpgaitas vidējā temperatūra, °C; ( $\theta_V$ ), atpakaļgaitas vidējā temperatūra, °C; ( $\theta_R$ ), iekšējā gaisa operatīvā temperatūra, °C. ( $\theta_i$ ).

Siltuma nesēja diferenciālā temperatūra, kuru aprēķina sekojoši:

$$\Delta\theta_H = \left| \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln \frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}} \right| \quad (1.6)$$

Izvēloties **B tipa sistēmu**, apkures sistēmu projektētais ievada sistēma tādus datus, kā sienas virskārtas slāņa biezums, m ( $S_U$ ), attālums starp cauruļu centriem, m ( $T$ ), un cauruļu ārējo diametru, m ( $D$ ), siltuma pārvades iekārtas biezums, m ( $S_{WL}$ ).

Siltuma plūsmas blīvums no sildķermeņa tiek noteikta sekojoši:

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_U \cdot a_{WL} \cdot a_K \cdot \Delta\theta_H \quad (1.7)$$

Tādas vērtības, kā virsmas novietojuma koeficients,  $W/m^2K$ , ( $\alpha$ ), īpatnējs sienas virskārtas biezums, m ( $s_{U,0}$ ), īpatnējā sienas virskārtas siltuma vadāmība ( $\lambda_{U,0}$ ), attāluma starp caurulēm koeficients ( $\alpha_T$ ), korekcijas koeficients ( $\alpha_K$ ) ir tabulārie dati. Koeficients  $B = 6.7 W/(m^2K)$  atbilst sistēmas vertikālām izvietojumam telpā.

Tādi parametri, kā virsmas pārklājuma koeficients ( $a_U$ ), cauruļu intervāla koeficients ( $m_T$ ), siltuma pārvades koeficients ( $K_{WL}$ ), koeficients, kas izsaka cauruļu diametru ( $m_D$ ) un virsmas pārklājuma koeficients ( $\alpha_B$ ) tiek aprēķināti.

Virsmas pārklājuma koeficients ( $a_U$ ) tiek noteikts pēc formulas:

$$\alpha_U = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{U,0}}{\lambda_{U,0}}}{\frac{1}{a} + \frac{S_U}{\lambda_E}} \quad (1.8.)$$

Tādi radītāji, kā virsmas novietojuma koeficients,  $W/m^2K$  ( $\alpha$ ), īpatnēja sienas virskārtas siltuma vadāmība ( $\lambda_{U,0}$ ), īpatnējs sienas virskārtas biezums, m ( $s_{U,0}$ ), sienas virskārtas slāņa biezums, m ( $s_U$ ) un betona siltuma vadāmība ( $\lambda_E$ ) ir tabulāras vērtības.

Cauruļu intervāla koeficients ( $m_T$ ) tiek noteikts pēc formulas 1.3 .

Siltuma pārvades iekārtas koeficientu ( $K_{WL}$ ) nosaka pēc formulas:

$$K_{WL} = \frac{S_{WL} * \lambda_{WL} + b_U * S_U * \lambda_E}{0.125} \quad (1.9)$$

Siltuma pārvades iekārtas koeficientu ( $K_{WL}$ ) noteikšanā figurē tādi radītāji, kā siltuma pārvades iekārtas biezums, m ( $S_{WL}$ ), siltuma pārvades iekārtas siltuma vadāmība,  $W/(m^2K)$  ( $\lambda_{WL}$ ), koeficients ( $b_U$ ), sienas virskārtas slāņa biezums, m ( $s_U$ ) un betona siltuma vadāmība ( $\lambda_E$ ) ir tabulāras vērtības.

Funkcija no attāluma starp cauruļu centriem ( $T$ ), tiek noteikta sekojoši:

$$f(T) = 1 + 0.44 \sqrt{T} \quad (1.10)$$

Virsmas pārklājuma koeficients  $\alpha_B$ , tiek noteikts pēc formulas:

$$a_B = \frac{1}{1 + B \cdot a_u \cdot a_T^{m_T} \cdot a_{WL} \cdot a_K \cdot R_{\lambda,B} \cdot f(T)} \quad (1.11)$$

Tādi radītāji, kā sistēmas izvietojuma telpā koeficients ( $B$ )  $W/(m^2K)$  atbilst. Virsmas pārklājuma koeficientu ( $a_U$ ), attāluma starp caurulēm koeficients ( $\alpha_T$ ); cauruļu intervāla

koeficients ( $m_T$ ); siltuma pārvades koeficients ( $\alpha_{WL}$ ); korekcijas koeficients ( $\alpha_K$ ); virsmas pārklājuma siltuma vadāmības pretestība ( $R_{\lambda,B}$ ); funkcija no attāluma starp cauruļu centriem ( $f(T)$ ).

Siltuma pārvades koeficients ( $\alpha_{WL}$ ) ir tabulārais radītājs, kas ir atkarīgs no siltuma cauruļu diametra ( $D$ ) un siltuma pārvades iekārtas koeficienta ( $K_{WL}$ ) vērtības.

Siltuma nesēja diferenciālā temperatūra ( $\Delta\theta_H$ ) tiek rēķināta pēc formulas 1.6.

Kritēriji aprēķina metodes izvēlei un robežnosacījumi ir paradīti 1.1 tabulā.

1.1. tabula

Kritēriji aprēķina metodes izvēlei

Caurules novietojums	Sistēmas tips	Robežnosacījumi	Aprēķina metode
Iebūvētas izlīdzinošā klonā vai betonā	A	$T \geq 0.050 \text{ m}$ $s_v \geq 0.01 \text{ m}$ $0.008 \leq d \leq 0.03$ $s_U / \lambda_u \geq 0.01$	<p>Jaudas vienības funkcija</p> $q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_D^{m_D} \cdot a_U^{m_U} \cdot \Delta\theta_H$
Iebūvētas ārpus izlīdzinošā klonā vai betonā	B	$0.05 \leq T \leq 0.045 \text{ m}$ $0.014 \leq d \leq 0.022$ $0.01 \leq s_U / \lambda_u \leq 0.18$	<p>Jaudas vienības funkcija</p> $q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_U \cdot a_{WL} \cdot a_K \cdot \Delta\theta_H$

Uz telpas komforta līmeņa noteikšanu atteicas **rezultējošas izstarojuma temperatūras kalkulācijas programmas 3. daļa**, kur caur leņķa faktora noteikšanu var noteikt izstarojuma temperatūru dažādās telpas zonās, ņemot vērā cilvēka sēdošo vai stāvošo pozīciju un attālumu no sienas, kurā ir iebūvēts sildķermenis.

Esošā aprēķina metodikā nav aprēķinu paraugu sildķermeņa virsmas temperatūras noteikšanai. **Piedāvātas aprēķinu metodikas 2. daļā** es piedāvāju izmantot konstrukcijas termiskās pretestības tiešo proporcionalitātes tās biežumam un atgriezeniski proporcionalitātes tās materiāla siltuma vadāmības koeficientam principu sildķermeņa virsmas temperatūras noteikšanai. Sadalot konstrukciju slāņos, zinot to biežumu un siltuma vadāmības koeficientu nosaka temperatūras krituma līkni.

Siltumatdeves pretestība galvenokārt ir atkarīga no ārējiem faktoriem un no sienas virsmas materiāla. Termiskā pretestība ir atkarīga no sienas materiāla siltuma vadāmības un

no sienas struktūras. Konstrukcijas termiskā pretestība tieši proporcionāla tās biezumam un atgriezeniski proporcionālā tās materiāla siltuma vadāmības koeficientam.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \quad (1.12)$$

Esošā metodikā ir ieteikts izmantot grafikus lenķa koeficienta noteikšanai un uzmanība atsevišķi un detalizēti netiek pievērsta izstarojuma temperatūrai, es uzskatu, ka tās ir svarīgs faktors, tāpēc tika izstrādāta aprēķinu programmas **3 daļa: rezultējošas izstarojuma temperatūras kalkulators**.

Starojuma siltuma plūsmu siltuma apmaiņas nozīmē starp divām iekšējām virsmām ietekmē starošanas lenķa faktors starp siltuma izstarojošo virsmu  $i$  un virsmu/personu  $j$  un virsmas  $i$  emisija. Emisija ir atkarīga no tādiem faktoriem, kā temperatūra, starojuma lenķis un viļņa garums. Biežāk izmantotās siltuma starojošās virsmas var sasniegt emisiju 0,95, kas atbilst garo viļņu starojumam starp iekštelpu virsmām. Lenķa faktors attēlo ģeometriskās formas, izmēra (platības) un attāluma starp diviem objektiem (personu un telpas virsmu) savstarpēju attiecību. Lenķa faktoru summa starp personu un visām telpas virsmām ir vienāda ar 1.

Lenķa faktors starp sēdošu vai stāvošu personu un telpas virsmām ir aprēķināms sekojoši:

$$F_{p-N} = F_{\max} (1 - e^{-(a/c)/\tau}) \cdot (1 - e^{-(h/c)/\gamma}) \quad (1.12)$$

$$\tau = A + B(a/c) \quad (1.13)$$

$$\gamma = C + D(b/c) + E(a/c) \quad (1.14)$$

$$t_{mr} = t_1^4 F_{p-1} + t_2^4 F_{p-2} + \dots + t_N^4 F_{p-N} \quad (1.15)$$

kur  $t_{mr}$  izstarojuma temperatūra, °R (C°);  $t_N$  - virsmas temperatūra, °R (C°);  $F_{p-N}$  - lenķa faktors starp cilvēku un virsmu;  $F_{\max}$  - lenķa faktors, maksimālais;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - attālums no cilvēka pozīcijas līdz virsmām, m;  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  – tabulārie koeficienti.

## 2. PIEDĀVĀTĀS SILDĶERMEŅU APRĒĶINU METODOLOĢIJAS EKSPERIMENTĀLA APROBĀCIJA

Teorētiski aprēķināto virsmas temperatūru datu praktiskai pārbaudei reālos apstākļos tika veikti praktiskie mērījumi. Eksperimentu gaitā tika ielānots veikt virsmas temperatūras mērījumus: laboratorijas apstākļos izgatavoto betonu bloku uz eksperimentāla stenda, reģispša plāksnēm RTU SGŪTI klimatiskā kamerā un objektā, kur apkures sistēmas sildķermenis ir iebūvēts ārēja sienā. Tika ielānots novērtēt sildķermeņu uzsildīšanas un atdzesēšanas laiku.

Iegūtie virsmas temperatūras dati tika izmantoti rezultējošas temperatūras kalkulācijas programmā telpas komforta zonu noteikšanai. Eksperimenta ietvaros tika izgatavoti trīs veida betona bloki (0.6 x 0.6x 0.05m), kuros tika iebūvēta apkures sistēmas plastmasas caurule (diametrs 18mm), attālums starp caurulēm 300mm. Sistēma tiek pieslēgta pie elektriska ūdens sildītāja, turpgaitas temperatūra 40°C. (att.2.1)



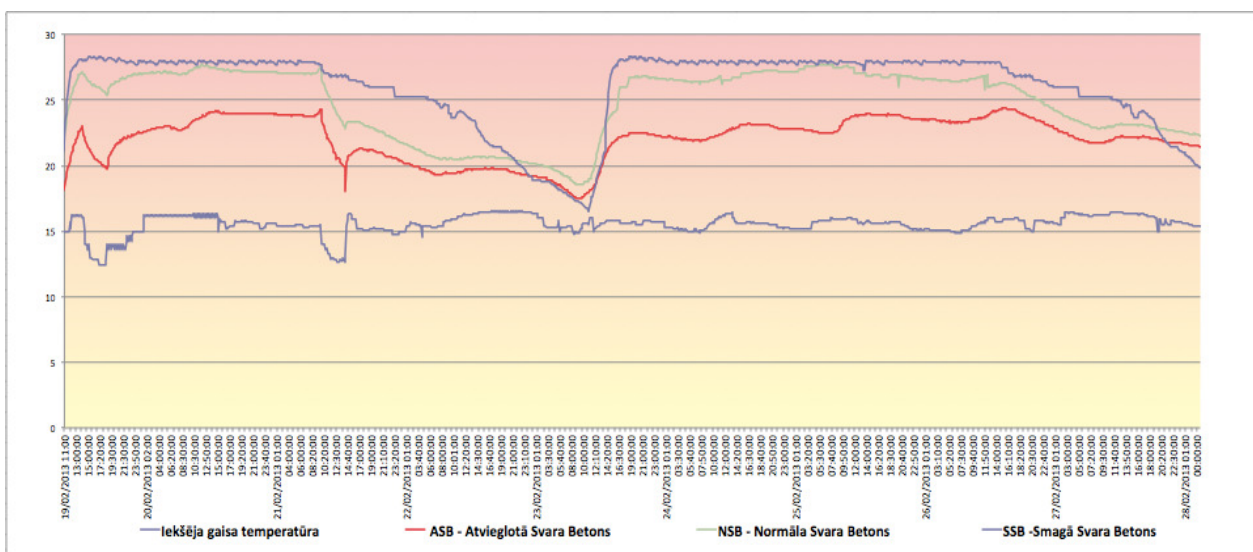
Att.2.1 Eksperimentālie bloki

Eksperimentālo bloku betona maisījuma tipi: **1. normāla svāra betons (NSB)**, ko tradicionāli izmanto būvniecībā. Tika izvēlēts tipiskais maisījuma sastāvs: cementa saturs 330 kg/m<sup>3</sup>, dabīgās smilts un dolomīta šķembas. **2. atvieglotā svāra betons (ASB)**, kur keramzīts tika izmantots kā atvieglotā betona pamatkomponents. Šim betona tipam ir raksturīga samazināta siltuma vadītspēja un zemāka siltumietilpības vērtība. **3. īpaši smaga svāra betons (SSB)**, kur maisījuma sastāvā ir dabīgās smilts un metālpārstrādes rūpniecības atkritumu elementi (tērauda riņķīši) kā smagais sastāva komponents. Šim betona veidam ir raksturīgas palielināta siltuma vadītspējas vērtība un siltumietilpības vērtība. Visi betona maisījumi tika izgatavoti laboratorijā. Maisījuma darbība tika kontrolēta un optimizēta ar plastificējošā aģenta izmantošanu.

Pēc iegūto mērījumu rezultātiem bija iespējams aprobēt promocijas darba gaitā izstrādāto virsmas aprēķinu un izmantot tos programmas 3. daļā: rezultējošas temperatūras kalkulatorā.

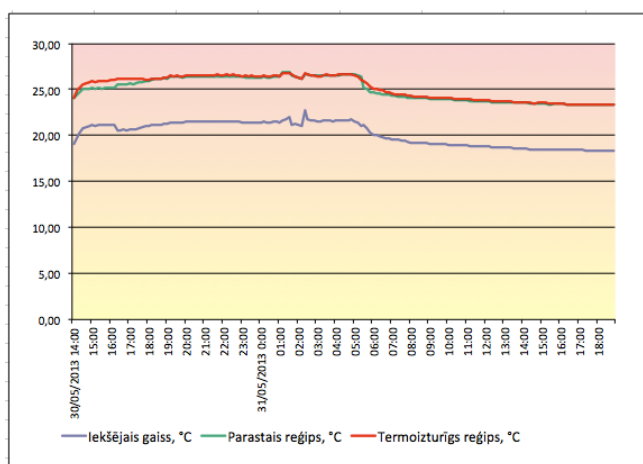
Attēlā 2.2 grafiski ar līkņu kritumiem ir parādīts dažāda betona sastāva bloku virsmas uzsildīšanas un atdzesēšanas procesi. Blokiem virsmas darba temperatūra tiek sasniegta laika robežās no 5 st. 20 min līdz 9 st. 5 min. Blokiem virsmas atdzesēšanas process notiek laika

robežās no 60 st. 45 min līdz 69 st. 55 min. Veicot datu kopsavilkumu var secināt, ka virsmas temperatūra darba režīmā NSB blokam par 1-2°C zemāk un ASB blokam par 5-6°C zemāk nekā SSB blokam 28°C.



2.2 att. Virsmas temperatūru dati dažādiem bloku veidiem

Termoizturīga un parasta režipša plāksnes tiek sasildītas līdz darba temperatūrai 26°C 4 stundu laikā. Parastā režipša plāksnei uzsilšana notiek vienmērīgāk visu 4 stundu laikā. (Att. 2.3) salīdzinājumā ar termoizturīgo režipsi. Abu režipša tipu atdzesēšanas laiks sastāda 7 stundas.



2.3 att. Virsmas temperatūru dati dažādiem režipša veidiem

Ārsienas izolācijas kārtā tika iebūvēts zemas temperatūras apkures sistēmas sildķermenis ar apmetuma virskārtu, eksperimentāla pārbaude notika esošā piecstāvu dzīvojamā mūra ēkā. Kondensācijas tipa gāzes kombinētais katls ir siltuma avots dotā sistēmā. Dotā sistēma atbilst A sistēmas tipam, pēc kurā arī veikti teorētiskie aprēķini. Attēlos 2.4 un 2.5 ir parādītas objekta fotoattēlos un termogrāfijas. Attēlā 2.7 ir parādīta sienas ar

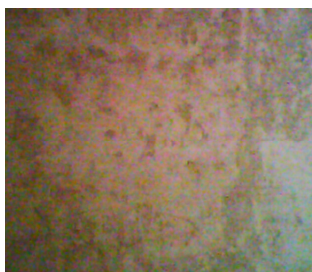
iebūvētu zemas temperatūras apkures sistēmas sildķermeņi fotogrāfija. Veicot termogrāfiju (Att.2.8 un 2.9) ir redzami sildķermeņa cauruļvadi darbā režīma pie siltumnesēja temperatūras 40 °C.



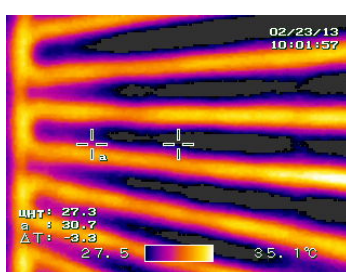
2.4 att. Dzīvojamās mājas fotogrāfija



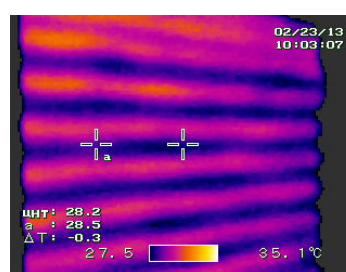
2.5 att. Dzīvojamās mājas termogrāfija



2.6 att. Eksperimentāla sildķermeņa fotogrāfija



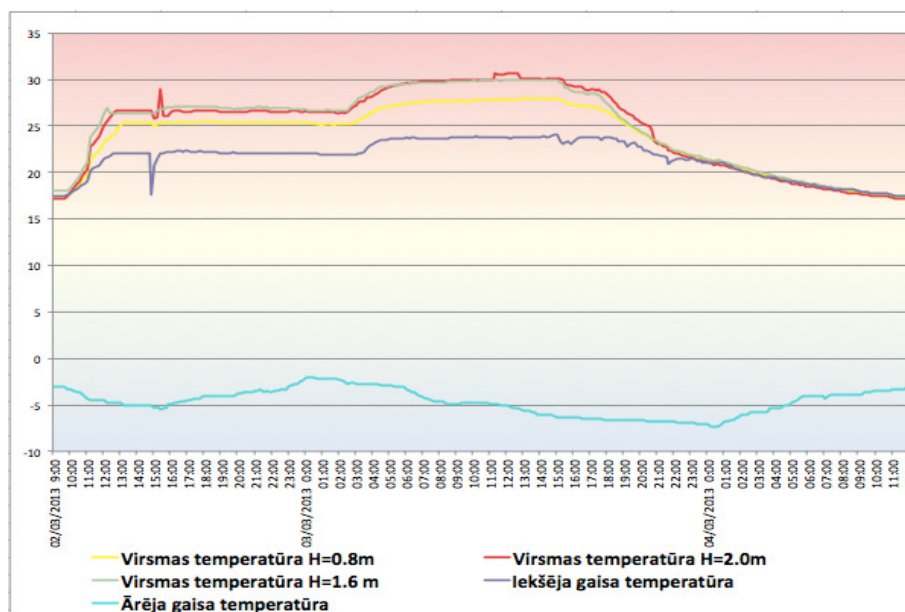
2.7 att. Eksperimentāla sildķermeņa termogrāfija



2.8 att. Eksperimentāla sildķermeņa termogrāfija

Virsmas temperatūras datu nolasišanai tika izmantots 4 kanālu virsmas termometrs PCE-T390, tips K/J/R/E/T/S, (kalibrējums W13015557). Ārējas temperatūras datu iegūšanai tika izmantots mitruma un temperatūras reģistrators KTH 300 A ar darba temperatūru diapazonu -25 + 70 °C. Termogrāfija tika veikta ar termokameru MIKRON mikro SHOT B ar darba temperatūru diapazonu -25 +100 °C.

Tika parādīti dati par veiktajiem mērījumiem ziemas periodā dzīvojamās istabas sienas dažādos augstumos. Ar virsmas temperatūras mēraparātu tika noņemti dati par sienas virsmas temperatūru dažādos augstumos, H=0.8m – guļoša cilvēka zona, H=1.6m – sēdošā cilvēka zona, H=2.0m – zona virs cilvēka galvas. Grafiski ir parādīts laiks, kurā sistēma sasildās un sasilda gaisa temperatūru līdz iedzīvotāju komforta līmenim, kā arī tika parādīts kādā laikā sistēma atdzist un iekšēja gaisa temperatūra krīt līdz iedzīvotājiem nekomfortablai temperatūrai.



2.6 att. Virsmas temperatūru dati eksperimentāla objektā

Veicot datu kopsavilkumu, var secināt, ka iekšējais gaiss tiek sasildīts no 17 °C līdz 22°C pēc sistēmas ieslēgšanas brīža, atkarībā no interesējošas cilvēka darbības zonas, laika robežās no 3 st. 30 min. līdz 4 st. 15min. Var atzīmēt, ka virsmas temperatūras radītāji pacēlās no minimāliem līdz darba temperatūrām laika posma robežās no 3st. 30 min līdz 4 st. 15 min. Sistēma sāk atdzīst, bet gaisa radītāji paliek pieļaujamā komforta robežās (līdz 21°C) 10 stundas. Sistēmas pilns atdzīšanas laiks (līdz sākotnējiem radītājiem 17°C, kas nav komforta apstākļi iemītniekiem) ir 21 stunda.

### 3. SILDĶERMEŅU KONSTRUKCIJAS APRĒĶINU METODIKA

**Izstrādāta projektēšanas aprēķinu programmas 1. daļa ir orientēta uz siltumplūsmas noteikšanu no vertikālās virsmās iebūvētiem sildķermeņiem, kas izgatavoti no dažāda blīvuma betona, noslēgti ar reģipša plāksnēm vai apmetuma kārtu.**

Siltuma plūsmas kalkulācijas programmā aprādājot dažādus sildķermeņa konstruktīvus risinājumus. **A tipa (eksperimenta gaita izgatavoti bloki)** sistēmām tika secināts kā:

Pie vienādām apkures sistēmas siltumnesēja padeves un atgaites temperatūrām, iekšēja gaisa vienādām temperatūras un vienādiem konstruktīviem datiem siltumplūsma no normāla svāra betona bloka ir par 21,9% augstāka salīdzinot ar atvieglota svāra betonu bloku. Smagā svāra betona bloka siltumplūsma ir par 22,9% augstāka salīdzinot ar atvieglota svāra betonu bloku. Palielinot sistēmas siltumnesēja turpgaitas un atpakaļ gaitas temperatūras starpību no 5 °C līdz 10°C siltumplūsma samazinās par 14%. Palielinājot sistēmas siltumnesēja turpgaitas temperatūru, pie turpgaitas un atpakaļ gaitas temperatūras starpību no 5 °C siltumplūsma palielinās uz 26%. Nomainot sienas virsmas pārklājumu biezumu samazinot to no 0.02 m uz 0.01m siltumplūsmas pieaugums sastādīs 4%. Attālumu samazināšana starp cauruļu

centriem no 0.3m līdz 0.15m ietekme sistēmas koeficientus un faktorus, rezultātā siltumplūsmu padarot to uz 50 % lielāku.

**B tipa sistēmām ( ar reģipša plāksnes nosēgts sildķermenis, apmētuma kārtā).** tika secināts kā: Pie vienādām apkures sistēmas siltumnesēja padeves un atpakaļ gaitas temperatūrām, iekšēja gaisa vienādām temperatūras un vienādiem konstruktīviem datiem siltumplūsma no reģipša sienas virsmas ir par 12% lielāka salīdzinot ar ugunsdrošu reģipša plāksnes virsmu. Sienai ar apmētuma pārklājumu siltumplūsma salīdzinājuma ar ugunsdrošu reģipša plāksnes virsmu ir par 16.9% lielāka. Attālumu samazināšana starp cauruļu centriem no 0.3m līdz 0.15m ietekme sistēmas koeficientus un faktorus, rezultātā siltuma plūsmu padarot to uz 39 % lielāku. Nomainot siltumiekārtas materiālu, materiāls starp izolācijas kārtu un apkures cauruli, pret materiālu ar labākiem siltuma vadāmības parametriem, var ietekmēt siltumplūsmu līdz par 80% palielinājot to. Šo sakarību var izmantot pie augstas nepieciešamībās telpu atsevišķās zonās. Nomainot sienas virsmas pārklājumu biezumu samazinot to no 0.02 m uz 0.01m siltumplūsmas palielinājums sastādīs 10.2%. Palielinot sistēmas siltumnesēja turpgaitas un atgaitas temperatūras starpību no 5 °C līdz 10°C siltumplūsma samazinās par 10.2% Palielinot sistēmas siltumnesēja turpgaitas temperatūru, pie turpgaitas un atgaitas temperatūras starpības no 5 °C siltumplūsma palielinās uz 25%

**Izstrārojuma rezultējošas temperatūras kalkulācijas programmā,** tika aprēķinats telpas komforta atstākļu zonējums vairākos gadījumos. Izstrādāta tabula var būt izmantojama praktiskos aprēķinos. Kalkulācijas programmā, ir iespēja noteikt leņķa faktoru koeficientu un visu telpas virsmu rezultējošo izstarojuma temperatūru cilvēka plānojamā ilglaicīgā atrašanās vietā. Projektēšanas organizācijas pārstāvim ir iespēja ievadīt kalkulācijas programma telpas izmērus un cilvēka prognozējamo ilglaicīgu atrašanās vietu tajā, kā arī prognozētas telpas virsmu temperatūru. Kalkulācijas programma sarēķinās leņķa faktoru konkrētām objektam un parādīs izstarojuma temperatūru, ar ko projektētājs varēs operēt pie darbavietu vai citām vajadzībām nepieciešamo telpu plānojuma (Att. 3.1, 3.2).

## Izstarojuma temperatūras aprēķins

Sienas ar iebūvēto sildķermeni temperatūra C°									
		23	24	25	26	27	28	29	30
	Personas attālums no apsildāmas sienas (m)	Starojuma temperatūra C°							
		Sēdoša persona	0,50	20,36	20,88	21,43	22,00	22,59	23,19
1,00	20,04		20,48	20,95	21,44	21,95	22,49	23,04	23,61
1,50	19,77		20,15	20,54	20,97	21,41	21,88	22,37	22,87
2,00	19,56		19,87	20,21	20,58	20,96	21,37	21,80	22,25
2,50	19,39		19,66	19,95	20,26	20,60	20,96	21,33	21,73
3,00	19,25		19,48	19,73	20,01	20,30	20,61	20,95	21,30
3,50	19,14		19,34	19,56	19,80	20,06	20,33	20,63	20,94
...	...		...	...	...	...	...	...	...
7,50	18,52		18,60	18,70	18,80	18,91	19,03	19,17	19,32
Stavoša persona	0,50	20,03	20,60	21,20	21,81	22,44	23,09	23,75	24,43
	1,00	19,58	20,08	20,60	21,15	21,72	22,30	22,90	23,52
	1,50	19,19	19,63	20,09	20,57	21,08	21,60	22,14	22,70
	2,00	18,71	19,07	19,45	19,86	20,29	20,73	21,20	21,69
	2,50	18,63	18,96	19,32	19,70	20,09	20,51	20,95	21,41
	3,00	18,29	18,56	18,85	19,16	19,50	19,85	20,22	20,61
	3,50	18,29	18,54	18,81	19,11	19,43	19,76	20,12	20,49
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	7,50	18,00	18,10	18,21	18,33	18,47	18,62	18,78	18,96

Izveidojot kalkulācijas programmu sildķermeņa virsmas temperatūras noteikšanai konstrukcija ir sadalīta slāņos un izmantots princips par termiskās pretestības tiešo proporcionalitāti slāņa biezumam un atgriezenisko proporcionalitāti slāņa materiāla siltuma vadāmības koeficientam. Faktiskie dati par virsmas temperatūrām nomērītiem eksperimentu gaitā ir salīdzināti ar teorētiski aprēķinātiem.

Projektēšanas organizācijas pārstāvim ir iespēja ievadīt kalkulācijas programmā apkures sistēmas datus, sienas sastāvu un konstrukcijas datus, kā arī gaisa parametrus un iegūt sienas iebūvēto sildķermeni virsmas temperatūru. Aprēķināta virsmas temperatūra ļauj precīzi operēt starojuma temperatūras kalkulācijas programmā, kas savukārt palīdz noteikt komforta zonu. Tabulā 3.3, kur ir parādīts virsmas temperatūras aprēķinu piemērs var būt izmantojamā

praksē. Tika aprēķinātas piecas dažāda stāva sienas ar iebūvēto sildķermeni pie turpgaitas parametriem 35, 40 un 45°C, pie iekšēja gaisa temperatūras robežās no 5°C līdz 18°C.

Tabula Nr. 3.3

Virsmas temperatūras aprēķinu piemērs

Apkārtēja gaisa temperatūra	Smagā svara betona bloks			Normālā svara betona bloks			Atvieglotā svara betona bloks			Reģipša plāksne			Apmetums		
	Sienā iebūvētā sildķermeņa turpgaitas temperatūra, C °			Sienā iebūvētā sildķermeņa turpgaitas temperatūra, C °			Sienā iebūvētā sildķermeņa turpgaitas temperatūra, C °			Sienā iebūvētā sildķermeņa turpgaitas temperatūra, C °			Sienā iebūvētā sildķermeņa turpgaitas temperatūra, C °		
	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45
18	25,25	27,16	29,06	25,11	26,99	28,86	23,27	24,65	26,04	21,76	22,75	23,74	23,51	24,97	26,42
17	25,01	26,92	28,83	24,86	26,74	28,61	22,82	24,21	25,59	21,16	22,15	23,14	23,09	24,55	26,00
16	24,78	26,68	28,59	24,61	26,48	28,36	22,38	23,76	25,15	20,55	21,54	22,53	22,68	24,13	25,58
15	24,54	26,45	28,35	24,36	26,45	28,11	21,93	23,32	24,70	19,95	20,94	21,93	22,26	23,71	25,16
14	24,30	26,21	28,12	24,11	25,98	27,85	21,49	22,87	24,26	19,34	20,33	21,32	21,84	23,29	24,74
...	....	....	...	...	...	...	....	...	....	....	....	....	....	.....	....
5	22,17	24,08	25,98	21,85	23,72	25,59	17,48	18,86	20,25	13,91	14,90	15,89	18,06	19,51	20,96

Veikto aprēķinu rezultātā tika noteikts virsmas izstarojuma temperatūras izmaiņu soļa gradients dažādām sienas tipiem. Gradients rāda virsmas izstarojuma temperatūras izmaiņu pie apkārtējās vides gaisa paaugstināšanas uz 1°C . Gradients vērtība ir lineāri atkarīga no sienu materiāla siltuma vadāmības koeficienta; Koeficientu vērtības: smagā svara betonam – 0.24; normālā svara betonam – 0.25; Atvieglota svara betons – 0.44; reģipša plāksnei – 0.60; apmētuma kārtai – 0.

#### 4. ZEMAS TEMPERATŪRAS APKURES SISTĒMU EKONOMISKĀ EFEKTĪVITĀTES APRĒĶINS

Apkures sistēmu rentabilitātes aprēķināšanai ka paraugs tika izvēlēta biroja ēka, nepieciešama siltumenerģijas jauda 40kW, gada kopējais siltuma patēriņš apkures vajadzību nodrošināšanai ir 90 MWst/ gadā. Apkures sistēmas sildķermeņu tipa un siltuma avota ietekmes noteikšanai uz sistēmas efektivitāti, metodikai tika izvēlēti sekojošie sistēmu

varianti: 1. Sienās iebūvētie sildķermeņi ar siltumsūkni, kā siltuma avotu ; 2. Sienās iebūvētie sildķermeņi ar gāzes kondensācijas tipa katlu 3. Radiatori ar siltumsūkni, kā siltuma avotu, 4. Radiatori ar gāzes kondensācijas tipa.

Siltuma sūkņa darbības parametru modelēšanai tika izmantota siltumsūkņu ražotāja kompānijas Junkers izstrādātā specializētā programma VPW200. Tabulā ir jāievada objekta pamatdatus lai programma aprēķinātu sistēmas nepieciešamus parametrus.

#### Finansiālās rentabilitātes izvērtējums

Sistēmu finansiālo rentabilitāti var noteikt izmantojot sekojošus instrumentus: atmaksāšanās likme (ARR); atmaksāšanās periods (AP). ARR atmaksāšanās likme ir vidējā tīrā gada ietaupījums attiecībā pret kapitālieguldījumiem.  $\sum_{t=1}^N CF_t$  kopējas izmaksas;  $\sum_{t=1}^N A_t$  - siltumenerģijas patēriņu

$$ARR = \frac{\sum_{t=1}^N CF_t}{N} - \frac{\sum_{t=1}^N A_t}{N} \quad (4.1)$$

Izvērtējot un salīdzinot zemas temperatūras apkures sistēmas variantus (1. un 3. gadījumi) pēc atmaksāšanas likmes metodikas, sistēma ar siltumsūkni kā siltumavotu ir par 32% efektīvākā salīdzinājumā ar zemas temperatūras apkures sistēmu ar gāzes kondensācijas katlu kā siltumavotu.

Atmaksāšanās periods ir laika posms, kas nepieciešams, lai kopējais tīrais ietaupījums (IE) pirms vērtības krišanās kļūtu vienāds ar kapitālieguldījumiem (K).

$$IRR = \frac{PV}{K}, \quad (4.2)$$

Veicot ekonomisko analīzi, tika secināts ka 1. variants ir visizdevīgākais, kaut arī kapitālieguldījumi ir visnozīmīgākie, siltumenerģijas izmaksu ziņā tas ir ekonomiski izdevīgākas risinājums. Divkārt īsākais atmaksāšanas periods ir aprēķina 1.variantam, savukārt 3. varianta garāks atmaksāšanas periods ir saistīts ar energoresursu izmaksām.

#### **SECINĀJUMI**

Konstatēts, ka zemas temperatūras apkures sistēmu lietošana sabiedriskās ēkās un dzīvojamās mājās ir ierobežota tikai ar apsildāmām grīdām, jo nav pietiekošas pieredzes sildķermeņu uzstādīšanai sienās. Izstrādātas aprēķinu metodoloģijas eksperimentāla aprobācija ir veikta trīs dažāda blīvuma betona sildķermeņiem; ar režģīša plāknēm un apmētuma kārtu nosēgti sildķermeņiem. Veicot datu kopsavilkumu, var secināt, ka virsmas temperatūra darba režīmā NSB blokām par 1-2°C zemāk un ASB blokām par 5-6°C zemāk

nekā SSB blokām 28°C. Dažāda sastāva betona bloku: virsmas uzsilšanas periods no minimālas temperatūras līdz darba temperatūrai ir laikā robežās no 5 līdz 9 stundām; atdzišanas periods no darba temperatūras līdz minimālai temperatūrai ir laikā robežās no 60 līdz 72 stundām. Veicot datu kopsavilkumu no eksperimentāla objekta, virsmas uzsilšanas periods no minimālas temperatūras līdz darba temperatūrai ir laikā robežās no 3 st. 30 min līdz 4 st. 15 min; atdzišanas periods no darba temperatūras līdz minimālai temperatūrai ir laikā robežās no 10 līdz 21 st. Augšminēti dati var būt izmantojami periodiskas apkures sistēmām.

Balstoties uz eksperimentāli aprobēto metodoloģiju ir piedāvāta projektēšanas organizācijām ērti lietojamas aprēķinu metodikas programmu un tabulu veidā. Pēc šīs metodika veikti aprēķinu piemēri rāda ka B tipa (sildķermenis pārklāts ar reģipša kārtu, apmetuma kārtā): Attālumu samazināšana starp cauruļu centriem no 0.3m līdz 0.15m ietekme siltuma plūsmu padarot to uz 39 % lielāku; Nomainot siltumiekārtas materiālu, var ietekmēt siltumplūsmu līdz par 80%; A tipa (eksperimenta gaita izgatavoti bloki) sistēmām tika secināts kā: normāla svara betona bloka ir par 21,9% augstāka salīdzinot ar atvieglota svara betonu bloku. Smagā svara betona bloka siltumplūsma ir par 22,9% augstāka salīdzinot ar atvieglota svara betonu bloku. Nomainot sienas virsmas pārklājumu biezumu samazinot to no 0.02 m uz 0.01m siltumplūsmas pieliecinājums sastādīs 4%. Attālumu samazināšana starp cauruļu centriem no 0.3m līdz 0.15m ietekme sistēmas koeficientus un faktoros, rezultātā siltumplūsmu padarot to uz 50 % lielāku

Apkures sistēmu rentabilitātes aprēķināšanas gaitā tika secināts ka sienās iebūvētie sildķermeņi ar siltumsūkni, kā siltuma avotu ir par 32% efektīvākā salīdzinājumā ar zemas temperatūras apkures sistēmu ar gāzes kondensācijas katlu kā siltumavotu, kā arī atmaksāšanas periods ir divkārt īsāks.

Kā perspektīvais resurss tika izskatīta ģeotermālas enerģija, jo Latvijas teritorijas nogulumiežu un kristāliskajā pamatklintājā ģeoloģiskās izpētes rezultātā iegūti dati par to potenciālu Ģeotermālas enerģijas nozares attīstībai ir būtiski nepieciešams izstrādāt nacionāla līmeņa ģeotermālās enerģijas izmantošanas attīstības stratēģiju.

## **Publikāciju saraksts:**

- 1) Psenichnaja J., Kreslins A. The potential of geothermal energy usage for district heating in Latvia // Proceedings of 10th REHVA World Congress „CLIMA 2010”, Antalya, Turkey, 9 – 12 May 2010. – 1 – 5 lpp.
- 2) Psenichnaja J., Kreslins A., Ikaunieks A. The Energy Efficient Heat Pump System for Office Building in Baltic Region // Proceedings of the 12th International Conference of Indoor Air Quality and Climate “Indoor Air 2011”, US, Austin, Texas, 5-10 June 2011. - 1 – 6 lpp.
- 3) Psenichnaja J., Kreslins A. The potential of geothermal energy usage for district heating in Latvia // Proceedings of the 12th International Conference of Indoor Air Quality and Climate “Indoor Air 2011”, US, Austin, Texas 5-10 June 2011. - 1–6 lpp.
- 4) Krēsliņš A., Pšeničnaja J., Gaujēna B. ”Evaluation of working parameters of radiant heating systems” // Proceedings of 2nd WTA International PhD Symposium, Brno, Čehija, 06.-07.October 2011 “Building Materials and building Technology to preserve the Built Heritage – 196-205 lpp.
- 5) Pšeničnaja J., Gaujēna B. Evaluation of parameters of radiant heating systems // Raksts ir apstiprināts publicēšanai RTU Zinātnisko rakstu krājumā „Būvzinātne” Sējums. Nr. 13, 2012. – 41. – 46. lpp.
- 6) Ikaunieks A., Ivancovs D., Pšeničnaja J. „Ceiling panels radiant heating systems“// RTU Zinātnisko rakstu krājumā “Būvzinātne” 2012. 1 – 6 lpp. (Akceptēts publicēšanai)
- 7) Pšeničnaja J., „Evaluation of parameters of radiant heating systems”// Proceedings of International Scientific Conference “Renewable energy and energy efficiency”, Jelgava, Latvija, 28.-30.May 2012. - 212.lpp.
- 8) Pshenichnaya Y., Borodiņecs A., Zemītis J., Krēsliņš A. The potential of geothermal energy usage in Latvia // World Renewable Energy Forum, United States of America, Denver, 13 - 17 May 2012. - pp 1-4.
- 9) Krēsliņš A., Pšeničnaja J., Gaujēna B. „Ceiling panels radiant heating systems” // Healthy Building 2012 10th International Conference 08-12.July 2012 Brisbāna, Austrālija pp 1-6.
- 10) Pšeničnaja J., Ivancovs D., Gaujiena B., „Ceiling panels radiant heating systems”// XI. Studying Conference „Качество внутреннего воздуха и окружающей среды” Marts 2013, Hanoja, Vjetnama. 1 -5p.

