



Part-financed by the
European Union
(European Region
Development Fund)



Co₂olBricks



Research on thermal flow and humidity at architectural heritage building brick facades and energy audits in 10 buildings in Latvia

Project partner: PP15 Riga Technical university

Work package: WP4

Authors:

Prof. Dr.Sc.Ing. Andra Blumberga

MSc Gatis Žogla

BSc Miķelis Dzikēvičs

BSc Kristaps Zvaigznītis

MSc Ilze Palabinska

May, 2012

Saturs

Ievads	3
VĒSTURISKO ĶIEĢEĻU ĒKU NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU ENERGOEFEKTIVITĀTE.....	3
1. Pētāmo ēku izvēle.....	3
2. Izmērītā ēku siltumenerģijas patēriņa izpēte	6
3. Iegūtie mērījumi un to aprēķini	9
4. Aprēķinātā ēku siltumenerģijas patēriņa izpēte	15
5. Iegūtie ēku siltumenerģijas patēriņa aprēķini.....	20
6. Aprēķinu rezultātu un reālās situācijas analīze	23
7. Izmērītās siltumplūsmas analīze.....	24
8. Aprēķināto un izmērīto vērtību salīdzinājums	28
9. Rekomendācijas izstrādāšana Maskavas 8 ēkai	29
Secinājumi.....	38
Izmantotā literatūra	39
APKĀRTĒJĀS VIDES IETEKME UZ ĶIEĢEĻU MŪRIEM VĒSTURISKĀS ĒKĀS	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1. Pētījuma metodika.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2. Ūdenī šķīstošo sāļu noteikšana.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Paraugu ievākšana.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Ķieģeļu paraugu testēšana.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Sāļu paraugi.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3. Spiedes stiprības tests.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4. Ūdens uzsūces tests	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Testa veikšana	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5. Mitruma satura noteikšana	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Paraugu ievākšana.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Izmantotās iekārtas.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Parauga žāvēšana	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6. Nedestruktīvi mitruma satura mērījumi	Fehler! Textmarke nicht definiert.
7. Rezultātu analīze	Fehler! Textmarke nicht definiert.
8. Secinājumi.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Izmantotā literatūra	Fehler! Textmarke nicht definiert.
VĒSTURISKO ĶIEĢEĻU ĒKU ĀRSIENU SILTUMIZOLĀCIJĀ IZMANTOJAMIE MATERIĀLI	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1. Siltuma pārnese modelēšanas un higrtermisko modeļu izveides programmas	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2. Siltuma plūsmas mērījumi.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3. Eksperimenta stenda izveide	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4. Iegūtie dati un to analīze	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Uzputots polistirols, saspiesta un nesaspiesta akmens vate	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Perlīts un akmens vate.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Aerogels un akmens vate	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5. Secinājumi.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Izmantotā literatūra	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Pielikumi	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Ievads

Klimata pārmaiņas un globālā sasilšana ir atzītas par lielākajām un nopietnākajām problēmām, ar ko saskaras cilvēce šajā gadsimtā. Ir paredzams, ka šis process rada lielu sociālo, vides, ekoloģijas un ekonomisku zaudējumu. Šobrīd, pieaugot energoresursu cenām, pieaug arī vides katastrofu iespējamība. Tāpēc Pasaulē un arī Latvijā arvien aktuālāki paliek ēku energoefektivitātes jautājumi. Aktuāla ir ne vien videi draudzīgu māju būvniecība, bet arī esošo ēku energoefektivitātes paaugstināšana. Ēkas veido lielāko daļu enerģijas patēriņa un siltumnīcas efekta izraisīto gāzu emisiju Eiropas Savienībā. Līdz šim esošu ēku energoefektivitātes paaugstināšana saistās ar ekstensīvu un dārgu ēku siltināšanu, ēnā atstājot nelielus, bet efektīvus paņēmienus ēku energoefektivitātes uzlabošanai. Šādi energoefektīvi pasākumi ne vien saudzē energoresursus un samazina CO₂ izmešus, bet arī ietaupa naudas līdzekļus.

Ēku būvniecībā ķieģeļus lieto jau kopš seniem laikiem, un to kalpošanas ilgums parasti sniedzas vairākos gadsimtos. Dažādus laika periodus ir pārdzīvojis parastais māla ķieģelis. Daudzus gadsimtus tas ir bijis galvenais ēku un citu būvju sienu elements. Par to liecina vēl līdz mūsu dienām saglabājušās pils, nocietinājumi, baznīcas un citas būves.

Darba tēma aptver divas aktuālas jomas – energoefektivitāti un ķieģeļu ēku arhitektūras mantojumu. Ir svarīgi šos divus jautājumus risināt tā, lai iegūtais rezultāts vienlaikus atbilstu gan šodienas energoefektivitātes prasībām, gan sekmētu vēsturisko ēku saglabāšanu nākamajām paaudzēm.

Galvenais pētījuma mērķis ir reālo siltumenerģijas patēriņa datu analīze un salīdzināšana ar izmērītajiem siltuma caurlaidības rezultātiem, mitruma ietekmes noteikšana uz vēsturiskajām ķieģeļu ēkām, kā arī jauno siltumizolācijas materiālu testēšana ķieģeļu ēku energoefektivitātes paaugstināšanai.

Pētījuma ietvaros veikts 10 vēsturisko ķieģeļu ēku energoaudits un siltuma plūsmu mērīšana, kā arī mitruma noteikšana ķieģeļu ārsienās. Ēkas atrodas Rīgā, tās veido pilsētas vēsturisko apbūvi un ir celtas dažādos laika posmos. Tām ir dažāds lietojums. Energoauditi un mērījumi veikti sākoties apkures sezonai, t.i. ar 2011.gada 15.oktobri.

VĒSTURISKO ĶIEĢEĻU ĒKU NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU ENERGOEFEKTIVITĀTE

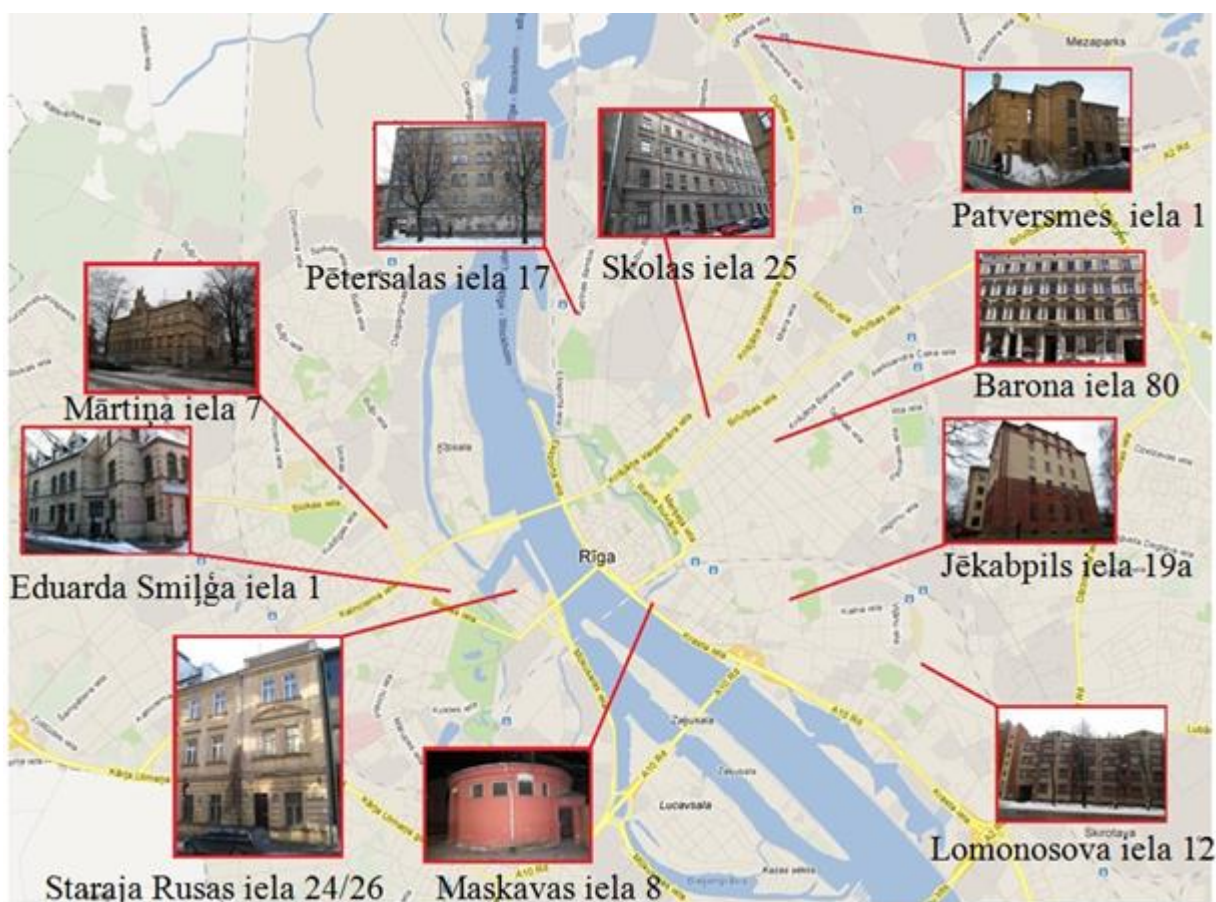
1. Pētāmo ēku izvēle

Sadarbībā ar projekta partneri (PP14) Rīgas domi, tika sagatavots sākotnējais ēku saraksts no kura tika izvēlētas 10 pētāmās ēkas. Galvenie izvēles kritēriji bija:

- Ēka būvēta līdz 1940.gadam;
- Ēkā ir centralizētā siltumapgādes sistēma;

- Ēkas ir Rīgas pašvaldības īpašums;
- Ēkā nav veikti būtiski energoefektivitātes pasākumi;
- Ēkas būvētas no dažādiem ķieģeļu veidiem;
- Ēkas atrodas dažādās Rīgas priekšpilsētās.

Turpmākajai izpētei tika izvēlētas ēkas, kas atbilst visiem iepriekš minētajiem kritērijiem un tās parādītas 1.attēlā. Tām ir dažādi ģeometriskie izmēri un atšķirīgs novietojums pret debess pusēm. Ēkas būvētas no keramiskajiem ķieģeļiem (Maskavas ielā 8 ēkas norobežojošā konstrukcija veidota no silikātu ķieģeļiem) ar lēzeniem četrslīpju vai divslīpju jumtiem, ar un bez balkoniem un ar stāvu skaitu no 2 līdz 5. Tuvu pilsētas centram ir sastopamas keramikas ķieģeļu un jaukta tipa daudzstāvu ēkas. Ēkas atrodas dažādās Rīgas priekšpilsētās- Austrumos, Ziemeļos, Pārdaugavā, Sarkandaugavā.



1.att. 10 Rīgas pašvaldības piederošās vēsturiskās ķieģeļu ēkas

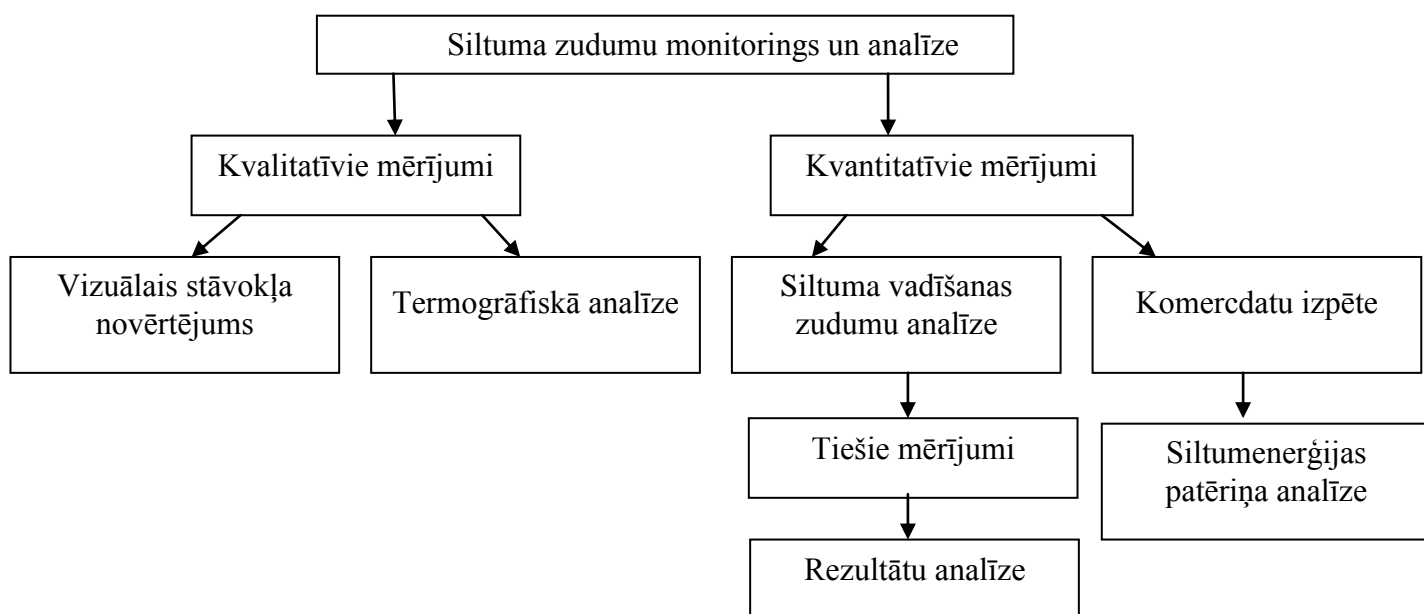
Ēku tehniskā apsekošana bija nepieciešama, lai novērtētu būvju, to daļu, kā arī iebūvēto būvizstrādājumu tehnisko stāvokļa apzināšanu un izvērtēšanu. Apsekošanas pamatā ir būves vispārīga vizuālā apskate, kuras laikā fiksē un novērtē redzamos būves bojājumus. Apskates rezultāti var būt kā pamats detalizētai būves un tās daļas vai iebūvēto būvizstrādājumu tehniskai izpētei.

Atkarībā no apsekošanas objekta specifikas- izpētei lieto atbilstošas metodes:

- ņem vērā ekspluatācijas organizāciju informāciju un izpildshēmas.
- veic ar apsekošanas objekta vai apsekošanas priekšmeta fiziskajām īpašībām saistītās darbības - veic uzmērīšanu un fotofiksāciju, kā arī citas nepieciešamās darbības;

- deformāciju novērtēšanai būves konstrukcijās veic plaisu attīstības dinamikas instrumentālos novērojumus (monitoringu);
- konstrukciju detalizētai izpētei apseko segto konstrukciju defektus un bojājumus;

Latvijā viens no būtiskākajiem enerģijas patērētājiem apkures sezonā ir ēkas. Pēdējos gados celtās ēkas pārsvarā atbilst Latvijā nesen pieņemtajam būvnormatīvam LBN 002-01 „Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika”, taču, apsekojot virkni agrāk celtu ēku, konstatēti būtiski siltuma izolācijas defekti. Tādēļ nepieciešams komplekss to siltuma zudumu monitorings un enerģijas patēriņa analīze, ko visefektīvāk var veikt, izmantojot zemāk parādīto shēmu (sk.2.att.).



2.att. Darbā izmantotās mērījumu metodes

Tiešie mērījumi

Noteikt siltuma zudumu raksturu kvalitatīvi un atrast būtiskus defektus ārējās norobežojošās konstrukcijās iespējams, izmantojot termogrāfisko ekspresanalīzi, kuras rezultātā tiek mērīta un vizuāli attēlota virsmas temperatūra. Tā dod vispārēju priekšstatu par atšķirīgu būvelementu uzbūvi, kas savukārt palīdz izvēlēties vietas, kur jāveic siltuma zudumu kvantitatīvie mērījumi (siltumplūsmas mērījumi). Ar šādu mērījumu palīdzību var novērtēt zināmu būvkonstrukciju siltuma caurlaidības atbilstību Latvijas būvnormatīvam LBN 002-01 un inženiertehniskajiem aprēķiniem, kā arī noteikt siltuma caurlaidību būvkonstrukcijām ar nezināmu uzbūvi [95].

Tiešie mērījumi ir visprecīzākie parametru vērtību noteikšanas metode. Protams, arī šī metode neizslēdz kļūdas, bet kopumā tās ir daudz mazākas nekā citās metodēs. Būtiski ir sekot, lai mērījumu veikšanas laikā ēkas iedzīvotāji netieši neietekmē mērījumu rezultātus (netiek veiktas izmaiņas mērījumu sistēmā- temperatūras izmaiņa, gaisa plūsma utt.) [104].

Tiešie mērījumi ir jāveic ilgstoši, lai iegūtie mērījumu dati būtu ticami un ar plašu diapazonu. Darba autore mērījumus katrai ēkai veica septiņas dienas un vienai ēkai 19 dienas.

Vizuālo stāvokļa novērojumi

Izpētes laikā plaši tika izmantoti novērojumi un pārbaudes, kuras ietver gan kvalitatīvu, gan kvantitatīvu informāciju. Eksperimentā tika iegūti dati par ēkas:

- būvkonstrukciju materiāliem un to stāvokli;
- logu veidu un to stāvokli;
- orientāciju pret debess pusēm.

Komercdatu izpēte:

Darbā izmantoti dati no AS „Rīgas namu apsaimniekotāja” arhīviem par ēkas energopatēriņu. Maģistra darbā aplūkotas minimālais divas maksimālais septiņas apkures sezonas (šāds svārstīgs gadu intervāls saistīts ar ierobežoto informācijas iegūvi), apkures sezonas ilgums, vidējā āra gaisa temperatūra apkures sezonā. Tika izmantoti arī dati no ēku inventarizācijas lietām: par ēkas ģeometriskajiem raksturlielumiem (garumu, platumu un augstumu), kopējo apkurināmo platību, logu, ārdurvju, pagraba, bēniņu vai jumtu pārseguma laukumu un par ēkas būvkonstrukciju materiāliem.

Tabulā apskatītie rādītāji tika iegūti ņemot vērā māju inventarizācijas lietas datus, apsekošanas rezultātā iegūtās informācijas un dzīvojamās mājas apsaimniekotāja AS „Rīgas namu apsaimniekotājs” sniegto informāciju par ēkas tehnisko stāvokli. (sk. 1.tabulu).

1.tabula

Izejas dati

Ēkas	Siena bez logiem un durvīm	Logi	Durvis	Apkurināto telpu platība	Sienas laukums zem zemes	Grīda
	Platība, m ²					
Eduarda Smilģa 1	1045,8	137,6	9,9	1269		528,9
Kr. Barona 80	715,6	142,6	10,1	955	131,6	273
Jēkabpils 19a	1770,5	401,6	15,8	2897,1	229,4	514,6
Lomonosova 12	3634,9	784,82	15	3447,1	438,5	862
Staraja Rusas 24/26	293,3	49,5	4,4	329,4		155,3
Maskavas 8	129,1	16,2	9,1	56,3		80,1
Mārtiņa iela 7	660,4	134,8	10	861,4	106,0	310,2
Patversmes 1	371,9	91	8,9	427,9		222,2
Pētersalas 17	1051	150	6	1662,5		353,1
Skolas 25	1182	284	17,02	3005,8	75	586

Katra ēka tika apsekota un iegūti dati par ēkas norobežojošajām konstrukcijām, to būvkonstrukciju siltumfizikālajām īpašībām, ģeometriju, logu īpatsvaru ēkas norobežojošajās konstrukcijās (to stāvokli un veidu), ēkas orientāciju pret debess pusēm, aizklāto sienu skaitu un siltumenerģijas patēriņu.

2. Izmērītā ēku siltumenerģijas patēriņa izpēte

Šajā nodaļā autore parādīs, kā tika veikta datu kopas pirmapstrāde, sagatavojot datus aprēķiniem. Pirmapstrādes procesa laikā datu kopas dati tiek normalizēti, izmantojot klimata korelācijas metodi.

Kad ir apkopoti visi nepieciešamie dati, kas tika iegūti no apsaimniekošanas uzņēmumu arhīviem, dzīvojamās mājas inventarizācijas lietām un apsekošanas laikā iegūtās informācijas, var ķerties pie aprēķiniem.

Pirmais solis ēkas energoefektivitātes novērtējuma aprēķinu gaitā būs noteikt īpatnējo siltumenerģijas patēriņu ēkai. Visi aprēķini tiks veikti saskaņā ar Ministru kabineta noteikumiem Nr.39 „Ēkas energoefektivitātes aprēķina metode” [91], LBN 003-01 un LBN 002-01 [18].

Aprēķini tika veikti 10 dažādām ēkām. Tā kā izmērītais energoefektivitātes novērtējums pamatojas uz enerģijas patēriņa datiem, kas iegūti atšķirīgos periodos, tad nepieciešams izmērīto enerģijas patēriņu korelēt laikapstākļu dēļ. Tas nepieciešams, lai nodrošinātu mērījumu periodā patērētās enerģijas atbilstību vidējiem vietējiem laikapstākļiem un savstarpēji būtu iespējams datus salīdzināt. Izmērīto enerģijas patēriņu apkurei pielāgo atbilstoši vidējiem laikapstākļiem ēkas atrašanās vietā. Enerģijas patēriņa koriģēšanai atbilstoši laikapstākļiem izmanto Latvijas būvnormatīva LBN 003-01 “Būvklimatoloģija”.

Enerģijas patēriņa korekciju, izmantojot grādu dienas, veic, izmantojot šādu formulu:

$$Q = (Q_1 - Q_2) \cdot \frac{GDD_1}{GDD}, \quad (1)$$

kur:

Q - koriģētais(normalizētais) apkures enerģijas patēriņš [MWh];

Q₁ - apkures patēriņš novērtēšanas periodā [MWh];

Q₂ - karstā ūdens siltumenerģijas patēriņš novērtēšanas periodā [MWh];

GDD₁ - normatīvais grādu dienu skaits;

GDD - grādu dienu skaits novērtēšanas periodā.

Grādu dienu skaitu nosaka, izmantojot šādas formulas:

$$GDD_1 = D_{\text{napk}}(T_1 - T_2), \quad (2)$$

$$GDD = D_{\text{apk}}(T_1 - T_3), \quad (3)$$

kur:

GDD₁ - normatīvais grādu dienu skaits;

GDD - grādu dienu skaits novērtēšanas periodā;

D_{napk} - normatīvais apkures dienu skaits saskaņā ar LBN 003-01 "Būvklimatoloģija";

D_{apk} - apkures dienu skaits novērtēšanas periodā;

T₁ - iekštelpu temperatūra novērtēšanas periodā [°C];

T₂ - vidējā ārējais temperatūra saskaņā ar LBN 003-01 "Būvklimatoloģija" [°C];

T₃ - faktiskā vidējā ārējais temperatūra novērtēšanas periodā [°C].

Tā kā maģistra darba galvenais uzsvars tiek vērsts tieši uz patērēto apkures siltumenerģiju, tad no kopējā patēriņa, kurā ietilpst arī karstais ūdens, šis lielums ir jāizslēdz no esošās vērtības. Lai iegūtu reālo apkures siltumenerģijas patēriņu bez karstā ūdens, tad izvēlas vidējo vasaras perioda patēriņa lielumu, kad apkure ir atslēgta. Iegūto vērtību pareizina ar 12 mēnešiem, izrēķinot aptuveno siltumenerģijas patēriņu karstā ūdens sagatavošanai novērtēšanas periodā (Q₂).

$$Q_2 = \left(\frac{x_1 + x_2 + x_n}{n} \right) \cdot 12, \quad (4)$$

kur:

$x_1+x_2+x_n$ - mainīgie lielumi

n- mainīgā lieluma skaits

Papildus aprēķinā tiek iekļauts arī karstā ūdens siltumenerģijas patēriņš, jo šis patēriņš tiek uzskatīts par iekšējiem siltuma ieguvumu, ko aprēķina pēc formulas:

$$Q_{n.k.p.}=Q+Q_2, \quad (5)$$

kur:

$Q_{n.k.p.}$ - normalizētais kopējais patēriņš, [MWh]

Tālāka aprēķinā karsto ūdeni nekorrigē, jo tā patēriņš nav atkarīgs no laika apstākļiem.

Kā jau iepriekš tika minēts, katra apsekotā māja ir ar atšķirīgu apkurināmo platību, tāpēc, lai datus varētu savstarpēji salīdzināt, tad nepieciešams esošo patēriņu izteikt attiecīgi uz m^2 , ko aprēķina pēc formulas:

$$Q_{n.i.p.a.} = \frac{Q}{A_{a.p.}} \cdot 1000, \quad (6)$$

kur:

$Q_{n.i.p.a.}$ - normalizētais īpatnējais apkures patēriņš, [MWh/ m^2]

$A_{a.p.}$ - ēkas apkurināmā platība, [m^2]

Pēc datu apstrādes tiek veikta datu analīze. Darbā tiks grafiski attēlots ēkas īpatnējais energopatēriņš gan attiecinot energopatēriņu uz apkures sezonu, gan arī uz grāda dienām (dažādās apkures sezonās tiek ņemts vērā atšķirīgs grādu dienu skaits).

Tās mērķis ir iegūt grafiskas vai analītiskas sakarības starp mainīgajiem lielumiem kā dati savstarpēji iedarbojās. Piemēram, atrast sakarību starp atkarīgo mainīgo lielumu - ēku energopatēriņu un neatkarīgajiem mainīgajiem. Darbā tiks izmantotas tādas matemātiskās statistikas metodes kā korelācijas un regresijas analīze. Izmantoto analītisko izteiksmes dēvē par parādības vai procesa regresijas vienādojumu [104].

Neatkarīgo un atkarīgo gadījuma mainīgo lielumu savstarpējās saites ciešumu (korelāciju) var novērtēt ar korelācijas koeficienta palīdzību. Šo lielumu sauc arī par Pīrsona korelācijas koeficientu, un tas raksturo lineārās atkarības virzienu un ciešumu. Pīrsona korelācijas koeficientu var izmantot atkarības novērtēšanai, ja pierādīta novērojumu rezultātu atbilstība normālajam sadalījumam. Korelācijas koeficientu raksturo formula:

$$r = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sqrt{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \sqrt{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}}}, \quad (7)$$

kur:

r- korelācijas koeficients

x_i - faktorālās pazīmes variānte;

y_i - rezultatīvās pazīmes variānte;

n - variantu pāru skaits.

Pēc iegūtā regresijas vienādojuma ir iespējams netieši izmantot korelācijas koeficientu R.

Nelineāras regresijas gadījumā korelācijas koeficienta vietā izmanto korelācijas attiecību. Korelācijas attiecībai nelineārajā regresijā ir tāda pati nozīme kā koeficientam lineārajā - tā raksturo rezultātu grupēšanos ap nelineārās regresijas līniju. Arī nelineārās

regresijas analīzes gadījumā sakarības ciešuma analīzi, ko veic ar korelācijas attiecības palīdzību, sauc par korelācijas analīzi.

Ar korelācijas koeficientu palīdzību vērtē, cik precīzi ir korelācijas ciešumu raksturojošie matemātiskie modeļi. Tiek uzskatīts, ka korelācija ir laba, ja korelācijas koeficienti ir 0,7...0,9, vidēja 0,5...0,69 un vāja 0,2...0,49. Jāatzīmē, ka datu statistiskās apstrādes datorprogrammās MS Excel definētās funkcijas „slope” un „intercept” parasti rēķina korelācijas koeficienta kvadrātu. Ja R^2 vērtību reizina ar 100, tad iegūst lielumu (procentos), kurš raksturo ar regresijas vienādojumu aprakstītas analizējamo atkarīgo mainīgo lielumu izmaiņas [104].

Korelācijas analīzei ir nepieciešams turpinājums, kas ir regresijas analīze. Ar regresiju mēs saprotam likumsakarību, pēc kuras mainās savstarpēji atkarīgo pazīmju vērtības. Regresijas analīzes uzdevums ir šīs likumsakarības aprakstīšana ar izteiksmi, ko sauc par regresijas vienādojumu. Tas ir tās funkcijas vienādojums, kurai tuvojas korelācija. Regresijas vienādojumu izmanto rezultatīvās pazīmes vērtības prognozēšanai, ja zināma faktorālās pazīmes vērtība [96].

3. Iegūtie mērījumi un to aprēķini

Šajā apakšnodaļā būs parādīti iegūto aprēķinu rezultāti par divām ēkām. Detalizētus aprēķinus varēs aplūkot par ēku Krišjāņa Barona ielā 80, bet apkopotus datus par Eduarda Smiļģa ielā 1.

- **Izmērītais ēkas enerģijas patēriņš Krišjāņa Barona ielā 80**



Visi iegūtie un aprēķinātie lielumi ir attēloti 3. un 4. tabulā. Lai iegūtu normalizēto apkures patēriņu (MWh) ir nepieciešams pareizināt ar grādu dienām, to aprēķina pēc 1. formulas.

$$Q = \left(143,39 - \frac{22}{12} \cdot 7 \right) \cdot \frac{4060}{3847,93} = 131 \text{ [MWh]}$$

Normatīvo apkures dienu skaitu nosaka, izmantojot 2. formulu:

$$GDD_1 = 203 \cdot (20 - 0) = 4060$$

Taču grādu dienu skaitu novērtēšanas periodā nosaka pēc 3. formulas. Aprēķinu paraugā tika izrēķināts vienam mēnesim par pārējiem mēnešiem var aplūkot 2. tabulā.

$$GDD = 31 \cdot (20 - 0,7) = 597,63$$

2007. gada izejas dati un grādu dienu skaits

Mēnesis	Siltumenerģija, MWh	Ārējais temperatūra	Dienas	Grādu dienas
1	23,88	0,7	31	597,63
2	30,31	- 7,4	28	767,16
3	18,42	5,0	31	464,05
4	14,87	5,3	30	439,71
5	6,55	12,5	31	*
6	1,85	16,6	30	
7	1,73	16,4	31	
8	1,82	18,0	31	
9	2,09	11,8	30	
10	10,29	6,8	31	410,04
11	19,8	0,8	30	574,86
12	19,27	0,8	31	594,48
Kopā	151			3847,93

* Latvijā apkuri parasti pieslēdz, ja vidējā āra gaisa temperatūra ir zem 8 °C. Tas mēnesis, kas nav ņemts vērā ir siltāks par 8 °C, kas nozīmē to, ka tas nav bijis pilns apkures mēnesis. Līdz ar to aprēķinā tiek ņemti tikai pilnie apkures mēneši un pārrēķināts, cik būtu patēriņš uz pilnu apkures standartgadu. Rēķinot klimata korekcijas koeficientu tas sanāk lielāks nekā, ja būtu rēķināts arī ņemot vērā tos mēnešus, kurā reāli vēl bija kaut kāds apkures patēriņš. Šāds aprēķins ir precīzāks, nekā ņemtu vērā nepilnus apkures mēnešus.

Jāpiebilst, ka aprēķinu paraugā tika izmantoti visi dati par 2007. gadu, kuri tika pārēķināti uz grādu dienām. Vidējais apkures gads noteikts, balstoties uz informāciju no apsaimniekotāja sniegtajiem datiem, ņemot vērā apkures sistēmas darbības laiku gada griezumā un ārējās temperatūras apkures darba laikā. Zilā krāsā ir iekrāsota tabulas daļa, kura parāda karsto ūdeni vasaras mēnešos, bet sarkanā- apkuri un karsto ūdeni.

Tālākie aprēķini ir nepieciešami, lai noteiktu aptuveno siltumenerģijas patēriņu karstā ūdens sagatavošanai novērtēšanas periodā, ko nosaka pēc 4. formulas.

$$Q_2 = \frac{1,85 + 1,73 + 1,82 + 2,09}{4} \cdot 12 = 22 \text{ [MWh]}$$

Normalizēto kopējo patēriņu aprēķina pēc 5. formulas:

$$Q_{n.k.p.} = 131 + 22 = 153 \text{ [MWh]}$$

Enerģijas patēriņu pieņemts raksturot, izsakot to kilovatstundās (kWh) visam apkures periodam kopā un attiecinot šo lielumu pret apsildāmo telpu platību. Tādējādi tiek iegūts ēkas energoefektivitātes raksturlielums, izteikts kWh/m² gadā, pēc kura vērtības savstarpēji var salīdzināt 10 dažādās būves. Normalizēto īpatnējo apkures patēriņu nosaka pēc 6. formulas:

$$Q_{n.i.p.a.} = \frac{131}{955} \cdot 1000 = 136,7 \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

Ikgadējie ēkas enerģijas patēriņa dati redzami 3. tabulā

3.tabula

Ikgadējie patēriņa dati

Gads	Izmērītais siltumenerģijas patēriņš, MWh	Karstā ūdens siltumenerģijas patēriņš, MWh	Apkures siltumenerģijas patēriņš, MWh
2007	151	22	128
2008	122	25	97
2009	131	24	106
2010	140	21	118
2011	120	27	93

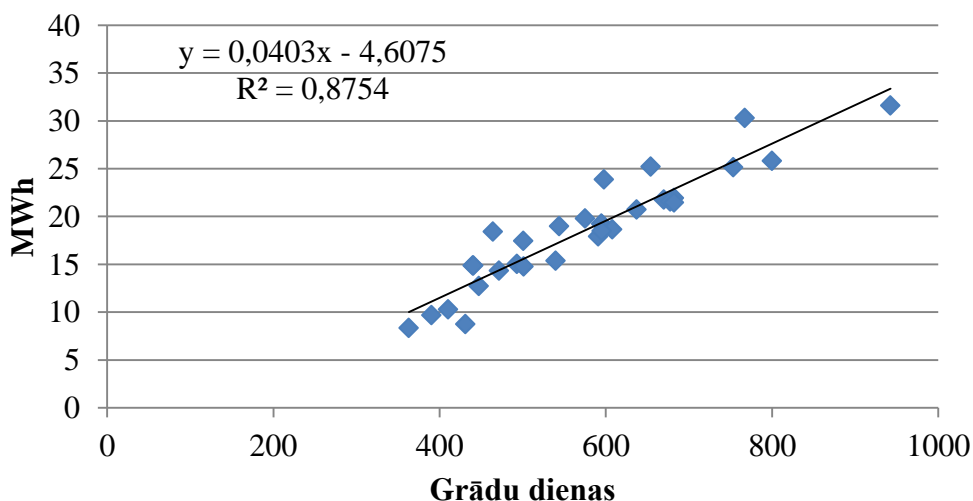
Tā kā klimats katru gadu ir atšķirīgs, tad tiek veikta apkures patēriņa korekcija uz vienotiem klimatiskajiem apstākļiem (203 apkures dienas, kuru laikā vidējā āra gaisa temperatūra ir 0 °C). Informācija par normalizēto ēkas enerģijas patēriņu pieejama 4.tabulā.

4.tabula

Normalizētais ēkas enerģijas patēriņš

Gads	Klimata korekcijas koeficients	Normalizētais apkures patēriņš, MWh	Normalizētais kopējais patēriņš, MWh	Normalizētais īpatnējais patēriņš apkure, kWh/m ²	Normalizētais īpatnējais patēriņš kopā, kWh/m ²
2007	1,055	131	153	136,7	160,2
2008	1,457	125	149	130,7	156,4
2009	1,163	116	140	121,2	146,5
2010	0,933	110	132	115,7	138,2
2011	1,201	106	133	110,8	139,0
Vidēji	1,162	117	141	123,0	148,1

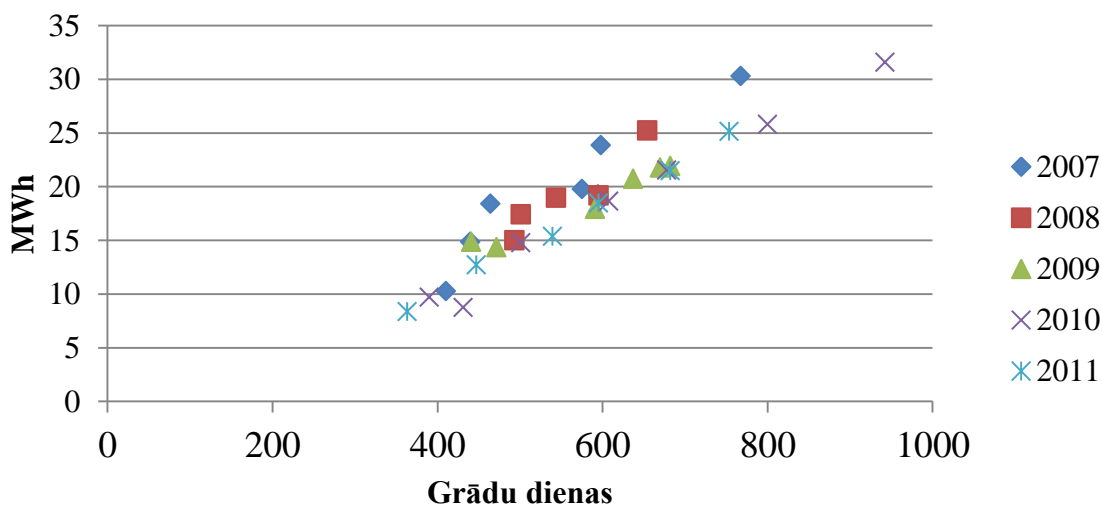
Lai noskaidrotu Krišjāņa Barona ielā 80 energopatēriņu datu analīzi tika izmantotas piecas apkures sezonas – 07./08./09./10. un 11. Kā energopatēriņu raksturojošais indikators tika izmantots apkures sezonas laikā patērētās siltumenerģijas apkurei attiecība uz grāda dienu, kWh/.gr.d. Ēkas siltumenerģijas patēriņa atkarība no grādu dienām redzama 3.attēlā.



3.att. Ēkas siltumenerģijas patēriņa atkarība no grādu dienām (mēneša griezumā)

Kā redzams 6.3. attēlā, analizējamie dati labi izvietojas gar taisni. Ir vērojamas novirzes pie mazām un lielām energopatēriņa vērtībām.

Redzams, ka visi aplūkojamie dati atrodas intervāla robežās vai tuvu tam. Noteiktā korelācijas koeficienta R^2 vērtība ir 0,88 un tas nozīmē, ka modelis apraksta 88% no mērījuma rezultātu izmaiņām. Korelācijas koeficients liecina par to, ka starp mērījumu un aprēķinu rezultātiem ir cieša saite. 4.attēlā apvienota visa pieejamā informācija par ēkas siltumenerģijas patēriņu apkures sezonā.



4.att. Ēkas siltumenerģijas patēriņa atkarība no grādu dienām pa gadiem (mēneša griezumā)

Attēlā redzams, jo vairāk atkarība tuvojas funkcijai un varianšu pāru punkti izkļiedes diagrammā ciešāk grupējas ap nosacīto teorētisko līniju, jo savstarpējās ietekmes spēku korelācija ir ciešāka. 4.attēlā redzams, ka 2007. un 2008. gadā apkures patēriņš ir lielāks nekā pārējos gados, tas varētu būt izskaidrojams ar siltummezglu apkures regulēšanas automātikas darbības kvalitāti.

Pilnīgākai situācijas izpratnei vēl tika veikti vairāku konstrukcijas variantu aprēķini, kas pēc gaitas ir analogi iepriekš apskatītajiem. Korelācijas aprēķināšanai nepieciešamie dati apkopoti 5.tabulā, aprēķins tika veikts izmantojot 7. formulu.

5.tabula

Korelācijas koeficienta aprēķināšanai nepieciešamie dati

Siltumenerģija MWh, x_i	Grādu dienas, y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
23,88	597,63	14271,29	570,2544	357155,6
30,31	767,16	23252,70	918,70	588538,3
18,42	464,05	8547,80	339,30	215342,4
14,87	439,71	6538,52	221,12	193347,1
6,55		0	42,90	0
1,85		0	3,42	0
1,73		0	2,99	0
1,82		0	3,31	0
2,09		0	4,37	0
10,29	410,04	4219,29	105,88	168130,8
19,8	574,86	11382,28	392,04	330466,9

	19,27	594,48	11455,53	371,33	353400,5
Σ	150,88	3 847,93	79667,40	2975,62	2206382
n	12				

$$r = \frac{79667,4 - \frac{150,88 \cdot 3847,93}{12}}{\sqrt{2975,62 - \frac{150,88^2}{12}} \cdot \sqrt{2206382 - \frac{3847,93^2}{12}}} = 0,8901$$

Katra gada ēkas siltumenerģijas patēriņu raksturojošie vienādojumi un korelācijas koeficienta kvadrāti doti 6.6.tabulā.

6.tabula

Ēkas enerģijas patēriņu raksturojošie vienādojumi un korelācijas koeficienta kvadrāti

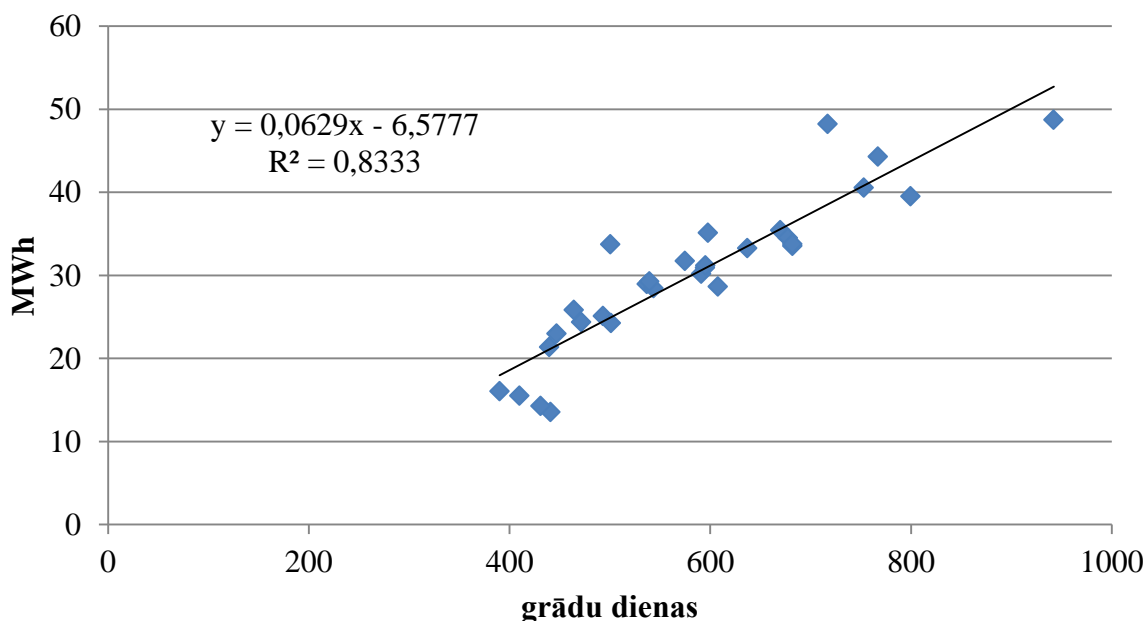
Gads	Siltumenerģijas patēriņa vienādojums (x – grādu dienas)	R ²
2007	0,0488x-7,26	0,8901
2008	0,0521x-9,8811	0,8725
2009	0,0325x-0,2872	0,9599
2010	0,0413x-6,9721	0,9846
2011	0,0417x-6,5518	0,9941

Pilnīgākai situācijas izpratnei vēl tika veikti vairāku ēku variantu aprēķini, kas pēc gaitas ir analogi iepriekš apskatītajiem. Pārējo vēsturisko ēku rezultāti ir apkopoti 3-10.pielikumam.

- **Izmērītais ēkas enerģijas patēriņš Eduarda Smiļģa ielā 1**



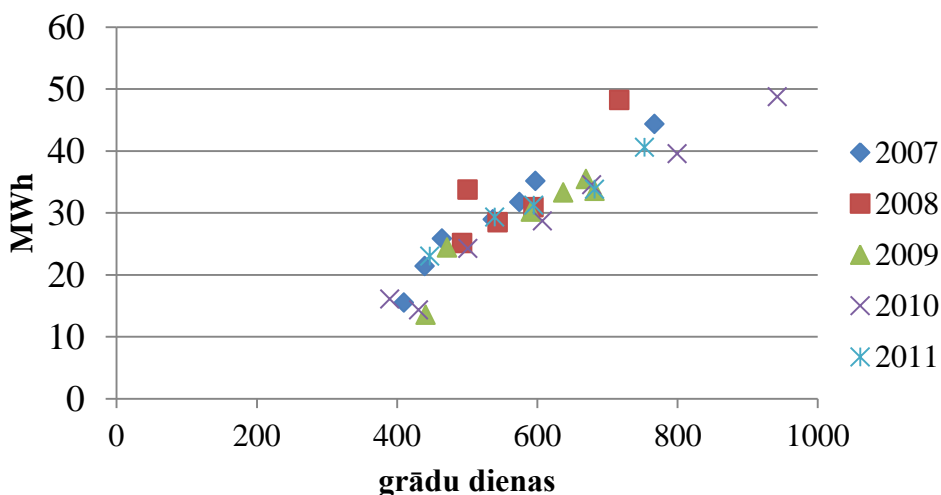
Ēkas siltumenerģijas patēriņa atkarība no grādu dienām redzama 5.attēlā.



5.att. Ēkas siltumenerģijas patēriņa atkarība no grādu dienām (mēneša griezumā)

Noteiktā korelācijas koeficienta R^2 vērtība ir 0,83 un tas nozīmē, ka modelis apraksta 83% no mērījuma rezultātu izmaiņām. Korelācijas koeficients liecina par to, ka starp mērījumu un aprēķinu rezultātiem ir cieša saite.

6.attēlā apvienota visa pieejamā informācija par ēkas siltumenerģijas patēriņu apkures sezonā.



6.att. Ēkas siltumenerģijas patēriņa atkarība no grādu dienām pa gadiem (mēneša griezumā)

Līdzīgi kā iepriekšējā attēlā redzams, ka savstarpējās ietekmes spēku korelācija ir cieša. Visos gados redzams, ka pastāv cieša sakarība starp ēkas siltumenerģijas patēriņu un grādu dienu skaitu - jo lielāks grādu dienu skaits, jo lielāks patēriņš. 6.6.attēlā redzams, ka 2008. gadā apkures patēriņš ir lielāks nekā pārējos gados, tas varētu būt izskaidrojams ar siltummezgla regulēšanas darbības kvalitāti.

Katra gada ēkas siltumenerģijas patēriņu raksturojošie vienādojumi un korelācijas koeficienta kvadrāti doti 6.7.tabulā.

7.tabula

Ēkas enerģijas patēriņu raksturojošie vienādojumi un korelācijas koeficienta kvadrāti

Gads	Siltumenerģijas patēriņa vienādojums (x – grādu dienas)	R ²
2007	0,00752x-11,752	0,9497
2008	0,085x-15,143	0,7626
2009	0,0746x-15,029	0,8701
2010	0,0614x-8,6938	0,9831
2011	0,0526x-0,1882	0,9625

Ikgadējie ēkas enerģijas patēriņa dati redzami 6.8.tabulā

8.tabula

Ikgadējie patēriņa dati

Gads	Izmērītais siltumenerģijas patēriņš, MWh	Karstā ūdens siltumenerģijas patēriņš, MWh	Apkures siltumenerģijas patēriņš, MWh
2007	224,0	36,0	188,0
2008	207,7	31,0	176,6
2009	193,4	31,4	162,0
2010	218,8	22,2	196,6
2011	197,4	28,0	169,4

Tā kā klimats katru gadu ir atšķirīgs, tad tiek veikta apkures patēriņa korekcija uz vienotiem klimatiskajiem apstākļiem (203 apkures dienas, kuru laikā vidējā āra gaisa temperatūra ir 0 °C). Informācija par normalizēto ēkas enerģijas patēriņu pieejama 9.tabulā.

9.tabula

Normalizētais ēkas enerģijas patēriņš

Gads	Klimata korekcijas koeficients	Normalizētais apkures patēriņš, MWh	Normalizētais kopējais patēriņš, MWh	Normalizētais īpatnējais patēriņš apkure, kWh/m ²	Normalizētais īpatnējais patēriņš kopā, kWh/m ²
2007	1,071	195	231	153,5	181,9
2008	1,425	219	250	172,4	196,9
2009	1,163	180	211	141,8	166,5
2010	0,933	180	202	142,1	159,6
2011	1,346	197	225	155,0	177,1
Vidēji	1,188	194,0	223,9	153,0	176,4

4. Aprēķinātā ēku siltumenerģijas patēriņa izpēte

Ēkas energoefektivitātes aprēķinu veic saskaņā ar MK noteikumiem Nr.39. Lai noteiktu ēkas aprēķināto apkures siltumenerģijas patēriņu nepieciešams sastādīt ēkas enerģijas bilanci. Analizējot ēkas siltuma bilanci, kā arī dažādu būvelementu siltuma zudumu ieguldījumu kopējā bilancē var objektīvi novērtēt ēkas stāvokli un atrast enerģijas zudumu aspektā būtiskos elementus tās norobežojošās konstrukcijās. Vispārīgā gadījumā ēkas apkures siltuma patēriņu nosaka iekļaujot aprēķinā visus ietekmējošos faktoros:

- siltuma vadīšanas un starojuma zudumi caur ārējiem būvelementiem. Šos zudumus raksturo ar būvelementu siltuma caurlaidības koeficientu U , $W/(m^2 \cdot K)$;
- konvektīvie siltuma zudumi, siltajam iekštelpu gaisam apmainoties ar auksto āra gaisu (piespiedu vai dabīgā ventilācija utt.). Tos raksturo ar ēkas gaisa apmaiņas koeficientu n , $(1/h)$;
- pārējie siltuma zudumi, ko nosaka siltā ūdens patēriņš, kanalizācija, gaisa mitrums u.c.;
- saules radiācijas avoti, ko nosaka tiešais starojums caur caurspīdīgiem elementiem (piem., logi) un siltuma absorbcija uz necaurspīdīgu būvelementu virsmas;
- iekšējie siltuma avoti, ko nosaka darbināmās elektriskās iekārtas, mākslīgais apgaismojums, cilvēku un dzīvnieku ķermeņu siltums u.c. faktori [98];
- ēkas atrašanās vieta un orientācija.

Aprēķinā tiek izmantota temperatūra par novērtēšanas periodu. Tas ir nepieciešams, lai validētu aprēķinu modeļa parametrus un nodrošinātu, ka normatīvas temperatūras apstākļos aprēķina rezultāti no izmērītajiem neatšķiras vairāk kā par 10% un ne vairāk kā par 10 kWh/m^2 , kā tas noteikts MK noteikumu Nr.39, 149. punktā. Nepieciešamo datu trūkuma dēļ, vienkāršoti par aprēķina temperatūru tika pieņemta termiskā komforta temperatūra dzīvokļos, kas ir robežās no $+18\text{ }^\circ\text{C}$ līdz $+20\text{ }^\circ\text{C}$.

Praktiskajā daļā veicot ēkas apsekošanu, jau var nojaust par konstrukciju neatbilstību noteiktajiem likumdošanas prasībām, tāpēc tika veikta siltuma caurlaidības koeficienta normatīvās vērtības noteikšana, kā arī aprēķināta ēkas siltumenerģijas bilance. Normatīvās un maksimālās siltuma zudumu koeficienta vērtības dzīvojamām un publiskajām ēkām atšķiras. Aprēķinos tiek izmantots arī temperatūras faktors, kas koriģē noteiktās normatīvās un maksimālās vērtības. Maģistra darba aprēķinos tika izmantotas standartvērtības, ko nosaka LBN 003- 01(sk.6.10. tab.).

10.tabula

Standartvērtības ko nosaka LBN 003-01

Apkures dienu skaits	203 dienas
Iekštelpu temperatūra dzīvokļos	18 grāds
Ārgaisa temperatūra	0 grāds

Aprēķina platībā netika iekļautas telpas, kurās nav uzturēta iekšējo telpu temperatūra (piemēram, garāžās balkoni utt.).

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

- konvekcijai;
- radiācijai;
- siltuma vadīšanai.

Visi trīs procesi vienmēr notiek vienlaicīgi. Tomēr gaisā, pie norobežojošās konstrukcijas virsmas, siltuma vadīšanas process notiek pārsvarā pateicoties konvekcijai un radiācijai un to raksturo virsmas siltuma atdeves vai siltuma uztveres koeficients α , $W/(m^2 \times K)$ un virsmas termiskā pretestība R_{si} , R_{se} , $m^2 \cdot K/W$. Cietās vielās siltuma apmaiņa pārsvarā notiek pateicoties siltuma vadīšanai, ko raksturo materiāla siltumvadītspējas koeficients λ , $W/(m \cdot K)$. [97]

Būvmateriālu un būvelementa siltuma caurlaidības koeficientu U^1 ($W/(m^2 \cdot K)$) [100] nosaka saskaņā ar MK noteikumiem Nr.495[18]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{\lambda} \delta + R_{se}}, \quad (8)$$

kur:

R_{si} – iekšējās virsmas termiskā pretestība, [$m^2 \cdot K/W$];

δ - slāņa biezums, [m]

λ - slāņa n materiāla aprēķina siltumvadītspēja, [$W/(m \cdot K)$] - būvmateriālu un citu vielu siltumvadītspējas koeficienti ir atrodamī MK noteikumos Nr.495[18]

R_{se} – ārējās virsmas termiskā pretestība, [$m^2 \cdot K/W$].

Norobežojošo konstrukciju virsmu termiskā pretestība R_{si} un R_{se} - skatīt 11.tabulā.

11.tabula

Norobežojošo konstrukciju virsmu termiskā pretestība, $m \cdot K/W$

Termiskā pretestība	Siltuma plūsmas virziens		
	Uz augšu	Horizontāli	Uz leju
Iekšējās virsmas termiskā pretestība, R_{si}	0,10	0,13	0,17
Ārējās virsmas termiskā pretestība, R_{se}	0,04	0,04	0,04

Saskaņā ar Latvijas būvnormatīva prasībām kopējie siltuma zudumi tiek aprēķināti, ņemot vērā tikai būvelementu siltuma caurlaidības un to laukumus.

Ēkas siltuma zudumu koeficientu H_T ($W \cdot K$)² aprēķina pēc formulas:

$$H_T = U \cdot A, \quad (9)$$

kur:

A- būvelementa laukums, [m^2]

Siltuma zudumus caur ēkas norobežojošām konstrukcijām gadā (MWh/gadā) nosaka pēc sekojošas sakarību:

$$Q_U = \frac{H_T \cdot (T_{telpas} - T_{āra})}{10^6} \cdot \tau \cdot 24, \quad (10)$$

kur:

T_{telpas} - telpas temperatūra, [$^{\circ}C$]

$T_{āra}$ - āra gaisa temperatūra, [$^{\circ}C$]

¹ Fizikāli siltuma caurlaidības koeficients U norāda, kāds siltuma daudzums noteiktā laika vienībā izplūst caur vienu kvadrātmetru konstrukcijas laukuma, ja temperatūru starpība starp norobežojošās konstrukcijas abām pusēm ir viens grāds.

² Norāda enerģijas zudumus (vatos) caur ēkas būvelementiem, ja temperatūras starpība uz to pretējām virsmām ir viens grāds

τ - apkures sezonas ilgums, [h].

Siltuma zudumi ar ventilāciju³ (MWh/gadā) tiek noteikti izmantojot sekojošu sakarību:

$$Q_V = \frac{c_p \cdot \rho_{\text{gaiss}}}{3600} \cdot (T_{\text{telpas}} - T_{\text{āra}}) \cdot n \cdot V \cdot \tau \cdot 24, \quad (11)$$

kur:

ρ_{gaiss} - gaisa blīvums, 1,23 [kg/m³],

c_p - gaisa īpatnējā siltumietilpība, 1008 [J/(kgK)],

n - gaisa apmaiņa ēkā, [h⁻¹],

V - telpas vai ēkas tilpums (apkurināmā platība reiz telpas augstums), [m³].

Jāmin, ka iekšējie siltuma avoti ir būtiski atkarīgi no cilvēku paradumiem un sabiedrisko telpu izmantošanas rakstura.

Siltuma izdalījumi tiek noteikti sekojoši:

$$Q_{\text{ieg}} = Q_E + Q_A + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_I + Q_S, \quad (12)$$

kur:

Q_E - siltuma ieguvumi no elektroiekārtām, [W],

Q_A - siltuma ieguvumi no apgaismes, [W],

$Q_{\text{H}_2\text{O}}$ - siltuma ieguvumi no karstā ūdens necirkulējošās daļas, [W],

Q_I - siltuma ieguvumi no iedzīvotājiem, [W],

Q_S - siltuma ieguvumi no saules starojuma, [W].

Siltuma ieguvumi no iedzīvotājiem (W) aprēķina pēc formulas:

$$Q_I = f_{\text{iedz}} \cdot q_{\text{iedz}} \cdot n_{\text{iedz}}, \quad (13)$$

kur:

f_{iedz} - laika daļa, kad iedzīvotāji atrodas ēkā

q_{iedz} - īpatnējā siltuma atdeve no iedzīvotājiem, [W/cilvēku]

n_{iedz} - iedzīvotāju skaits, [cilvēku]

Siltuma ieguvumi no elektroiekārtām (W) aprēķina pēc formulas:

$$Q_E = f_{\text{iek}} \cdot q_{\text{iek}} \cdot A_{\text{apr}}, \quad (14)$$

kur:

f_{iek} - laika daļa, kad ierīces darbojas ēkā,

q_{iek} - īpatnējā siltuma atdeve no ierīcēm, [W/m²]

A_{apr} - aprēķina platība, [m²]

Siltuma ieguvumi no apgaismes (W) aprēķina pēc formulas:

$$Q_A = f_{\text{apg}} \cdot q_{\text{apg}} \cdot A_{\text{apr}}, \quad (15)$$

kur:

³ Daudzdzīvokļu ēkām raksturīgs dabiskās ventilācijas risinājums - ar dabiskās nosūces kanāliem no dzīvokļu savietotajiem sanitārajiem mezgliem, virtuves telpām un neorganizētu pieplūdi caur ēkas neblīvumiem.

f_{apg} - laika daļa, kad apgaismojums darbojās ēkā,
 q_{apg} - īpatnējā siltuma atdeve no apgaismojuma, [W/m²]

Siltuma ieguvumi no saules starojuma⁴ (W) aprēķina pēc formulas:

$$Q_S = F_{\text{en}} \cdot A_{s,k} \cdot E_{s,k} \quad (16)$$

kur:

F_{en} - ārējo šķēršļu apēnojuma redukcijas koeficients, 0,3

$A_{s,k}$ - virsmas efektīvais savācošais laukums [m²]

$E_{s,k}$ - aprēķina periodā saņemtais saules starojums (sk.12.tabulu), [W/m²]

$$F_{\text{en}} = F_h \cdot F_p \cdot F_l \quad (17)$$

kur:

F_h - ēnojuma korekcijas koeficients horizonta ietekmei

F_p - ēnojuma korekcijas koeficients pārkares un nojumes ietekmei

F_l - ēnojuma korekcijas koeficients loga novietojuma ietekmei

12.tabula

Vidējais saules starojums apkures sezonā

Ziemeļu puse, W/m ²	Dienviņu puse, W/m ²	Austrumu puse, W/m ²	Rietumu puse, W/m ²
14,7	70	33	31,8

Šajā darbā tiks izmantota vienkāršotā metode, kur F_{en} tiek pieņemts teorētiskais saules starojuma ietekmējošais faktors (0,3), kas ir atkarīgs no aizkariem, debespusēm, horizontālās un pārkares noēnojuma ietekmes. Vienkāršotā metode ir izmantota, lai samazinātu radušās kļūdas izmantojot pieņemtās vērtības pilnajā aprēķinā, jo katra ēka ir individuāla un nepareiza korekcijas koeficienta izvēle var būtiski ietekmēt rezultātu.

Siltuma ieguvumi no karstā ūdens necirkulējošās daļas, [kWh/dienā]

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot n \cdot c \cdot (t_{k.\text{ūd.}} - t_{\text{vides}}) \quad (18)$$

kur:

d -caurules iekšējais diametrs, [m]

l - cauruļvada garums iekšējais diametrs, [m]

n - ūdens lietošanas reizes [reizes/dienā]

$t_{k.\text{ūd.}}$ - karstā ūdens temperatūra, [°C]

t_{vides} - apkārtējās vides temperatūra, [°C]

Balstoties uz to, ka maģistra darba galvenais uzdevums ir noskaidrot norobežojošo konstrukciju stāvokli, tad apsekošanas gaitā netika pievērsta uzmanība caurulēm un to temperatūrai, tāpēc siltuma plūsmas vērtība no karstā ūdens apgādes sistēmas $Q_{\text{H}_2\text{O}}$ datu trūkumu dēļ tika pieņemtas vērtības balstoties uz energoauditoru veiktās pieredzes.

⁴ Siltuma ieguvumi no saules siltuma avotiem rodas no saules starojuma, kas ir pieejams ēkas atrašanas vietā, kā arī no savācošo virsmu un laukumu orientācijas, pastāvīga apēnojuma, saules caurlaidības un absorbcijas un termālas siltuma pārnese. Koeficients, kas ietver savācošo laukumu raksturlielumus un savācošo virsmu laukumu (ieskaitot apēnojuma ietekmi), ir saules siltuma faktiskais savācošais laukums.

5. Iegūtie ēku siltumenerģijas patēriņa aprēķini

Šajā būs parādīti iegūto aprēķinu rezultāti par divām ēkām, pārējie dati būs redzami 3.-10.pielikumam. Detalizētus aprēķinus varēs aplūkot par ēku Krišjāņa Barona ielā 80, bet apkopotus datus par Eduarda Smiļģa ielā 1.

- **Aprēķinātais ēkas enerģijas patēriņš Krišjāņa Barona ielā 80**

Lai noteiktu aprēķināto ēkas apkures siltumenerģijas patēriņu tika izveidots aprēķinu modelis, kas ņem vērā ēkas norobežojošās konstrukcijas, gaisa apmaiņu, siltuma ieguvumus. Aprēķinu modelis veidots saskaņā ar MK noteikumiem Nr.39 „Ēkas energoefektivitātes aprēķina metode”.

Ārsienu siltuma caurlaidības koeficientu U nosaka pēc 8. formulas:

$$U = \frac{1}{0,13 + \frac{0,65}{0,64} + 0,04} = 0,84 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$$

Aprēķinā tika izmantota keramikas ķieģeļu siltumvadītspēja- 0,64 W/(m·K), kas raksturo ķieģeļu 1400 kg/m³ bruto cementa-smilšu javu.

Ārsienu siltuma zudumu koeficientu H_T aprēķina pēc 9. formulas:

$$H_T = 0,84 \cdot 715,59 = 601,1 \text{ [W} \cdot \text{K]}$$

Siltuma zudumus caur ēkas norobežojošām konstrukcijām gadā nosaka izmantojot 10.formulu:

$$Q_U = \frac{601,1 \cdot (18 - 0)}{10^6} \cdot 203 \cdot 24 = 52,71 \text{ [MWh/gadā]}$$

Pārējie norobežojošo konstrukciju aprēķini ir analogi, mainās tikai slāņa biezums, laukums un materiāla siltumvadītspēja. Ēkas norobežojošo konstrukciju iegūtie rezultāti apkopoti 13.tabulā.

13.tabula

Ēkas norobežojošās konstrukcijas aprēķinu rezultāti

Norobežojošā konstrukcija	Laukums, m ²	Siltuma caurlaidības koeficients, W/m ² ·K	HT (UA), W/K	MWh/gadā
Ārsienas	715,6	0,8	601,1	52,7
Sienas zem zemes	131,6	0,6	78,9	6,9
Bēniņi	273,0	0,8	218,4	19,2
Logi	142,6	2,2	313,7	27,5
Durvis	10,1	2,8	28,3	2,5
Pagrabs	273,0	0,7	191,1	16,8
Kopā			1431,6	125,54

Ēkā nav mehāniskās ventilācijas sistēmas, līdz ar to ēkā ir dabīgā ventilācijas sistēma ar gaisa pieplūdi caur norobežojošo konstrukciju neblīvēumiem. Ēkas gaisa apmaiņa tika noteikta

balstoties uz ēkas logu veidu un nepieciešamo aprēķinu modeļa validēšanu pret izmērītajiem enerģijas patēriņiem.

Ēkas gaisa apmaiņa apkures sezonā tika pieņemta kā 0,5 h-1. Siltuma zudumi ar ventilāciju tiek noteikti izmantojot 11. formulu:

$$Q_V = \frac{\frac{1008 \cdot 1,23}{3600} \cdot (18 - 0) \cdot 0,5 \cdot (955 \cdot 2,5) \cdot 203 \cdot 24}{10^6} = 36 \text{ [MWh/h]}$$

Kopējie siltumenerģijas zudumi no ventilācijas sistēmas apkures sezonā ir 36 MWh.

Tālākie aprēķini būs par siltuma ieguvumiem. Vispirms tiks aprēķināti siltuma ieguvumi no iedzīvotājiem, ko nosaka pēc 13. formulas:

$$Q_I = \frac{0,3 \cdot 100 \cdot 35 \cdot 203 \cdot 24}{10^6} = 5,17 \text{ [MWh/gadā]}$$

Siltuma ieguvumi no elektroiekārtām aprēķina pēc 14. formulas:

$$Q_E = \frac{1 \cdot 20 \cdot 955}{1000} = 19,10 \text{ [MWh/gadā]}$$

Īpatnējā siltuma atdeve no ierīcēm šajā aprēķinā ir jau izteikts kWh/m².

Siltuma ieguvumi no apgaismes aprēķina pēc 15. formulas:

$$Q_A = \frac{1,8 \cdot 955 \cdot 203 \cdot 24}{10^6} = 8,37 \text{ [MWh/gadā]}$$

Siltuma ieguvumi no saules starojuma aprēķina pēc 16. formulas:

$$Q_S = 0,3 \cdot (83 \cdot 33 + 59 \cdot 31,8) = 6,82 \text{ [MWh/gadā]}$$

Tā kā ziemeļu un dienvidu pusē ēkai neatrodas logi, tad aprēķinā tika rēķinātas tikai austrumu un rietumu pusē atrodošie logi.

Apkopojums par siltuma ieguvumiem dots 14. tabulā.

15. tabula.

Siltuma ieguvumi

Siltuma avots	Kopējie siltuma ieguvumi, MWh apkures sezonā
Saules siltuma ieguvumi	6,8
Cilvēki	5,2
Elektroiekārtas	19,1
Apgaismojums	8,4
Karstais ūdens	12,0
Kopā	51,5

Ne visi siltuma ieguvumi ir izmantojami apkures siltumenerģijas patēriņa slodzes segšanai. Ņemot vērā siltuma ieguvumu lielumu un Rīgas klimatiskos apstākļus tika noteikts, ka siltuma ieguvumu izmantošanas koeficients ir 0,8.

Aprēķinātais ēkas enerģijas patēriņš apkurei ir 120,4 MWh gadā, bet izmērītais enerģijas patēriņš apkurei ir 117 MWh gadā. Aprēķina rezultāti no izmērītajiem atšķiras par 3,4 MWh gadā, šī vērtība ir pieļaujama, jo nepārsniedz 10%.

- **Aprēķinātais ēkas enerģijas patēriņš Eduarda Smiļģa ielā 1**

Aprēķinātais ēkas apkures siltumenerģijas patēriņš tika noteikts, izmantojot aprēķinu modeli, kas ņem vērā ēkas norobežojošās konstrukcijas, gaisa apmaiņu, siltuma ieguvumus. Aprēķinu modelis veidots saskaņā ar MK noteikumiem Nr.39 „Ēkas energoefektivitātes aprēķina metode”.

Ēkas norobežojošo konstrukciju siltumtehniko parametru un laukumu apraksts dots 16.tabulā.

16.tabula

Ēkas norobežojošās konstrukcijas

Norobežojošā konstrukcija	Laukums, m ²	Siltuma caurlaidības koeficients, W/m ² ·K	H _T (UA), W/K	MWh/gadā
Ārsienas	1045,8	1,0	1045,8	91,7
Bēniņi	529,0	0,9	476,1	41,7
Pakešu logi	73,2	1,8	131,7	11,5
Vecie logi	64,41	2,4	154,6	13,6
Durvis	9,9	3,2	31,8	2,8
Pagrabs	529,0	0,7	370,3	32,5
Kopā			2210,3	193,8

Ēkā nav mehāniskās ventilācijas sistēmas, līdz ar to ēkā ir dabīgā ventilācijas sistēma ar gaisa pieplūdi caur norobežojošo konstrukciju neblīvumiem. Ēkas gaisa apmaiņa tika noteikta balstoties uz ēkas logu veidu un nepieciešamo aprēķinu modeļa validēšanu pret izmērītajiem enerģijas patēriņiem.

Ēkas gaisa apmaiņa apkures sezonā tika pieņemta kā 0,5 h-1. Kopējie siltumenerģijas zudumi no ventilācijas sistēmas apkures sezonā ir 47,9 MWh.

Apkopojums par siltuma ieguvumiem dots. 17. tabulā.

17.tabula

Siltuma ieguvumi

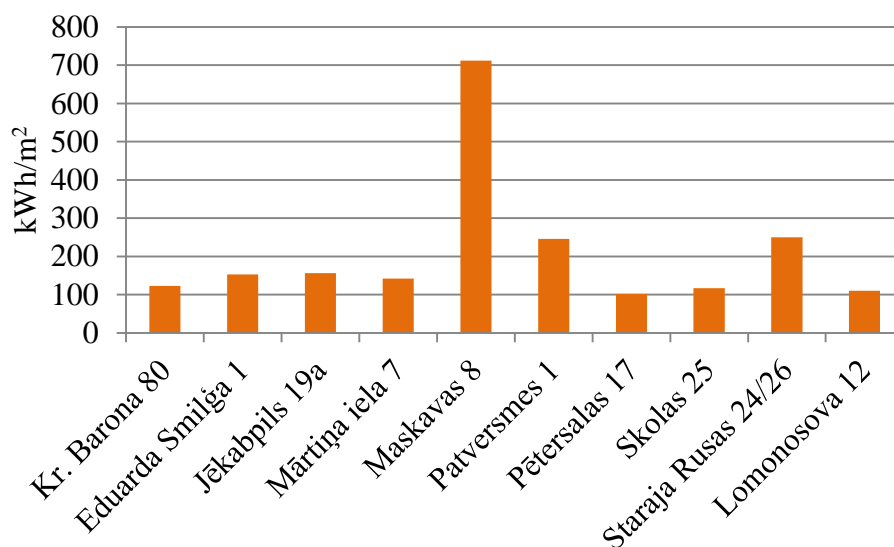
Siltuma avots	Kopējie siltuma ieguvumi, MWh apkures sezonā
Saules siltuma ieguvumi	8,8
Cilvēki	7,5
Elektroiekārtas	25,4
Apgaismojums	11,1
Karstais ūdens	15,0
Kopā	67,7

Ne visi siltuma ieguvumi ir izmantojami apkures siltumenerģijas patēriņa slodzes segšanai. Ņemot vērā siltuma ieguvumu lielumu un Rīgas klimatiskos apstākļus tika noteikts, ka siltuma ieguvumu izmantošanas koeficients ir 0,8.

Aprēķinātais ēkas enerģijas patēriņš apkurei ir 187,5 MWh gadā, bet izmērītais enerģijas patēriņš apkurei ir 194 MWh gadā. Aprēķina rezultāti no izmērītajiem atšķiras par 6,5 MWh gadā, šī vērtība ir pieļaujama, jo nepārsniedz 10%.

6. Aprēķinu rezultātu un reālās situācijas analīze

Šajā darbā aprēķinu rezultātā iegūtās vērtības tika kompleksi analizētas, ar mērķi noteikt esošo siltumenerģijas situāciju vēsturiskajās ēkās. Aprēķinu laikā iegūtās vērtības analizētajām ēkām ir apkopotas 7.attēlā.



7.att. 10 vēsturisko ēku apkures enerģijas patēriņš (kWh/m²)

Vēsturiskās ēkas ir būvētas laikā, kad enerģijas taupīšana nebija aktuāla salīdzinoši zemo energoresursu cenu un tradicionālo būvniecības metožu dēļ, tomēr šīs celtnes tiks lietotas vēl ievērojamu laiku un, ja nekas netiks darīts, lai samazinātu siltumenerģijas patēriņu, tad Eiropas Savienības mērķis līdz 2050. gadam samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas par 90-95%, salīdzinot ar 1990. gadu neizdosies īstenot. Tāpēc šāda mērķa sasniegšanai ir nepieciešamas krāsas pārmaiņas.

Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijas plānā ir paredzēts, ka līdz 2030. gadam jāpalielina vidējā mājokļu siltumnoturība (samazināt siltumenerģijas patēriņu) aptuveni divas reizes- līdz 100 kWh/m² gadā. Starposms līdz 2020. gadam Latvijas mērķis jeb vīzija ir sasniegt vidējo siltumenerģijas patēriņa līmeni ne lielāku par 150 kWh/m², kas atbilst Eiropas, tostarp Skandināvijas, valstu praksei, bet līdz 2016.gadam, kas ir jau pēc četriem gadiem, paredz samazināt līdz 195 kWh/m² gadā [101, 102, 103].

Šos patēriņus vienīgais kā varētu nozīmīgi samazināt ir uzlabojot ēku energoefektivitāti. Attēlā redzams, ka vislielākais siltumenerģijas patēriņš ir Maskavas 8 ēkai, tāpēc arī 6.6. nodaļā būs aprakstīts kā vislabāk un efektīvāk uzlabot energoefektivitāti tieši šai ēkai.

Apskoto 10 vēsturisko ēku vidējais enerģijas patēriņš no 2007. līdz 2011. gadam bija 234 kilovatstundas uz kvadrātmetru (kWh/m²), tai skaitā apkurei - 211 kWh/m², kas ir aptuveni līdzīgs visās Baltijas valstīm mājāsaimniecības enerģijas patēriņa sektorā, taču ievērojami pārsniedz ES vidējos rādītājus.

Tomēr pieņemot sliktāko variantu, ka nekas netiks darīts, lai uzlabotu energoefektivitāti, tad nākamo 15 gadu laikā ES enerģijas patēriņš palielināsies par vismaz 10 %.

Tas saistās ar nopietnām problēmām. Primāro energoresursu kā nafta, gāze, ogles, kūdra pieejamais apjoms ir ierobežots. Šo resursu krājumi izsīkst, to iegūšanas izmaksas paaugstinās, kas izsauks arī strauju resursu cenu pieaugumu. No otras puses, palielinoties primāro energoresursu patēriņam, pieaugs arī vides piesārņošana jau tādos apjomos, kas var izsaukt neatgriezeniskas izmaiņas Zemes atmosfērā, klimata izmaiņas un citus draudīgus procesus Zemes eksistencei.

7. Izmēritās siltumplūsmas analīze

Pirms autore veica siltumplūsmas mērīšanas darbus, vispirms tika izmantota termogrāfiskā metode, lai precīzāk varētu veikt norobežojošo konstrukciju siltuma zudumu analīzi. Siltumplūsmas mērītāja mērījuma metode ir pielietojama komponentēm, kas sastāv no gandrīz (ne-) homogēniem slāņiem perpendikulāri siltumplūsmai. Nodrošinot, ka jebkuru nehomogēnu veidojumu izmēri tuvu siltumplūsmas mērītājam ir daudz mazāki nekā biezums un tie nav termiskie tilti, kurus varētu konstatēt ar infrasarkanu staru kameru. Termogrāfiskā apsekošana tika veikta atbilstoši standartam ISO 6781. Termogrāfisko apsekojumu rezultātā tika identificētas ne tikai kritiskās vietas norobežojošās konstrukcijās, bet arī noteikts dažādu virsmu temperatūru starpību, kas liecina par dažādām būvelementu siltuma caurlaidībām. Tas bija nepieciešams, lai varētu uzstādīt pareizās vietās siltumplūsmas mēriekārtas sensorus (nedrīkst būt uzstādīts termisko tiltu, plaisu un līdzīgu avotu tuvumā, kā arī nedrīkst tieši ietekmēt ne sildītājs, dzesēšanas iekārta, ne ventilatora vilkme). Sensoriem tika piestiprināti pie sienas ar saistvielu vai citiem līdzekļiem (papīra līmlenti), galvenais uzdevums bija nodrošināt labu kontaktu starp virsmu un sensoru.

Tā kā uzdevums bija noteikt sienas siltuma caurlaidību, tad pie virsmas tika piestiprināti temperatūras sensori. Temperatūras sensoriem bija nokalibrēti +/- 0,1K. Abas virsmas sensori tika novietoti pie siltumplūsmas sensoriem kā arī tika izmantoti apkārtējās vides sensori (sk.8.att.).



8.att. Sensoru novietojums

Elektriskie dati no siltumplūsmas mērījumi un temperatūras tika nepārtraukti fiksēti 10 minūšu. Darbā tika izmantota vidējā metode. Šī metode pieņem, ka vadītspēja var tikt iegūta dalot siltumplūsmas blīvuma vidējo vērtību ar temperatūras starpības vidējo vērtību. Vidējā vērtība tiek ņemta pietiekami garā laika periodā. Siltuma caurlaidību katrām 10 minūtēm iegūst pēc formulas:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})} \quad (19)$$

kur:

T_{ij} - iekšējā vides temperatūra, °C

T_{ej} - ārējā vides temperatūra, °C

q - vidējā siltumplūsmas blīvuma vērtība

Tā kā mērījumi mainās atkarībā no dienas un vakara, tad nepieciešams vispirms noskaidrot U - vērtību pa dienām, ko nosaka pēc formulas:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n U_1 + U_n}{n} \quad (20)$$

kur:

U_1 - siltumplūsmas mērījums pirmajās 10 min
 U_n - siltumplūsmas mērījums pēdējās dienas 10 min
 n - mainīgo lielumu skaits

Kad pēc katra mērījuma tika aprēķināts asimptotiskās vērtības lielums, konverģence ir iegūta. Šī asimptotiskā vērtība ir tuvu reālajai vērtībai, jo tika izpildīti sekojoši nosacījumi:

- elementa siltuma saturs ir tāds pats beigās un mērījuma sākumā;
- sensori nav pakļauts tiešai saules radiācijai, pretējā gadījumā var tikt iegūti kļūdaini rezultāti;
- elementa siltuma vadītspēja ir konstanta testa laikā.

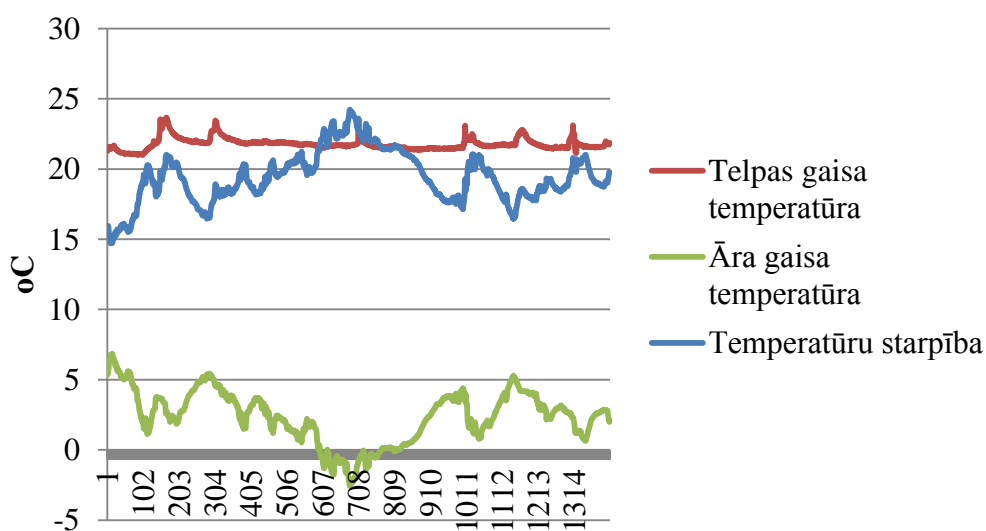
- Izmērītā ēkas U- vērtība Jēkabpils ielā 19a**

Kā jau iepriekšējās nodaļās, tad arī šajā siltuma plūsmas mērījumi detalizēti būs aprakstīti šoreiz tikai vienai ēkai. Par pārējām ēkām informācija būs apkopota 6.5.1. nodaļā un detalizētāka informācija pievienota 11.-16. pielikumam. Jāpiebilst, ka ziemā visās 10 iepriekšminētajās ēkās neizdevās veikt mērījumus, jo privātās personas atteicās no šādu mērījumu veikšanas savos dzīvokļos. Tāpēc papildus vēl tika sameklētas 3 ēkas, tas bija nepieciešams, lai varētu labāk izprast reālās vēsturisko ēku U vērtības.

Veikto mērījumu laikā tika noteiktas siltuma plūsmas ķieģeļu sienās, vienlaicīgi veicot divus mērījumus, tad tika izvēlētas divas mērījumu metodes:

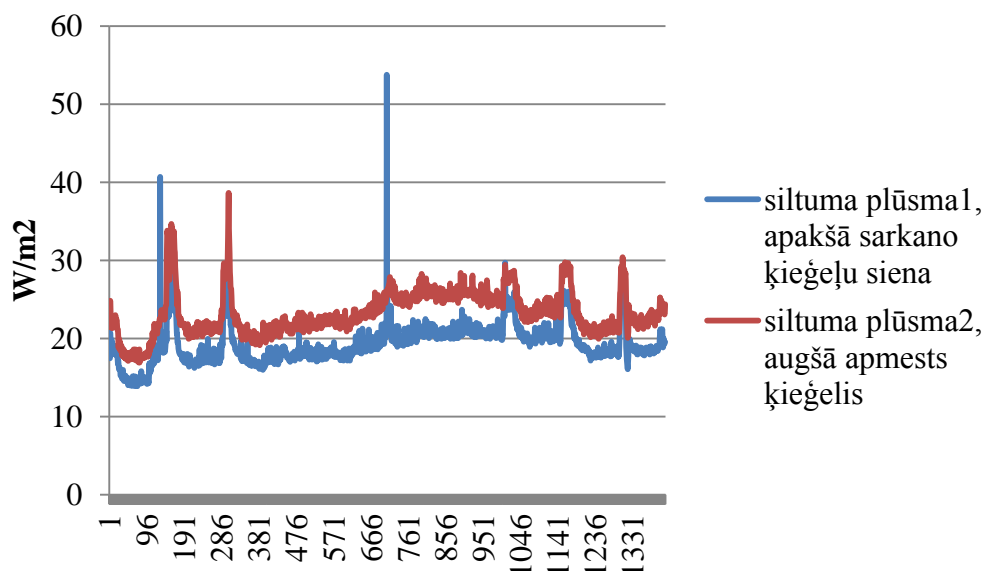
- Tiek veikti divi mērījumi dažādām sienām, lai iegūtu pēc iespējas vairāk dažādu mērījumu rezultātu;
- Tiek veikti divi mērījumi viena veida sienai, lai pārlicinātos par mērāmās sienas siltuma caurlaidības koeficienta homogēnumu.

Mērījumu laikā galvenie iegūtie rezultāti ir siltuma plūsmas blīvums un telpas gaisa un āra gaisa temperatūras, jo tieši šie dati tiek izmantoti norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienta noteikšanai. Ēkas temperatūras mērījumu rezultāti apkopoti 6.9.attēlā.



9.att. Temperatūru mērījumu rezultāti Jēkabpils ielā 19a

9.attēlā uz x ass redzamie dati ir 10 minūšu intervāli. 1400 mērījumu dati atbilst 1400 desmit minūšu intervāliem (vienā diennaktī ir 144 desmit minūšu intervāli). Siltuma plūsmas blīvuma mērījumu rezultāti parādīti 10.attēlā.



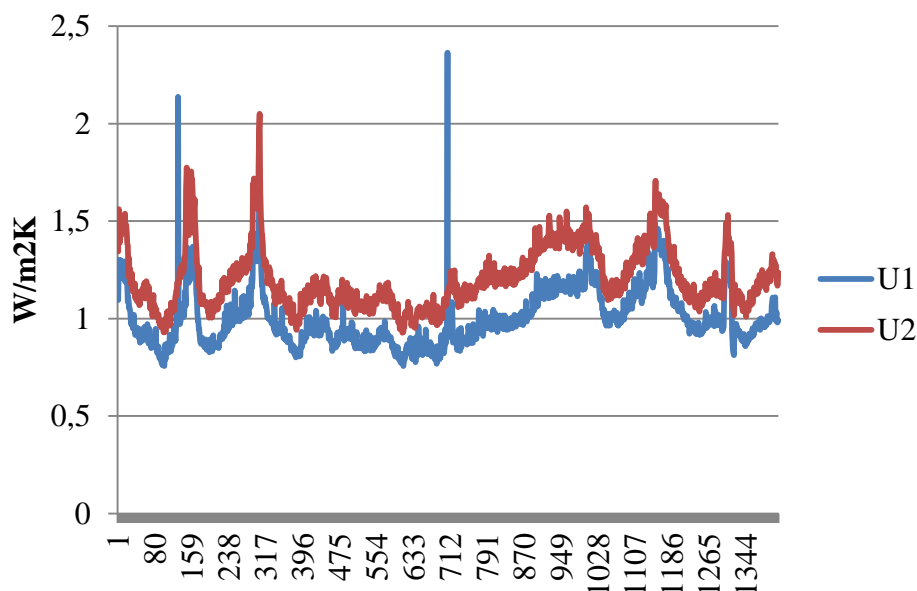
10.att. Siltuma plūsmas blīvumi caur sienām Jēkabpils ielā 19a

10.attēlā iegūti mērījumu rezultāti divu veidu sienām, kas atrodas vienā telpā. Lielākais siltuma plūsmas blīvums ir 50 cm biežai no ārpuses apmestai keramikas ķieģeļu sienai, bet mazākais – 55 cm biežai no ārpuses neapmestai keramikas ķieģeļu sienai (skatīt 11.attēlu). Redzams, ka plānākajai sienai U vērtība ir lielāka kā biežākajai. Siltuma plūsmas blīvuma pieaugums mērījuma sākumdaļā un beigu daļā ir saistīts ar to, ka telpā šajā laikā uzturējās cilvēki, kas atstāj ietekmi uz mērījumu (diemžēl ēkā nebija iespējams atrast telpu, kurā neuzturētos cilvēki). Ņemot vērā siltuma plūsmas blīvumus, kad cilvēki uzturējās telpās, tika izlemts konkrētā mērījuma analīzi sākt veikt tikai ar mērījuma ceturto dienu, kad siltuma plūsmas blīvumā nav vērojami pīķi.



11.attēls. Mērītās sienas Jēkabpils ielā 19a

Lai noteiktu ēkas ārsienu siltuma caurlaidības koeficientus vispirms tiek noteikti momentānie siltuma caurlaidības koeficienti (skatīt 6.12.attēlu).



12.att. Momentānie siltuma caurlaidības koeficienti sienām Jēkabpils ielā 19a

Redzams, ka laika periodā, kad telpās neatrodas cilvēki, momentānie siltuma caurlaidības koeficienti jeb U-vērtības ir samērā vienmērīgas. Lai siltuma caurlaidības koeficientu noteiktu saskaņā ar ISO 9869:1994 „Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance” [46] tiek veikta datu analīze, kas apskatīta augstāk. Datu analīzes rezultāta piemērs redzams 18.tabulā.

18.tabula

Siltuma caurlaidības koeficienta noteikšana Jēkabpils ielā 19a

diena	Akumulētā U vērtība, W/m ² ·K		Siltuma caurlaidības koeficients salīdzinājumā ar iepriekšējo dienu	
	U1	U2	U1	U2
1	0,91	1,10	-	-
2	0,90	1,09	98%	99%
3	0,89	1,08	100%	100%
4	0,92	1,12	103%	104%
5	0,97	1,17	105%	105%
6	1,00	1,20	103%	102%
7	1,00	1,19	100%	100%

Saskaņā ar ISO 9869 var secināt, ka konkrētajā gadījumā pirmās mērījuma vietas siltuma caurlaidības koeficients ir robežās no 0,92 līdz 1,00 W/(m²·K), bet otrai mērījumu vietai no 1,12 līdz 1,20 W/(m²·K). Šis rezultāts no mērījumos iegūtā 1,18 un 1,28 atšķiras vidēji par 0,23 un 0,13 jeb par 11-20%. Salīdzinot aprēķinus un mērījumus var secināt, ka mērījumos iegūtajā rezultātā pretestība ir pat labāka, nekā teorētiski aprēķinātajā. Šāds rezultāts liek domāt par to ka starp diviem ķieģeļiem, kas veido šo sienu, ir vēl kāds siltumizolējošs materiāls. Šādas siltuma caurlaidības iegūstamas, ja ēkas celtniecībā izmantoto ķieģeļu siltumvadītspējas koeficients ir robežās no 0,6 līdz 0,75 W/(m·K) un apmetumam – 0,97 W/(m·K).

Mērījuma precizitāte atkarīga no:

- Siltu plūsmas mērītāja un temperatūras kalibrēšanas precizitātes. Ja šie instrumenti ir labi kalibrēti, tad kļūda ir aptuveni 5%;
- Datu logera precizitātes;
- Dažādas variācijas, kuras izraisa neliela starpība termiskajā kontaktā starp sensoru un virsmu šī variācija ir apmēram 5% no vidējās vērtības, ja sensors ir uzmanīgi pielikts. Šīs kļūdas iespaidu uz kopējo kļūdu var samazināt izmantojot vairākus siltuma plūsmas mērītājus;
- Siltuma plūsmas mērītāja (SPM) darbības kļūda modificētu izotermu dēļ, ko izraisa SPM klātbūtne;
- Kļūdas kuras izraisa temperatūras un siltumplūsmas svārstības izmaiņa laika periodā. Šādas kļūdas var būt ļoti lielas, bet ja ir izpildīti iepriekšējie kritēriji, kļūdu var samazināt līdz mazāk par +/- 10 % no mērījumu vērtības. Šīs kļūdas ietekmi uz precizitāti var samazināt ierakstot datus ilgākā laika periodā un samazinot iekšstelpu temperatūras svārstības līdz minimumam [46].

8. Aprēķināto un izmērīto vērtību salīdzinājums

Aprēķinātās vērtības, kas ir balstītas uz elementu struktūru un iegūtas izmantojot ISO 6946-1 tikt salīdzinātas arī ar mērījumiem iegūtajām vērtībām (sk.19. tabulu).

19.tabula

Ēku aprēķināto un izmērīto vērtību salīdzinājums

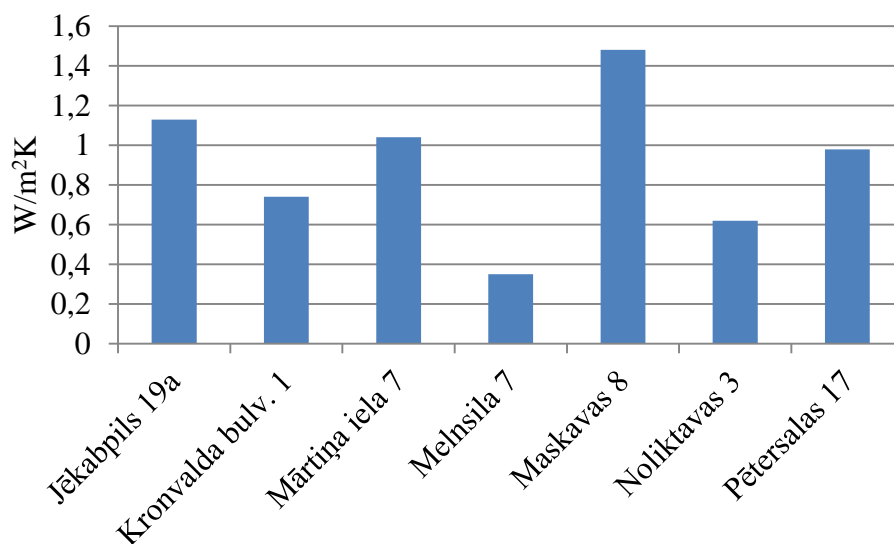
Ēkas	Aprēķinātās U-vērtības	Izmērītās U-vērtības
Jēkabpils 19a	1,18	1,13
Kronvalda bulv. 1	0,97	0,74
Mārtiņa iela 7	0,94	1,04
Melsila 7	0,38	0,35
Maskavas 8	1,32	1,48
Noliktavas 3	0,79	0,62
Pētersalas 17	1,23	0,98

Ievērojama starpība lielāka par 20% starp aprēķinātām vērtībām un iegūtajiem U-vērtības mērījumiem var izraisīt viens no sekojošiem faktoriem:

- Pieņemtās siltumvadītspējas nav reālās, kas var rasties no nekorekta noteikta materiāla īpaši izolācijas materiāla, no starpības starp reālajām materiāla īpašībām un pieņemtajām vērtībām vai no mitruma efekta;
- Pieņemtā virsmas pretestības vērtība nav reālā. Šīs kļūdas avots parasti ir svarīgs tikai maz izolētiem elementiem;
- Precīzs slāņa biezums, it īpaši izolējošo materiāla slāņa biezums nav pareizi nomērīti;
- U vērtības mērījumi netika korekti veikti vai tika veikti nepiemērotos apstākļos;
- Elementu izpēte un U vērtības mērījumi netika veikti tajās pašās vietās nehomogēniem elementiem;
- Siltumplūsmas līnijas veicot mērījumus nebija taisnas un perpendikulāras pret elementu;
- Elementā ir bijušas konvektīvas gaisa plūsmas, bet nav ņemtas vērā veicot teorētiskās vērtības aprēķinu;
- Ir bijušas ūdens vai mitruma fāzu maiņas tādas kā: sasalšana, atkušana, kondensēšanās, iztvaikošana;

- Apkārtējā temperatūra kas izmantota aprēķinot U vērtību nav tāda pati kas mērot.

Bez šo parametru skaitlisko vērtību aprēķina, tiek nodrošina arī to grafiskā attēlošana un salīdzināšana (13. attēls).



13.att. Reālās U- vērtības

Vislielākā izmērītā ēkas norobežojošo konstrukciju U vērtība ir Maskavas 8 ēkai. Šāda situācija varētu būt izskaidrojama ar faktu, ka šī ēka jau kādu laiku nebija apdzīvota un konstrukcijā bija uzkrājies mitrums. Turpretī vismazākā U- vērtība ir Melnsilas 7 ēkai, jo sienas bija siltinātas ar 5 cm vates siltumizolācijas materiālu.

9. Rekomendācijas izstrādāšana Maskavas 8 ēkai

Maģistra darba uzdevums ir izstrādāt ēkai Maskavas ielā 8 iespējamās norobežojošo konstrukciju energoefektivitātes pasākumus. Tieši šī ēka tika izvēlēta, jo iepriekš veiktie aprēķini uzrādīja vislielāko siltumenerģijas patēriņu uz kvadrātmetru.

Ēkas vispārējā informācija

Ēka ir paredzēta sabiedriskās tualetes funkcijas pildīšanai, tomēr jau daudzus gadus tā netika izmantota. Tualete atrodas Spīķeru kvartālā, blakus Rīgas Centrāltirgum. Ēkas ārsiena ir veidota no krāsotiem silikātkieģeļiem, kuras biezums ir 51 cm un tās laukums veido 129,13 m². Kā jau iepriekš tika minēts, ēka jau vairākus gadus nav apdzīvota un tās konstrukcijas ir ievērojami cietušas laikapstākļu un cilvēku dēļ. Lai noteiktu ēkai piemērotākos energoefektivitātes risinājumus, ir jāveic attiecīgās ēkas vizuālā stāvokļa raksturojums un siltumenerģijas sistēmas izpēte (sk. 14.attēlu).



14.att. Ārsienas konstrukcija un redzami bojājumi

14. attēlā novērojami konstrukcijas bojājumi virs loga, kas liecina par iespējamu mitruma iekļūšanu no jumta. Šāds bojājums atsedz dziļākos ķieģeļus, kuri nav krāsoti un kuriem atšķirībā no virsējiem ķieģeļiem nevar būt izveidojies virsējais slānis laika gaitā, tāpēc tie ir pakļauti straujākiem mitruma radītiem bojājumiem. Šos bojājumus veicināja nepareizā konstrukcija, jo nav nodrošināta šuvju pārsedze, jeb visi ķieģeļi ir iemūrēti paralēli vertikāli, kā arī neievērojot nepieciešamo leņķi.

Bojājumi novērojami 15. att. apakšā, kur pa kreisi, notekai nav nepieciešamais leņķis, kā rezultātā lietus ūdens nonāk uz ārsienas. Apakšā, pa labi, novērojama sūnu veidošanās, kā rezultātā pastiprināsies ķieģeļu bojāšanās.



15.att. Sienas bojājums, noteku un loga trūkums

15. attēlā redzams, ka ēkai ir iespējams nozagtas notekcauruļu beigu daļas, kā rezultātā ūdens netiek novadīts ieteicamo 20 – 40 cm augstumā virs zemes, bet gan aptuveni 160 līdz 220 cm augstumā. Ēkai viens no logiem ir aizstāts ar saplāksni, kas nav piemēroti nostiprināts. 16. attēla apakšā redzami bojājumi sienas konstrukcijā, kur iztrūkst veseli ķieģeļi un izdrupušas ir šuves. Bojājumi ir novērojami līdz 2 m augstumam pa piebūves savienojuma vietu.

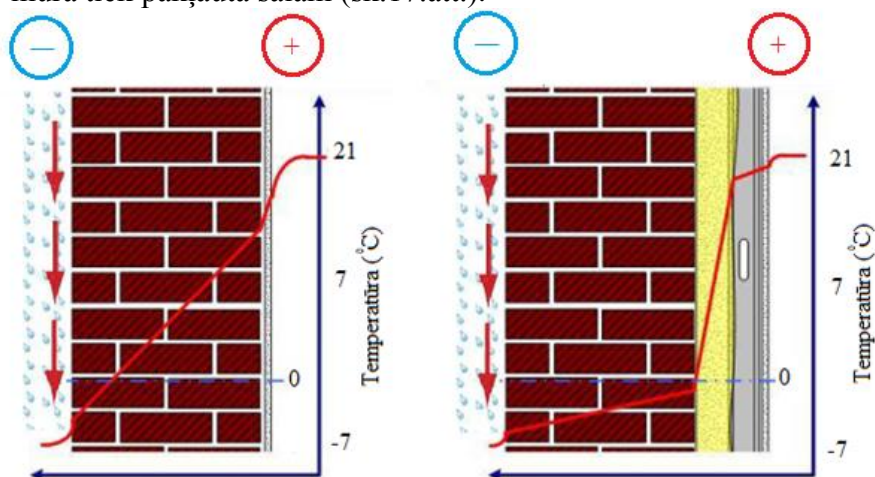


16. att. Noteku trūkums, mitruma ietekme uz pamatiem

16. attēlā redzams, ka iztrūkst notekas augšējais un beigu posms, kā rezultātā mitrums notek pa sienu. Attēlā apakšā novērojami mitruma radītie bojājumi pie ēkas pamatiem, kā arī attēlā labajā pusē izdrupušas ir daļa no šuvēm.

Ēkas iespējamie energoefektivitātes risinājumi

Šobrīd ēkās samazināt enerģijas patēriņu ir kļuvusi obligāta. Tas ir nepieciešams, lai būtu iespējams palielināt energoapgādes drošību, samazināt pieaugošās enerģijas izmaksas un samazināt kaitējums videi no enerģijas patēriņa. No otras puses vēsturiskās celtnes ir vērtība, kas jāsauglabā nākamajām paaudzēm, tāpēc siltināšana no ārpuses ir pilnībā izslēgta. Vienīgais variants, kā samazināt enerģijas patēriņu, ir siltināt no iekšpuses. Sākumā, šķiet, ka vienīgā problēma, kas var rasties siltinot no iekšpuses, ir iekštelpu platību samazināšanas, bet jāsauc, ka tā nav. Uzliekot izolāciju no iekšpuses, ir rūpīgi jāizvērtē sienas stāvoklis, jo aukstuma un mitruma rezultātā var rasties nopietnas problēmas. Pastāv risks, ka kāda no sienām siltināšanas rezultātā atradīsies zemo temperatūru zonā, kas samazinās norobežojošās konstrukcijas siltuma inerci un pasliktinās telpas klimatu [86]. Mūra siena kļūst vēsāka, un lielākā daļa no mūra tiek pakļauta salam (sk.17.att.).

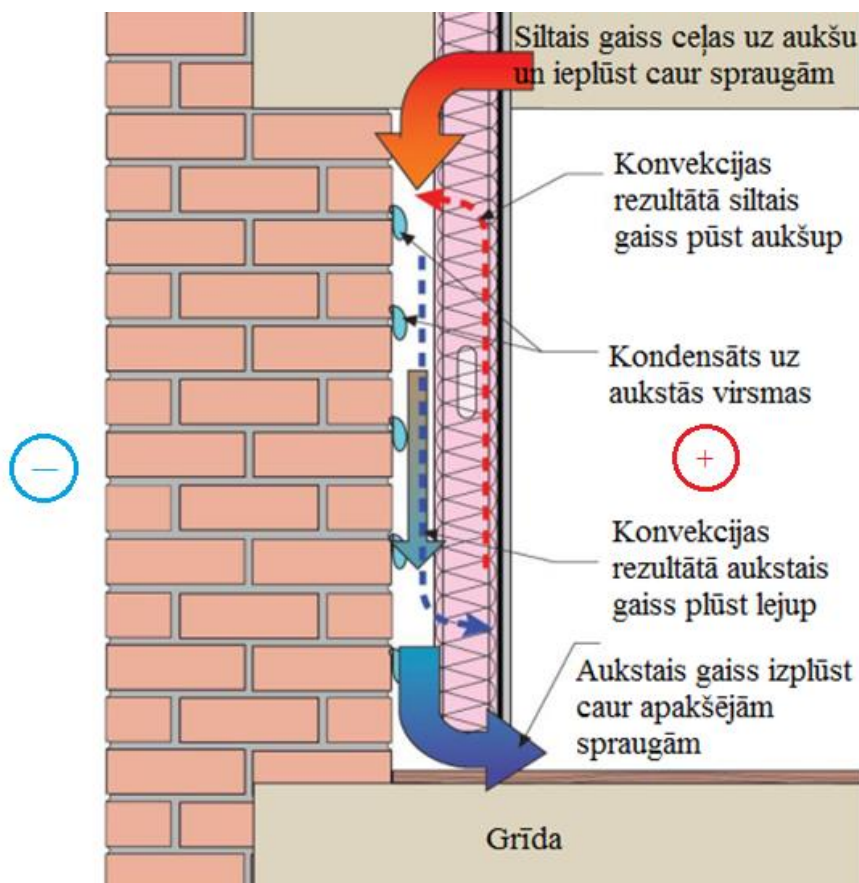


17.att. Temperatūras sadalījums norobežojošajā konstrukcijā [23]

Labajā attēlā redzams, ka siena tiek pakļauta lielākai temperatūras ietekmei un lielākas izmaiņas ir sienas iekšpusē. Pa kreisi attēlā redzams, ka pirms pārveides sienas temperatūra ir līdzīga iekšējā klimata apstākļiem. Mūris arī pēc siltināšanas tiek pakļauts tiem pašiem

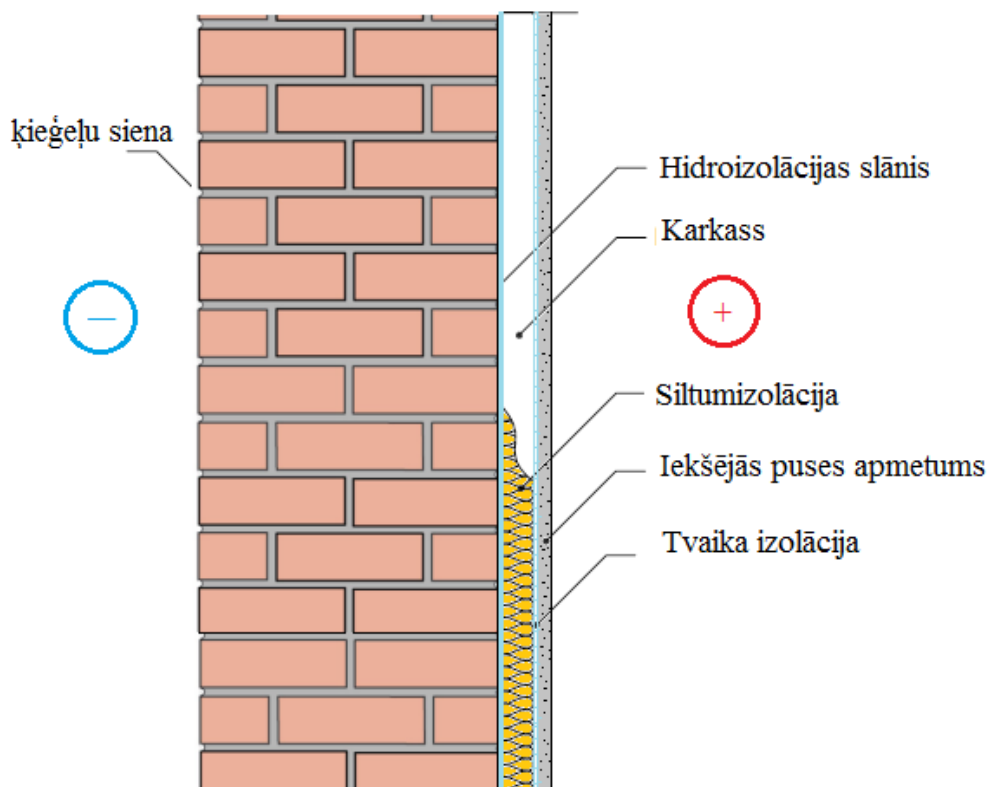
ietekmējošajiem faktoriem- temperatūras režīmiem un nokrišņiem. Lielā temperatūru atšķirība izraisa sienu samitrināšanos, iespējama pat pelējuma un sēnīšu veidošanās.

Labajā attēlā redzamais risinājums rada samazinātu sienas žūšanu. Aukstā un siltās plūsmas saskare var radīt kondensātu (sk.18.att.), kas būtiski ietekmē izolācijas siltumvadītspēju, tāpēc būtiski uzstādīt tvaika izolācijas slāni (plēvi). Izolācija darbojas kā mitruma barjera (herētiķis), kas spēj lokalizēt un kontrolēt nevēlamo ietekmi.



18.att. Nepareiza siltināšana no ēkas iekšpuses [23]

Jo biezāks ir siltumizolācijas slānis, jo lielāka iespēja, ka nesošajā konstrukcijā mitrums var palielināties. Caur siltinātāju, kas ir tvaika caurlaidīgs materiāls, brīvi plūst ūdens tvaiki. Tie sāk uzkrāties uz robežas - aukstā siena- siltinātājs vai sienā. Tajā pašā laikā siltinātājs aiztur siltuma nokļūšanu no telpas sienā, vienlaikus pazeminot tās temperatūru, kas vēl vairāk padziļina konstrukcijas samitrināšanos. Tāpēc vajag ievērot ļoti stingrus konstruktīvos risinājumus sienas aizsardzībai pret mitruma ietekmi [84]. Svarīgi, siltinot ēkas no iekšpuses, ir izvairīties no gaisa spraugas, kas ir starp sienu un izolācijas materiālu. Nepareiza ielikšana var pastiprināti radīt kondensātu un radīt pelējumu uz sienām. Saslapinoties siltumizolācijai tās siltumvadītspēja palielinās un palielinās arī patērētās siltumenerģijas patēriņš. No telpas puses jāliek tvaika izolācija un jāizveido ļoti efektīva telpu ventilācijas sistēma (sk. 19.att.).



19.att. Siltināšana no ēkas iekšpuses ar tvaika izolāciju [84]

Lai izpildītu LBN 002-01 „Norobežojošo konstrukciju siltumtehnika” 25. Punkta prasības, tvaika izolācijai ir jābūt vismaz 0,2 mm biezas polietilēna plēves.

Veicot ēkas vizuālo apskati ir jānovērtē, kādi risinājumi ir piemēroti un tehnoloģiski izpildāmi, kā arī ir jāņem vērā attiecīgā brīža tirgus piedāvājums.

Pirmkārt tiek apskatītas ēkas siltumizolācijas materiālu pielietojšanas iespējas attiecīgajā ēkā, kuru ieviešana vismazāk ietekmē telpas izmērus. Šobrīd tirgū ir pieejamas daudzi pieejami siltumizolācijas materiāli, daži no tiem tika aprakstīti 3. nodaļā. Otrkārt tiek aprēķināts un izpētīts reālais siltumenerģijas patēriņš. Aprēķinātais Maskavas 8 ēkas enerģijas patēriņš apkurei ir 40 MWh gadā, bet izmērītais enerģijas patēriņš apkurei ir 0 MWh gadā, jo līdz šim nav veikta siltumenerģijas uzskaitē.

Šobrīd sienas siltuma caurlaidība ir 1, 45 W/(m²·K). Viens no darba uzdevumiem ir piedāvāt variantus kā samazināt siltumenerģijas patēriņu ēkā, tāpēc tiek veikta sienu siltumtehnisko risinājumu variantu salīdzinājums. Lai aprēķinātu cik kWh/m² gadā siltuma tualete šādi ietaupītu, jāizmanto tās pašas formulas, kas iepriekš. Saskaņā ar MK noteikumiem Nr. 495, siltuma caurlaidības koeficientu U norobežojošās konstrukcijās aprēķina pēc 7. formulas:

$$U = \frac{1}{0,13 + \frac{0,51}{0,87} + \frac{0,15}{0,037} + 0,04} = 0,21 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}$$

Šajā variantu salīdzinājumā tika apskatīti visi siltināšanas varianti, kas tika aprakstīti 3. nodaļā, tāpēc daļai siltumizolācijas spēja ir augstāka par LBN 002-01 - „Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika” noteikto. Šajā gadījumā lielākais pieļaujamais siltuma caurlaidības koeficients $U = 0,33 \text{ W (m}^2 \cdot \text{K)}$. Jāpiemin, ka vēsturiskajām ēkām ir pieļaujamas atkāpes. 6.20. tabulā, izmantojot atšķirīgus siltumizolācijas materiālus, var redzēt pēc siltināšanas esošās U vērtības.

Siltumizolācijas materiālu salīdzināšana

Siltumizolācijas materiāls	Siltumvadītspēja, λ W/(mK)	siltumizolācijas biežums, m	Jaunā U-vērtība W/(m ² ·K)	U-vērtības ietaupījums W/(m ² ·K)	Siltumenerģijas patēriņa samazinājums, MWh/gadā	Siltumenerģijas patēriņa samazinājums, kWh/m ² gadā
Ekovate	0,037	0,15	0,21	1,27	14,37	255,16
Linu	0,033	0,1	0,26	1,21	13,7	243,41
Kaņepu	0,055	0,1	0,39	1,08	12,22	217,03
Termovate	0,021	0,1	0,18	1,3	14,68	260,7
Aerogels	0,013	0,04	0,26	1,11	12,53	222,51
Vakuuma izolācijas paneļi	0,004	0,06	0,06	1,42	16,07	284,86

Aprēķinot energoefektivitātes uzlabojumu tiek ņemts vērā tikai siltumenerģijas ietaupījums, neņemot vērā izmaksas par m² un pasākumu atmaksas periodus. Pēc aprēķiniem redzams, ka vislielāko ietaupījumu ir iespējams iegūt izmantojot vakuuma izolācijas paneļus. Tomēr izmantojot aerogel 4 cm biezu izolācijas slāni ir iespējams uzlabot U vērtību līdz 0,26 W (m²·K). Ja tiktu izpildīti sienu siltināšanas energoefektivitātes uzlabošanas pasākumi (sk. 21.tabula), tad teorētiski ir iespējams ietaupīt 40% no patērētās siltumenerģijas patēriņa jeb patērēt 24 MWh. Protams, ietaupījums būtu vēl lielāks, ja ēkā nomainītu logus un jumtu, siltinātu grīdu un griestus.

Siltumenerģijas patēriņš pēc uzlabojumiem

Siltumizolācijas materiāls	vecā U vērtība	Siltumenerģijas patēriņš pirms uzlabojumiem MWh/gadā	Jaunā U-vērtība	Siltumenerģijas patēriņš pēc uzlabojumiem MWh/gadā	ietaupījums, %
Ekovate	1,48	40	0,21	25,7	36
Linu			0,26	26,3	34
Kaņepu			0,39	28	30
Termovate			0,18	25,3	37
Aerogels			0,26	26,2	35
Vakuuma izolācijas paneļi			0,06	24	40

Jo lielāks ir siltināmā materiāla siltumvadītības koeficients, jo platības zudumi lielāki.

22.tabulā ir redzamas aptuvenās izmaksas par attiecīgo izolācijas materiālu.

Siltumizolācijas izmaksas

Siltumizolācijas materiāls	Ls/m ²	Kopējās izmaksas, Ls
Ekovate	~35	4519,55

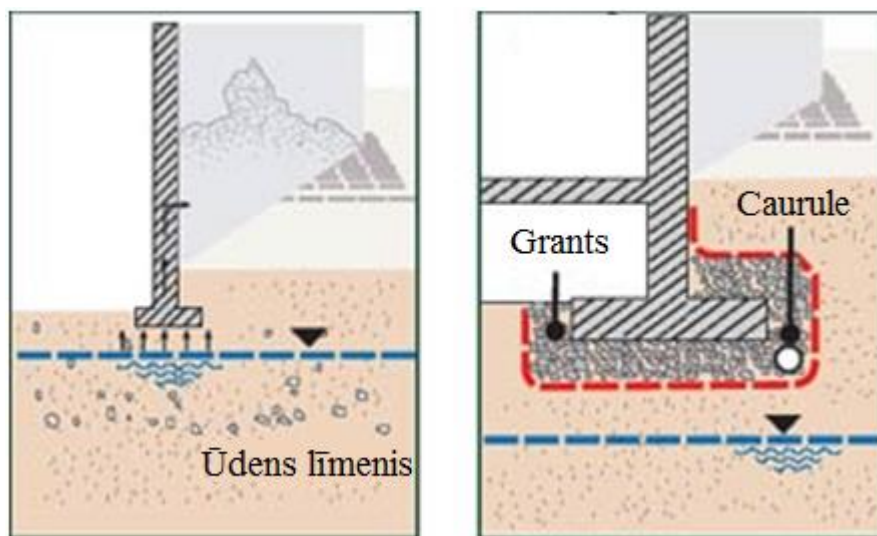
Linu	~12	1549,56
Kaņepu	~10	1291,3
Termovate	~14	1807,82
Aerogels	~208	26859,04
Vakuuma izolācijas paneļi	~140	18078,2

Tomēr patiesā projekta atmaksas ir grūti noteikt, jo izmaksās papildus vēl ietilps darbaspēks un palīgmateriāli, kas aprēķinā nav iekļauts.

Vislētākās sākumizmaksas ir izmantojot kaņepju siltumizolāciju 100 mm, šis variants gandrīz arī apmierina minimāli noteiktās siltuma caurlaidības koeficienta prasības. Tomēr tiek zaudēta liela daļa no telpas kopējās platības, tāpēc vislabākais siltumizolācijas variants, kas ir izdevīgs ilgtermiņā ir aerogels.

Norobežojošo konstrukciju aizsardzība

Pirmais solis, lai aizsargātu sienas no mitruma, ir jāveic daži efektīvi pasākumi. Vispirms, lai aizsargātu pamatus un sienas no atmosfēras mitruma iedarbības un kapilārā mitruma celšanos uz norobežojošo konstrukciju, ir nepieciešams izveidot zem pamatiem dabiskās ventilācijas sistēmu, kas pasargātu no gruntsūdens ietekmes (sk. 20.att.)



6.20.att. Pamatu aizsardzība pret mitrumu [99]

Labajā attēlā redzams, ka grunts ūdeņu augstais līmenis izraisa mitruma iekļūšanu pamatos, nesošajās konstrukcijās un ar laiku konstrukcijas sagrūšanu kapilārās mitrināšanas efekta dēļ. Turpretī kreisajā attēlā pamata daļa ir izolēta un pa cauruli tiek novadīts liekais mitrums, tādā veidā efektīvi pārtraucot ūdens kapilāro pacelšanos uz konstrukcijas sienām. Vairāk informācijas par šo metodi var aplūkot 3.2.3. apakšnodaļā.

Otrais solis ir nosusināt ēkas sienas ar iekārtu, kas savā darbībā izmanto elektrofizikas principu. Rezultātā esošais mitrums pa kapilāriem kanāliem tiek novadīts uz leju (vairāk informācijas 3.2.2. apakšnodaļā). Iekārtu būtu nepieciešams darbināt vismaz 4 gadus un tad visbeidzot sienu pārklāt ar silāna pārklājumu (vairāk informācijas 3.2.1. apakšnodaļā), kas neļautu mitrumam iekļūt sienā un ziemas laikā to bojāt.

Ekoloģiskā analīze

CO₂ izmešus rada gandrīz ikviens process dabā, bet, protams, visvairāk šīs kaitīgas vielas rodas cilvēka darbības rezultātā. Viens no efektīvākajiem vides aizsardzības līdzekļiem

ir racionāls enerģijas patēriņš. Saprātīgi izmantojot sekundāro enerģiju, varētu nodrošināt cilvēces vajadzības bez pārmērīgiem enerģisko jaudu kāpinājumiem [106].

Jāatceras, ka jebkurš energoefektivitātes risinājums nepastāv viens pats. Svarīgi ir atrast ne tikai optimālos ekonomiskos rādītājus, bet arī samazināt ietekmi uz vidi, it īpaši uz klimata pārmaiņām. Šobrīd ekonomiskie un ekoloģiskie kritēriji saplūst, emisiju tirdzniecības ietekmē ir mainījušās prioritātes, un ilgu laiku otrajā plānā bijušās klimata problēmas ir izvirzījušās vienā līmenī ar ekonomiskajiem jautājumiem. Šādai analīzei dots specifisks nosaukums: oglekļa stratēģija [22].

Pirms energoefektivitātes pasākumu veikšanas nepieciešams aprēķināt siltumnīcas efektu izraisošo gāzu (turpmāk tekstā – SEG) emisijas apjomu. CO₂ emisijas apjomu gada laikā aprēķina pēc sekojošas formulas [105]:

$$CO_2 = R \cdot B = 0,202 \cdot 40 = 8,08 \text{ t CO}_2 \text{ gadā} \quad (21)$$

kur:

R- kurināmā emisijas faktors tCO₂/MWh⁵
B- patērētā siltumenerģija, MWh/gadā

Datu analīzes rezultāti apkopoti 23.tabulā.

23. tabula

CO₂ emisijas apjomu gadā

Silumizolācijas materiāls	Siltumenerģijas patēriņš pēc uzlabojumiem MWh/gadā	t CO ₂ gadā pirms energoefektivitātes pasākumiem	t CO ₂ gadā pēc energoefektivitātes pasākumiem	t CO ₂ ietaupījums, %
Ekovate	25,7	8,08	5,19	36
Linu	26,3		5,31	34
Kaņepu	28		5,66	30
Termovate	25,3		5,11	37
Aerogels	26,2		5,29	35
Vakuuma izolācijas paneļi	24		4,85	40

Energoefektivitātes pasākumu īstenošana ļauj samazināt enerģijas patēriņu, un tas nozīmē, ka būs mazāk jādedzina kurināmais un atmosfērā nonāks mazāk emisiju. Nedaudz atšķirīga ir situācija, ja energosistēmās tiek izmantots videi draudzīgs atjaunojamais energoresurss. Tas nozīmē, ka energoefektivitātes projekti ir jāvērtē katrā gadījumā atsevišķi [107].

Maskavas 8 ēka gada laikā emitē 8,08 tonnas CO₂. Savukārt pēc energoefektivitātes pasākumu veikšanas tiktu samazināta SEG emisija par 3,23 tCO₂ gadā jeb par 40%.

Lai ēkai izvēlētos vispiemērotāko energoapgādes risinājumu ir jāņem vērā vairāki aspekti. Šīs analīzes un veikto salīdzinājumu rezultāti liecina, ka, ja mērķis ir samazināt CO₂ emisiju, tad labākā izvēle ir pielietot visdārgāko siltumizolācijas materiālu, ko autore darbā ir apskatījusi. Taču, ja lēmuma pieņemšanas pamatā ir budžets, tad visizdevīgākais risinājums ir kaņepu siltumizolācijas materiāls.

Izvēli izdarot, pamatojoties uz materiālu salīdzinājumu, jāņem vērā, ka nepastāv kopīgs modelis visa veida ēkām. Ir jāzina, kāds ir enerģijas patēriņš katrā konkrētajā ēkā, kādas ir ēkas enerģijas vajadzības kopumā, jo viens risinājums var būt piemērots industriāla tipa

⁵ Tā kā siltumenerģija tiek iegūta dedzinot dabasgāzi, tad R- kurināmā emisijas faktors ir 0,202 tCO₂/MWh

celtnēm, bet cits dzīvojamajam sektoram. Tehnoloģija, ekoloģija un ieguldījumi ir primārie, taču ne vienīgie izvēli ietekmējošie faktori. Liela uzmanība jāvērs arī pašai uzstādīšanai, ekspluatācijai un komfortam. Jebkurā gadījumā jāanalizē ir visi aspekti vienlaicīgi- tehnoloģija, izmaksas, ietekme uz vidi, ekspluatācija -, lai izvēle būtu tehniski un ekonomiski visizdevīgākā.

Secinājumi

1. Latvijas vēsturiskajām ēkām ir liels energoefektivitātes paaugstināšanas potenciāls, kura ietvaros būtiski var samazināt mājokļu siltumenerģijas patēriņu un iedzīvotāju maksājumus par siltumenerģiju.
2. Energoefektivitātes paaugstināšanai būs vairākas priekšrocības - izmantojot enerģijas ietaupījumus, tiks aizsargāta vide, un tiks veikts ieguldījums, lai līdz 2020. gadam sasniegtu mērķi, proti, par 20 % samazināt siltumnīcefekta gāzes.
3. Pēc vēsturiskajās ēkās izmantotajiem materiāliem, kas veic nesošās funkcijas, nosacīti izšķir māla ķieģeļu un silikātķieģeļu sienas. Jo labāka būs ēkas norobežojošo konstrukciju siltumizolācija, jo mazāki būs ēkas siltuma zudumi un mazāk kurināmā būs nepieciešams izmantot telpu apsildīšanai.
4. Valsts aizsargājamo kultūras pieminekļu sarakstā ir 8532 pieminekļi. Šobrīd Latvijas vēsturisko ēku stāvoklis ir ļoti dažāds- dažas ēkas ir sakoptas, bet vairums ir ļoti nolaistā stāvoklī. Latvijā pēdējo gadu laikā ir veikti vairāki svarīgu vēsturisko ēku atjaunošanas projekti, kas būtiski ietekmējis energoefektivitāti.
5. Pasaulē ir izgudroti daudzi siltumizolācijas materiāli ar viss dažādākiem siltumvadītspējas koeficientiem (0,004- 0,2), tāpēc vēsturiskajām ēkām ir jāizmanto ar pēc iespējas zemāku siltumvadītspējas koeficientu, kas ļautu izmantot plānāku siltumizolācijas slāni.
6. Apsekotās 10 ēkas atrodas dažādās Rīgas priekšpilsētās un ir dažādi ģeometriskie izmēri un atšķirīgas apkurināmās platības 56,3- 2447,1 m².
7. Mērījumu noteiktās korelācijas koeficienta R² vērtības bija no 0,83 līdz 0,96 un tas nozīmē, ka vienādojumi aprakstīja 83- 96% no mērījuma rezultātu izmaiņām. Korelācijas koeficients liecina par to, ka starp mērījumu un aprēķinu rezultātiem ir cieša saite.
8. Esošais ēku siltumenerģijas patēriņš pētījumos novērtēts robežās no 101 līdz 246 kWh/m² gadā. Ietaupījumu lielums pēc renovācijas ir atšķirīgs katrai ēkai, bet tas ir prognozējams, veicot aprēķinus. Saskaņā ar energoauditu rezultātiem, ēkas siltināšanas gadījumā ir iespējams samazināt ēkas apkures siltumenerģijas patēriņu aptuveni no 40 līdz 60 % gadā.
9. Pēc LBN 002-01 lielākais pieļaujamais siltuma caurlaidības koeficients pēc renovācijas ir 0,33. Šobrīd reālās U- vērtības svārstās no 0,35-1,48 W (m² ·K). Pēc mērījumu rezultātiem tika konstatēts, ka vissliktākais stāvoklis ir ēkai Maskavas ielā 8, kuras siltuma caurlaidība ir 1,48 W (m² ·K), bet vislabākā situācija Melnsilas 7 (0,35 W (m² ·K))
10. Risinājums ēkai Maskavas 8 renovācijai ir uzstādīt sienas iekšpusē aerogel siltumizolācijas materiālu, kas ļautu patēriņu samazināt no 40 MWh/gadā uz 26 MWh/gadā. Papildus vēl uzlabot norobežojošo konstrukciju stāvokli ar sienu sausināšanas metodēm (pamatu sausināšana, sienas sausināšana un sienas pārklāšana ar silāna produktu).
11. Katrai analizētajai ēkai pastāv funkcionāla sakarība starp patērēto siltumenerģiju un grādu dienu skaitu, ko, piemēram, ēkai Krišjāņa Barona ielā 80 izsaka lineārs regresa vienādojums $y = 0,0403x - 4,6075$.
12. Pētījumā vislielākais ēkas apkures enerģijas patēriņš gadā konstatēts ēkai Maskavas ielā 8- (712 kWh/m²), bet vismazākais ēkai Pētersalas 17- (102 kWh/m²).
13. Pēc aprēķiniem veicot norobežojošo konstrukciju siltināšanu ēka vidēji samazinātu līdz 40% t CO₂ gadā no iepriekš emitētā apjoma.

Izmantotā literatūra

1. Karnīte R., Valsts pārvaldes institūcijas pasūtītais pētījums "Kultūras pieminekļu īpašnieku attieksme pret kultūras pieminekļu statusu kā apgrūtinājumu", 2002, -59.lpp.
2. Par kultūras pieminekļu aizsardzību: LR likums// Latvijas Vēstnesis/ 1992., 11. marts)
3. Kultūras un vēstures mantojums // http://www.ceroi.net/reports/riga/latviski/kultura/herit_protect.htm [04.11.2011.]
4. Valsts kultūras pieminekļu aizsardzības inspekcija // <http://www.mantojums.lv/?cat=577&lang=lv> [04.11.2011.]
5. Kultūras pieminekļu skaits // <http://www.mantojums.lv/?cat=592&lang=lv> [30.10.2011.]
6. Rīgas vēsturiskā centra saglabāšanas un aizsardzības likums: LR likums// Latvijas Vēstnesis.- Nr. 87. (2003., 11. jūnijs).
7. Dambis J. Baltijas jūras valstu 4. Kultūras mantojuma forums "kultūras mantojums-mūsdienu izaicinājums", Kultūras mantojums un mūsdienu arhitektūra, 2010. gada 9.septembris, -32.lpp
8. ES kultūras mantojuma politika// <http://www.km.gov.lv/lv/es/kulturpolitika/mantojums.html> [15.10.2011.]
9. Rubīna M., Golunovs J., Indriksone D., Ēku energoefektivitātes Paaugstināšana, Eiropas Savienības politika un labas prakses piemēri pašvaldībās.- Rīga, 2008.- 32.lpp.
10. Liepiņš S. Būvniecības tehnoloģija, „Risinājumi un būvniecības tehnoloģija ēku energoefektivitātes paaugstināšanai.- Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2011 -28. lpp.
11. Enerģijas ietaupījumi galapatēriņā: 2010. 9adā, -6.lpp.
12. Energoefektivitātei nepieciešams sabiedrības atbalsts// http://mvd.riga.lv/lv/arhivs_parvaldnieks/energoefektivitate/ [28.10.2011.]
13. Rīgas vēsturiskā centra saglabāšanas un aizsardzības noteikumi: MK noteikumi// Latvijas Vēstnesis.- Nr. 127. (2004. gada 8.marts).
14. 4th Baltic Sea region cultural heritage forum// <http://forums.mantojums.lv/paralelsesijas/> [01.11.2011.]
15. Liepiņš S. Būvfizikas spekurss, LBN 002-01 'Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika' izpēte. Ūdens tvaika difūzijas pretestība.- Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte 2011., -13.lpp.
16. Rīgas pilsētas pašvaldības nolikums: Rīgas domes saistošie noteikumi// Latvijas Vēstnesis.- Nr. 167. (2011. gada 1. marts).
17. Šperberga M. Biržas ēkas jaunā dzīve // Būvinženieris. – Nr.19 (2011., aprīlis), -27. lpp.
18. Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 002-01 "Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika". MK noteikumi// Latvijas Vēstnesis.- Nr.495 (2001., 30. Novembris).
19. Eiropas Parlamenta un padomes direktīva 2002/91/EK: Padomes direktīva // Oficiālais Vēstnesis. – L001. 2003. gada 4. janvāris.
20. Ēku energoefektivitātes likums: Latvijas Republikas likums // Latvijas Vēstnesis. – Nr.51/3835. 2008. gada 18. marts.

21. Padomes direktīva 93/76/EEK: Padomes direktīva // Oficiālais Vēstnesis. – L237. 1993. gada 13. septembris.
22. Dravnieks J., Matemātiskās statistikas metodes. Mācību grāmata, Rīga, 2004, -68. lpp.
23. Straube J.F., Ueno K., and Schumacher C. J., Internal Insulation of Masonry Walls: Final Measure- Guideline, 2011, pp.-99.
24. Sprūde V. Krīze – kultūras pieminekļu glābšanas laiks // Latvijas Avīze, Kultūra (2009., 25. jūnijs) -8. lpp.
25. Rīgas biržas ēka// <http://rigasbirza.lv/restauracija-un-rekonstrukcija?device=mobile> [19.05.2012]
26. Kultūras mantojums// <http://www.mantojums.lv/?cat=579&lang=lv> [17.10.2011.]
27. Refurbishment for the energy efficiency of historic buildings in member states in the Baltic Sea Region, A handbook of the “most common methods for improvements to energy efficiency” pp.-68
28. Kalns J. Vēsturiskās celtnes un energoefektivitāte// Latvijas Vēstnesis (2011., 1. decembris).
29. Rīgas 2.ģimnāzija
http://www.abc.lv/?template=abc_raksts&article=rigas_2_gimnazija [18.05.2012]
30. Meier H., Rehdanz K., Determination of residential space heating expenditures in Great Britain, Energy Economics (2009).
31. Balaras C.A., Gaglia A.G., Georgopoulou E., Mirasgedis S., Sarafidis Y., Lalas D.P. European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings, Building and Environment (2007), pp. 1298–1314.
32. Noviks J. Ģimenes māja. Rīga: SIA Tehniskā grāmata, 2006. 125.-127. lpp.
33. Cīņa ar klimata pārmaiņām. Eiropas Savienība rāda ceļu. Eiropa kustībā. Eiropas Komisija: Komunikācijas ģenerāldirektorāts, Belgium, 2007. - 28 lpp.
34. Kārkliņš R. Nekustamais īpašums// Nedēļa. (2008.,28. aprīlis) -24. lpp.
35. Brandt US, Svendsen GT. Hot air in Kyoto, cold air in the hague- the failure of global climate negotiations. Energy Policy- Denmark: University of Southern Denmark, 2002, pp. 1191–1199.
36. Masters GM. Introduction to environmental engineering and science: life-cycle assessment. 2nd ed. USA: Prentice-Hall; 1998. pp. 561–566.
37. Filippi´n C. Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina. Argentina 2000, pp. 407–414.
38. Feijoo´ ML, Franco JF, Herna´ndez JM. Global warming and the energy efficiency of Spanish industry. Energy Econ, Spain: 2002, pp. 405–423.

39. Lee W.L., Yik F.W.H., Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency: China, 2004, pp. -23
40. Augusts G. - SIA „Premium Film”// REA vēstnesis, Nr.13 (2011.gada 1.ceturksnis), 21-22.lpp.
41. Kas ir ilgtspējīga būvniecība//www.zalasmajas.lv [Tiešsaiste 30.10.2011.]
42. Rauza R., Zema enerģijas patēriņa (pasīvas) ģimenes Mājas un to attīstības virzieni. Maģistra darbs, 2011.g, -62.lpp.
43. Vulans A. Domāt un rīkoties energoefektīvi pareizi// Latvijas būvniecība – Rīga. 2010 - 6.lpp.
44. Vasco P. de F., The influence of the thickness of the walls and their properties on the treatment of rising damp in historic buildings Isabel Torres- Portugal, 2010, pp.-9.
45. Lapsa V.A., Krasnikovs A. Termosa tipa ēkas, to ārsienu konstrukcija un tehnoloģija// Latvijas būvniecība – Rīga, 2007.
46. International Standard ISO 9869:1994 „Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance”
47. Energy efficiency in historic BUILDINGS Insulating solid walls, 10.02.2010. pp.- 17.
48. Liepiņš S. „Būvniecības tehnoloģija, Risinājumi un būvniecības tehnoloģija ēku energoefektivitātes paaugstināšanai: 2011, -28.lpp
49. Grīniņa I. Kā noķert un paturēt siltumu// Laikraksts kurzemnieks 2009., 29 Septembris
50. Gorenko P., Latvijas lauksaimniecības konsultāciju un izglītības atbalsta centrs, būvniecība- Ozolnieki, 2002, -102.lpp.
51. Sharon C. Park, Holding the Line Controlling Unwanted Moisture in Historic Buildings, AIA- Washington, October, 1996 pp. -9.
52. Anglijas piemēri, Energy Efficiency and Historic Buildings, -62.lpp 31/03/2011
53. Sharon C. Park Diagnosing Moisture in Historic Buildings, Washington, pp. 11-14.lpp
54. WIGOPOL mūra žāvēšanas sistēma// <http://www.regelo.lv/wigopol.php> [Tiešsaiste 31.10.2011.]
55. Changhong Su, Facile fabrication of a lotus-effect composite coating via wrapping silica with polyurethane- China, 2009,pp. -6.
56. Beramā vate// http://www.rbb.lv/ekovate/home.php?lang=lv&table=ekovate_ekovate [07.02.2012]
57. Bjørn P.J, Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities- Norway, 2011, pp. -15.

58. Videi draudzīgu celtniecības un apdares materiālu pielietošana būvniecībā// <http://www.macies.celotajs.lv/publ/learn/building-lv/html/bk01-toc.html> [Tiešsaiste 30.10.2011.]
59. Robert C. Mack, Grimme A., Assessing Cleaning and Water-Repellent Treatments for Historic Masonry Buildings- Washington, 2000 pp. -8.
60. Kaņepju siltumizolācija// <http://www.thermo-hanf.de>
61. Kalamees T. Alternatīvseid soojustusmaterjale puitkarkasshoonetele, Ehitaja 2002, pp. -8.
62. Kymäläinen H.R., Sjöberg A.M., Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations- Helsinki, 2007, pp. -9.
63. Sienu un pagrabu sausināšana// <http://lv.lv.allconstructions.com/portal/categories/23/1/0/1/article/531/sienu-un-pagrabu-sausinasana> [Tiešsaiste 31.10.2011.]
64. Guimarães A.S., Delgado J.M.P.Q., Freitas V.P. de, Mathematical analysis of the evaporative process of a new technological treatment of rising damp in historic buildings- Portugal, 2010, pp. -7.
65. Termovate// http://www.gamo.lt/index.php?option=com_content&task=view&id=1&Itemid=2 [7.02.2012]
66. Termovate// <http://termoputekspertai.lt/Termoputos/Namo-siltinimo-darbu-eiga> [7.02.2012]
67. NASA// <http://stardust.jpl.nasa.gov/photo/aerogel.html>, retrieved December 17,2010. [05.02.2012]
68. Aerogel photos// <http://www.aerogel.com/video.html> [05.02.2012]
69. Baetensa R., Bjørn P. J., Gustavsen A., Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review, - Norway, 2010. pp -9.
70. Stahl Th., Brunner S., Zimmermann M., Ghazi Wakili K., Thermo-hygric properties of a newly developed aerogel based insulation rendering for both exterior and interior applications- Switzerland, 2011, pp -4.
71. Pyrogel XTF – Flexible Industrial Insulation for High-temperature Applications, Retrieved, 2009
72. Simmler H., Brunner S., Heinemann U., ea, Vacuum insulation panels. Study on VIPcomponents and panels for service life prediction in building applications 2005, pp.- 159.
73. Zwerger M., Klein H., Integration of VIPs into external wall insulation systems, in: Proceedings of the 7th International Vacuum Insulation Symposium, EMPA,

- Dübendorf, Switzerland, 28–29 September, 2005, pp. 173–179.
74. Bjørn P.J., Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities-Norway, 2011, pp -15.
 75. Simmler H., Brunner S., Vacuum insulation panels for building application Basic properties, aging mechanisms and service life- Switzerland, 2005, pp-10.
 76. Marouani S., Investigation of the resistance welding of multilayers aluminum-coated polymer complexes used as envelopes of vacuum insulation panels- France, 2011, pp.-11.
 77. Ebert D., Bhushan B., Durable Lotus-effect surfaces with hierarchical structure using micro- and nanosized hydrophobic silica particles-USA, 2011, pp. -8.
 78. Vulāns A., Cik vērtā ir būvprojektu energoefektivitātes sadaļas detalizēta izstrāde?// Žurnāls Būvinženieris NR.19, 2011,38-41.lpp
 79. Bumbieris E. - SIA „Green Reality” valdes priekšsēdētājs// REA vēstnesis, Nr.12 (2010.gada 4.ceturksnis), 11-14.lpp.
 80. Avdelidis N.P., Moropoulou A., Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures-Athens, Greece, 2003, pp.-9.
 81. Mākslas muzejs // <http://www.irliepaja.lv/lv/raksti/kultura/muzeja-renovacija-izmanto-specialu-apmetumu-vesturiskajam-celtnem/> [19.05.2012]
 82. Amatniecības centra ēka// http://www.abc.lv/?article=maja_ar_zelta_saktu [19.05.2012]
 83. Avdelidis N.P, Moropoulou A. Applications of infared thermography for the investigation of historic structures// Journal of Cultural Heritage 5 (2004) pp.-121
 84. Valainis V., Siltināšanas varianti// Mana Māja, Nr. 181 (26.01.2010)
 85. Luo C., Moghtaderi B., Hands S., Page A., Determining the thermal capacitance, conductivity and the convective heat transfer coefficient of a brick wall by annually monitored temperatures and total heat fluxes- Australia, 2010, pp.-7.
 86. Bērziņš G., Sienu siltināšanas metodes// Mana Māja, Nr. 209 (21.11.2011)
 87. Gendelis S., Jakovičs A., Ēku siltuma zudumu kompleksā analīze.2004.g. -5.lpp
 88. Jakovics, A., Jekabsons, N., Mühlbauer, A., Trümmann, H. , Bestimmung des effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauelementen unter praxisnahen Bedingungen. Elektrowärme international 1987, Nr. A2, pp. 77- 83.
 89. Jakovics, A., Gendelis, S., Krievāns, Z. (1999) Determination of the heat transfer coefficient of construction elements for existing buildings -Poland,1999, pp. 145-152.
 90. Jakovičs A., Gendelis S., Krievāns Z., Ēku siltuma zudumu un apkures siltuma vajadzības datormodelēšana- Rīga: Fizikas un matemātikas fakultāte, Latvijas

Universitāte 2000.g.,-8 .lpp

91. Ēkas energoefektivitātes aprēķina metode: Ministru kabineta noteikumi / Latvijas Vēstnesis. – Nr. 39 (2009.gada 13.janvāris).
92. Straube J.F., Ueno K., Schumacher C. J., Internal Insulation of Masonry Walls: Final Measure Guideline – U.S. 2011, pp.-99.
93. Mākslas muzejs // <http://kultura.delfi.lv/news/cultureenvironment/liepajas-muzeja-notiek-lidz-sim-verienigaka-rekonstrukcija.d?id=42127309> [19.05.2012]
94. Siltuma plūsmas blīvuma mēriekārta// <http://www.hukseflux.com/products/thermalConductivity/trsys01.html> [26.09.2011]
95. Gendelis S., Jakovičs A., Ēku siltuma zudumu kompleksā analīze// žurnāls Energētika un automatizācija, 2004. gads, 42-46.lpp.
96. J. Dravnieks, Matemātiskās statistikas metodes sporta zinātnē, Rīga 2004.gads, - 76.lpp.
97. Belindževa-Korkla O., Metodiskie norādījumi praktiskajiem darbiem priekšmetā "Būvniecības siltumfizika"-Rīga, RTU - 2004, -83.lpp.
98. Gendels S., Ēku siltuma zudumu analīze, izmantojot matemātiskos modeļus, -6.lpp.
99. Tylpar ģeotekstila izmantošanas piemēri// <http://www.lauda.lv/?l=1&mu=64> [06.05.2012]
100. Borodiņecs A., Krēsliņš A. RTU rekomendācijas būvnormatīva LBN 002-01 pielietošanai ēku projektēšanā un būvniecībā. Būvniecības siltumfizika ēku projektētājiem. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2007. – 132 lpp.
101. Fahretdinova A. Energoefektivitātes palielināšanai varētu renovēt līdz 70% daudzdzīvokļu namu// Diena (2012. gada 9. marts)
102. Latvijas Lauku tūrisma asociācija "Lauku Ceļotājs", Dabas resursu saudzīga izmantošana, 2009, -108.lpp.
103. Enerģētikas stratēģija 2030, -85.lpp.
104. Blumberga A., ēku energoefektivitātes izpēte. Ekonomiskā un ekoloģiskā optimizācija. Promācijas darbs. Rīgas Tehniskā universitāte. Rīga. 2001.
105. Klimata pārmaiņu finanšu instrumenta finansēto projektu atklāta konkursa "Energoefektivitātes paaugstināšana pašvaldību ēkās" nolikums// Ministru kabineta noteikumi Latvijas Vēstnesis.- Nr. 645 Rīgā (2009.gada 25.jūnijs)
106. Barkāns, J. Kā ietaupīt enerģiju un saudzēt vidi – Rīga: SIA „Bota”, 1997 – 369. lpp.
107. Blumberga, D., Blumberga, M., Kārnupa, I., Rochas, C. Energoplānošana – Rīga: Izdevniecība, 2004. – 23 lpp.

108. Mākslas muzejs //http://kultura.delfi.lv/news/cultureenvironment/liepajas-muzeja-notiek-lidz-sim-verienigaka-rekonstrukcija.d?id=42127309 [19.05.2012]