LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LAUKU INŽENIERU FAKULTĀTE
ARHITEKTŪRAS UN BŪVNIECĪBAS KATEDRA

LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE
FACULTY OF RURAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

ESF
EIROPAS SOCIĀLAIS FONDS
EIROPAS SAVIENĪBA
IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Mg.sc.ing. ĒRIKS KRŪMIŅŠ

SILTUMENERĢIJAS PATĒRIŅŠ PUBLISKĀS ĒKĀS

THERMAL ENERGY CONSUMPTION IN PUBLIC BUILDINGS

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
Inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY
of the Doctoral thesis for the scientific degree of Dr.sc.ing.

____
(paraksts)

Jelgava, 2015

Promocijas darba zinātniskais vadītājs / Supervisor: Dr.sc.ing. Arturs Lešinskis

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Lauksaimniecības universitātē Lauku inženieru fakultātē Arhitektūras un būvniecības fakultātē. / Research was carried out in Latvia University of Agriculture, Faculty of Rural Engineering, Department Of Architecture And Construction.

Oficiālie recenzenti / Official reviewers:

1. Dr.phys. Uldis Gross, Latvijas Lauksaimniecības universitāte / Latvia University of Agriculture;
2. Dr.sc.ing. Hendrik Voll, Tallinas tehnoloģiju universitāte / Tallinn University of Technology;
3. Dr.phys. Andris Jakovičs, Latvijas universitāte / University of Latvia

Promocijas darba izstrāde veikta ar ESF granta atbalstu / Doctoral thesis has been worked out by financial support of ESF.
Līguma / Contract Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātē Lauku inženieru fakultātē Akadēmijas ielā 19, Jelgavā, 2015.gada 23.februārī plkst. 12:00 / To be presented for public discussion in an open session of Promotion Council of Civil Engineering sciences of Latvian University of Agriculture held on Latvia University of Agriculture, Faculty of Rural Engineering Akademijas street 19, Jelgava, February 23, 2015 at 12:00.
Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā ielā 2, Jelgavā vai http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html / The Doctoral thesis and the summary of Doctoral thesis are available at the Fundamental Library of Latvian University of Agriculture, Liela street 2, Jelgava or http://llufb.llu.lv/promoc_darbi_en.html
Atsauksmes sūtīt LLU Būvzinātnes padomes sekretārei Dr.paed. Inesei Bīmanei - inese.bimane@llu.lv./ **References are welcome to be send** to Dr.paed Inese Bīmane - inese.bimane@llu.lv.

ISBN: 978-9984-48-173-9

Satura rādītājs

IEVADS

Darba aktualitāte

Eiropas Savienība, tās sastāvā esošās valstis, ir viena no šādām valstu grupām, kas izstrādā stratēģiju, kas vērsta uz enerģētisko resursu izlietojuma samazināšanu un racionālu izlietošanu. Eiropas Savienības valstu ģeogrāfiskās atrašanās vietas un klimatiskie apstākļi ir ļoti atšķirīgi, tāpēc arī taktika, jeb plāna īstenošanas veidi, būs atšķirīgai. Eiropas Savienības parlamenta un Padomes vairākas direktīvas, kas ir šī stratēģiskā plāna sastāvdaļas – par ēku energoefektivitāti (2002/91/EC) un (2010/31/ES), par koģenerācijas veicināšanu (2004/8/EC), par enerģijas galapatēriņa efektivitāti un energoefektivitātes pakalpojumiem (2006/32/EC), kurā ir noteikts orientējošs energoresursu taupīšanas mērķis – 9 gadu laikā par 9% samazināt enerģijas patēriņus un citi stratēģiskie dokumenti. (Commission of the..., 2000; Commission of the..., 2006; Eiropas Parlamenta un... 2002; Eiropas Parlamenta un... 2004; Eiropas Parlamenta un... 2006; Energy Efficiency. Energy..., 2011)

Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2010/31/ES no 2010. gada 19. maija par ēku energoefektivitāti: „Lielākais enerģijas taupīšanas potenciāls ir ēku sektorā. Plānā īpaša uzmanība pievērsta instrumentiem, kas veicina sabiedrisko un privāto ēku renovāciju un tajās izmantoto komponentu un ierīču enerģijas patēriņa rādītāju uzlabošanu. Plānā minēts, ka priekšzīme jārāda publiskajam sektoram — ir ierosināts paātrināt sabiedrisko ēku atjaunošanu, nosakot saistošu mērķi un ieviešot energoefektivitātes kritēriju publisko līdzekļu tēriņos. Energoapgādes uzņēmumiem paredzēts pienākums dot iespēju patērētājiem samazināt enerģijas patēriņu. No 2019. gada noteikumi attieksies arī uz jaunām publiskā sektora ēkām, kam būs jāpanāk "gandrīz nulles enerģijas" rādītāji”. (Eiropas Parlamenta un..., 2010)

Lai izstrādātu un īstenotu dzīvē šos plānus, tas nozīmē, sekmētu normatīvajos aktos noteikto mērķu sekmīgu izpildi, nepieciešama zinātniska pieeja jautājumu risināšanā. Latvijas zinātnieku līdzšinējais veikums pētījumos par ēku enerģētisko resursu izlietojumu, iekštelpu gaisa kvalitātes parametriem, ir atspoguļots pamatā tikai dzīvojamo ēku sektorā. Līdz šim literatūrā maz atspoguļots Latvijas zinātnieku veikums pētījumos par enerģētisko resursu izlietojumu publisko ēku sektorā. Pētījumi pamatā veikti par publisko ēku IGK. (Borodinecs, Budjko, 2009; Bahmanis u.c., 2010; Stankeviča, 2011)

Liela nozīme ir datu iegūšanai par ekspluatācijā esošām ēkām, jeb ēku energoauditam un energosertifikācijai valstī. Promocijas darbs izstrādāts tiešā saskaņā ar šādu Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvas 2010/31/ES par ēku energoefektivitāti norādi. (Eiropas Parlamenta un..., 2010)

Promocijas darba mērķis, pētījuma objekts un priekšmets

Promocijas darbā veikts pētījums, kura **mērķis** bija izstrādāt siltumenerģijas izlietošanas optimizācijas algoritmu publiskām ēkām. Ar kvantitatīvās izpētes metodi tika iegūta atbilstoša rakstura informācija par **pētījuma objektu** – Rīgas pilsētas pašvaldības īpašumā vai apsaimniekošanā esošu publisko ēku. Pētījuma **priekšmets** ir siltumenerģijas resursi to izlietojums iepriekšminētajās ēkās 2008.gadā. Promocijas darbā ir veikta publisko ēku sektora daļas – skolu un pirmsskolas izglītības iestāžu ēku enerģētisko resursu izlietojuma analīze. Salīdzināti un analizēti siltumenerģijas patēriņi nerenovētās ēkās ar ēkām pēc renovācijas un jaunbūvēs. Veikta datu ieguve eksperimentālajās ēkās par iekštelpu gaisa mikroklimata parametriem un vienā no eksperimentālajām ēkām veikta jaunbūvētās un renovētās ēkas daļas daļējs energoaudits, lai noskaidrotu siltuma zuduma vietas un analizētu to cēloņus.

Promocijas darba hipotēze

Promocijas darbam izvirzīta **hipotēze**: siltumenerģijas izlietošanas intensitāte jaunbūvētajās un renovētajās ēkās ne vienmēr ir mazāka vai vienāda ar normatīvajos aktos noteikto maksimālo robežu.

Promocijas darba uzdevumi

Promocijas darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi darba **uzdevumi**:

1. apkopot viena gada enerģētisko resursu izlietojuma galapatēriņu datus publiskajās ēkās;
2. salīdzināt siltumenerģijas patēriņus jaunbūvētajām un renovētajām ēkām ar nerenovētu ēku siltumenerģijas patēriņiem;
3. veikt iekštelpu gaisa mikroklimata parametru datu analīzi eksperimentālajās ēkās;
4. eksperimentālajā ēkā noteikt siltuma zudumu vietas;
5. izveidot optimizācijas algoritmu un ekonomiskā izvērtējuma metodiku.

Pētījuma metodes

Promocijas darba izstrādē izmantotas šādas pētījumu datu iegūšanas un apstrādes **metodes**: monogrāfiskā, analīzes, t.sk. dokumentu analīzes, grafiskā, loģiski-konstruktīvā, datu iegūšanas ar atbilstošiem mērinstrumentiem, t.sk. kvantitatīvās izpētes, sintēzes un matemātiskās statistikas (korelācijas analīze, regresijas analīze).

Pētījuma zinātniskais nozīmīgums

Promocijas darba ietvaros veiktais pētījums ir **zinātniski nozīmīgs**, jo tiek papildināta būvniecības jomas pētījumu bāze Latvijā ar pētījumu par siltumenerģijas resursu izlietojumu publiskās ēkās atkarībā no to statusa: jaunbūvētas, renovētas un nerenovētas. Tik liela apjoma un šādi strukturēts pētījums būvniecības nozarē ir veikts pirmo reizi Latvijā. Promocijas darba rezultāti izmantojami atbilstošu normatīvo aktu, t.sk. būvnormatīvu, izstrādāšanai, kā arī publisko ēku būvniecībā. Tie ir adaptējami lietošanai arī citās ēku grupās.

Pētījuma novitāte

Promocijas darba ietvaros veiktais pētījums ir:

1. pirmais šādā veidā strukturētais pētījums Latvijā, kad tiek salīdzināts siltumenerģijas resursu izlietojums ēkās ar atšķirīgiem statusiem – jaunbūvētas, renovētas un nerenovētas;
2. pirmais pētījums, kura rezultātā ir izstrādāts siltumenerģijas resursu izlietojuma optimizācijas algoritms publiskām ēkām – GOSPIL, kas nosaka siltumenerģijas patēriņa intensitātes maksimālos lielumus atkarībā no ēku grīdu laukumiem, un ir sniegta metodika kapitālieguldījumu efektivitātes novērtēšanai būvniecībā;
3. pirmais tik liela apjoma pētījums par siltumenerģijas resursu izlietojumu Rīgas pilsētas pašvaldības īpašumā vai apsaimniekošanā esošajās publiskās ēkās ar tā analīzi.

Pētījuma tautsaimnieciskais nozīmīgums

Promocijas darba ekonomisko nozīmīgumu raksturo izveidotais siltumenerģijas izlietošanas optimizācijas algoritms publiskām ēkām – GOSPIL (gadā patērētās siltumenerģijas intensitātes optimizācijas līnija) ēku energoefektivitātes uzlabošanai un izveidota ekonomiskā izvērtējuma metodika kapitālieguldījumu izvērtēšanai.

Promocijas darbā iegūtie rezultāti ir sociāli nozīmīgi, jo pilnībā atspoguļo būvniecības tendences Latvijā un atklāj daļu no šī procesa nepilnībām.

Autora izveidotais siltumenerģijas izlietošanas optimizācijas algoritms un ekonomiskā izvērtējuma metodika pielietojami būvniecības procesā ēku energoefektivitātes paaugstināšanai un kapitālieguldījumu racionālai izmantošanai.

Informācija par zinātniski pētniecisko darbu

Promocijas darbs „Siltumenerģijas patēriņš publiskās ēkās” izstrādāts Latvijas Lauksaimniecības universitātē Lauku inženieru fakultātē Arhitektūras un būvniecības katedrā laika periodā no 2010. gada septembra līdz 2013. gada augustam profesora, Dr.sc.ing. Artura Lešinska zinātniskajā vadībā.

Aizstāvamās tēzes

1. Promocijas darbā sasniegtais mērķis harmonizē ar Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvas 2010/31/ES uzstādījumu, kas nosaka, ka priekšzīme enerģētisko resursu izlietošanas samazināšanā un taupīšanā jārāda publiskajam ēku sektoram, panākot augstu energoefektivitātes līmeni tajā.
2. Promocijas darba ietvaros veiktā pētījuma rezultāts ir nozīmīgs ieguldījums būvniecības procesa sakārtošanai Latvijā.
3. Promocijas darbā atspoguļotā būvniecības darbu kvalitātes tendence attiecināma uz visu būvniecības nozari Latvijā.
4. Starp ēku grīdu platību un izlietoto siltumenerģiju pastāv pozitīva lineāra sakarība.

Promocijas darba ierobežojumi

Autors pētījumā ir apskatījis un analizējis siltumenerģijas resursu izlietojumu par 2008.gadu Rīgas pilsētas pašvaldības īpašumā vai apsaimniekošanā esošās publiskās ēkās, izvēloties par eksperimentālajām divas skaitliski lielākās ēku grupas pēc kvantitatīvās izpētes datiem. Tikai eksperimentālajās p.i.i. ēkās tika iegūti un analizēti telpu mikroklimata parametri un noteiktas siltuma zudumu vietas caur ēkas norobežojošajām konstrukcijām. Atmosfēras spiediena parametri un to mainība netika fiksēti. Promocijas darbā netiek aprēķināti siltuma zudumi caur ēkas norobežojošajām konstrukcijām, netiek noteikti un aprēķināti siltuma ieguvumi no ēkās esošajiem cilvēkiem, tehnikas, elektriskajām un citām sildierīcēm un virsmām. Siltumenerģijas izlietošana karstā ūdens sagatavošanai nav izvērtēta atsevišķi, bet iekļauta kopējā ēkas siltumenerģijas patēriņā, kas izlietots apkurei.

Darba aprobācija / *Thesis approbation*

I. 7–th International Conference "Indoor Climate of Buildings", High Tatras–Štrbske Pleso, Slovākija, 2010.g. 28.novembris–1.decembris, divi ziņojumi:

1. Heat Consumption Analysis in Riga City Public Buildings
2. Results of Living–Room Microclimate Parameter Measures in Multi–Apartment Buildings Before Renovation

II. International Scientific Conference "Civil Engineering'11", Jelgava, Latvija, 2011.g. 12. un 13.maijs., ziņojums:

3. Heat Energy Consumption in Not Renovated Buildings and in Buildings After a Partial Renovation

III. 10th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development", Jelgava, Latvija, 2011.g. 26. un 27.maijs, ziņojums:

4. Heat Energy Consumption Analysis in Riga City Not Renovated Public Buildings and in Buildings After a Partial Renovation".

IV. 12th International Conference on Air Distribution in Rooms "ROOMVENT–2011", Trondheima, Norvēģija, 2011.g. 19.–22.jūnijs, divi ziņojumi, stenda referāts:

5. Heat Consumption Analysis in Public Buildings Managed by Riga City Municipality
6. Indoor Air Quality and Energy Efficiency in Multi–Apartment Buildings Before and After Renovation

V. 12th International Conference on Energy Storage "INNOSTOCK 2012", Lerida, Spānija, 14.–22.maijs, stenda referāts:

7. Case Study on Energy Consumption in Unrenovated, Partially Renovated and Newly Erected Day–care Buildings in Riga, Latvia

.

VI. Rīgas Enerģētikas dienas 2011 (no 5.10.2011.–28.10.2011).

2011.10.13. – prezentācija ar ziņojumu „Siltumenerģijas patēriņa analīzes rezultāti Rīgas pilsētas pirmsskolas izglītības iestādēs" ESF līdzfinansētā projekta COOL$_2$BRICKS ekspertu seminārā. / *Power engineering days in Riga city (from 5.10.2011. to 28.10.2011) 13.10.2011. – presentation „Results of Thermal Energy Consumption Analysis in Day-care Centre Buildings of Riga" in workshop of experts.*

Pētījuma rezultātu publikāciju saraksts / *List of publications of research results*

1. Krūmiņš Ē., Dimdiņa I., Lešinskis A. Heat Consumption Analysis in Riga City Public Buildings, In: *7–th International Conference – INDOOR CLIMATE OF BUILDINGS*. November 28 – December 1, 2010, High Tatras–Štrbske Pleso, Slovakia, pp.217–224, ISBN 978–80–89216–37–6.
2. Dimdiņa I., Krūmiņš Ē., Krūmiņš V., Lešinskis A., Šnīdere L. Results of Living–Room Microclimate Parameter Measures in Multi–Apartment Buildings Before Renovation. In: *7–th International Conference – INDOOR CLIMATE OF BUILDINGS*. November 28 – December 1, 2010, High Tatras–Štrbske Pleso, Slovakia, pp. 33–40, ISBN 978–80–89216–37–6.
3. Krūmiņš Ē., Dimdiņa I., Lešinskis A. Heat Consumption in Not Renovated Buildings and in Buildings After a Partial Renovation. In: *International Scientific Conference – Civil Engineering'11*, May 12–13, 2011, Jelgava, Latvia, ISBN 978–9984–48–048–0, pp. 61–62 (Abstract), ISSN 2255–7776, pp.227–235 (Full Paper). (SCOPUS)

4. Dimdiņa I., Krūmiņš Ē., Krūmiņš V., Lešinskis A., Šnīdere L. Indoor Air Quality and Energy Efficiency in Multi–Apartment Buildings Before and After Renovation: a Case Study of Two Buildings in Riga. In: *International Scientific Conference – Civil Engineering'11*, May 12–13, 2011, Jelgava, Latvia, ISBN 978–9984–48–048–0, pp. 60–61 (Abstract), ISSN 2255–7776, pp. 236–241 (Full Paper). (SCOPUS)
5. Krūmiņš Ē., Dimdiņa I., Lešinskis A. Heat Energy Consumption Analysis in Riga City Not Renovated Public Buildings and in Buildings After a Partial Renovation. In: *10th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. May 26–27, 2011, Jelgava, Latvia, ISSN 1691–3043, vol.10, pp. 348–353. (SCOPUS)
6. Krūmiņš Ē., Dimdiņa I., Lešinskis A. Heat Consumption Analysis in Public Buildings Managed by Riga City Municipality. In: *12–th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT–2011*, June 19–22, 2011, Tronheim, Norway, flash memory, ISBN: 978–82–519–2812–0.
7. Dimdiņa I., Krūmiņš Ē., Krūmiņš V., Lešinskis A., Šnīdere L. Indoor Air Quality and Energy Efficiency in Multi–Apartment Buildings Before and After Renovation. In: *12–th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT–2011*, June 19–22, 2011, Tronheim, Norway, flash memory, ISBN: 978–82–519–2812–0.
8. Krumins E., Dimdina I., Lesinskis A. Heat Energy Consumption and Indoor Environment in the Three Different Conditions of Day–care Centre Buildings. In: *The Fifth International Scientific Conference on RURAL DEVELOPMENT 2011 in Global Changes.* November 24–25, 2011, Kaunas, Lithuania, ISSN 1822–3230, vol.5, book 1, pp. 359–365. (EBSCO)
9. Krumins E., Gredzens A., Dimdina I., Lesinskis A. Case Study on Energy Consumption in Unrenovated, Partially Renovated and Newly Erected Day–care Centre Buildings in Riga, Latvia. In: *The 12th International Conference on Energy Storage, INNOSTOCK 2012.* May 16–18, 2012, Lleida, Spain, flash memory, ISBN: 978–84–938793–4–1.
10. Krūmiņš Ē., Dimdiņa I., Lešinskis A. Energy Consumption in Day–care Centre Buildings. In: *International Conference of Young Scientists on Energy Issues, CYSENI – 2012*. May 24–25, 2012, Kaunas, Lithuania, pp.191–200, ISSN: 1822–7554.
11. Dimdina I., Kruminš Ē., Lešinskis A. Results of Indoor Air Quality Parameters Measures in Not Renovated Multi–Apartment Buildings, RTU zinātniskie raksti. 2.sēr., "Būvzinātne", 13.sējums, Rīga, 2012, pp.6–10. (VERSITA)
12. Krumins E., Bake M., Dimdina I., Lesinskis A. Indoor Environment Quality in Riga City Kindergarten Buildings: Actual Data, Problems and Solutions. In: *International Sustainable Building Conference Graz 2013.* September 25–28, 2013, Graz, Austria, pp.159–165, ISBN: 978–3–85125–301–6.


AEE INTEC

TU Graz

SB13 Graz

CERTIFICATE

BEST PAPER OF SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE

September 25–28, 2013

Graz University of Technology, Austria

Indoor Environment Quality in Riga Kindergarten Buildings: Actual Data, Problems and Solutions

Postertitle

E. Krumins; M. Bake; I. Dimdina; A. Lesinskis

Authors

Graz, 26th of September 2013

Maydl Peter
IMBT TU Graz

Passer Alexander
IMBT TU Graz

Höfler Karl
AEE Intec

Konferenču tēzes / *Conference theses*

13. Lešinskis A., Dimdiņa I., Stankeviča G., Krūmiņš Ē. Summer Overheating of the Buildings: Reasons and Consequences. In: *International Scientific Conference – Civil Engineering'11*, May, 12–13, 2011, Jelgava, Latvia, pp.59–60, ISBN 978–9984–48–048–0.
14. Ilze Dimdiņa, Ēriks Krūmiņš, Arturs Lešinskis, Laimdota Šnīdere. Dzīvojamo telpu mikroklimata parametru mērījumi daudzdzīvokļu ēkās pirms un pēc renovācijas. No: *PLZK, tēžu krājums, sekcija – Tehniskās zinātnes*, 24.–27.oktobris, 2011, Rīga, Latvija, 65.lpp., ISBN: 978–9934–10–227–1.

Publikācija žurnālā / *Publication in the journal*

15. Ē.Krūmiņš. Daži secinājumi no pētījuma par siltumenerģijas izlietojumu ēkās. *Latvijas architektūra*, 2012., 2 (99), 32.–34.lpp., ISSN: 1407–4923–01.

Darba struktūra

Promocijas darbā veikta siltumenerģijas resursu izlietojuma analīze Rīgas pilsētas pašvaldības īpašumā vai apsaimniekošanā esošajām publiskajām ēkām par 2008.gadu.

Promocijas darba pirmajā nodaļā aplūkoti atšķirīgie zinātnieku viedokļi par globālo klimata izmaiņu un globālās sasilšanas cēloņiem, sekām un ietekmi, ko tās atstāj uz mūsdienu ēku iekštelpu gaisa kvalitāti (IGK) un ēku telpu mikroklimatu kopumā. Apskatītas IGK iedarbības sekas uz cilvēka organismu un veselību. Pirmajā nodaļā aplūkota arī enerģētisko resursu izlietošanas ilgtspējības principu būtība un nozīme būvniecībā. Latvijā šodien neatliekami jāveic darbības, kas samazina ēku siltumenerģētisko resursu patēriņu, kā tas noteikts arī Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 2010/31/ES par ēku energoefektivitāti, jo enerģētisko resursu patēriņa samazināšana un taupīga izlietošana ir prioritārs pasākums ēku ilgtspējībai.

Promocijas darba otrajā nodaļā izklāstītas veiktā pētījuma datu iegūšanas un analīzes metodes. Kvantitatīvās izpētes dati iegūti, izsūtot pašvaldības institūcijām anketas. Tika saņemtas un apkopotas 424 anketas ar informāciju par siltumenerģijas un elektroenerģijas izlietojuma sadalījumu un faktoriem, kas to ietekmē. Šajā nodaļā analizēta logu un stikloto virsmu ietekme uz siltumenerģijas patēriņu, kā arī veikta Rīgas skolu un pirmsskolas izglītības iestāžu ēku siltumenerģijas resursu patēriņu salīdzināšana starp ēkām ar atšķirīgiem statusiem, t.i. nerenovētās ēkas kā viena grupa un jaunbūvētās un renovētās ēkas kā otra grupa. Otrās nodaļas turpinājumā tiek atspoguļoti arī IGK (temperatūras, gaisa relatīvā mitruma un ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa) mērījumu rezultāti, kas fiksēti 2011.gada ziemā, kā arī parādīti 2012.gadā veiktā eksperimentālās ēkas termogrāfiskā apsekojuma rezultāti nosakot siltuma zudumu vietas caur ēkas norobežojošajām konstrukcijām. Nodaļā sniegti detalizēti secinājumi par vizualizētajiem rezultātiem.

Promocijas darba trešajā nodaļā ar statistikas metodēm pierādīts, ka pastāv lineāra sakarība starp ēku platību un izlietoto siltumenerģijas daudzumu. Pamatojoties uz esošās normatīvo aktu bāzes, kā arī iekļaujot pētījumā gūto rezultātu analīzi, darba autors parāda kā tiek veidots optimizācijas algoritms un tā rezultāts: gadā patērētās siltumenerģijas intensitātes optimizācijas līnija (GOSPIL). Darba noslēgumā tiek dota arī ekonomiskā izvērtējuma metodika.

Secinājumu un ieteikumu daļā darba autors izklāsta svarīgākās šī promocijas darba atziņas, kas balstītas uz pētījuma rezultātiem un 185 informācijas avotu kritiskās analīzes pamata.

Kopējais darba apjoms ir 158 lpp, tajās iekļauta 31 tabula un 79 attēli, kā arī 7 pielikumi.

1. MATERIĀLI UN METODES / *MATERIALS AND METHODS*

Kvantitatīvās izpētes rezultātā tika saņemtas vairāk kā 430 aizpildītas anketas ar informāciju par publiskām ēkām. Sistematizācijas procesā tika atmestas anketas, kurās nebija ietverta visa prasītā informācija, vai arī neprecīzi un nepareizi aizpildītās. Kopumā par derīgām un datu analīzei piemērotām tika atzītas 422 kvantitatīvās izpētes anketas. Visas publiskās ēkas tika iedalītas 12 ēku grupās pēc to lietošanas veida ar šādām kopējām grīdu laukumu platībām:

1. speciālas nozīmes izglītības iestāžu ēkas (bērnu un jaunatnes centri; jauno tehniķu stacijas) – 43 060m^2;
2. sociālās palīdzības ēkas (patversmes ēkas) – 9 993m^2;
3. Rīgas pašvaldības struktūrvienību ēkas (pašvaldības administratīvās ēkas) – 44 077m^2;
4. kultūras iestāžu ēkas (atpūtas un izklaides vietu ēkas) – 59 994m^2;
5. muzeju ēkas – 369m^2;
6. ārstniecības stacionāru ēkas (slimnīcu ēkas) – 15 232m^2;
7. sporta centru ēkas (sporta halles; sporta centri) – 18 435m^2;
8. bibliotēku ēkas – 8 324m^2;
9. muzikālās izglītības ēkas (mūzikas skolu ēkas) – 5 368m^2;
10. kulta ēkas (lūgšanu nami, baznīcas) – 6 067m^2;
11. skolu ēkas – 866 769m^2;
12. pirmsskolas izglītības iestāžu ēkas – 248 923m^2.

Kopējās apkopoto un sistematizēto datu ēku grīdu platības ir 1 326 611m^2. Vidējais pētījuma ēkas grīdu laukums ir 3 144m^2.

Netika saņemta neviena anketa no tiesību sargājošām struktūrām, piemēram, Rīgas pilsētas pašvaldības municipālās policijas struktūrvienībām.

Izvēlētā eksperimentālā - p.i.i. ēku grupa, kas skaitliski gan nav lielākā – 143 ēkas, tajā skaitā 32 ēkas nerenovētas un 111 ēkas renovētas vai jaunbūvētas.

Telpu mikroklimata parametru dati tika iegūti 1.0–1.5m virs grīdas. Mērījumi tika veikti 2011.gadā (2010.un 2011.gada apkures sezonā) un sadalīti četros posmos, iekļaujot katrā trīs p.i.i. ēkas. Tika pielietotas 4 verificētas mērierīces, kuras parādītas 1.1. attēlā.

1.1. att. **Gaisa parametru datu noteikšanas un fiksēšanas mērinstrumenti**
Fig.1.1. ***Measuring tools for the fixation of air microclimate parameters***

1. Wöhler CDL 210, versija 1.1.6, gaisa temperatūras, gaisa relatīvā mitruma un ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa noteikšanai un fiksēšanai / *Wöhler CDL version 210, 1.1.6, for the determination and fixation of air temperature, relative humidity of air and carbon dioxide concentration;*
2. EASYLOG 40RF GSOFT 40K V7.80, gaisa relatīvā mitruma noteikšanai un fiksēšanai / *EASYLOG GSOFT 40 RF 40K V7.80, for determining and fixing the relative humidity of air;*
3. MINILOG GSOFT 40K V7.80, gaisa temperatūras noteikšanai un fiksēšanai */ MINILOG GSOFT 40K V7.80, for determining and fixing the air temperature.*

Tika izvēlēti datu fiksēšanas laika intervāli, kas ļautu objektīvi analizēt un šķirot iegūtos datus, un tie bija 5 līdz 15 minūtes. Datu parametru fiksēšanas laiki, īpatnības un vietas atspoguļotas 1.1. tabulā.

Pirmajā posmā iegūtos datus bija nepieciešams brāķēt, jo daļa no datiem nebija fiksēti Wöhler CDL 210 paliekošajā atmiņā un mērījumus tajā pašā telpā atkārtoja 4.posmā.

Lai iegūtu pilnīgāku priekšstatu par eksperimentālajām ēkām, tās papildus var raksturot šādi (ēku nosaukumi un vieta kopējā datu izklāstā redzami 2.3.attēlā):

1. „A" ēka – Nerenovēta, jauns siltummezgls. Paredzēta renovācija 2011.gadā: fasādes siltināšanas, logu nomaiņa, apkures sistēmas renovācijas darbi;
2. „B" ēka – jaunbūve, 2005.gads;
3. „C" ēka – statuss – salikts, jo daļa jaunbūve un daļa renovēta 2007.gadā, kad tika veikti ēkas fasāžu siltināšanas darbi un ielikti plastmasas pakešu logi. Apkalpojošam personālam sūdzības par lielām gaisa temperatūras starpībām dažādās telpās, jo nav iespējams regulēt apkures sistēmas radiatoru temperatūru. Telpu temperatūru regulē, atverot logus augstas gaisa temperatūras telpās. Ventilācijas sistēmai nav nekādas ietekmes uz gaisa parametru kvalitātes izmaiņām telpās, tāpēc to nelieto;
4. „D" ēka – renovēta 2004.gadā: ielikti pakešu logi, plastmasas rāmji, renovēta kanalizācijas sistēma, ierīkots jauns siltummezgls. Personāla sūdzības par palielinātu telpu atdzišanu no ārsienām, īpaši vējainos laika apstākļos apkures sezonā;
5. „E" ēka – renovācija veikta 2009.gadā. Nomainīti logi;
6. „F" ēka – jaunbūve, 2009.gads. Personāla sūdzības: vasarā karsts, ventilācija darbojas ļoti slikti, tā nav regulējama pa ēkas debespusēm, vestibili pārāk lieli, daudz apkopēju darba, lai koptu palīgtelpas, bērniem telpas mazas, daudz slimo gan audzinātājas, gan bērni.

1.1. tabula/ *Table 1.1.*

Pirmsskolas izglītības iestāžu ēku telpu mikroklimata datu parametru fiksēšanas secība un vietas raksturojums

Sequence for fixing the indoor microclimate data parameters of the buildings of day-care centres and characteristics of the location

Datu iegūšanas periods. Ēkas atzīme 2.3..attēlā / *Data acquisition period. Building mark in figure 2.3.*	Kopējā grīdu platība / *Total floor area* (m^2)	Siltuma enerģijas patēriņš 2008.g. / *Thermal energy consumption in 2008* (kWh)	Siltuma enerģijas izlietošanas intensitāte / *Thermal energy use intensity* ($kWh{\cdot}m^{-2}$)	Vecuma grupa. Datums. Bērnu skaits/ pieaugušo skaits telpā / *Age group. Date. Number of children/ number of adults in a room*	Datu iegūšanas telpas platība (m^2), raksturojums, mērinstrumenti / *Data acquisition room area (m^2), description, measuring instruments*
1.posms. „A" ēka / *Stage 1. Building "A"*	2142	278 020	130	4–5g.v.bērni / *Children of 4-5 years of age* 11.02.–3/2 15.02.–4/2 12.02.–0/0 16.02.–5/2 13.02.–0/0 17.02 –5/2 14.02.–3/2 18.02.–4/2	60 (telpai ir arī grīdas apsilde ar apk.sist. cirkulācijas ūdeni) / (*the room also has floor heating with water circulation heating system)* Minilog, EasyLog
1.posms „B" ēka / *Stage 1. Building "B"*	2217	208 000	94	4–5g.v.bērni / *Children of 4-5 years of age* 11.02.–7/2 15.02.–5/2 12.02.–0/0 16.02.–9/2 13.02.–0/0 17.02.–10/2 14.02.–8/2 18.02.–9/2	45 CDL–210 (A)
1.posms „C" ēka / *Stage 1. Building "C"*	1901	645 000	339	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 11.02.– 17/2 15.02. – 8/2 12.02.– 0/0 16.02. – 9/2 13.02.– 0/0 17.02. – 9/2 14.02.– 1/2 18.02. – 8/2	64 Telpa ēkas renovētajā daļā. / *Room in the renovated part of the building* CDL–210 (B)
2.posms „A" ēka / *Stage 2. Building "A"*	2142	278 020	130	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 21.02.–6/2 25.02.–7/2 22.02.–6/2 26.02.–0/0 23.02.–7/2 27.02.–0/0 24.02.–7/2 28.02.–9/2	60 (telpai ir arī grīdas apsilde ar apk.sist. cirkulācijas ūdeni) / (*the room also has floor heating with water circulation heating system)* Minilog, EasyLog
2.posms „C" ēka / *Stage 2. Building "C"*	1901	645 000	339	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 21.02.–16/2 25.02.–13/2 22.02.–12/2 26.02.– 0/0 23.02.–11/2 27.02.– 0/0 24.02.–13/2 28.02.–20/2	88 Telpa ēkas jaunbūvētajā daļā / *Room in the newly erected part of the building* CDL–210 (B)

1.1. tabulas turpinājums / *Table 1.1. continued*

Datu iegūšanas periods. Ēkas atzīme 2.3..attēlā / *Data acquisition period. Building mark in figure 2.3.*	Kopējā grīdu platība / *Total floor area* (m^2)	Siltuma enerģijas patēriņš 2008.g. / *Thermal energy consumption in 2008* (kWh)	Siltuma enerģijas izlietošanas intensitāte / *Thermal energy use intensity* (kWh·m^{-2})	Vecuma grupa. Datums. Bērnu skaits/ pieaugušo skaits telpā / *Age group. Date. Number of children/ number of adults in a room*	Datu iegūšanas telpas platība (m^2), raksturojums, mērinstrumenti / *Data acquisition room area (m^2), description, measuring instruments*
2.posms „D" ēka / *Stage 2. Building "D"*	2054	486 000	237	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 21.02.–12/2 25.02.–11/2 22.02.–14/2 26.02.–0/0 23.02.–13/2 27.02.–0/0 24.02.–12/2 28.02.–13/2	60 CDL–210 (A)
3.posms „A" ēka / *Stage 3. Building "A"*	2142	278 020	130	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 01.03.–10/2 05.03.–0/0 02.03.–10/2 06.03.–0/0 03.03.–11/2 07.03.–9/2 04.03.– 9/2 08.03.–9/2	60 (telpai ir arī grīdas apsilde ar apk.sist. cirkulācijas ūdeni) / *(the room also has floor heating with water circulation heating system)* Minilog, EasyLog
3.posms „E" ēka / *Stage 3. Building "E"*	2717	625 790	230	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 01.03.–17/2 05.03.– 0/0 02.03.–21/2 06.03.– 0/0 03.03.–19/2 07.03.–21/2 04.03.–19/2	50 CDL–210 (A)
3.posms „F" ēka / *Stage 3. Building "F"*	Nebija uzbūvēta	Nav datu par 2008.g.	Nav datu par 2008.g.	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 01.03.–18/2 05.03.– 0/0 02.03.–19/2 06.03.– 0/0 03.03.–19/2 07.03.–19/2 04.03.–17/2	70 CDL–210 (B)
4.posms „A" ēka / *Stage 4. Building "A"*	2142	278 020	130	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 10.03.–10/2 14.03.–7/2 11.03 –10/2 15.03.–9/2 12.03 – 0/0 16.03.–9/2 13.03.– 0/0 17.03.–10/2	60 (telpai ir arī grīdas apsilde ar apk.sist. cirkulācijas ūdeni) / *(the room also has floor heating with water circulation heating system)* Minilog, EasyLog
4.posms „B" ēka / *Stage 4. Building "B"*	2217	208 000	94	4–5g.v.bērni / *Children of 4-5 years of age* 10.03. –14/2 14.03.–18/2 11.03. –14/2 15.03 –16/2 12.03. – 0/0 16.03.–15/2 13.03. – 0/0 17.03.–13/2	45 CDL–210 (A)

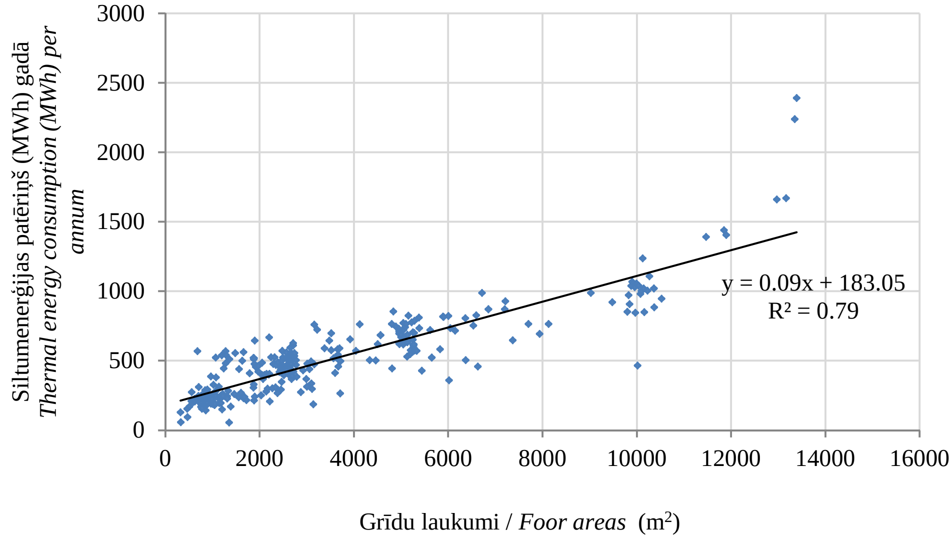
Datu iegūšanas periods. Ēkas atzīme 2.3..attēlā / *Data acquisition period. Building mark in figure 2.3.*	Kopējā grīdu platība / *Total floor area* (m^2)	Siltuma enerģijas patēriņš 2008.g. / *Thermal energy consumption in 2008* (kWh)	Siltuma enerģijas izlietošanas intensitāte / *Thermal energy use intensity* ($kWh \cdot m^{-2}$)	Vecuma grupa. Datums. Bērnu skaits/ pieaugušo skaits telpā / *Age group. Date. Number of children/ number of adults in a room*	Datu iegūšanas telpas platība (m^2), raksturojums, mērinstrumenti / *Data acquisition room area (m^2), description, measuring instruments*
4.posms „C" ēka / *Stage 4. Building "C"*	1901	645 000	339	3–4g.v.bērni / *Children of 3-4 years of age* 10.03. –18/2 14.03.–17/2 11.03. –17/2 15.03.–17/2 12.03. – 0/0 16.03 –16/2 13.03. – 0/0 17.03.–15/2	64 Telpa ēkas renovētajā daļā / *The room in the renovated section of the building* CDL–210 (B)

Gaisa ķīmiskā piesārņojuma noteikšanai tika lietota gāzu hromatogrāfijas metode, lai noteikto GOS izteiktu kā oglekli, un augstspiediena šķīduma hromatogrāfijas metode aldehīdu noteikšanai. Gaisa piesārņojums ar GOS vielām tika noteikts kokogles tūbiņās, un gaisa piesārņojums ar aldehīdiem tika noteikts silīcija gela kasetēs, tās apstrādājot ar 2.4–dinitrofenilhidrezīna (DNPH). WHO ir noteikusi rekomendējamās maksimālās kaitīgo vielu koncentrācijas, kas šajā gadījumā ir: formaldehīdi – 0.1$mg \cdot m^{-3}$ un GOS – 0.3$mg \cdot m^{-3}$.

Lai noteiktu siltuma transmisijas vietas. tika izvēlēta p.i.i. „C" ēka. Šis darbs tika veikts sadarbībā ar SIA „ARTIVA" darbinieku Artūru Gredzenu, izmantojot firmas FLIR Systems AB ThermalCAM produktu FLIR P25 termokameru un termo anemometru AIRFLOW TA–7, kā arī infrasarkano staru termometru TESTO 845.

Ēkas „C" siltuma transmisijas vietas caur norobežojošām konstrukcijām ar termokameras palīdzību tika noteiktas 2012.gada 23.janvārī, kad āra gaisa temperatūra Rīgā bija –3.2 ^{0}C plkst.11:00 un –3.6^{0}C plkst.14:00, vēja virziens: A, 4–8ms^{-1}, saskaņā ar LVĢMC lapas http://www.meteo.lv/public/26902.html informāciju.

Pētījumā iegūto datu rezultāti, kas redzami pielikumā Nr.7 „Pētījumā analizēto 156 skolu un 143 p.i.i. ēku telpu platību (m^2) un izlietotās siltumenerģijas (MWh) dati par 2008.gadu" analizēti ar MS Excel rīkiem.



1.2. att. **Siltumenerģijas patēriņu (MWh) un grīdu laukumu (m^2) korelācijas regresijas līnija**
Fig. 1.2. ***Regression line of the thermal energy consumption (MWh) correlation between total floor area (m^2)***

1.2. attēlā izveidotā regresijas līnija no skolu un p.i.i. ēku grīdu platību (m^2) un siltumenerģijas gada patēriņa (MWh) variēšanas rādītājiem ir ar vienādojumu $\hat{y}_i$ = 0.09x + 183.05, determinācijas koeficients R^2 = 0.79.

2. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN DISKUSIJA / *RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION*

2.1.Siltumenerģijas patēriņš / *Thermal energy consumption*

Aptaujas anketā iekļautie katras ēkas raksturojošie lielumi un parametri ir svarīgi, lai veiktu detalizētāku izpēti un analīzi ne vien par Rīgas pilsētas pašvaldības publiskām ēkām, bet arī redzētu būvniecības tendences. Kā, piemēram, 2.1. tabulā apkopoti iegūtie dati par siltumenerģijas izlietošanas intensitāti (īpatnējo siltumenerģijas patēriņu) $kWh \cdot m^{-2}$ atkarībā no stikloto virsmu un logu kopējās platības pret ēku kopējo fasāžu laukumiem.

2.1. tabula/ *Table 2.1.*

Siltumenerģijas izlietojuma intensitāte ($kWh \cdot m^{-2}$) Rīgas pilsētas pašvaldības publiskās ēkās 2008.gadā

Thermal energy use intensity ($kWh \cdot m^{-2}$) in the public buildings of the Riga City local government in 2008

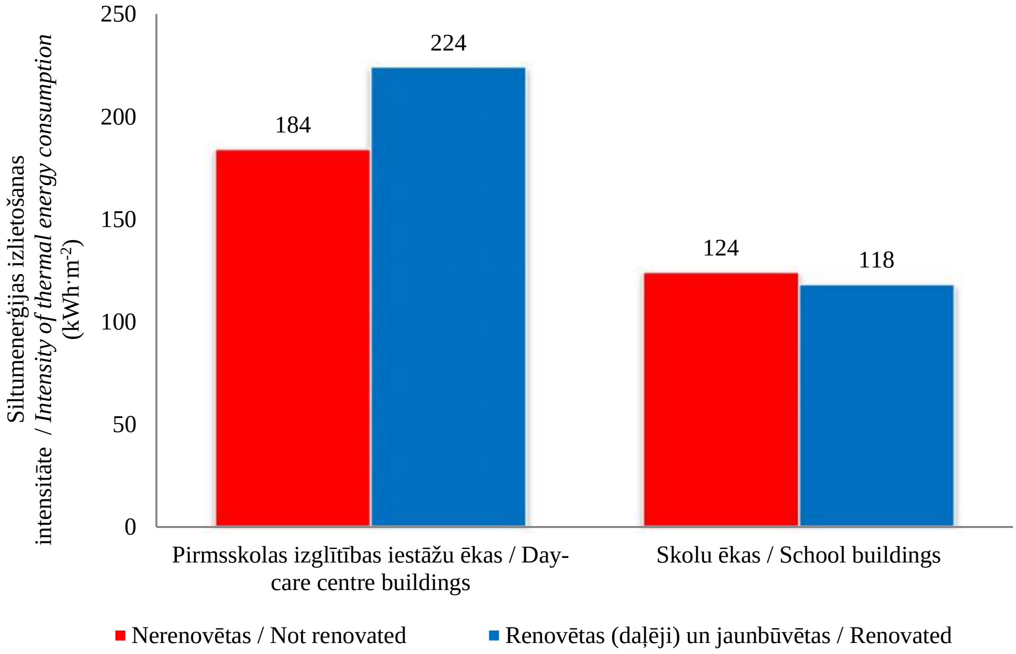
Ēku grupas / *Groups of buildings*	Logu un stikloto virsmu platības ≤ 20 % no ēku kopējo fasāžu laukumiem / *Areas of windows and glazed surfaces ≤ 20 % of total building facade areas*		Logu un stikloto virsmu platības > 20 % no ēku kopējo fasāžu laukumiem / *Areas of windows and glazed surfaces > 20 % of total building facade areas*	
	Nerenovētas ēkas / *Not renovated buildings*	Renovētas (daļēji), jaunbūves / *Renovated (partly), newly erected buildings*	Nerenovētas ēkas / *Not renovated buildings*	Renovētas (daļēji), jaunbūves / *Renovated (partly), newly erected buildings*
1.Speciālas nozīmes izglītības iestāžu ēkas/*1.Buildings of special importance in education institutions*	140	90	170	200
2.Sociālās palīdzības ēkas/*2.Social assistance buildings*	———	150	———	150
3.Rīgas pilsētas pašvaldības struktūrvienību ēkas/*3.Buildings of Riga City local government units*	130	120	200	990
4.Kultūras iestāžu ēkas/*4.Buildings of cultural institutions*	140	100	90	20
5.Muzeju ēkas/*5.Museum buildings*	200	———	———	600
6.Ārstniecības stacionāru ēkas/*6.Medical inpatient buildings*	———	110	———	———
7.Sporta centru ēkas/*7.Buildings of sport centres*	———	190	10	100

2.1. tabulas turpinājums / *Table 2.1. continued*

Ēku grupas / *Groups of buildings*	Logu un stikloto virsmu platības ≤ 20 % no ēku kopējo fasāžu laukumiem / *Areas of windows and glazed surfaces ≤ 20 % of total building facade areas*		Logu un stikloto virsmu platības > 20 % no ēku kopējo fasāžu laukumiem / *Areas of windows and glazed surfaces > 20 % of total building facade areas*	
	Nerenovētas ēkas / *Not renovated buildings*	Renovētas (daļēji), jaunbūves / *Renovated (partly), newly erected buildings*	Nerenovētas ēkas / *Not renovated buildings*	Renovētas (daļēji), jaunbūves / *Renovated (partly), newly erected buildings*
8.Bibliotēku ēkas/*8.Library buildings*	60	90	20	90
9.Muzikālās izglītības ēkas/*9.Musical education buildings*	———	170	140	130
10.Kulta ēkas/*10.Religious buildings*	———	———	70	———
11.Skolu ēkas/*11.School buildings*	110	130	120	120
12Pirmsskolas izglītības iestāžu ēkas/*12.Buildings of day-care centres*	190	310	180	220

Piezīme: 2.1. tabulā esošie dati visās pozīcijās objektīvi neatspoguļo ēku grupu siltumenerģijas izlietošanas intensitātes faktiskās vidējās vērtības, jo iesūtīto anketu skaits bija pārāk mazs un tabulas dati uzskatāmi par informatīviem, piemēram 3.grupa – daļēji, 5.grupa, 6.grupa, 10.grupa. / *Note: The data presented in Table 2.1. in all positions do not provide an objective reflection of the actual average values of intensity of use of thermal energy in the groups of buildings, because the numbers of submitted questionnaires were too small and the data in the table are considered to be of indicative value, for example Group 3 – partially, Group 5, Group 6, Group 10.*

2.1.attēlā parādīts kopējais rezultāts, apkopojot tabulu datus, salīdzinot p.i.i. un skolu ēku siltumenerģijas izlietošanas intensitāti (īpatnējo siltumenerģijas patēriņu) atkarībā no ēku stāvokļa – nerenovētas ēkas un ēkās pēc renovācijas darbu veikšanas vai jaunbūves.



2.1. att. **Siltumenerģijas izlietošanas intensitātes salīdzinājums renovētām un jaunbūvētām pirmsskolas izglītības iestāžu un skolu ēkām ar nerenovētām ēkām**
*Fig.2.1. **Comparison of the intensity of use of thermal energy of renovated and newly erected buildings of day-care centres and school buildings with non-renovated buildings***

2.1. attēlā skaidri redzams, ka veicot renovācijas darbus p.i.i un skolu ēkām faktiski nav iegūts siltumenerģijas izlietošanas intensitātes samazinājums pret ēkām, kuras nav renovētas. Skolu ēkām tas kopumā dod ļoti niecīgu samazinājumu: 4.9%. Vērtējot ēku jaunbūves un renovācijas darbus p.i.i. grupā, var secināt, ka to siltumenerģijas izlietošanas intensitāte ir lielāka, kā nerenovētām ēkām par 21.7%, kas faktiski ir nepieļaujami.

2.2. tabulā parādīts enerģētisko resursu izlietošanas sadalījums skolu un p.i.i. ēkās.

2.2. tabula / *Table 2.2.*

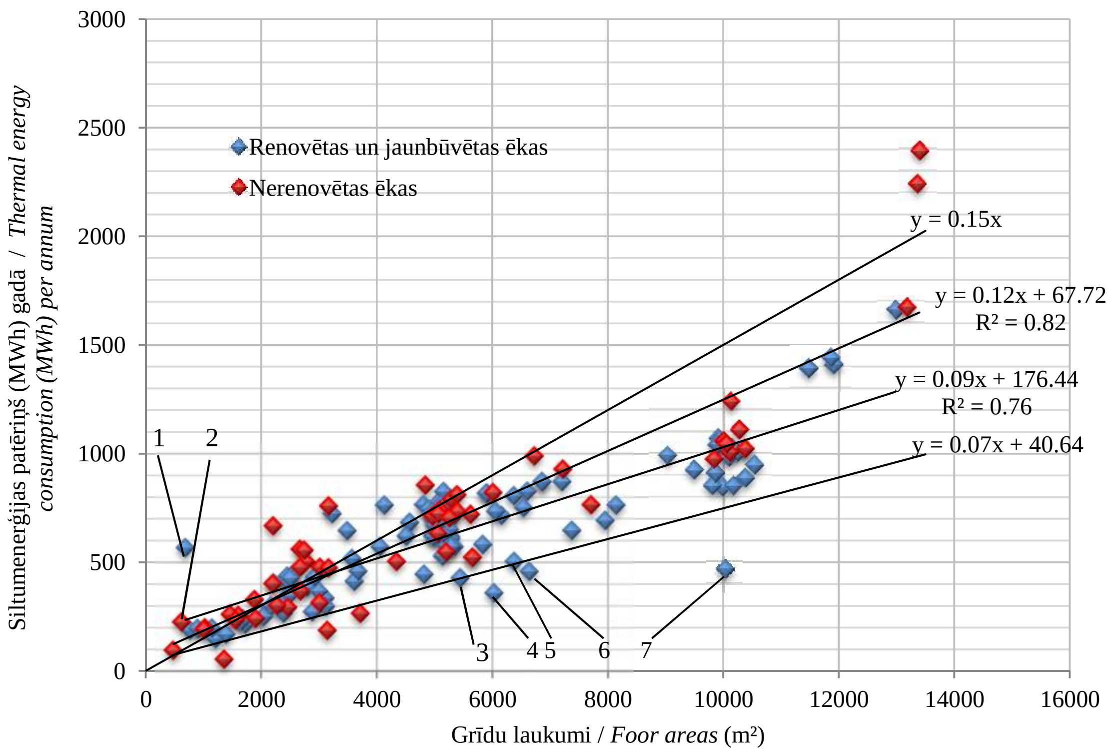
Siltumenerģijas un elektroenerģijas izlietojuma sadalījums pirmsskolas izglītības iestāžu un skolu ēkās 2008.gadā
Comparison of use of thermal energy and electrical power in day-care centre and school buildings

Nosaukums / *Name*	Pirmsskolas izglītības iestāžu ēkas / *Buildings of day-care centres*	Skolu ēkas / *School buildings*
Kopā/*Total* a) nerenovētas/*not renovated* b) renovētas (daļēji) un jaunbūves / *renovated (partly) and newly erected buildings*	143 32 111	156 55 101
Kopējais grīdu laukums (m^2) / *Total floor area (m^2)*	248 923	866 769
Vidējais vienas vienības grīdu laukums (m^2) / *Average floor area of one unit (m^2)*	1 741	5 486
Kopējais siltumenerģijas izlietojuma daudzums (kWh) visā ēku grupā gadā / *Total amount of thermal energy use (kWh) in the entire group of buildings per year*	53 102 920	103 783 050
Vidējā siltumenerģijas izlietošanas intensitāte (kWh·m^{-2}) visā ēku grupā / *Average thermal energy use intensity (kWh·m^{-2}) in the entire group of buildings*	213	120
Vidējā siltumenerģijas izlietošanas intensitāte (kWh·m^{-2}) nerenovētās ēkās / *Average thermal energy use intensity (kWh·m^{-2}) in non-renovated buildings*	184	124
Vidējā siltumenerģijas izlietošanas intensitāte (kWh·m^{-2}) renovētās (daļēji) ēkās un jaunbūvēs / *Average thermal energy use intensity (kWh·m^{-2}) in renovated (partly) and newly erected buildings*	224	118

2.2. tabulas turpinājums / *Table 2.2. continued*

Nosaukums / *Name*	Pirmsskolas izglītības iestāžu ēkas / *Buildings of day-care centres*	Skolu ēkas / *School buildings*
Kopējais elektroenerģijas patēriņš (kWh) gadā visā ēku grupā / vidējā elektroenerģijas izlietošanas intensitāte ($kWh \cdot m^{-2}$) / *Total amount of electric energy consumption (kWh) per year in the entire group of buildings / average electric energy use intensity* ($kWh \cdot m^{-2}$)	7 010 729 /28	20 207 679 /23
Kopējais elektroenerģijas patēriņš (kWh) gadā nerenovētās ēkās / vidējā elektroenerģijas izlietošanas intensitāte ($kWh \cdot m^{-2}$) / *Total amount of electric energy consumption (kWh) per year in non-renovated buildings / average electric energy use intensity* ($kWh \cdot m^{-2}$)	1 685 457 /25	6 254 041 /20
Kopējais elektroenerģijas patēriņš (kWh) gadā renovētās (daļēji) ēkās un jaunbūvēs / vidējā elektroenerģijas izlietošanas intensitāte ($kWh \cdot m^{-2}$) / *Total amount of electric energy consumption (kWh) per year in renovated (partly) and newly erected buildings / average electric energy use intensity* ($kWh \cdot m^{-2}$)	5 325 272 /29	13 953 638 /25
Ēkās esošās mikroklimata regulējošās sistēmas/*Existing climate control regulating systems in the buildings* 1.Kopējais vienību skaits/*Total number of units* 2.Kopējās elektrojaudas (kW) /*Total electric power (kW)* 3.Kopējā sistēmu elektrojaudu intensitāte ($kW \cdot m^{-2}$) /*Total intensity of electric power of the systems* ($kWh \cdot m^{-2}$)	79 262 $1 \cdot 10^{-3}$	106 1 515 $2 \cdot 10^{-3}$

Kā redzams no 2.2. tabulas, kopā analizēti dati no 143 p.i.i. ēkām, t.sk. 32 nerenovētas ēkas (22.4% no kopējā skaita) un 111 renovētas (daļēji) un jaunbūves (77.6% no kopējā skaita) un 156 skolu ēku dati, t.sk. 55 nerenovētas ēkas (35.4% no kopējā skaita) un 101 renovētas (daļēji) un jaunbūves (64.6% no kopējā skaita). Vidējā siltumenerģijas izlietošanas intensitāte p.i.i ēkās ir 213 $kWh \cdot m^{-2}$ un skolu ēkās 120 $kWh \cdot m^{-2}$, kas proporcionāli sastāda attiecību 1.78:1.00, jeb p.i.i. izlietotās siltumenerģijas intensitāte ir 1.78 reizes lielāka. Elektroenerģijas jaudu izlietošanas intensitāte un kopējais vienību skaits nepārprotami norāda, ka tās ir nepietiekamas. Veicot informatīvu aptauju, noskaidrojās, ka arī esošās uzstādītās telpu mikroklimata regulējošās sistēmas tiek darbinātas ļoti zemā līmenī, jo renovētās un jaunbūvētās ēkās tās izbūvētas ļoti nekvalitatīvi un veiklāk veikt gaisa apmaiņu ir, atverot logus. Šādas darbības rezultātā, kad gaisa apmaiņa, piemēram, aukstajā gadalaikā, tiek veikta ar dabīgas plūsmas ventilāciju, bez rekuperācijas, neizbēgami noved pie palielinātas siltuma izlietošanas intensitātes. Arī apsekojot izlases veidā p.i.i. ēkas, tika konstatēts, ka ventilācijas sistēmas jau nav darbinātas tik ilgi, ka iekārtas jau klāj diezgan liela putekļu kārta.



2.2. att. **Skolu ēkas - renovētās, jaunbūves un nerenovētās. Kopējā ēku siltumenerģijas gada patēriņa (MWh) korelācija ar ēku grīdu laukumiem (m^2)**

Fig. 2.2. ***School building - renovated, newly erected and non-renovated buildings. Correlation between the total annual consumption of thermal energy (MWh) in buildings and the building floor area (m^2)***

1 – renovētā skolas ēka ar lielu siltumenerģijas patēriņu / *renovated school building with high thermal energy consumption*;

2 – nerenovētā skolas ēka / *not renovated school building;*

3,4,5,6,7 – renovētās skolu ēkas ar maziem siltumenerģijas patēriņiem / *renovated school buildings with low thermal energy consumption*.

2.2. attēlā atspoguļoti dati par 2008.gadā izlietoto siltumenerģijas resursu korelāciju ar kopējo ēkas grīdu platību renovētām, jaunbūvētām un nerenovētām skolu ēkām. Apkopoto datu attēls liecina par to, ka, ēku renovācijas darbi un/vai ekspluatācija aplūkojamajā gadā ir veikti slikti. Piemēram, skolas ēka Nr.1: kopējie telpu grīdu laukumi – 687m^2, kopējais gada siltumenerģijas patēriņš – 567.79MWh, pēc renovācijas. Salīdzinājumam izvēlos skolas ēku Nr.2: kopējie telpu grīdu laukumi – 621m^2, kopējais gada siltumenerģijas patēriņš – 225.46MWh, nav veikti renovācijas darbi. Abu šo ēku kopējo grīdas laukumu attiecība ir: 1.11:1.00, bet kopējā gada siltumenerģijas patēriņa attiecība ir: 2.52:1.00.

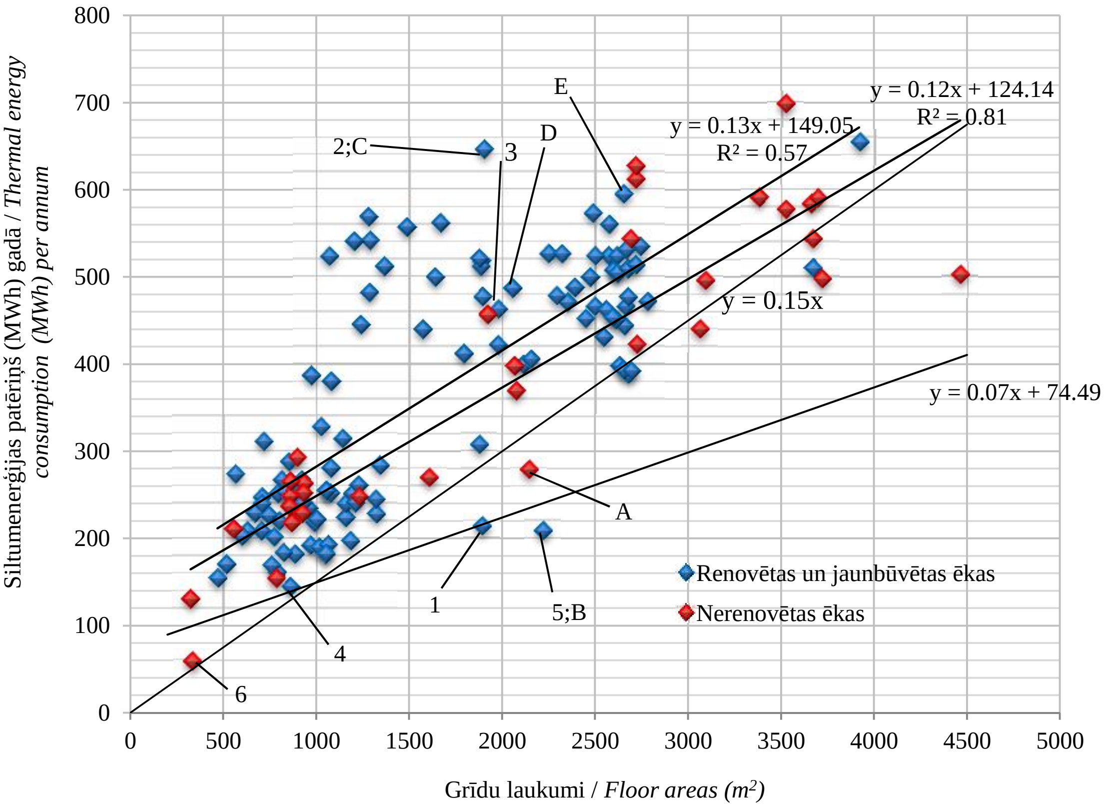
2.2. attēlā atspoguļotajos datos tāpat varam atrast arī ļoti labi renovētas ēkas: Nr. 3, Nr.4, Nr.5 Nr.6 un Nr.7.. Šo ēku siltumenerģijas patēriņu izlietojums 2008.gadā, neatkarīgi no šo ēku kopējo grīdu laukumiem atrodas gan zem renovēto ēku tieksmes līnijas, kuras vienādojums ir: y = 0.09x + 176.44, gan arī zem normatīvās tieksmes līnijas, kuras vienādojums ir: y = 0.07x + 40.64 un tā izveidota ņemot vērā siltumenerģijas resursu izlietojuma samazinājumu par normatīvajos aktos (Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 2002/91/EK un vēlāk Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 2010/31/ES) noteikto. Nerenovēto skolu ēku tieksmes līnijas vienādojums ir: y = 0.12x + 67.72. 2.2. attēlā novilktā līnija ar vienādojumu: y = 0.15x atbilst EM uzstādījuma prasībai sasniegt maksimālo ēku siltumenerģijas izlietošanas intensitāti 150 $kWh \cdot m^{-2}$gadā.

2.2. attēlā redzams, ka skolu ēku renovācijas darbi veikti slikti, jo tikai 5 skolu ēkas, tas ir 4.9% ēku siltumenerģijas izlietošanas daudzumi pret ēkas grīdu laukumiem, atrodas zem vai uz normatīvās tieksmes līnijas.

2.3. attēlā atspoguļoti dati par 2008.gadā izlietoto siltumenerģijas resursu korelāciju ar kopējo ēkas grīdu platību renovētām, jaunbūvētām un nerenovētām p.i.i. ēkām. Apkopoto datu attēls liecina par to, ka, ēku renovācijas darbi un/vai ekspluatācija aplūkojamajā gadā veikta ļoti slikti. Vairumā gadījumu renovēto un jaunbūvējamo ēku siltumenerģijas patēriņi ir lielāki nekā atbilstošo nerenovēto ēku siltumenerģijas patēriņi. No šī attēla redzams, ka renovācijas un jaunbūves darbi vairumā gadījumu veikti tikai darīšanas dēļ, jo kopējo ieguldījumu uz enerģētisko resursu taupīšanu un saprātīgu lietošanu tie nav bijuši orientēti. Par to liecina arī abu grupu: renovēto un jaunbūvēto ēku un nerenovēto ēku novilktās tieksmes līnijas. Renovēto un jaunbūvēto ēku tieksmes līnija ar vienādojumu y = 0.13x + 149.05 atrodas virs nerenovēto ēku tieksmes līnijas, kas novilkta pēc vienādojuma y = 0.12x + 124.14. Tas apliecina iepriekš minēto, ka kopumā šie ēku projektēšanas, renovācijas darbi un, iespējams, arī, vairumā gadījumu, ekspluatācija, veikti ļoti slikti. Tas apliecina un apstiprina jau iepriekšminēto, piemēram, attēlotajā un analizētajā gadījumā ar skolu ēkām, nav sakārtotības pašvaldības ēku būvniecībā un tās procesos. Veiktie darbi nav orientēti uz ilgtspējību, izņemot dažus gadījumus, kas kalpo kā pierādījums tam, ka to tomēr var izdarīt.

Novilkta līnija ar vienādojumu y = 0.15x, kas atbilst EM prasībai sasniegt maksimālo ēku siltumenerģijas izlietošanas intensitāti 150 $kWh \cdot m^{-2}$gadā.

Normatīvā tieksmes līnija ar vienādojumu y = 0.07x + 74.49 izveidota ņemot vērā siltumenerģijas resursu izlietojuma samazinājumu par normatīvajos aktos (Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 2002/91/EK un vēlāk Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 2010/31/ES) noteiktajām prasībām. Abas šīs taisnes atrodas zem renovēto un jaunbūvēto ēku tieksmes līnijas ar vienādojumu y = 0.13x + 149.05 un nerenovēto ēku tieksmes līnijas ar vienādojuma y = 0.12x + 124.14 apliecina, ka nepieciešams veikt kvalitatīvus renovācijas darbus, lai tiktu sasniegti un īstenoti dzīvē ES Parlamenta un Padomes un Latvijas republikas MK lēmumi par enerģētisko resursu taupīgu lietošanu un saglabāšanu.



2.3. att. **Pirmsskolas izglītības iestāžu ēkas: renovētās, jaunbūves un nerenovētās. Kopējā ēku siltumenerģijas gada patēriņa (MWh) korelācija ar ēku grīdu laukumiem (m^2)**
Fig.5. ***Buildings of day-care centres: renovated, newly erected and non-renovated buildings. Correlation between the total annual consumption of thermal energy (MWh) in buildings and the building floor area in (m^2)***

1,4,5 – renovētās p.i.i. ēkas ar mazu siltumenerģijas patēriņu / *renovated d.c.c. buildings with low thermal energy consumption*;

2,3 – renovētās p.i.i. ēkas ar lielu siltumenerģijas patēriņu / *renovated d.c.c. buildings with high thermal energy consumption;*

6 – nerenovēta p.i.i. ēka ar mazu siltumenerģijas patēriņu / *not renovated d.c.c. building with low thermal energy consumption*;

A,B,C,D,E – eksperimentālās ēkas (dati 1.1. tabulai) / *experimental buildings (data for Table 1.1.).*

2.3. attēlā redzams, ka p.i.i. ēku renovācijas darbi veikti ļoti slikti, jo tikai 3 p.i.i. (ēkas Nr.1, Nr.4 un Nr.5), tas ir 2.7% ēku siltumenerģijas izlietošanas daudzumi pret ēkas grīdu laukumiem, atrodas zem vai uz normatīvās tieksmes līnijas. Turpat redzams, ka nerenovētā ēka Nr.6 jau pirms iespējamiem renovācijas darbiem ir ar ļoti zemu siltumenerģijas patēriņu, kas tai ļauj atrasties zem normatīvās tieksmes līnijas.

Projektēšanas un renovācijas darbu kvalitāti zemo kvalitāti raksturo, piemēram, nerenovētā p.i.i. ēka Nr.3, kuras kopējie telpu grīdu laukumi – 1920m^2, kopējais gada siltumenerģijas patēriņš – 456.00MWh. Salīdzinājumam izvēlos renovēto un jaunbūvēto ēku grupas p.i.i. ēku Nr.2: kopējie telpu grīdu laukumi – 1901m^2, kopējais gada siltumenerģijas patēriņš – 645.00MWh. Abu šo ēku kopējo grīdas laukumu attiecība ir: 1.01:1.00, bet kopējā gada siltumenerģijas patēriņa attiecība ir: 1.00:1.41.

2.2. Iekštelpu gaisa kvalitāte / *Indoor air quality*

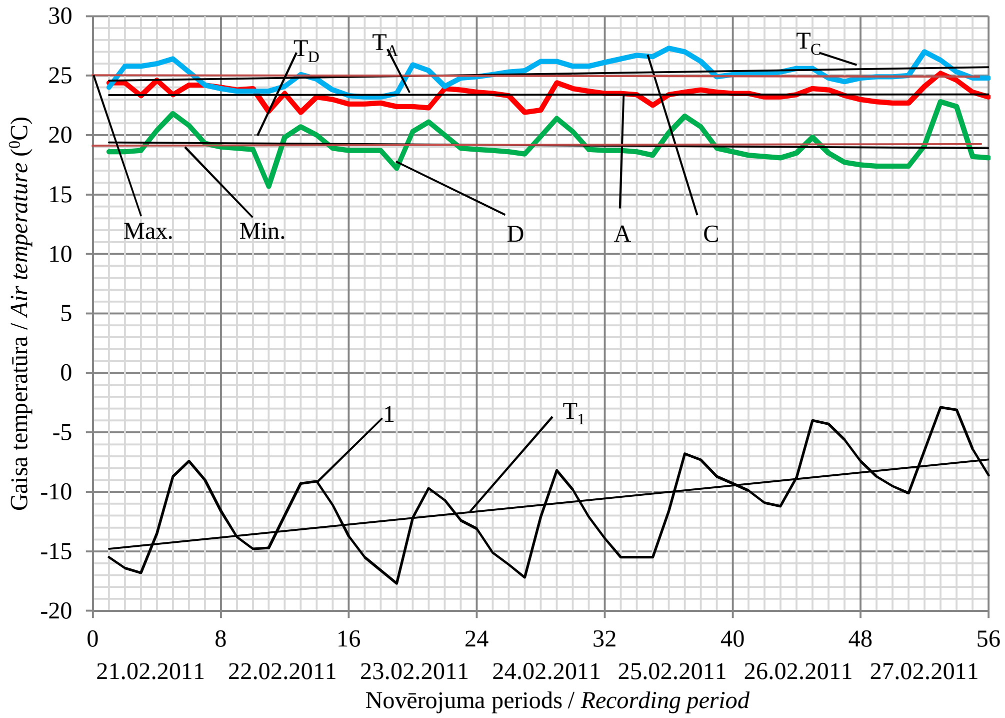
2.4., 2.5. un 2.6. attēlos atspoguļoti dati no otrajā posmā iegūtajiem mērījumiem šādām ēkām:

1. „A” ēka – Nerenovēta, jauns siltummezgls. Paredzēta renovācija 2011.gadā: fasādes siltināšanas, logu nomaiņa, apkures sistēmas renovācijas darbi;
2. „C” ēka – statuss – salikts, jo daļa jaunbūve un daļa renovēta 2007.gadā, kad tika veikti ēkas fasāžu siltināšanas darbi un ielikti plastmasas pakešu logi. Gaisa temperatūras un citi mērījumi un fiksācija 88m^2 telpā, kas atrodas jaunbūvētajā ēkas daļā. Apkalpojošam personālam sūdzības par lielām gaisa temperatūras starpībām dažādās telpās, jo nav iespējams regulēt apkures sistēmas radiatoru temperatūru. Telpu temperatūru regulē, atverot logus augstas gaisa temperatūras telpās. Ventilācijas sistēmai nav nekādas ietekmes uz gaisa parametru kvalitātes izmaiņām telpās, tāpēc to nelieto. Gaisa temperatūras un citi mērījumi un fiksācija 88 m^2 telpā, kas atrodas jaunbūvētajā ēkas daļā.
3. „D” ēka – renovēta 2004.gadā: ielikti pakešu logi, plastmasas rāmji, renovēta kanalizācijas sistēma, ierīkots jauns siltummezgls. Personāla sūdzības par palielinātu telpu atdzišanu no ārsienām, īpaši vējainos laika apstākļos apkures sezonā. Telpas, kurā veikti mērījumi, platība 60m^2.

Atspoguļotās gaisa temperatūras 2.4. attēlā sadalījums uz „X” ass parādīts no 2011.gada 21.–27.februārim. Mazākā iedaļas vērtība ir trīs stundas, tas ir intervāls no viena fiksētā nolasījuma līdz otram. Uz „Y” ass atspoguļotas gaisa temperatūru vērtības novērojuma perioda laikā. Taisnes „Min.”, kas šajā gadījumā ir +19 ^{0}C un „Maks.”, kas šajā gadījumā ir +25 ^{0}C, novilktas saskaņā ar MK 2009.gada 28.aprīļa noteikumiem Nr.359.

MK noteiktie normatīvie dokumenti, kas nosaka prasības iekštelpu gaisa kvalitātei p.i.i. ir:

1. MK noteikumi no 2002.gada 27.decembra Nr.596 „Higiēnas prasības izglītības iestādēm, kas īsteno pirmsskolas izglītības programmas”, kur punktā 49 minēts, ka pieļaujamā minimālā gaisa temperatūra iestādes telpās, kurās uzturas bērni ir :
   - 1.1. kuri ir jaunāki par 3 gadiem, – vismaz 20 ^{0}C;
   - 1.2. kuri ir vecāki par 3 gadiem, – vismaz 18 ^{0}C;
2. MK noteikumi no 2009.gada 28.aprīļa Nr. 359 „Darba aizsardzības prasības darba vietās”, 1.pielikums.



2.4. att. **Gaisa temperatūra „A”, „C” un „D” ēku telpās**
Fig.2.4. ***Indoor air temperature for buildings „A”, „C” and „D”***

1. āra gaisa temperatūras līnija – „1” / *Outdoor air temperature line – “1”*;
2. iekštelpu gaisa temperatūras līnijas, „A”; „C” un „D” ēkām, / *Indoor air temperature lines for buildings “A”, “C” and “D”;*
3. robežlielumu vērtību taisnes „Max.” un „Min.”, saskaņā ar MK noteikumiem Nr.359 „Darba aizsardzības prasības darba vietās” */ Limit value straight lines „Max.” and „Min.”, in accordance with Cabinet of Ministers Regulation No. 359 “Labour Protection Requirements in Workplaces”.*

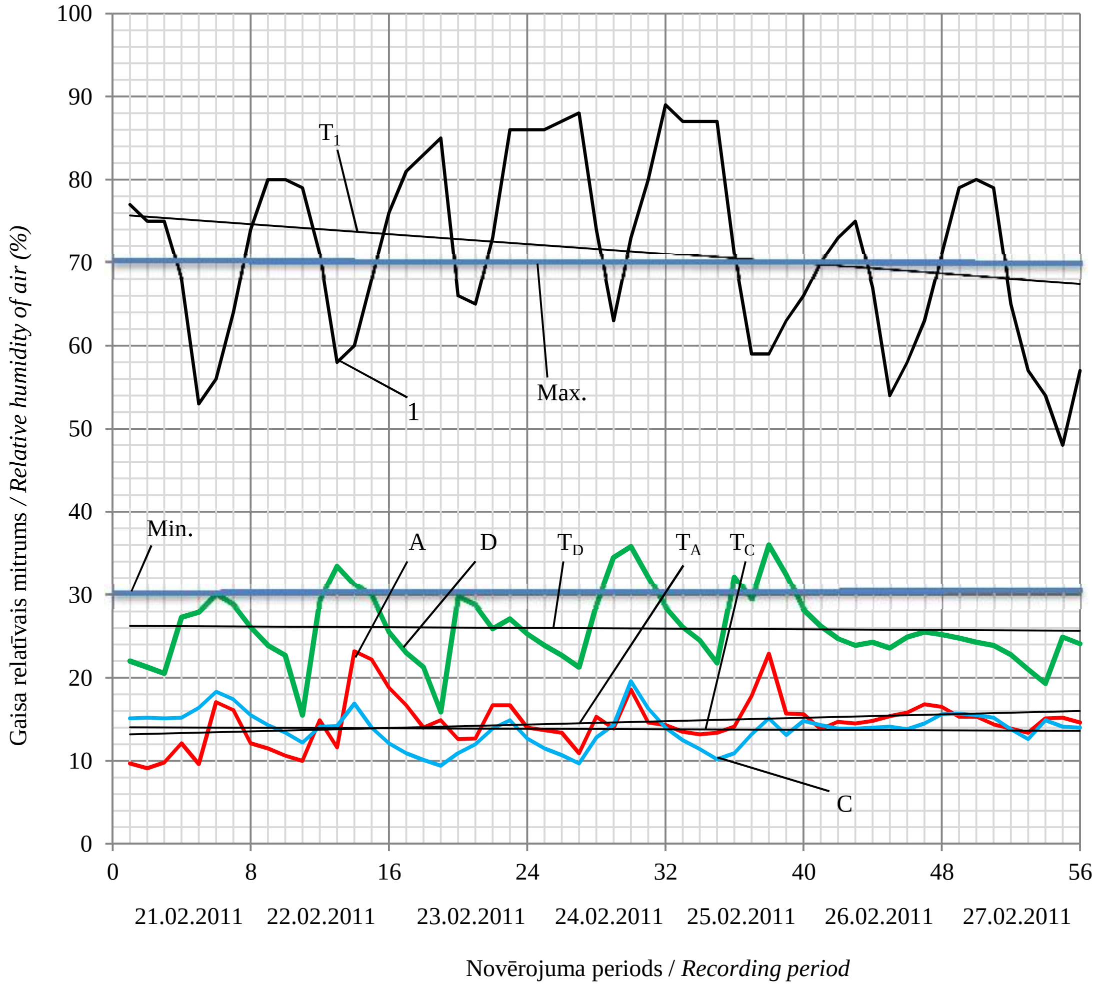
Izvērtējot gaisa temperatūras līniju p.i.i. ēkām „A”, „C” un „D” atrašanos šajā temperatūras intervālā, var secināt, ka „C” ēkai daudzos gadījumos fiksēta gaisa temperatūra pie un virs maksimāli noteiktās robežas +25.0 ^{0}C, sasniedzot pat +27.0 ^{0}C un vairāk, atzīmi. No 2.4.attēla redzams, ka pamatotas ir apkalpojošā personāla sūdzības par paaugstinātām gaisa temperatūrām telpās. Savukārt, „D” ēkā no 2.4. attēla var saskatīt pamatotas apkalpojošā personāla sūdzības par pazeminātām gaisa temperatūrām, sevišķi vējainos laika apstākļos. Attēlā redzams, ka „D” ēkas gaisa temperatūras līnija daudzos gadījumos atrodas zem minimāli noteiktā gaisa temperatūras sliekšņa, t.i. +19.0 ^{0}C. Lai cik tas izskatās nepareizi, bet vispiemērotākā iekštelpu gaisa temperatūra ir „A” ēkas telpā. Tās temperatūras līnija ļoti labi iekļaujas ierobežotajā intervālā starp „Min.” un „Maks.” taisnēm un praktiski nevienā gadījumā nav fiksētas gaisa temperatūras, kas iziet ārpus šim intervālam, izņemot vienu, kad fiksētā temperatūra ir +25.2 ^{0}C.

Secinājumi par 2.4. attēlā redzamajām „A”, „C” un „D” ēku telpu gaisa temperatūrām ir šādi:

1. visu ēku iekštelpu gaisa temperatūras līnijas atdarina āra gaisa temperatūras kritumu un pacēlumu virzienus. Tās varētu būt kā sekas nepieregulētai siltummezgla vadības sistēmai.
2. daļēji jaunbūvētās ēkas „C” telpā fiksētās gaisa temperatūras līnija „C” uzrāda pārāk lielas temperatūras vērtības un novilktā tieksmes līnija „T_C” atrodas robežās no +24.7 ^{0}C novērojumu sākumā, līdz +25.9 ^{0}C novērojumu beigās. Pieaugošas tieksmes tendences līnija, ir arī novilktajai āra gaisa tieksmes līnijai „T_1”. Arī šis faktors norāda uz ekspluatācijas trūkumiem un kļūdām siltummezgla apkalpošanā.
3. arī „D” ēkas telpas gaisa temperatūras līnija „D” un tieksmes līnija „T_D”, kas ir no vērtības +19.3 ^{0}C novērojumu sākuma periodā, līdz +19.2 ^{0}C novērojumu beigu periodā, norāda jau uz 1.un 2.punktā minētajām kļūdām ekspluatācijā, kuras vēl tiek izjustas pastiprināti ēkas norobežojošo konstrukciju zemās siltumnoturības dēļ.
4. gan „C” gan „D” ēku renovācijas un jaunbūves projekti un/vai ēku būvniecības un renovācijas darbi veikti ļoti zemā profesionālā līmenī.

5. tikai „A” ēkas telpas gaisa temperatūras līnija „A” un tieksmes līnija „T_A” atrodas attiecīgi starp minimālo un maksimālo pieļaujamo gaisa temperatūru līnijām, saskaņā ar MK noteikumiem Nr. 359 „Darba aizsardzības prasības darba vietās” un uz +23.2 ^{0}C atzīmes;
6. MK minēto noteikumu Nr.359 un Nr.596 neievērošana var būt par iemeslu palielinātam skaitam saslimšanu ar akūtām respiratorām slimībām gan personāla, gan bērnu vidū. Bieža saslimstību atkārtošanās var veicināt slimības hroniskumu un hronisku slimību progresēšanu.

2.5. attēlā atspoguļotās gaisa relatīvā mitruma sadalījuma līnijas uz „X” ass parādītas no 2011.gada 21.–27.februārim. Mazākā iedaļas vērtība ir trīs stundas, tas ir intervāls no viena fiksētā nolasījuma līdz otram. Uz „Y” ass atspoguļotas gaisa relatīvā mitruma vērtības novērojuma perioda laikā. Taisnes „Min.”, kas šajā gadījumā ir 30% un „Maks.”, kas šajā gadījumā ir 70%, novilktas saskaņā ar MK 2009.gada 28.aprīļa noteikumiem Nr.359 un nav atkarīgas ne no darba perioda, ne arī no darba kategorijas.



2.5. att. **Gaisa relatīvais mitrums „A”, „C” un „D” ēku telpās**
Fig.2.5. ***Relative humidity of indoor air for buildings „A”, „C” and „D”***

1. āra gaisa relatīvā mitruma līnija – 1/ *line of outdoor relative humidity of air – 1*;
2. iekštelpu gaisa relatīvā mitruma līnijas, „A”; „C” un „D” ēkām, */ lines of indoor relative humidity of air for buildings “A”, “C” and “D”*;
3. Robežlielumu vērtību taisnes „Max.” un „Min.”, saskaņā ar MK noteikumiem Nr.359 „Darba aizsardzības prasības darba vietās” / *Limit value straight lines „Max.” and „Min.”, in accordance with Cabinet of Ministers Regulation No. 359 “Labour Protection Requirements in Workplaces”*.

Izvērtējot gaisa relatīvā mitruma līniju p.i.i. ēkām „A”, „C” un „D” 2.5. attēlā redzams, ka to svārstības iekštelpās ir līdzīgas ar āra gaisa relatīvā mitruma līnijas svārstībām. Izņēmums ir brīvdienas: 26. un 27.februāris, kad telpās nav cilvēki un audzēkņi. Šajās divās dienās līniju, kas raksturo ēkas „A”, „C” un „D” gaisa relatīvo mitrumu „svārstīgums norimst”. Āra gaisa relatīvā gaisa mitruma tieksmes līnija „T_1” šajā novērojuma periodā ir ar negatīvu tendenci, jeb tendenci samazināties. Ēkā „C” un „D”, kā redzams 2.5. attēlā, ir ļoti zems iekštelpu gaisa relatīvais mitrums un uz to norāda arī tieksmes līnijas „T_C” un „T_D”, kuras atrodas ļoti zemu, 13–16% robežās. Jāatzīmē, ka viena ir nerenovēta un otra jaunbūvēta ēka, attiecīgi „A” un „C”. Salīdzinot šo abu ēku iekštelpu gaisa relatīvā mitruma līnijas, redzam, ka jaunbūvētās ēkas gaisa relatīvā mitruma līnija „C” ar atbilstošo tieksmes līniju „T_C”, vairumā gadījumu atrodas zem līnijas „A” ar tai atbilstošo tieksmes līniju „T_A”. Labāks iekštelpu gaisa relatīvais mitrums ir fiksēts ēkā „D”, un atbilstošo līniju „D” un tieksmes līniju „T_D”, kas atrodas uz atzīmes 26%. Šiem fiksētajiem datiem ir arī skaidrojums un personāla sūdzības par palielinātu telpu atdzišanu no ārsienām, īpaši vējainos laika apstākļos apkures sezonā, ir kā apstiprinājums dotās ēkas norobežojošo konstrukciju palielinātai gaisa infiltrācijas ietekmei no vēja spiediena un āra gaisa relatīvā mitruma palielinātai ietekmei uz iekštelpu gaisa relatīvo mitrumu.

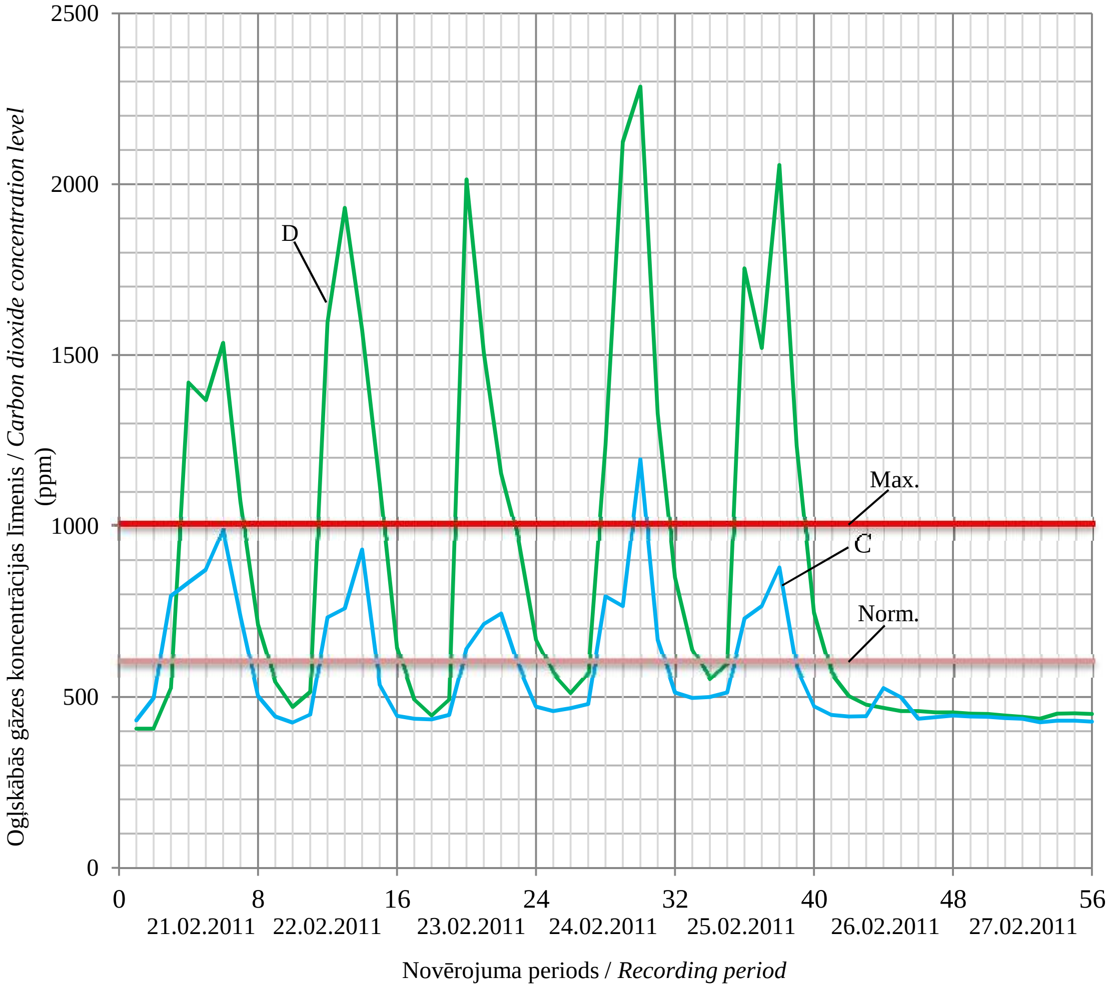
Secinājumi par 2.5. attēlā atspoguļotajām gaisa relatīvā mitruma līnijām ēku „A”, „C” un „D” telpās ir šādi:

1. gandrīz visos fiksētajos gadījumos nerenovētai, renovētai un jaunbūvētai ēkas telpai fiksētais gaisa relatīvais mitrums telpās ir zem MK 2009.gada 28.aprīļa noteikumu Nr.359 „Darba aizsardzības prasības darba vietās” noteiktās minimālās robežas;
2. nerenovētās ēkas „A” telpas gaisa relatīvā mitruma līnijas atrašanās vieta, kas ir zem minimāli noteiktā pieļaujamā gaisa relatīvā mitruma robežas – 30%, nepārprotami norāda uz to, ka iespējamo renovācijas darbu ietvaros, jāparedz arī pasākumi telpu gaisa relatīvā mitruma uzlabošanai līdz MK 2009.gada 28.aprīļa noteikumu Nr.359 prasībām;
3. daļēji jaunbūvētās ēkas „C” gaisa relatīvais mitrums atrodas zem noteiktās minimālās robežas, kas minētas MK 2009.gada 28.aprīļa noteikumos Nr.359 „Darba aizsardzības prasības darba vietās”. Gaisa relatīvā mitruma mērījumi un fiksācija veikta 88 m^2 telpā, kas atrodas jaunbūvētajā ēkas daļā. Daļēji tas izskaidrojams ar to, ka telpā, kurā veikti mērījumi, tika fiksēta arī pārāk augsta gaisa temperatūra, kas, savukārt, veicinājusi gaisa relatīvā mitrumā zemā līmeņa stāvokli;
4. renovētās ēkas „D” gaisa relatīvā mitruma līnija un arī tieksmes līnija T_D atrodas ļoti tuvu MK noteikumu Nr.359 prasībām, bet pilda tos tikai dažos gadījumos 22.,24.un 25.februārī, kad īslaicīgi tiek sasniegtas šādas gaisa relatīvā mitruma vērtības attiecīgajās dienās 33.4%, 35.8% un 36.0%. Tieksmes līnijas vērtība ir 26.0%, kas norāda uz to, ka gaisa relatīvais mitrums telpā ēkā „D” novērojumu periodā ir neatbilstošs MK noteikumu Nr.359 prasībām;
5. projektēšanas darbi un ēku ekspluatācija ir ļoti zemā, neprofesionālā līmenī, jo nenodrošina MK noteikumu ievērošanu;
6. iepriekš minētie trūkumi un neatbilstība MK noteikumu Nr.359 prasībām, var būt par iemeslu palielinātam skaitam saslimšanu ar akūtām respiratorām slimībām gan personāla, gan bērnu vidū. Bieža saslimstības atkārtošanās var veicināt slimības hroniskumu un hronisku slimību progresēšanu;
7. jebkurā no ēku telpām gaisa relatīvo mitrumu var palielināt, ierīkojot lokālas gaisa mitrināšanas ierīces.

2.6. attēlā atspoguļotas novērojumu periodā fiksētās ogļskābās gāzes koncentrācijas līmenis telpās. Dabīgā fona, jeb ogļskābās gāzes koncentrācijas līmenis āra gaisā netika noteikts, jo tas ar esošajiem mēraparātiem nebija iespējams. Pieņemtais dabīgais fons ir ap 420 ppm, kas tika fiksēts kā vidējais aritmētiskais lielums Rīgā, Pārdaugavā, bet citā Rīgas rajonā tas var būt atšķirīgs pēc vērtības lieluma. Pasaulē vidējais dabīgā CO_2 līmenis, kā jau iepriekš minēts, ir 350 – 450 ppm. Līnijas „C” mazākās vērtības fiksētas sestdien un svētdien, 26.un 27.februārī un ir 431ppm, bet līnijas „D” attiecīgi 407 ppm naktī uz pirmdienu, 21.februāri. Jāatzīmē, ka „C” p.i.i. ēka atrodas Centra rajonā, bet „D” Vidzemes priekšpilsētā.

Kā jau iepriekšējās nodaļās apskatīts, ogļskābās gāzes koncentrācijas līmenis var būt bīstams cilvēka veselībai, pat nāvējošs. Jāatceras, ka ieelpotās ogļskābās gāzes daudzumi summējas laikā. Ja CO_2 koncentrācijas līmenis sasniedz 1000 – 2500 ppm parādās nogurums un miegainība, nelabvēlīgu ietekmi uz veselību tas atstāj pie 2500 – 5000 ppm, neliela intoksikācija, elpošanas un pulsa biežuma palielināšanās ap 30000 ppm, viss iepriekšminētais un galvassāpes ar vieglu nelabumu ap 50000 ppm, samaņas zaudēšana ar iespējamo letālo iznākumu ap 100000 ppm. Rekomendējamais uzturēšanās diapazons, kas nav kaitīgs veselībai 600 – 1000 ppm (ASHRAE standarti 62–1989). Tajā pašā laikā 8 darba stundās nekaitīgais un vēlamais kopējais daudzums ir 5000 ppm un normāls ogļskābās gāzes koncentrācijas līmenis darba telpās ir 600 ppm, turpmāk attēlos, kur atspoguļoti ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņi, šie robežlielumi tiks novilkti kā taisne „Norm.”, kas atspoguļos rekomendējamo CO_2 līmeni un maksimālā CO_2 koncentrācijas robeža, kad vēl nav draudu veselībai – tiks attēlota ar taisni „Max.”.

Apskatāmajā periodā „C” p.i.i. ēkā vismazākā ogļskābās gāzes koncentrācija telpā darba dienā, ir 23.februārī. Tad konkrētajā telpā ir vismazāk cilvēku – 11 bērni un 2 audzinātājas. Kopējais darba dienas saņemtais CO_2 daudzums ir ap 6500 ppm, kas ir ļoti liels un tuvu bīstamības robežai, kad parādās pirmās noguruma pazīmes un miegainība, kuras pavada arī koncentrēšanās spēju mazināšanās. Vislielākais stundas ogļskābās gāzes koncentrācijas līmenis ir fiksēts 24.februārī, kas bija 1195 ppm un jau pārsniedz nekaitīguma līmeņa maksimālo robežu.



2.6. att**. Ogļskābās gāzes koncentrācijas līmenis (ppm) „C” un „D” ēku telpās**

Fig. 2.6. ***Carbon dioxide concentration level (ppm) for buildings „C” and „D” indoors***

1. „C” – ogļskābās gāzes koncentrācija„C” ēkas telpā / *carbon dioxide concentration for the „C” building room;*
2. *„D” – ogļskābās gāzes koncentrācija„D” ēkas telpā/ / carbon dioxide concentration in the room of building „D”;*
3. Max. – ogļskābās gāzes koncentrācijas maksimālā rekomendējamā robeža mērenam gaisa kvalitātes līmenim / *maximum recommended limit of carbon dioxide concentration for moderate air quality*; (EN 13779:2005, 2005)
4. Norm. – ogļskābās gāzes koncentrācijas zemākā robeža mērenam gaisa kvalitātes līmenim / *lowest level of carbon dioxide recommended borderline for the buildings indoor with mild air quality*. (EN 13779:2005, 2005).

Ēkai „D” šī līnija, kas atspoguļo CO_2 koncentrācijas līmeni 2.6. attēlā, parāda, ka faktiski visu darba dienu gan bērni, gan audzinātājas atrodas vidē, kas bīstama un kaitīga veselībai, jo vienas stundas CO_2 koncentrācijas līmenis pārsniedz pat 1500 ppm un trijos gadījumos pat 2000 ppm. Maksimālā darba dienas deva, ko saņem bērni un apkalpojošais personāls, kas uzturas šajās telpās, sasniedz 12000 ppm, kas bērniem jau var radīt nelabvēlīgu ietekmi uz veselību, bet iepriekšminētais nekaitīguma slieksnis pieaugušam cilvēkam – 5000 ppm, tiek pārsniegts 2.4 reizes!

Secinājumi par 2.6. attēlā attēlotajām CO_2 koncentrācijas daudzumu līnijām „C” un „D”, kas parāda šos fiksētos gaisa parametrus ēku „C” un „D” telpās novērojuma perioda laikā, ir šādi:

1. visos gadījumos fiksētās ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa vērtības to summēšanas gadījumā darba laikā, jeb darba dienas lieluma noteikšanas gadījumos, ir virs 5000 ppm sliekšņa;
2. labāki ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa parametri ir „C” ēkā, jo to fiksētās vērtības novērojumu periodā nepārsniedz 1000 ppm, izņemot 24.februārī fiksētajā maksimumā – 1195 ppm;
3. „D” ēkas telpā fiksētie ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa daudzumi ir pārsnieguši maksimālā līmeņa, nekaitīguma, robežu – 1000 ppm un sasniedz pat vērību 2285 ppm 24.februārī (telpā 12 bērni un 2 audzinātājas);
4. „D” ēkas 60m^2 telpā fiksētie ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa daudzumi jau ir klasificējami kā draudi bērnu un apkalpojošā personāla veselībai;
5. „D” ēkas telpā fiksētie ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa daudzumi bija novēršami, atverot logus uz 10–15min. un tādējādi dabīgā ceļā veicot telpas ventilāciju;
6. 2.6. attēlā atspoguļotie fiksētie ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa daudzumi novērojuma periodā, jo sevišķi ēkā „D”, var izraisīt bērnos palielinātu nogurumu un miegainību, kas mazina koncentrēšanās spējas;
7. ogļskābās gāzes koncentrācijas līmeņa daudzumu samazināšanai jāizmanto mehāniskās ventilācijas sistēmas, piemēram, „C” ēka, vai to neesamības gadījumā, dabīgā ventilācija, piemēram, „D” ēka;
8. „C” ēkā esošā, bet funkcijas neveicošā ventilācijas sistēma un „D” ēkā neesošā mehāniskās ventilācijas sistēmas parāda projektēšanas stadijas kļūdas, kas klasificējamas kā neprofesionalitāte no projektētāja un/vai pasūtītāja puses;
9. esošās situācijas normalizēšanai, vismaz „D” ēkā, jāizmanto biežāka telpu ventilācija atverot logus, bet ņemot vērā arī iepriekšminētos secinājumus, kas doti par telpas gaisa temperatūru, gaisa relatīvo mitrumu, kā arī palielināto siltuma plūsmu caur norobežojošām konstrukcijām un novecojošo apkures sistēmu, jāizvērtē iespēja veikt kvalitatīvu otrreizēju renovāciju, pamatojoties uz veicamā energoaudita rezultātiem, kas samazinās arī siltumenerģijas gada patēriņus vismaz līdz izstrādātam normatīvam lielumam.

Šajā pētījumā, kas tika veikts p.i.i. „C” ēkā tika konstatēts šāds gaisa piesārņojums ar aldehīdiem: formaldehīdi 0.023±0.005mg·m^{-3}; acetaldehīdi 0.015±0.003mg·m^{-3}; benzoaldehīdi 0.004±0.001mg·m^{-3}; propilaldehīdi 0.003±0.001mg·m^{-3} un GOS 0.56±0.11mg·m^{-3}. Grīdas klājums bija linolejs, logu rāmji – plastikāta, mehāniskās ventilācijas sistēmas telpā nav.

Secinājumi par telpas gaisa piesārņojumu ir šādi:

1. pētījuma rezultāti parāda dažādu ķīmisko vielu esamību gaisā;
2. aldehīdu kopējā koncentrācija nepārsniedz WHO rekomendēto maksimālo robežu;
3. GOS piesārņojums ir lielāks nekā WHO rekomendētā maksimālā robeža;
4. personālam un bērniem ir pamatotas sūdzības par sliktu gaisa kvalitāti telpās;
5. nepieciešams samazināt plastmasas un citu sintētisko materiālu pielietojums p.i.i. ēkās, sevišķi interjeram;
6. iekārtas, kas ļautu novērst kaitīgo ķīmisko vielu ietekmi uz bērnu un personāla organismiem;
7. putekļu lielais daudzums norāda uz elementāru sanitāro normu pārkāpumu.

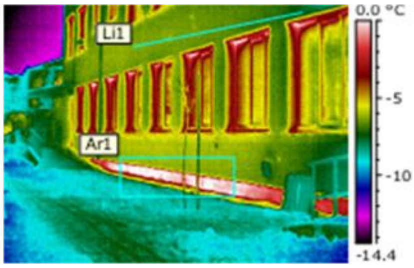
2.3. Siltuma zudumu vietas eksperimentālajā ēkā / *Locations of heat loss in the experimental building*

Eksperimentālajai ēkai „C” viena daļa jaunbūvēta, bet otra daļa renovēta. Darbi veikti 2007. gadā. Renovētajai daļai tika veikti ēkas fasāžu siltināšanas darbi un veco logu vietā ielikti pakešu logi ar plastmasas rāmjiem. Kopējās grīdu platības – 1901 m^2, siltumenerģijas patēriņš 2008. gadā – 645000 kWh ar siltumenerģijas izlietošanas intensitāti – 339 kWh·m^{-2}. Apkalpojošam personālam sūdzības par lielām gaisa temperatūras starpībām dažādās telpās, jo nav iespējams regulēt apkures sistēmas radiatoru temperatūru. Telpu temperatūru regulē, atverot logus augstas gaisa temperatūras telpās. Ventilācijas sistēmai nav nekādas ietekmes uz gaisa parametru kvalitātes izmaiņām telpās, tāpēc to nelieto.

Ēkas „C” siltuma transmisijas vietas caur norobežojošām konstrukcijām ar termokameras palīdzību tika noteiktas 2012.gada 23.janvārī, kad āra gaisa temperatūra Rīgā bija –3.2 ^{0}C plkst.11:00 un –3.6 ^{0}C plkst.14:00, vēja virziens: austrumu, 4–8 ms^{-1}, saskaņā ar LVĢMC lapas http://www.meteo.lv/public/26902.html informāciju.

Šajā ēkā, jaunbūvētajā un renovētajā daļās, veiktais termogrāfiskais audits, parādīja siltuma zuduma vietas un cēloņus, un iegūtie būtiskākie un nozīmīgākie rezultāti ir atspoguļoti attēlos no 2.7. – 2.30., kur redzami ēkas elementu fotoattēli un to termogrammas, kas parāda virsmas temperatūras izmaiņas, ar novilktām temperatūru profillīnijām „Li 1” un temperatūru mērījsumu apgabaliem „Ar 1”.

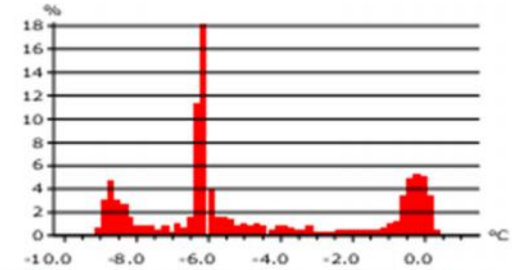
2.7. att. **Ēkas fasādes austrumu puse, renovētā daļa**
Fig.2.7. ***Eastern side of the facade of the building, renovated section***



2.8.att. **Ēkas fasādes termogrāfiskais attēls**
Fig.2.8. ***Thermographic image of the building facade***

Object Parameter	Value
Emissivity	0.96
Object Distance	3.0 m
Reflected Temperature	20.0 °C
Atmospheric Temperature	-4.0 °C
Atmospheric Transmission	0.99
Label	**Value**
Li1: Max	-6.1 °C
Li1: Min	-7.6 °C
Ar1: Max	0.4 °C
Ar1: Min	-9.2 °C

2.9. att. **Datu tabula**
Fig.2.9. ***Data table***

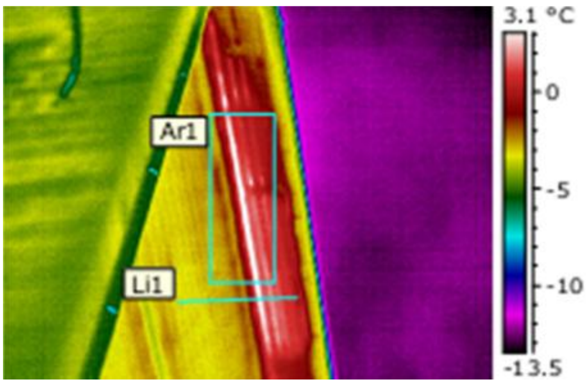


Label	Peak	Min	Max	Avg
Ar1	18.2	-9.2	0.4	-4.8
Li1	22.9	-7.6	-6.1	-6.7

2.10. att. **Virsmu temperatūra apgabalā „Ar 1”**
Fig.2.10. ***Surface temperature in the area „Ar 1”***

No 2.7. attēla, kur redzams ēkas elementa fotoattēls, līdz 2.10. attēlam parādīts iegūtā termogrāfiskā 2.8. attēla datu izklāsts. 2.9. attēlā redzami iegūtie dati. 2.10. attēlā atspoguļotas ēkas virsmas temperatūras ar procentuālo sadalījumu izvēlētajā apgabalā „Ar 1”. No 2.9. un 2.10. attēla redzams, ka izvēlētajā apgabalā „Ar 1” temperatūras svārstās robežās no –9.2 ^{0}C uz sniega virsmas līdz +0.4 ^{0}C uz ēkas pamata plaknes virsmas, kas norāda uz ievērojamu siltuma transmisiju caur ēkas pamatiem. Ēkas austrumu daļas fasādei nav redzami lieli siltuma zudumi. Izņēmums šajā ēkas fasādes daļā ir jau minētie siltuma zudumi caur pamatiem un logu ailām.

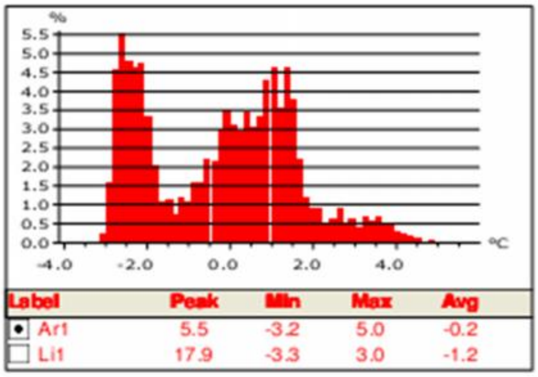
2.11. att. **Ēkas fasādes daļa, rietumu puse, jaunbūve**
Fig.2.11. ***West side of the façade of the newly erected building***



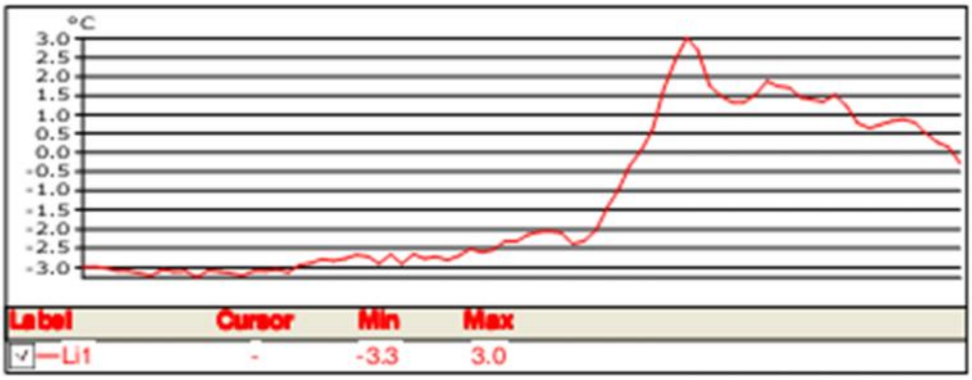
2.12. att. **Ēkas fasādes termogrāfiskais attēls**
Fig.2.12. ***Thermographic image of the building facade***

Object Parameter	Value
Emissivity	0.96
Object Distance	3.0 m
Reflected Temperature	20.0 °C
Atmospheric Temperature	-4.0 °C
Atmospheric Transmission	0.99
Label	**Value**
Li1: Max	3.0 °C
Li1: Min	-3.3 °C
Ar1: Max	5.0 °C
Ar1: Min	-3.2 °C

2.13. att. **Datu tabula**
Fig.2.13. ***Data table***



2.14. att. **Virsmu temperatūra apgabalā „Ar 1”**
Fig.2.14. ***Surface temperature in the area „Ar 1”***

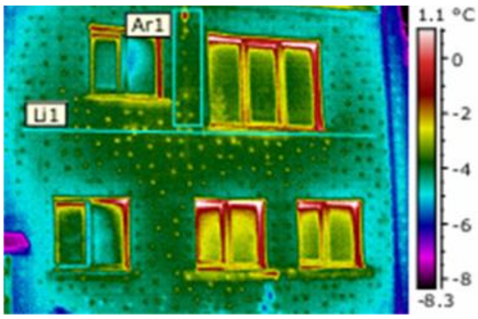


2.15. att. **Temperatūra uz ēkas fasādes profillīnijā „Li 1”**
Fig.2.15. ***Temperature on the building facade in profile line „Li 1”***

No 2.11.attēla, kur redzams ēkas jumta elementa fotoattēls līdz 2.15. attēlam parādīti iegūtā termogrāfiskā 2.12. attēla datu izklāsts. 2.14. attēlā redzams gaisa temperatūras procentuālais sadalījums izvēlētajā apgabalā „Ar 1”. 2.15. attēlā redzams temperatūras sadalījums izvēlētajā profillīnijā „Li 1”. No 2.14. un 2.15. attēla redzams, ka izvēlētajā apgabalā „Ar 1” temperatūras svārstās robežās no –3.2 ^{0}C uz ēkas fasādes virsmas līdz +5.5 ^{0}C uz ēkas jumta apakšējās daļas virsmas, kas norāda uz ievērojamu siltuma transmisiju caur pēdējā stāva pārsegumu uz bēniņiem. Ar austrumu virziena vēju siltais gaiss tiek izvadīts uz ēkas rietumu pusi.

Salīdzinot ēkas austrumu puses fasādes un rietumu puses fasādes termogrammas, redzam, ka uz austrumu fasādes termogrāfiskajā attēlā novilktā profillīnija „Li 1” temperatūra ir robežās no – 6.1 ^{0}C līdz –7.5 ^{0}C. Termogrammā uz ēkas fasādes rietumu daļas, kur novilkta profillīnija „Li 1”, kas parādīta 2.15.attēlā., temperatūras svārstības uz ēkas fasādes virsmas ir robežās no –3.3 ^{0}C līdz +3.0 ^{0}C. Temperatūras starpības uz ēkas austrumu un rietumu fasādes ir fiksētas robežās no –7.5 ^{0}C līdz +3.0 ^{0}C. Tas nozīmē, ka ēka ir gaisa caurlaidīga ar nepietiekamu un/vai nekvalitatīvu siltinājumu. Tas rada lielus un nevienmērīgus siltuma zudumus ēkas telpās, jo īpaši, vējainos laika apstākļos.

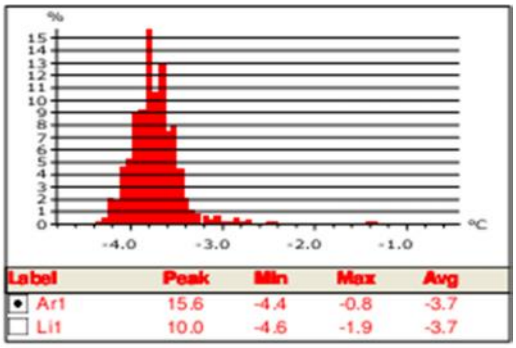
2.16.att. **Ēkas fasādes renovētā daļa, rietumu puse**
Fig.16. ***Renovated part of the facade of the building, on the west side***



2.17.. att. **Ēkas fasādes termogrāfiskais attēls**
Fig.17. ***Thermographic image of the building facade***

Object Parameter	Value
Emissivity	0.96
Object Distance	3.0 m
Reflected Temperature	20.0 °C
Atmospheric Temperature	-4.0 °C
Atmospheric Transmission	0.99
Label	**Value**
Li1: Max	-1.9 °C
Li1: Min	-4.6 °C
Ar1: Max	-0.8 °C
Ar1: Min	-4.4 °C

2.18. att. **Datu tabula**
Fig.2.18. ***Data table***

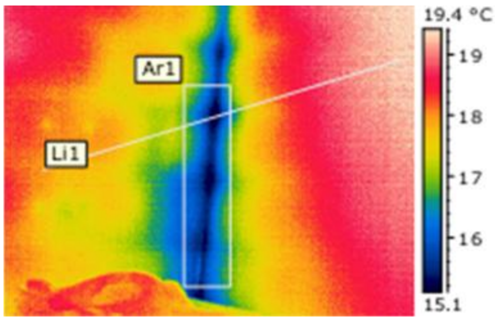


2.19.att. **Virsmas temperatūra apgabalā „Ar1”**
Fig.2.19. ***Surface temperature in the area „Ar 1”***

2.20.. att. **Temperatūra uz ēkas fasādes profillīnijā „Li 1”**
Fig.2.20. ***Temperature on the building facade in profile line „Li 1”***

2.16. attēlā parādīta ēkas renovētās daļas rietumu puses fasādes daļa. 2.17. attēlā redzamajā termogrammā atzīmēts temperatūras mērījumu apgabals „Ar 1” un profillīnija „Li 1”. Attēlā skaidri redzamas siltumizolācijas materiāla stiprinājumu vietas, caur kurām ir palielināti siltuma zudumi un kuras ir tehnoloģiski nepareizi izveidotas (jābūt četrām stiprinājuma vietām uz $0.5m^2$). 2.18. attēlā parādīta datu tabula, kur redzamas temperatūras gan āra gaisam, gan arī virmas mazākās un lielākās vērtības apgabalā „Ar 1” un profillīnijā „Li 1”. 2.19. attēlā redzams virsmas temperatūras procentuālais sadalījums ar fiksēto mazāko temperatūru uz fasādes apgabala virsmas, kas ir –4.4 ^{0}C un augstāko šī apgabala temperatūru, kas ir –0.8 ^{0}C. Uz termogrāfiskā attēla un profillīnijas „Li 1”, kas redzama 2.20. attēlā skaidri parādās palielināta siltuma zudumu vieta – loga ailas, kas varētu būt celtniecības tehnoloģijas neievērošanas rezultāts. Fiksētā temperatūra ir robežās no –4.6 ^{0}C līdz –1.9 ^{0}C.

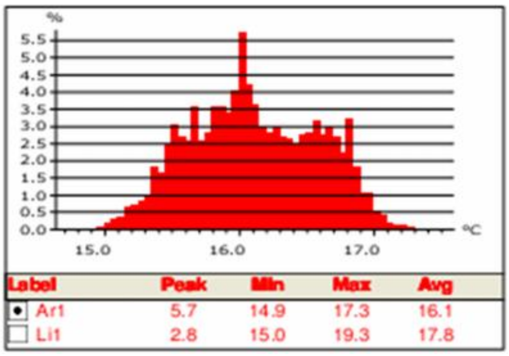
2.21.att. **Jaunbūvētais korpuss, guļamistabas stūris**
Fig.2.21. ***The corner of the sleeping room in the newly erected block of the building***



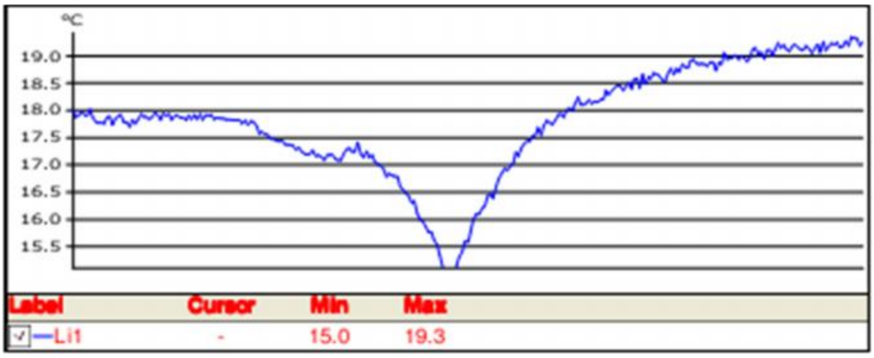
2.22.att. **Guļamistabas stūra daļas termogramma**
Fig.2.22. ***Thermographic image of the corner of the sleeping room***

Object Parameter	Value
Emissivity	0.96
Object Distance	3.0 m
Reflected Temperature	20.0 °C
Atmospheric Temperature	20.0 °C
Atmospheric Transmission	0.99
Label	**Value**
Li1: Max	19.3 °C
Li1: Min	15.0 °C
Ar1: Max	17.3 °C
Ar1: Min	14.9 °C

2.23.att. **Datu tabula**
Fig.2.23. ***Data table***



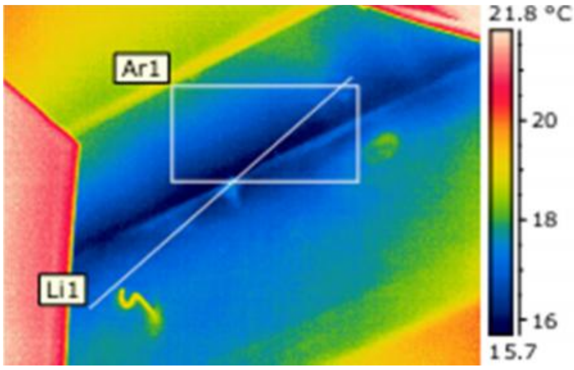
2.24. att. **Virsmu temperatūra apgabalā „Ar 1”**
Fig.2.24. ***Surface temperature in the area „Ar 1”***



2.25.att. **Temperatūra uz guļamistabas sienām profillīnijā „Li 1”**
Fig.2.25. ***Temperature on the building facade in profile line „Li 1”***

2.21. attēlā redzams guļamistabas stūris un 2.22. attēlā tā termogramma. Telpas fiksētā temperatūra redzama 2.23. attēlā un tā ir +20.0 ^{0}C. Izvēlētā apgabala „Ar 1” temperatūras sadalījums redzams 2.24. attēlā un ir robežās no +14.9 ^{0}C līdz +17.3 ^{0}C. Temperatūras svārstības profillīnijā „Li 1” parādītas 2.25. attēlā un ir robežās no +15.0 ^{0}C līdz +19.3 ^{0}C. Telpas stūrī ir ievērojams virsmas temperatūras samazinājums līdz +15.0 ^{0}C. Salīdzinot to ar gaisa temperatūru telpā, tā ir par 5 grādiem zemāka, un šeit var veidoties pelējums paaugstināta mitruma iespaidā.

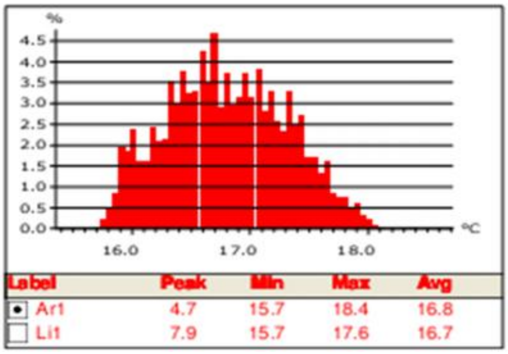
2.26. att. **Renovētais korpuss, rotaļu telpa**
Fig.2.26. ***Renovated block of the building, playroom***



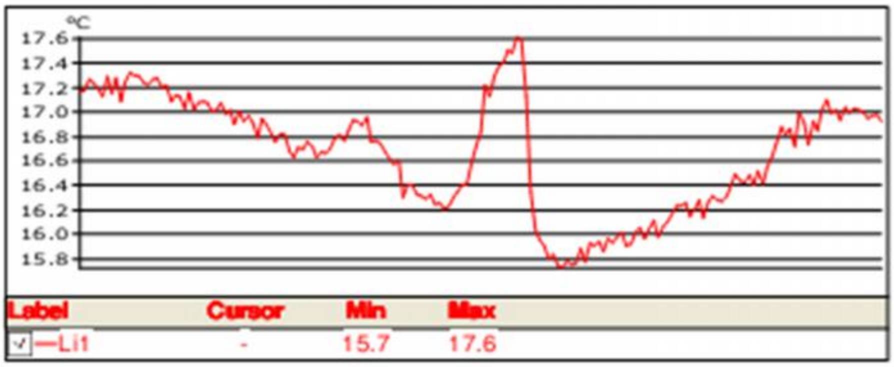
2.27. att. **Telpas sienas un griestu termogramma**
Fig.2.27. ***Thermogram of the room wall and ceiling***

Object Parameter	Value
Emissivity	0.96
Object Distance	1.0 m
Reflected Temperature	20.0 °C
Atmospheric Temperature	20.0 °C
Atmospheric Transmission	0.99
Label	**Value**
Li1: Max	17.6 °C
Li1: Min	15.7 °C
Ar1: Max	18.4 °C
Ar1: Min	15.7 °C

2.28. att. **Datu tabula**
Fig.2.28. ***Data table***



2.29. att. **Virsmu temperatūra apgabalā „Ar 1”**
Fig.2.29. ***Surface temperature in the area „Ar 1”***



2.30. att. **Temperatūra uz telpas sienas un griestiem profillīnijā „Li 1”**
Fig.2.30. ***Temperature on the building facade in profile line „Li 1”***

2.26. attēlā redzama renovētā korpusa telpas ārsienas, starpsienas un griestu daļa un 2.27. attēlā tās vietas termogramma. Termogrammā un 2.28 un 2.29 attēlos skaidri redzamas temperatūras starpības uz starpsienas, ārsienas un griestu virsmas, kas sastāda pat 4.5 ^{0}C līdz 5.0 ^{0}C diferenci ar telpas gaisa temperatūru. Griestu pievienojuma vietā ar ārsienu temperatūra, kas atrodas apgabalā „Ar 1”, fiksēta robežās no +15.7 ^{0}C līdz +18.4 ^{0}C un redzama 2.28. un 2.29. attēlā. 2.30.attēlā redzamas temperatūras izmaiņas uz profillīnijas „Li 1” un ir robežās no +15.7 ^{0}C līdz +17.6 ^{0}C.

Secinājumi par p.i.i. „C” ēkas, jaunbūvētajā un renovētajā daļās, veikto daļējo termogrāfisko auditu, kura rezultāti parādīti no 2.7. attēla līdz 2.30. attēlam par norobežojošajās konstrukcijās noteiktajām siltuma zuduma vietām un cēloņiem, ir šādi:

1. renovētajā daļā sienu siltināšanai pielietotais siltumizolācijas materiāls dod siltumenerģijas resursu ietaupījumu, uz ko norāda zemākas, tuvas āra gaisa temperatūrai, fasāžu sienu virsmu temperatūras;
2. jaunbūvētajā daļā āra sienās pielietotais materiāls, FIBO bloki bez papildus siltumizolācijas materiāla, ir ar lielu siltuma caurlaidību un tādējādi rada lielus siltuma zudumus ēkas telpām;
3. visā ēkā, veicot logu nomaiņu un iebūvi, nav ievērota logu iebūves tehnoloģija, tāpēc loga rāmju un sienu savienošanās vietas ir ar ļoti lieliem virsmas temperatūru, pat līdz 5.0 ^{0}C, pazeminājumiem, veidojot šajās vietās papildus siltuma zudumus;
4. starpstāvu pārseguma un ārsienu savienojuma vietas (atbilstošu siltināšanas materiālu neesamība) ir izveidotas tā, ka šajās vietās ir palielināti siltuma zudumi, uz ko norāda pazeminātās virsmu temperatūras telpās;
5. ēkas bēniņi nav atbilstoši nosiltināti, un tāpēc veidojas ļoti lieli siltuma zudumi;
6. ēkas stūri (siltināšanas materiālu neesamība) nav izveidoti atbilstoši prasībām, tāpēc arī tie ir ar pazeminātām virsmu temperatūrām un attiecīgi palielinātiem siltuma zudumiem.

2.4. Pētījuma datu statistiskā analīze / *Statistical analysis of research data*

1.2. attēlā izveidotā regresijas līnija no skolu un p.i.i. ēku grīdu platību (m^2) un siltumenerģijas gada patēriņa (MWh) variēšanas rādītājiem ir ar vienādojumu $\hat{y}_i$ = 0.09x + 183.05. 2.3., 2.4. un 2.5. tabulās parādīti datu analīzes rezultāti.

2.3. tabula / *Table 2.3.*

Regresijas līnijas statistiskie rādītāji
Statistical indicators of the regression line

Rādītāju nosaukums / *Indicator designation*	Rādītāji / *Indicators*
$r_{x;y}$ (korelācijas koeficients) / $r_{x;y}$ *(correlation coefficient)*	0.89
R^2 (determinācijas koeficients) / R^2 *(determination coefficient)*	0.79
S_{yx} (standartkļūda) / S_{yx} *(standard error)*	144.18
Pāru skaits, n / *Number of pairs, n*	299

No 2.3. tabulas redzams, ka regresijas līnijas korelācijas koeficients r = 0.89 un determinācijas koeficients $R^2 = 0.79$, kas norāda uz ciešu lineāru sakarību starp pazīmēm.

2.4. tabula / *Table 2.4.*

Regresijas līnijas F testa rezultāti
Regression line F test results

Rādītāji / *Indicators*	Brīvības pakāpes / *Freedom levels*	SS	MS	F	p–vērtība / *p- value*
Regresijas/ *Regression*	1	22949290.66	22949291	1103.92	4.7692E–102
Atlikuma/ *Residue*	297	6174299.11	20788.89		
Kopā / *Total*	298	29123589.77			

No 2.4. tabulas redzams, ka regresijas līnijas F testa p vērtība ir $4.7692 \cdot 10^{-102}$ un tā ir mazāka par būtiskuma līmeņa vērtību: $4.7692 \cdot 10^{-102} < 0.05$, kas norāda, ka starp pazīmēm pastāv lineāra sakarība pie pieņemtās varbūtības P = 95%.

2.5. tabula / *Table 2.5.*

Regresijas vienādojuma koeficienti un tos raksturojošie lielumi
Regression equation coefficients and their characteristic values

Rādītāji / *Indicators*	Koeficienta vērtības / *Coefficient values*	Standartkļūda / *Standard error*	p–vērtība / *p - value*	95% ticamības intervāls / *95% certainy interval*	
				Kreisā robeža / *Left limit*	Labā robeža / *Right limit*
Brīvais loceklis / *Free member* (b_0)	183.05	13.156	3.132E–34	157.16	208.94
Virziena koeficients / *Direction coefficient* (b_1)	0.09	0.002	4.77E–102	0.09	0.10

2.5. tabulā redzami regresijas vienādojuma koeficienti un nosakāms regresijas vienādojums: $\hat{y}_i = 183.05 + 0.09x_i$.

Virziena koeficienta 95% ticamības intervāla vērtības šajā gadījumā ir šādas: $0.09 < \beta_i < 0.10$, kas nozīmē, ka siltumenerģijas patēriņa faktors ir būtisks, ar varbūtību 95%.

2.5. GOSPIL un ekonomiskā izvērtējuma metodika / *GOSPIL and metodology of the economic evaluating*

Kopā ir 143 p.i.i. ēku siltumenerģijas izlietošanas viena gada dati, t.sk. 32 nerenovētu ēku un 111 renovētu vai jaunbūvētu ēku. Kopējās visu p.i.i. ēku grīdu platības sastāda 248 923 m^2, kopējā šo ēku izlietotā siltumenerģija 2008.gadā bija 53 102 920 kWh. 111 renovēto p.i.i. ēku kopējās grīdu platības ir 17 866 m2 ar kopējo izlietoto siltumenerģiju 40 328 MWh (dati no 2.2. tabulas). Vidējā renovēto un jaunbūvēto p.i.i. ēku siltumenerģijas izlietošanas intensitāte 2008.gadā ir 224 $kWh \cdot m^{-2}$. No 2.3. attēla izvēlos divu nerenovēto p.i.i. ēku datus: viena, kas atrodas zem tieksmes līnijas un šīs ēkas grīdu platības ir 1 605 m^2 ar kopējo gadā izlietoto siltumenerģijas daudzumu 269 000 kWh, jeb siltumenerģijas patēriņa intensitāti 168 $kWh{\cdot}m^{-2}$ un otras nerenovētās p.i.i. ēkas ar kopējo grīdas laukumu platību 1920 m^2 un gadā izlietoto siltumenerģijas daudzumu 456 000 kWh, jeb siltumenerģijas patēriņa intensitāti 238 $kWh{\cdot}m^{-2}$. Šo divu p.i.i ēku grīdu platības ir vistuvāk vidējam rādītājam – 1741 m^2. Interpolācijas ceļā nosaka virtuālās ēkas (vidējā rādītāja) siltumenerģijas patēriņa intensitāti no divām nerenovētajām p.i.i. ēkām ar vistuvāk esošām grīdu platībām. Tā ir 198 $kWh{\cdot}m^{-2}$. 2008.gadā A/S „Rīgas Siltums" siltumenerģijas tarifs vislielākais bija decembrī – 44.89Ls·$(MWh)^{-1}$ + PVN. Vadoties pēc šiem skaitļiem, arī veikts aprēķins, kas apkopots 2.6. tabulā par šāda veida renovācijas un būvniecības darbu ekonomisko izdevīgumu.

2.6. tabula / *Table 2.6.*

Pirmsskolas izglītības iestāžu ēkās veikto renovācijas darbu ietekme uz siltumenerģijas resursu izlietošanas samazināšanu

Impact of the renovation works performed in the day-care centre buildings on the reduction in use of thermal energy resources

Nosaukums / *Designation*	1 605 m^2 ēka / *1,605 m^2 building*	1920 m^2 ēka / *1,920 m^2 building*	1 741 m^2 virtuālā ēka (vidējā rādītāja ēka) / *1,741 m^2 virtual building (average indicator building)*
Siltumenerģijas izlietošanas intensitāte ($kWh{\cdot}m^{-2}$) / *Intensity of thermal energy use ($kWh{\cdot}m^{-2}$)*	168	238	198
Renovēto ēku siltumenerģijas izlietošanas intensitātes rādītājs ($kWh{\cdot}m^{-2}$) / *Intensity index of thermal energy use for renovated buildings ($kWh{\cdot}m^{-2}$)*	224		
Siltumenerģijas izlietošanas intensitātes starpība ($kWh{\cdot}m^{-2}$) / *Intensity difference of thermal energy use ($kWh{\cdot}m^{-2}$)*	–56	14	–26
Maksimālais 2008.gada tarifs, bez PVN (Ls·$(kWh)^{-1}$) / *Maximum tariff of 2008, VAT excluded (LVL·$(kWh)^{-1}$)*	$44.89{\cdot}10^{-3}$		
Ietaupījums no siltumenerģijas izlietošanas intensitātes samazināšanās uz telpas m^2 (Ls)/ *Economy from intensity reduction of thermal energy use per m^2 of the room (LVL)*	–2.51	0.63	–1.17
Renovācijas darbu izdevumi uz telpas m^2 (Ls) / *Costs of renovation works per m^2 of the room (LVL)*	20–30		
Kopējie renovācijas darbu izdevumi (Ls)/ *Total costs of renovation works per m^2 of the room (LVL)*	32 100–48 150	38 400–57 600	34 820–52 230
Siltumenerģijas resursu ietaupījums gadā 2008.gada decembra cenā (Ls)/ Economy of thermal energy resources per annum, according to the price of December 2008 (LVL)	–4 028.55	1 209.60	–2 036.97
Atmaksāšanās laiks (gadi)/*Recoupment period (years)*	Nav / *Nonexistent*	31.8–47.6	Nav / *Nonexistent*

Piezīme: samazinoties siltumenerģijas tarifam, atmaksāšanās laiks proporcionāli palielinās. / *Note: when the thermal energy tariff reduces, the recoupment period increases proportionally*.

No 2.6. tabulas redzams, ka šādā veidā veiktie renovācijas darbi (logu nomaiņa neievērojot iebūves tehnoloģiskās prasības, bez pilnīgas ēkas norobežojošo konstrukciju siltināšanas, ievērojot tehnoloģiskās prasības, bez apkures sistēmas un siltummezgla renovācijas, kā arī bez energoefektīvas ventilācijas sistēmas ierīkošanas) nav saimnieciski izdevīgi pasūtītājam, jo šāda veida būvdarbi rada zaudējumus vai arī atmaksājas ļoti ilgā laikā, kas virtuālās ēkas gadījumā ir 31.8–47.6 gadi.

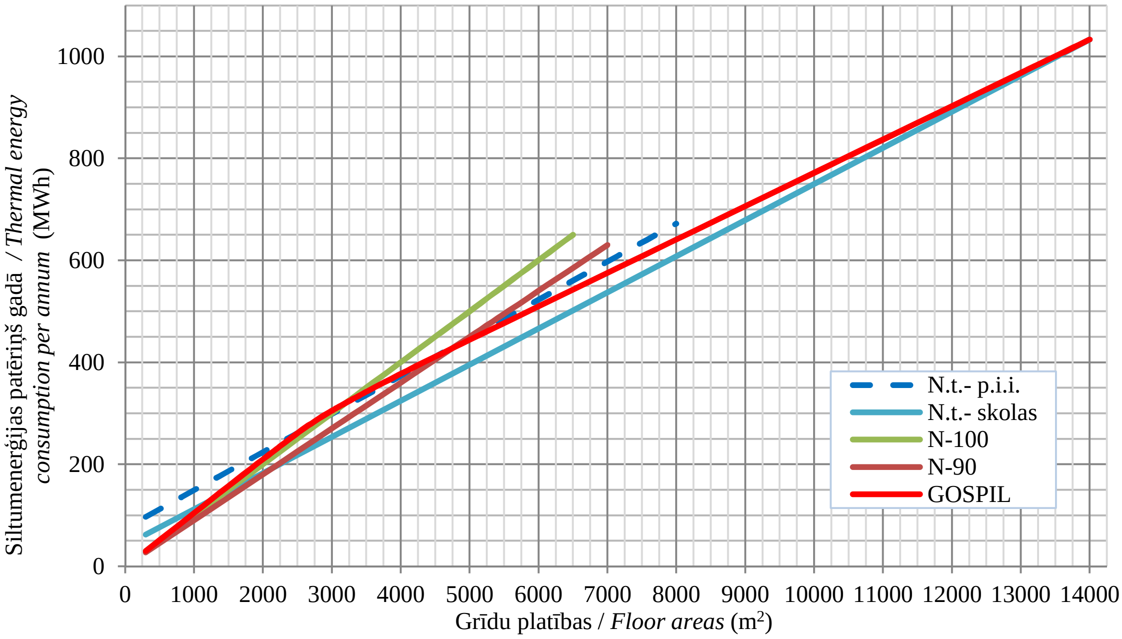
Kādi optimizācijas pasākumi būtu jāveic, lai nodrošinātu īsu būvdarbu izmaksu atmaksāšanās laiku uz ēku siltumnoturības palielināšanas rēķina?

Vispirms jāsakārto tiesiskā atbildība tām būvniecībā iesaistītajām pusēm, kuras veic nekvalitatīvu darbu. Ja tiek pieļauta būtiska kļūda, kuras rezultātā netiek sasniegti projektētie kritēriji vai pasūtītāja nekompetences dēļ tiek pieļauta būtiska kļūda projektēšanas stadijā, būvuzraudzība nepilda savas funkcijas, atbildīgie un vainīgie ir atbrīvojami no iespējas turpmāk piedalīties būvniecības procesā. Pašlaik Latvijā nav sakārtotības būvniecības sfērā.

Būvniecības process būtu jāuzrauga kompetentiem speciālistiem no valsts pārvaldes puses, par ko arī viņiem jānes atbildība, vismaz par katru pašvaldības vai valsts iestādes finansētu būvniecības objektu.

Svarīga ir valsts pārvaldes puse, jo visus ES un Padomes attiecīgās direktīvas būvniecības jomā pieņem Latvijas valsts un ir par to izpildi arī atbildīga. Piemēram, valsts mēroga normatīvie akti un Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2010/31/ES par ēku energoefektivitāti (iepriekš – Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2002/91/EK par ēku energoefektivitāti).

Optimizācijas algoritma uzdevums ir: noteikt optimālās siltumenerģijas patēriņa maksimālās robežas ēkām, atkarībā no to grīdu platībām (pie noteikuma, ka telpu apkures sistēmas ir bez grīdu apsildes). Tas atspoguļots 2.31. attēlā „Gadā patērētās siltumenerģijas intensitātes optimizācijas līnija”, kur no vairākām krustojošām taisnēm: N_t – p.i.i., N_t – skolas, N–100 un N–90 ir izveidota GOSPIL – gadā patērētās siltumenerģijas intensitātes optimizācijas līnija.



2.31. att. **Gadā patērētās siltumenerģijas intensitātes optimizācijas līnija (GOSPIL)**

Fig. 2.31. ***Annual thermal energy consumption intensity optimisation line (GOPIL)***

N.t.– skolas – siltumenerģijas patēriņa līnija skolu ēkām (y = 0.07x+40.64), ievērtējot normatīvo aktu prasības / *thermal energy consumption line for school buildings (y = 0.07x+40.64) in accordance with legal acts*;

N.t.–p.i.i. – siltumenerģijas patēriņalīnija p.i.i. ēkām (y=0.07x+74.49), ievērtējot normatīvo aktu prasības / *thermal energy consumption line for day-care centre buildings (y = 0.07x+74.49) in accordance with legal acts*;

N–100 – siltumenerģijas patēriņa līnija pie intensitātes 100 kWh·m^{-2} gadā / *N–100 – normative straight line at a thermal energy consumption intensity of 100 kWh·m^{-2} per annum;*

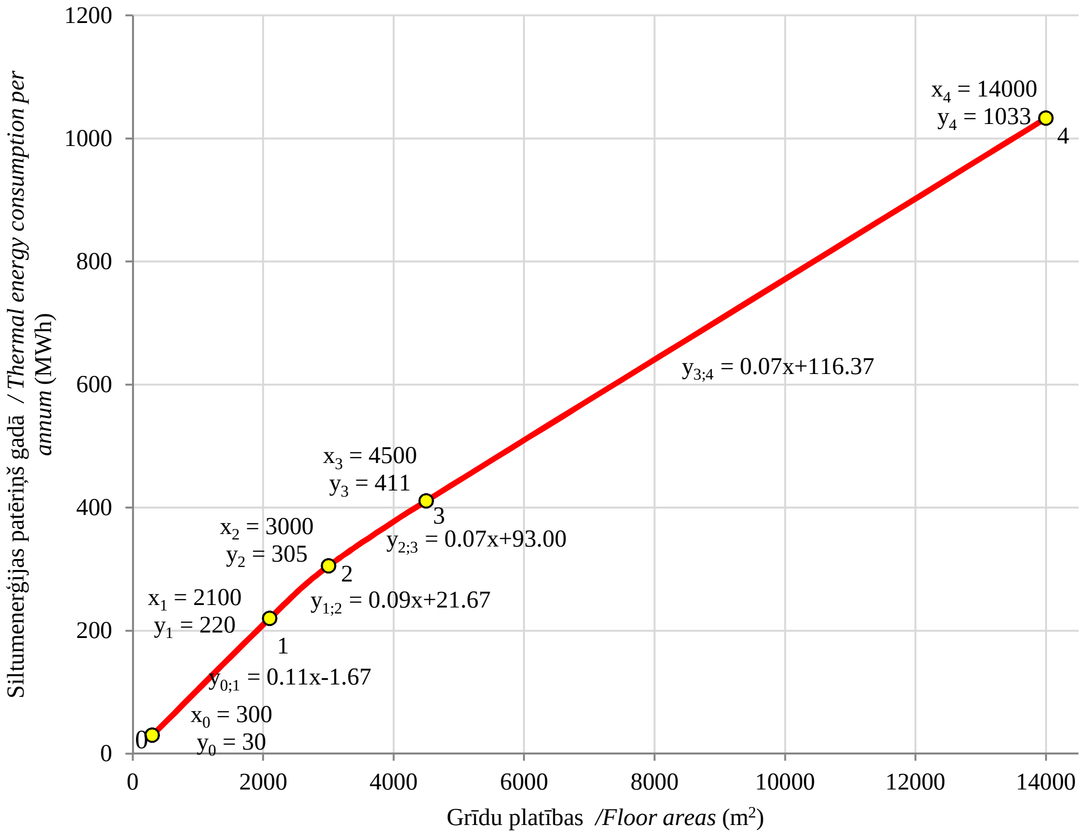
N–90 – siltumenerģijas patēriņa līnija pie intensitātes 90 kWh·m^{-2} gadā / *N–90 – normative straight line at a thermal energy consumption intensity of 90 kWh·m^{-2} per annum*;

GOSPIL – gadā patērētās siltumenerģijas intensitātes optimizācijas līnija / *Annual thermal energy consumption intensity line*.

2.32. attēlā parādīta GOSPIL ar tās četriem veidojošiem posmiem:

1. 0–1 punktu intervālā taisnes vienādojums: $y_{0;1}$ = 0.11x–1.67;
2. 1–2 punktu intervālā taisnes vienādojums: $y_{1;2}$ = 0.09x+21.67;
3. 2–3 punktu intervālā taisnes vienādojums: $y_{2;3}$ = 0.07x+93.00;
4. 3–4 punktu intervālā taisnes vienādojums: $y_{3;4}$ = 0.07x+116.37.

Šo posmu vienādojumi atspoguļo maksimālos siltumenerģijas patēriņu lielumus un kritisko punktu koordinātes ar to vērtībām, kur mainās vienādojumu matemātiskās izteiksmes.



2.32. att. **GOSPIL posmu vienādojumi un kritisko punktu koordinātes**

Fig.2.32. ***Link equations and coordinates of critical points of the annual thermal energy consumption intensity optimisation line***

No 2.31. attēla redzams, ka GOSPIL sadalījums četros posmos, kas izdalīta atsevišķi un parādīta 2.32. attēlā, veidojas no šādu taišņu krustošanās:

1.posms – ēku grīdu laukumi ir no 300 m^2 līdz 2100 m^2, taisnes $y_{0;1}$ = 0.11x–1.67 sākums ir N–100 (N–90) taisnes sākums un ar nelielu pieaugumu uz Y ass tā turpinās nesasniedzot N.t.–p.i.i. taisnes vērtības līdz x = 2100. Taisnes sākotnējā vērtība uz X ass ir 300 m^2, jo minimālā grīdu platība p.i.i. ēkām veiktā pētījuma ietvaros ir 331m^2.

2.posms – ēku grīdu laukumi ir no 2100 m^2 līdz 3000 m^2, taisnes $y_{1;2}$ = 0.09x+21.67 stāvoklis pret x asi ir ar nedaudz lielāku leņķi, kā 1.posmam un beigu punkts ir taisnes N– 100 un N.t.–p.i.i. krustošanās vieta.

3.posms – ēku grīdu laukumi ir no 3000 m^2 līdz 4500 m^2, taisnes $y_{2;3}$ = 0.07x+93.00 beigu punkts uz X ass ir taisnes N.t.–p.i.i. krustošanās vietas ar taisni N–90 sākums un maksimālais grīdu laukums p.i.i. ēkām (pētījumā konstatētais maksimālais grīdu laukums p.i.i. ēkām ir 4464 m^2).

4.posms – ēku grīdu laukumi ir no 4500 m^2 līdz 14000 m^2, taisnes $y_{3;4}$ = 0.07x+116.37 beigu punkts ir lielākā grīdu laukuma vērtība – 14000m^2 (pētījumā konstatētais maksimālais grīdu laukums skolu ēkām ir 13393 m^2). Šis posms GOSPIL līnijai atrodas starp taisnēm N.t.–p.i.i. un N.t.–skolas.

Tātad, rezumējot visu iepriekšējo, var teikt, ka GOSPIL līnija ir ierobežota no pētījuma rezultātos iegūtajām p.i.i. un skolu ēku normatīvajām tieksmes līnijām, kuras, attiecīgi, ir kā maksimālās un minimālās robežas. Pētījuma rezultātā iegūtās p.i.i. ēku grīdu laukumu maksimālās vērtības ir kā lūzuma punkts GOSPIL līnijai, un pēc x vērtības 4500 m^2 GOSPIL līnija lineārā sakarībā tiecas uz taisnes N.t.–skolas maksimālo vērtību uz x ass –14000 m^2. Turklāt, GOSPIL līnija atbalsta Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvu 2010/31/ES par ēku energoefektivitāti (iepriekš arī Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvu 2002/91/EK par ēku energoefektivitāti).

2.7. tabula / *Table 2.7.*

Pirmsskolas izglītības iestāžu ēku renovācijas darbu ietekme uz siltumenerģijas resursu izlietošanas samazināšanu ievērojot optimizācijas plānu

Day-care centres building renovation works on the thermal energy reduction of the use of resources under the action plan

Nosaukums / Designation	1 605 m^2 ēka / *1,605 m^2 building*	1920 m^2 ēka / *1,920 m^2 building*	1 741 m^2 virtuālā ēka (vidējā rādītāja ēka) / *1,741 m^2 virtual building (average indicator building)*
Siltumenerģijas izlietošanas intensitāte (kWh·m^{-2})/*Intensity of thermal energy use (kWh·m^{-2})*	168	238	198
Renovēto ēku siltumenerģijas izlietošanas intensitātes rādītājs (kWh·m^{-2}) /*Intensity index of thermal energy use for renovated buildings (kWh·m^{-2})*	100		
Siltumenerģijas izlietošanas intensitātes starpība (kWh·m^{-2}) /*Intensity difference of thermal energy use (kWh·m^{-2})*	68	138	98
Maksimālais 2008.gada tarifs, bez PVN (Ls·(kWh)$^{-1}$)/ *Maximum tariff of 2008, VAT excluded (LVL·(kWh)$^{-1}$)*	44.89·10^{-3}		
Ietaupījums no siltumenerģijas izlietošanas intensitātes samazināšanās uz telpas m^2 (Ls)/ *Economy from intensity reduction of thermal energy use per m^2 of the room (LVL)*	3.05	6.19	4.40
Renovācijas darbu izdevumi uz telpas m^2 (Ls)/ *Costs of renovation works per m^2 of the room (LVL)*	50–70		
Kopējie renovācijas darbu izdevumi (Ls)/ *Total costs of renovation works per m^2 of the room (LVL)*	80 250–112 350	96 000–134 400	87 050–121 870
Siltumenerģijas resursu ietaupījums gadā 2008.gada decembra cenā (Ls)/ Economy of thermal energy resources per annum, according to the price of December 2008 (LVL)	4 895.25	11 884.80	7 660.40
Atmaksāšanās laiks (gadi)/*Recoupment period (years)*	16–23	8.1–11.3	11.4–15.9

Piezīme: samazinoties siltumenerģijas tarifam, atmaksāšanās laiks proporcionāli palielinās. / *Note: when the thermal energy tariff reduces, the recoupment period increases proportionally*.

GOSPIL līnija (maksimālie siltumenerģijas patēriņa daudzumi) adaptējama jebkurai publiskai ēkai Latvijā, nosakot tās maksimāli pieļaujamo siltumenerģijas patēriņa intensitāti, jo pētījuma rezultātā iegūtie dati balstīti uz pašlaik spēkā esošiem normatīvajiem aktiem un pētījumā veiktā p.i.i. un skolu ēku siltumenerģijas izlietojumu analīzes rezultātiem, un šīs ēku grupas ir vienas no visprasīgākajām pēc atbilstoša iekštelpu mikroklimata, tātad arī enerģijas patēriņa.

Siltumenerģijas izmantošanas efektivitātes paaugstināšanai izveidotā GOSPIL līnija ir izveidota uz Rīgas pilsētas 2008.gada meteoroloģisko datu bāzes (apkures sezonas vidējā temperatūra bija +3.8 ^{0}C, garums 207 dienas). Datu iegūšanai katrā konkrētajā gadā jāveic pārrēķini saskaņā ar MK noteikumiem Nr.39 no 13.01.2009., „Ēkas energoefektivitātes aprēķina metode”:

$$Q=Q_1 \cdot GDD_1 \cdot (GDD)^{-1} \quad (2.1.)$$

kur / *where:*

Q – koriģējošais enerģijas patēriņš (Wh) */ correcting energy consumption*;

Q_1 – enerģijas patēriņš novērojuma periodā (Wh) */ energy consumption (Wh) during the observation period*;

GDD_1 – normatīvais grādu dienu skaits */ normative number of degree days*;

GDD – grādu dienu skaits novērošanas periodā */ number of degree days during the observation period*.

$$GDD_1 = D_{napk.} \cdot (T_1 – T_2) \quad (2.2.)$$

kur / *where*:

D_{napk} – normatīvais apkures dienu skaits saskaņā ar LBN 003–01 „Būvklimataloģija” */ norms of heating days in accordance with LBN 003–01 “Construction Climatology”*;

T_1 – iekštelpu temperatūra novērošanas periodā (^{0}C) / *indoor temperature during the observation period (^{0}C)*;

T_2 – vidējā āra gaisa temperatūra saskaņā ar LBN 003–01 „Būvklimataloģija” (^{0}C) / *average outdoor air temperature in accordance with LBN 003–01 “Construction Climatology”*.

$$GDD = D_{apk.} \cdot (T_1 – T_3) \quad (2.3.)$$

kur / *where*:

GDD – grādu dienu skaits novērošanas periodā */ number of degree days during the observation period*;

T_1 – iekštelpu temperatūra novērošanas periodā (^{0}C) / *indoor temperature during the observation period (^{0}C)*;

T_3 – faktiskā vidējā āra gaisa temperatūra novērošanas periodā (^{0}C) */actual average outdoor air temperature during the observation period (^{0}C).*

Siltumenerģijas izlietošanas intensitāti konkrētajā gadā pēc RTU izstrādātās metodoloģijas:

$$q_{st} = q_{apk.} \frac{Gst}{G} + q_{k.ū} \frac{A}{30n} \text{ (kWh·m}^{-2}\text{gadā)} \quad (2.4.)$$

kur / *where*:

q_{st} – standartizētais siltuma patēriņš, kWh·m^{-2} gadā */ standardised thermal consumption kWh·m^{-2}*;

$q_{apk.}$ – izmērītais faktiskais gada īpatnējais siltuma patēriņš apkurei, kWh·m^{-2} gadā*/measured actual annual specific thermal consumption for heating, kWh·m^{-2} per annum*;

$q_{k.ū.}$ – izmērītais faktiskais gada īpatnējais siltuma patēriņš karstam ūdenim, kWh·m^{-2} gadā / *measured actual annual specific thermal consumption for hot water, kWh·m^{-2} per annum*;

G_{st} – grādudienu skaits standarta gadā */ number of degree days per standard year*;

G – grādudienu skaits analizētā gadā */ number of degree days per analysed year*;

A – pilna apkurinātā platība, m²*/full heated area, m²*;

30 – vienādots apdzīvotības līmenis, m²·cilv^{-1} / *unified population density level, m²·person^{-1}*;

n – faktiskais cilvēku skaits ēkā, cilv.*/actual number of persons in the building, persons.*

2.8. tabula / *Table 2.8.*

Ēku energosertifikācijas klasifikācija
Energy certification classification of buildings

Ēkas energoreitinga klasifikācija (RTU Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts)/ *Energy rating classification of the building (RTU Heat, Gas and Water Technology Institute)*		Enerģijas marķējums (RAMBØLL, Dānija) / *Energy marking (RAMBØLL, Denmark)*				
Siltuma patēriņa klase/*Heat consumption class*	Standartizētais siltuma patēriņš (intensitāte) (kWh·m^{-2})/ *Standardised heat consumption (intensity) (kWh·m^{-2})*	Marka/ *Brand*	Apkure (kWh·m^{-2}) / *Heating (kWh·m^{-2})*	Ūdens (m^{3}·m^{-2}) / *Water (m^{3}·m^{-2})*	Elektroenerģija (kWh·m^{-2}) / *Electric energy (kWh·m^{-2})*	CO_2 izmeši (kg·m^{-2}) / *CO_2 emissions (kg·m^{-2})*
		A	0 – 95	0.0 – 0.6	0.0 – 12.6	0.0 – 17.0
Zelta sertifikāts /*Golden certificate*	< 109	B	95 – 111	0.6 – 0.7	12.6 – 15.8	17.0 – 25.6
Sudraba sertifikāts/*Silver certificate*	109.01 – 130	C	111 – 126	0.7 – 0.8	15.8 – 19.0	25.6 – 34.1
A (teicami)	130.01 – 145	D	126 – 143	0.8 – 1.0	19.0 – 22.1	34.1 – 42.6
B (ļoti labi) / *B (very good)*	145.01 – 177	E	143 – 159	1.0 – 1.1	22.1 – 25.3	42.6 – 51.1
		F	159 – 175	1.1 – 1.3	25.3 – 28.4	51.1 – 59.7
C (Labi) / *C (good)*	177.01 – 208	G	175 – 190	1.3 – 1.4	28.4 – 31.6	59.7 – 68.2
‘		H	190 – 206	1.4 – 1.5	31.6 – 34.8	68.2 – 76.7
D (Viduvēji) / *D (Average)*	208.01 – 240	I	206 – 222	1.5 – 1.7	34.8 – 37.9	76.7 – 85.2
		J	222 – 238	1.7 – 1.8	37.9 – 41.1	85.2 – 93.8
E (Slikti)/ *E (Poor)*	240.01 – 276	K	238 – 254	1.8 – 2.0	41.1 – 44.2	93.8 – 102.3
		L	254 – 270	2.0 – 2.1	44.2 – 47.4	102.3 – 110.8
F (Ļoti slikti) / *F (Very poor)*	> 276.01	M	≥ 270	≥ 2.1	≥ 47.4	≥ 110.8

Piezīme. Tabula veidota pēc: Zeltiņš N., 2006., Enerģijas izmantošanas efektivitātes paaugstināšana un kaitīgo izmešu samazināšana. / *Note. The table has been created according to: Zeltiņš N., 2006, Energy use efficiency improvement and reduction of harmful emissions*.

Ēkas energoefektivitātes klasi pirms renovācijas darbu veikšanas nosaka pēc ēkas energoaudita veikšanas saskaņā ar MK noteikumiem no 13.01.2009. Nr.39 „Ēkas energoefektivitātes aprēķina metode".

2.9. tabula / *Table 2.9.*

GOSPIL četru intervālu īpatnējie siltumenerģijas patēriņa (intensitātes) lielumi un to klasifikācijas kategorija apkurei un karstā ūdens sagatavošanai

Specific thermal energy consumption (intensity) values of the GOSPIL(annual thermal energy consumption intensity optimisation line) four intervals and their classification category for heating and hot water processing

x (m^2)	y (kWh)	q ($kWh \cdot m^{-2}$)	Novērtējums saskaņā ar RTU klasifikāciju/*Assessment according to RTU classification*
300	30000	100	Zelta sertifikāts/*Golden certificate*
2100	220000	105	Zelta sertifikāts/*Golden certificate*
3000	305000	102	Zelta sertifikāts/*Golden certificate*
4500	411000	91	Zelta sertifikāts/*Golden certificate*
14000	1033000	74	Zelta sertifikāts/*Golden certificate*

Energoefektivitātes palielināšanas projektu ekonomiskais novērtējums ir būtisks faktors, lai nodrošinātu finanšu ieguldīšanu dzīvotspējīgā pasākumā. Tāpēc arī optimizācijas algoritma metodikas izstrādāšana efektivitātes nodrošināšanai ir svarīga un nozīmīga.

Optimizācijas algoritma ekonomiskais novērtējums sastāv no trīs kritērijiem:

1. atmaksāšanās laika;
2. atlikušās vērtības;
3. iekšējās atmaksāšanās likmes.

Pie ēku renovācijas jānosaka kopējā paredzētā siltumenerģijas ekonomija – E (kWh), bet jaunajiem projektiem kopējais paredzētais siltumenerģijas patēriņš. Kā nākamā ir jānosaka peļņa no ekonomijas gadā – P (€), kuru iegūst no plānotā izlietojamā siltumenerģijas daudzuma – Q (kWh) un cenas reizinājuma – c ($€ \cdot kWh^{-1}$) / *profit from economy per year – P (€), which is derived from the planned amount of usable thermal energy – Q (kWh) and the price product – c ($€ \cdot kWh^{-1}$)*

$$P = Q \cdot c \ (€) \quad (2.5.)$$

Tad jānosaka projekta atmaksāšanās periods – AP (gadi), kuru iegūst kopējo kapitālieguldījumu dalot ar peļņu no ekonomijas / *project recoupment period – AP (years), which is obtained by dividing the total capital investment by the profit from economy*

$$AP = K_i \cdot P^{-1} (gadi) \quad (2.6.)$$

Iekšējās atmaksāšanās likmes – IAL aprēķināšanai jāizveido tabula analoga 2.10. tabulai un jāveic nepieciešamie aprēķini / *For the calculation of the internal rate of return (IRR), a table should be drawn analogous to table 3.9 and the necessary calculations should be made*.

2.10. tabula / *Table 2.10.*

Naudas plūsmas realizācija

Cash flow realisation

Gads/*Year*	0	n	n+1	n+2	n+x
Izejošā naudas plūsma, kapitālieguldījums projekta realizācijai, Ki (€)/*Outgoing cash flow, capital investment for project realisation, Ki (€)*	– Ki	0	0	0	0
Ienākošā naudas plūsma, peļņa no ekonomijas gadā P (€)/*Incoming cash flow, profit from economy per year P (€)*	0	Q·c	Q·c	Q·c	Q·c
Neto naudas plūsma =	0	Q·c	Q·c	Q·c	Q·c

2.10. tabulas turpinājums / *Table 2.10. continued*

Gads/*Year*	0	n	n+1	n+2	n+x
P (€) /*Net cash flow = P (€)*					
Diskonta faktors (DF) pie pieņemtās diskonta likmes/*Discount factor (DF) at the accepted discount rate*	DF_0= 1.0	$DF_n=1.0·DL^{-1}$	$DF_{n+1}=DF_n·DL^{-1}$	$DF_{n+2}= DF_{n+1}·DL^{-1}$	$DF_{(n+x-1)}=DF_{n+x}·DL^{-1}$
Naudas plūsma pie pieņemtās diskonta likmes, diskontētā naudas plūsma – DNP (€)/*Cash flow at the accepted discount rate, discounted cash flow – DNP (€)*	– Ki	$P·DF_n$	$P·DF_{n+1}$	$P·DF_{n+2}$	$P· DF_{n+x-1}$

Piezīme: n – aprēķinos pieņemtais periods n =1gads / *Note: n - the period assumed in calculations n = 1 year*;
n+x – pēdējais aprēķinos pieņemtais gads/*n + x – the last year assumed in calculations*

Atlikusī vērtība – AV ir DNP summa pārskata periodā pie pieņemtās diskonta likmes / *Net book value AV – is the amount of discount rates for the reporting period*:

$$AV = P·DF_n + P·DF_{n+1}+ P·DF_{n+2}+ ..... + P·DF_{n+x-1} (€) \quad (2.7.)$$

Ja pie aprēķinos pieņemtās diskonta likmes AV ir pozitīvs skaitlis, tas nozīmē, ka jāveic atkārtots aprēķins, paaugstinot diskonta likmes procentus, jo AV vērtībai jābūt negatīvai vai pozitīvas vērtības gadījumā IAL ir jābūt mazākai par 10%.

Katrai alternatīvai ir iespējams noteikt kopējās izmaksas integrētā veidā, rezultātā gūstot reālās izmaksas, nepieciešamas projekta īstenošanai. Taču šos kopējos ir diezgan grūti interpretēt, īpaši kad tiek pētītas komplicētas alternatīvas. Tas pats attiecās uz gadījumu, kad jāsalīdzina efekti. Vienkārši summējot visas izmaksas vai izrēķinot vidējās gada izmaksas nevar gūt informāciju par to, kad šīs izmaksas būs jāveic.

Vispārpieņemts ceļš, kā apiet šo problēmu, ir diskontēšana, kas sniedz visu nākotnes izmaksu vai labumu tagadējo vērtību. Diskontēšanas rezultāts ir naudas plūsmu noteiktajos gados novešana pie kāda bāzes gada. Tam izmanto diskonta faktoru, ko var izteikt kā:

$$DF = 1·(1+p)^{-n} \quad (2.8.)$$

kur / *where*:
DF – diskonta factors / *discount factor*;
p – diskonta koeficients (procentos) / *discount coefficient (as a percentage)*;
n – gads, kurā izmaksas tiek veiktas, attiecībā pret bāzes gadu / *the year in which the costs are made in relation to the base year*.

2.11. tabulā parādīti diskonta faktori pa gadiem atkarībā no diskonta likmes.

2.11. tabula / *Table 2.11.*

Diskonta faktori
Discount factors

Gadi/	Diskonta likme / *Discount rates* (%)									
Years	5	6	7	8	9	10	11	12	13	40
1	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909	0.901	0.893	0.885	0.714
2	0.907	0.890	0.873	0.857	0.842	0.826	0.812	0.797	0.783	0.510
3	0.864	0.840	0.816	0.794	0.772	0.751	0.731	0.712	0.693	0.364
4	0.823	0.792	0.763	0.735	0.708	0.683	0.659	0.636	0.613	0.260
5	0.784	0.747	0.713	0.681	0.650	0.621	0.593	0.567	0.543	0.186
6	0.746	0.705	0.666	0.630	0.596	0.564	0.535	0.507	0.480	0.133
20	0.377	0.312	0.258	0.215	0.178	0.149	0.124	0.104	0.087	0.001

Piemēram, diskonta faktors izmaksām, kas notiks trešajā gadā ir (ar diskonta koeficientu 5%) / *For example, a discount factor for costs to be incurred in the third year (with a discount coefficient of 5%) shall be*:

$$DF= 1\cdot(1+p)^{-n} = 1\cdot(1+0.05)^{-3} = 0.8638 = 0.864 \quad (2.9.)$$

Tātad, 100 000 €, kas ir jāiztērē 3. gadā, atbilst diskonta vērtībai 88 400 € bāzes gadā. / *Consequently, €100,000 to be spent during the 3rd year, is equal to the discount value of €88,400 in the base year*.

Svarīgs jautājums ir kādu diskonta koeficientu izmantot. Tas ir lielā mērā atkarīgs no projekta ierosinātāja. Piemēram, Holandes valdības noteikts diskonta koeficients valdības projektiem ir 5%. Šīs procents iekļauj starpību starp banku procentu likmēm un inflāciju. Tāds procents izmantojams valstīs ar augstu inflācijas līmeni, jo tad arī procentu likmes būs augstas. Procents ir universāls un ir „bez riska". Universāls nozīmē to, ka šīs procents varētu nesvārstīties atkarībā no starpības projektu dzīves ciklā un no cenu un vērtību relatīvām izmaiņām, bet „bez riska" nozīmē to, ka tas neietver riskus, kas piemīt alternatīvu īstenošanai.

Alternatīvas finansēšanas veids var izraisīt noteiktus efektus. Šo efektu noteikšanai, jāizanalizē, kā mainās izmaksas.

SECINĀJUMI

1. Pētījums ir zinātniski nozīmīgs, jo būtiski tiek papildināta būvniecības jomas pētījumu bāze un ir pirmais Latvijā, kurā siltumenerģijas resursu izlietojums pašvaldību publiskās ēkās salīdzināts un analizēts atkarībā no to statusa – jaunbūvētas un renovētas ēkas ar nerenovētām ēkām.
2. Promocijas darba rezultāti izmantojami atbilstošu normatīvo aktu, t.sk. būvnormatīvu, izstrādāšanai, kā arī publisko ēku būvniecībā. Tie ir adaptējami lietošanai arī citās ēku grupās.
3. Apstiprinājusies izvirzītā hipotēze, ka siltumenerģijas izlietošanas intensitāte jaunbūvētās ēkās vai ēkās, kurām veikta renovācija, ne vienmēr ir mazāka vai vienāda ar normatīvajos aktos noteikto maksimālo robežu.
4. Pētījumu gaitā konstatēts, ka:
   a) ēkās nav gaisa apstrādes iekārtu, kas nodrošinātu normatīvo aktu pieprasīto iekštelpu gaisa kvalitāti (IGK);
   b) IGK vairumā gadījumu radīja negatīvu ietekmi uz to cilvēku veselību, kuri telpās uzturējās ilgstoši;
   c) zemas kvalitātes būvdarbi un ēku ekspluatācija radījuši siltumenerģijas patēriņus, kas lielāki par normatīvajos aktos noteiktajiem;
   d) piedāvātā siltumenerģijas patēriņa intensitātes gada optimizācijas līnija (GOSPIL) ļauj harmonizēt būvniecības procesu ar Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvu 2002/91/EK un 2010/31/ES par ēku energoefektivitāti un tās izmantošana būvniecībā būtiski uzlabotu ēku energoefektivitāti;
   e) sniegtā ekonomiskā izvērtējuma metodika dod iespēju novērtēt kapitālieguldījumu efektivitāti.
5. Statistikas datu analīze pierāda, ka ēkām starp telpu grīdu platībām un izlietoto siltumenerģijas daudzumu, pastāv pozitīva lineāra sakarība.

IETEIKUMI

1. Darba autors iesaka pilnveidot normatīvo aktu bāzi, lai nepieļautu zemas kvalitātes būvdarbu veikšanu un ēku, kas neatbilst noteiktajām prasībām, nodošanu ekspluatācijā (LBN: veikt Blower Door testu, ēkas energoauditu un IGK kontrolmērījumus kritiskajos meteoroloģiskajos periodos) un tādējādi veicinātu ēku ilgtspējību.
2. Darba autors iesaka neieviest būvniecībā projektus, kuru kapitālieguldījumu atmaksāšanās laiks ir lielāks par pielietoto materiālu garantijas laiku.
3. Pirms renovācijas darbu sākšanas nepieciešams novērtēt ēku būvkonstrukciju stāvokli un noteikt ēku kalpošanas atlikušo laiku.
4. Ēku būvniecībā nepieciešams paredzēt atbilstošu energoefektīvu gaisa apstrādes iekārtu ierīkošanu, kas ļautu nodrošināt nepieciešamo IGK, atbilstoši ES un Latvijas normatīvajiem aktiem.

INTRODUCTION
Topicality of the thesis

European Union, countries which it consists of, is one of country groups, which develops a strategy, which is focused on reducing usage of energy resources and it's rational usage. Geographical location and climatic conditions of the European Union countries are verry different, therefore tactic or ways how to realise the plan will be different. Parlament of the European Union and several directives of the Council, which are part of this strategical plan: 16.12.2002. – about energy efficiency of buildings (2002/91/EC), 11.02.2004. – about promotion of cogeneration (2004/8/EC), 05.04.2006. – about efficiency of energy final consumption and energy efficiency services, which provides an indicative goal of saving energy resources – in 9 years energy consumption should be reduced 9% (2006/32/EC) and other strategical documents.

Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council (19th of May, year 2010) about energy efficiency of buildings: „The biggest potential of energy saving is in the sector of buildings. In the plan, there is special attention focused to things, which promotes renovation of public and private buildings and components, and improvement of the energy performance appliances used. It is mentioned in the plan that preference should be given to the public sector - it is proposed to speed up the restoration process of public buildings, by setting up a binding goal and by introducing energy efficiency criteria into public spendings. There is provided an obligation for power supply companies to give a chance for consumers to reduce energy consumption. From year 2019 these rules will be also applied to new public sector buildings which will need to achieve „almost zero energy" indicators".

In order to develop and put into practice these plans, it means, to promote successful execution of the goals, setted in the regulations, there is scientifical approach needed to solve the issues. Work that Latvian scientists has done so far in researches about usage of energy resources into buildings and indoor air quality parameters, is reflected basically only in the sector of residential buildings. In the literature there is only very little reflected achievements of Latvian scientists into researches about usage of energy resources in the sector of public buildings. Research has been made on the basis of the IAQ of public buildings.

Collection of data about expluitation of existing buildings or energo audit and energy certification has great importance in the country. The poromotion thesis is drawn up in direct accordance with this Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council about indication of energy efficiency of buildings.

Objective of the promotion thesis, research object and subject

Objective of the promotion thesis is to make an algorithm of optimization of the usage of thermal energy for public buildings. Information of a relevant nature was obtained by means of the quantitative research method regarding the research **object**, public buildings owned or managed by the local authority of Riga City. The **subject** of the research is thermal energy resources and their use in the aforementioned buildings in 2008. Analysis of the use of energy resources in part of the public buildings sector, buildings of schools and pre-school educational institutions, has been performed in the Doctoral thesis. Thermal energy consumption in non-renovated buildings and buildings after renovation, and in new buildings have been compared and analysed. Details have been obtained in the experimental buildings about the micro-climate parameters of air in inner premises and a partial energy audit has been performed in the newly constructed and renovated sections of one experimental building to learn the locations of heat loss and to analyse their causes.

Research hypothesis

The **hypothesis** of the research is: the intensity of the thermal energyconsumption in newly erected buildings or buildings with renovation made is not always less or equal with the maximum border determinated into normative acts.

Research tasks

To reach the goal of the promotion thesis, following **tasks** were set up:

1. To gather data about final consumption of thermal energy of public buildings in one year.
2. To compare consumption of thermal energy in newly built and renovated buildings with consumption of thermal energy in non-renovated buildings.

3. To make data analysis of indoor air microclimate in experimental buildings.
4. To determine places of heat loss in the experimental building.
5. To make an algorithm of optimization and methodology of economical assessment.

Research methods

To draw up the promotion theses, following **methods** of data acquisition and processing are used: monographical, analysis, which includes also document analysis, graphical, logical-constructive, collection of data with appropriate measuring instruments, which includes also quantitative research, synthesis and mathematical statistics (correlation analysis, regression analysis).

Scientific significieance of the research

The research made during the promotion thesis, is scientifically important because the research base of the field of construction has been supplemented with the research about usage of resources of thermal energy into public buildings deppending from the status of the building: newly built, renovated or non-renovated. For the first time in Latvia such a great research in the construction sector, which is structured in the following way, has been made. Results of the promotion thesis can be used for development of appropriate normative acts, including building regulations, and also for construction of public buildings. They can be also adapted for use in other groups of buildings.

Research novelty

The research made during the promotion thesis, is:

1. of such a volume and of such a structure in construction in Latvia, where the use of thermal energy resources in public buildings of local authorities has been compared and analysed depending on their status: newly erected and renovated buildings to non-renovated buildings;
2. the first research with a goal to made GOSPIL – optimization line of consumption of thermal energy intensity per annum depending on total floor areas of the building premises and and also methodology of economical evaluating is made for capital investment assessment in construction works;
3. the first so great research about thermal energy consumption in public buildings owned or managed by the local authority of Riga city, with the results obtained in the process of data analysis.

Economic significience of the research

The economic significance of the Doctoral thesis is characterised by the developed thermal energy use optimising algorithm for public buildings, the GOSPIL (annual thermal energy consumption intensity optimisation line) for improving the energy efficiency of the buildings and the methodology for an economic evaluation to evaluate capital investment.

The results obtained in the doctoral thesis are socially significant because the results obtained in the process of data analysis, fully reflect the trends in construction and reveal some of the imperfections of this process in Latvia.

The thermal energy use optimising algorithm developed by the author and the methodology for economic evaluation should be applied in the construction process to significantly increase energy efficiency of the buildings and use capital investment in a rational way. The results of the Doctoral thesis should be used for developing relevant regulatory acts, including construction regulations, as well as in the construction of public buildings. They should be adapted for use in other groups of buildings as well.

Information about promocion thesis

The promotion thesis „Thermal Energy Consumption in Public Buildings” is drawn up in Latvia University of Agriculture**,** Faculty of Rural Engineering**,** Department of Architecture and Construction. The promotion thesis has been developed during the period from September, year 2010 to August, year 2013, in scientific leadership of professor Dr.sc.ing. Arturs Lešinskis.

Thesis to be defended

1. In relationship with the directives of the European Parliament and of the Council and normative acts of the Republic of Latvia it is possible to increase buildings energy efficiency and reducing thermal energy consumption.
2. Research was done in accordance with Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council about indication of energy efficiency of buildings. Public building sector required to be on the top of the buildings energy efficiency increasing and reducing buildings thermal energy consumption.
3. The results of research make significiant contribution in ordering of construction works in Latvia.
4. The results refleced in the thesis for construction works quality, fully reflect the trends in construction process in Latvia.
5. There is a positive linear relation between the floor areas of building premises and the volume of thermal energy consumption in the buildings.

Limitations of the Doctoral thesis

In the research the author has discussed and analysed the use of thermal energy resources in 2008 in public buildings owned or managed by the local authority of Riga city by selecting the two numerically largest groups of buildings according to the quantitative research data for the experiment. The microclimate parameters of the premises and locations of heat loss through the limiting constructions of the buildings were obtained and analysed in the experimental day care centres only. The parameters of atmospheric pressure and their fluctuation were not recorded. Heat loss through the limiting constructions of the buildings is not calculated in the Doctoral thesis, no heat gains from the people present in the building, machinery, electric and other heating devices and surfaces were defined and calculated. Use of thermal energy for the preparation of hot water was not assessed individually, but it is included into the total consumption of thermal energy in the building used for heating.

Structure of the thesis

The first part of the Doctoral thesis discusses different opinions of scientists regarding the causes and consequences of global climate change and global warming and their influence on the indoor air quality (IAQ) of modern buildings and the micro climate in the premises of buildings in general. The effects of the influence of the IAQ on the human organism and health have been discussed. The work discusses the essence and importance of the principle of sustainable use of energy resources. Use of thermal energy resources in buildings must be urgently minimised in Latvia today as set forth in Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. Minimising energy resources in the building may be attained not only by fully or partially preventing heat losses through the limiting constructions and elements of the building, but by simultaneously optimising the provision for the IAQ. The practice of the renovation of buildings and the construction of new ones and their importance in increasing energy performance has been discussed in brief.

In the second part of the work, the principles for obtaining data required for research and the methods of data analysis have been outlined. Details of the quantitative survey have been obtained by sending questionnaires to managers of buildings or structural units of local governments. 424 questionnaires were received and summarised that contained information about the distribution of use of heat energy and electricity and the factors affecting such. Special analysis of the quality and quantitative parameters of windows and glass surfaces has been performed in the work and their influence on thermal energy consumption has been determined. A comparison of the thermal energy resources of buildings of Riga schools and day-care centers having different statuses is made, i.e. non–renovated buildings as one group and newly built and renovated buildings as the other group. The second part of this work also reflects the results of the IAQ measurement (temperature, relative humidity of air and carbon dioxide concentration level) recorded in the winter of 2011. Determining the places of and causes for heat loss by thermograph has been performed in one experimental building and the summary of the recorded results is provided in the work. Detailed conclusions regarding the visualised results have been provided in this part.

Methodology for the mathematical analysis of data has been set and put in the third part of the work and it is proven that a linear correlation exists between the area of the buildings and the amount of thermal energy used. Based on the existing regulatory basis and by including the results obtained from the elements analysed in the research, the author of the work demonstrates how the optimisation algorithm and its result is formed – the optimization line of consumption of thermal energy intensity per annum. Methodology for economic assessment is provided at the end of the work as well.

In the part of the conclusions and proposals, the author outlines the most important cognitions of this Doctoral thesis that are based on the results of research and critical analysis of 185 sources of information.

The total amount of the doctoral thesis is 158 pages, which includes 31 table, 79 pictures and 7 appendixes.

1. MATERIALS AND METHODS
Research methodology and methods

During quantitative survey more than 430 questionnaires were received with information about publicē buildings. During sistematization, questionnaires with incomplete information, or inaccurately and improperly completed, were discarded. There were 422 questionaires in total which were valid and suitable for data analysis. All public buildings were divided into 12 groups of buildings by usage, with following total floor area:

1. special-purpose educational buildings (child and youth center buildings, young technicians station buildings)– 43,060m^2;
2. social assistance buildings (shelters)– 9,993m^2;
3. Riga municipal building department (municipal administrative buildings) – 44,077m^2;
4. culture buildings (building for rest and entertainment)– 59,994m^2;
5. museum buildings – 369m^2;
6. medical stationary buildings (hospitals) – 15,232m^2;
7. sport centre buildoings (sport halls, sport centers)– 18,435m^2;
8. library buildings – 8,324m^2;
9. musical education buildings (schools of music)– 5,368m^2;
10. places of worship (prayer buildings, churches)– 6,067m^2;
11. school buildings – 866,769m^2;
12. day-care center (DCC) buildings – 248,923m^2.

Data collected and systemized was of 1,326,611m^2 floor area of buildings in total. Average floor are of the research is 3,144m^2.

There were no questionnaires received from the law enforcement structures, such as the Riga City Council municipal police departments.

Chosen experimental group of day-care center buildings, although not the biggest numerically – 143 buildings, from which 32 buildings are non-renovated and 111 buildings are renovated or newly built.

Data of indoor climate parameters were obtained 1.0–1.5m above the floor. The measurements were made in year 2011 (during the heating season of years 2010 and 2011) and they were divided into four stages, which inculded also three day-care center buildings in each layer. There were 4 verified measuring devices used, which are showed in figure 1.1.

Time intervals for data fixation, which would allow analysing and sorting the data obtained objectively and they were from 5 to 15 minutes. Fixation times of data parameters, specificities and places are presented in the table 1.1.

Data collected in the first stage were necessary to cull because part of Wöhler CDL 210 data were not fixed into the remaining memory and the measures in the same room were repeated also in the 4th stage.

In order to get a better understanding about experimental buildings they may be additionally described as follows (names of buildings and place in the overall presentation of data are showed in figure 2.3.):

1. building „A" – not - renovated, new heating unit. There is intended renovation in the year 2011: insulation of facade, window replacement, renovation of heating system;
2. building „B" – newley erected, year 2005;
3. building „C" – status – complex, as it is partly newley erected and parlty renovated in the year 2007., when insulation works for building facade were made and built-in double glazed windows. Service staff was complaining about big temperature differences in different rooms as there were no possibilities to regulate temperature of heating systems radiators. Temperature in rooms is controlled by opening windows in rooms with high temperature. Ventilation system has no impact on quality of air parameters in the rooms, therefore it is not used;

4. building „D” – renovated in the year 2004, built-in double glazed windows, plastic frames, renovated sewerage system, installed new heating unit. Service staff was complaining about cool comming from outer walls in case of big wind and during a heating season, which causes cooling of rooms;
5. building „E” – renovation was made in the year 2009, built-in double glazed windows;
6. building „F” – newley erected building, year 2009, complains of the service: big heat in summers, ventilation is working very bad it is not possible to regulate it by building's cardinal points, vestibules are too large, there is much job to do for cleaners to clean utility rooms, rooms for children are small, both teachers and children are often ill.

To determinate chemical pollution of the air, chromatographic gas method is used, so that determined volatile organic compounds (VOC) is expresed as carbon and chromatographic method of high pressure solution for the determination of aldehydes. Polution of air with substances of VOC was determined in charcoal tubes and polution of the air with aldehydes was determined by tapes of silicia gel which were processed with 2.4–dinitrophenylhydrazine (DNPH). WHO has determined recommended maximum pollutant concentrations, which in this case are: formaldehydes – $0.1 mg \cdot m^{-3}$ and VOC – $0.3 mg \cdot m^{-3}$.

In order to determine the major places and causes of of heat transmission, DCC „C” building was chosen. This thesis has been conducted in cooperation with „ARTIVA” Ltd. owner and employee Artūrs Gredzens, by using companie's FLIR Systems AB ThermalCAM product FLIR P25 thermal camera and thermal anemometer AIRFLOW TA–7 and infrared thermometer TESTO 845.

Places of heat transmission in building „C” through delimitated constructions with a help of thermal camera were determinated in January 23th, year 2012, when temperature outside in Riga was – 3.2 ^{0}C at 11:00 AM and –3.6 ^{0}C at.2:00 PM, wind direction: A, 4–8 ms^{-1}, in accordiance of information from Latvian meteorology website.

Details of the research data which are showed in appendix Nr.6 „Areas of all schools and day-care center buildings (m^2) and parameter data of thermal energy (MWh) consumption in the year 2008" (available only in promotion thesis) analyzed with MS Excel tools.

The regression line was made in figure 1.2. from floor area of schools and day-care center buildings (m^2) and one year consumption of thermal energy (MWh) indicator of variation is equal with equation $\hat{y}_t = 0.09x + 183.05$, coefficient of determination $R^2 = 0.79$.

2. RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

2.1. Thermal energy consumption

Characteristic values and parameters of buildings included in the questionnaire are very important to make detailed research and analysis not only about public buildings of Riga City Council but also to see trend of Latvian buildings construction. As for example summerized data obtained in table 2.1. about intensity of thermal energy consumption (specific consumption of thermal energy) $kWh \cdot m^{-2}$ deppending on total area of glass surfaces and windows against common areas of building facades.

Figure 2.1. displaying total result after summarizing the data of tables, by comparing intensity of thermal energy consumption in day-care center and school buildings (specific thermal energy consumption), depending on the status of buildings – not-renovated buildings and buildings after renovation works or newley erected buildings.

In figure 2.1. is clearly visible that during renovation works in day-care center and school buildings in fact no reduction of thermal energy is obtained. Therefore for school buildings it generally gives a very tiny reduction: 4.9%. When assessing renovation works and newley erected buildings in day-care center group one can conclude that intensity of thermal energy consumption is bigger than it is for not-renovated buildings and it reaches 21.7% in total, which in fact is unacceptable, because in that case it doesn't make any sense why the building works are done.

In the table 2.2. disclosed the distribution of energy resources consumption in school and day-care center buildings.

As reflected in tabele 2.2. there were data from 143 day-care center buildings analyzided, which also includes 32 renovated buildings (22.4% from the total amount) and 111 renovated (partly) and new constructions (77.6% from the total amount) and data from 156 school buildings, which includes 55 not-renovated buildings (35.4% from the total amount) and 101 renovated (partly) and newley erected buildings (64.6% from the total amount). The average intensity of thermal energy consumption in day-care center buildings is 213 $kWh \cdot m^{-2}$ and 120 $kWh \cdot m^{-2}$ in school buildings, which proportionally draws up a ratio 1.78:1.00, or intensity of thermal energy consumption in day-care center buildings is 1.78 times bigger. Intensity of electricity power consumption and the total amount of units is a clear indication that it is not enough. During questionnaire it became clear that also the existing indoor climate regulatory systems instaled are operated at very low levels because renovated and newly erected buildings are built in a very poor quality and it is quicker to make an exchange of air by opening windows. As a result of such actions, when exchange of air is done by natural ventilation flow without recuperation, for example, during the cold season of the year, will inevitably lead to increased heat intensity consumption. Also, when randomly DCC buildings were checked, it was found that ventilation systems have not been actuated for so long that equipment has covered a fairly large layer of dusts.

In the figure 2.2. are reflected data about correlations of thermal energy consumption in the year 2008 with total building floor area for renovated, newly erected school buildings and not-renovated school buildings. The image of gathered data shows that renovation works of buildings and/or exploitation in the showed year was done badly. For example, school building Nr.1: total area of floors – 687m^2, total consumption of thermal energy in a year – 567.79MWh, after renovation. To compare, choose school building Nr.2: total floor area – 621m^2, total thermal energy consumption in a year – 225.46MWh, no renovation works are done. Ratio for floors total area of these both buildings is 1.11:1.00, but ratio for total consumption of thermal energy in a year is 2.52:1.00.

In data presented in figure 2.2. we can also find some very good renovated buildings: Nr. 3, Nr.4, Nr.5 Nr.6 and Nr.7. Thermal energy consumption in the year 2008 for these buildings , irrespective from total floor area of these buildings, are both under the renovated building trend line who's equation is y = 0.09x + 176.44, and also under normative trend line who's equation is: y = 0.07x + 40.64 and it is created by taking into account reduction of thermal energy consumption than specified in regulatory enactments (Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council and leter Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council). Equation of trend line for not-renovated school buildings is y = 0.12x + 67.72. The drawed line in the figure 2.2. with equation: y = 0.15x comply with the set requirement of Ministry of Economics (MOE) to reach the maximum intensity of thermal energy consumption 150 kWh·m^{-2} in a year.

As the figure 2.2. demonstrate, renovation works in school buildings are done very bad because only 5 school buildings, which is 4.9% quantity of thermal energy consumption in buildings against building's floor areas, are under or on normative tendend lines.

In the figure 2.3. are showed data about correlation of thermal energy consumption in the year 2008 with common floor area of buildings for renovated, newly erected and not-renovated day-care center buildings. The figure of geathered data shows that renovation works of buildings and/or exploitation for the particular year are done very badly. In most of occasions in renovated and newly erected buildings thermal energy consumption is bigger than thermal energy consumption in not-renovated buildings. From this figure we can see that renovation works and building works in majority are done badly. Construction works not orientated on saving and rational usage of common contribution of energy resources. Trend lines drawn for renovated, not-renovated buildings and newly erected buildings for both groups is an evidence for that. Trend line for renovated and newly erected buildings is equal to the equation y = 0.13x + 149.05 and is above the trend line of not-renovated buildings which is drawn by the following equation: y = 0.12x + 124.14. It confirms the fact mentioned before that in general these building design and renovation works and also in majority, probably also exploitation is done very badly. It also proves and confirms the fact mentioned before, for example – in the illustrated and analyzed case about school buildings there is no orderliness in construction works of municipal public buildings and it's processes. Works which was done are not orientated on sustainability except for only some cases, which is a proof of that they actually could be done well. There is drawn line with equation y = 0.15x which meets the requirements set by MOE to reach the maximum intensity of the buildings thermal enegy consumption - 150 kWh·m^{-2} in a year.

Trend line with equation y = 0.07x + 74.49 is drawn by taking in a consumption reduction of usage of thermal energy than requirements set in normative acts (Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council and leter Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council). Both of these lines are under equation of trend line for renovated and newly erected buildings y = 0.13x + 149.05 and equation of trend line for not-renovated buildings y = 0.12x + 124.14 which confirms that it is necessary to make quality renovation works to achieve and implement in life decisions by the EU Parliament and the Council and the Cabinet of Ministers of Republic of Latvia regarding economical use of energy resources and their conservation.

Figure 2.3. disclose that renovation works of day-care center buildings are done very badly because only 3 (buildings Nr.1, Nr.4 and Nr.5) which is 2.7% quantity of buildings, thermal energy consuption against buildings floor are under or on normative trend line. It is also showed that not-renovated building Nr.6 already before possible renovation works was with very low thermal energy consumption which allows it to be under normative trend line.

Poor quality of design and renovation wors characterizes for example not-renovated day-care center building Nr.3 with total floor area – 1,920m^2, total thermal enegry consumption in a year–

456.00MWh. For comparison chose day-care center building Nr.2 from group of renovated and newly erected buildings: total floor area – 1,901m^2, total thermal enegry consumption in a year – 645.00MWh. Ratio of total floor area for both of these buildings is 1.01:1.00, but ratio of used thermal enery in a year is 1.00:1.41.

2.2. Indoor air quality

In figures 2.4., 2.5. and 2.6. are disclosed data from measurements obtained in the second phase for these buildings:

1. „A" building – not-renovated, new heating unit. Intended for renovation in the year 2011: facade insulation, window replacement;
2. „C" building– status – complex, as part of it is a new construction and part of it is renovated in the year 2007 when insulation works for building's facade were done and were placed double gazed windows. Air temperature and other measurements and fixation for 88m^2 room which is located in newly erected section. Service staffs were complaining about big diferences of air temperature in different rooms because it is not possible to regulate temperature of heating system radiators. Temperature is regulated by opening windows in rooms with high air temperature. Ventilation system has no impact on changes of air quality parameters in the rooms, therefore it is not used. Air temperature and other measurements and fixation for 88m^2 room which is located in newly erected section.
3. „D" building – renovated in the year 2004, built-in double glazed windows, plastic frames, renovated sewage system, installed new heating unit. Staffs complain about increased room cooling from outter walls, especially in windy weather during the heating season. Area of room where measurements were made is 60m^2.

Figure 2.4. disclose distribution of air temperature on „X"- axis from 21st to 27th of February, year 2011. The smallest value of the section is three hours, which i san interval from the first fixed reading to the second. On „Y"- axis are disclosed values of air temperatue during the period of observation. The straight „Min." which in this case is +19 ^{0}C and the staight „Maks.", which in this case is +25 ^{0}C, are drawn in accordance with rules of the Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia from 28 April 2009 Nr.359. Normative documents detemined by the Cabinet of Ministers, which defines requirements of indoor air quality in DCC are:

1. regulations of the Cabinet of Ministers from 27th of December, year 2002, Nr.596 „Hygiene requirements for educational institutions, pursuing an early childhood education programs", where in section 49 is stated that the minimal permissible air temperature in institutions premises where are children which are:
   1.1. younger than 3 years – at least 20 ^{0}C;
   1.2. older than 3 years – at least 18 ^{0}C.
2. regulations of the Cabinet of Ministers of the Repubic of Latvia from 28th of April, year 2009, Nr. 359 „Work safety requirements in the workplace".

Assessing the temperature line for day-care center buildings „A", „C" and „D" it's presence in the temperature range, it can be concluded that for the building „C", in many cases there is fixed an air temperature which is close or above the maximal determined which is +25.0 ^{0}C and reching even +27.0 ^{0}C and more. The figure 2.4. disclose that complains from service staff about increased air temperature indoors are reasonable. In figure 2.4. also demonstrate „D" buildings service staff complains about reduced air temperatures, especially in windy weather. In the figure 6 it has seen that the temperature line of the „D" building in lot of cases are under the threshold of determined minimal air temperature, which is +19.0 ^{0}C. No matter how wrong it could look, „A" building has the most suitable indoor air temperature. Its temperature line fits very well in the limited interval between straights „Min." and „Maks." And there are practically no case when the fixed air temperature goes out of this interval, except for one, when the fixed temperature is +25.2 ^{0}C.

Conclusions from displayed in the figurē 2.4., about air temperature in buildings „A", „C" and „D" are:

1. The indoor air temperature line for all buildings imitates directions of falls and uplifts of outdoor air temperature. Those could be consequences from unregulated heat substation control system.
2. In rooms of partially newly erected building „C" fixed air temperature line „C" disclose too high temperature values and drawed trend line „T_C" is on borders from +24.7 ^{0}C in the beginning of observation and until +25.9 ^{0}C at the end of observation. Increasing of trend line has the drawn outdoor air trend line „T_1". It also has increasing of trend line. This factor also indicates on exploitation weaknesses and mistakes in maintenance of heating system.

3. „D" buildings room air temperature line „D" and trend line „T_D" which is from value +19.3 ^{0}C during the initial period of observations to +19.2 ^{0}C at the end of observations, indicates too errors made during expluatation which were mentioned also in paragrapf 1 and 2 which are still being hardly felt of low heat insulation of the buildings envelope.
4. Renovation and new building projects and/or construction and renovation works for both „C" and „D" buildings are made in a very low professional level.
5. Only for building „A" room air temperature line „A" and air temperature trend line „T_A" are between minimum and maximum permissible air temperature lines in accordance with regulations by the Cabinet of Ministers, Nr. 359 „Work safety requirements in the workplace" and on +23.2 ^{0}C note.
6. Non-observance of regulations of the Cabinet of Ministers Nr.359 and Nr.596 can cause increasation of the number of diseases like acute respiratory illnesses, both for the service staff and children. Frequent recurrence of illneses can cause the illness to become chronical and progression of chronical diseases.

Distribution lines of relative humidity of air on X-axis disclosed in figure 2.5., are shown during the period from 21st to 27th of February, year 2011. The smallest value of the section is three hours, which is an interval from one fixed reading to another. Values of relative humidity of air during the research period are shown on Y-axis. The straight „Min.", which in this case is 30% and „Maks.", which in this case is 70%, are drawn in accordance with regulations of the Cabinet of Ministers, 28th of April, year 2009, Nr.359, and do not depend from the working period or from work category.

Building characteristics of relative humidity of air disclosed in figure 2.5. are the same like in figure 2.4.

When assessing line of relative humidity of air of day-care center buildings „A", „C" and „D", figure 2.5. show that fluctuations of the line of relative humidity of indoor air is similar to fluctuations of the line of relative humidity of outdoor air. The exception is holidays: February 26 and 27, when there are no people in premises. In both of those days, the line which characterizes relative humidity of air in buildings „A", „C" and „D" volatility subsides. The trend line of relative humidity of outdoor air „T_1" during this period of the research is with negative trend or tended to decrease. As shown in the figure 2.5., buildings „C" and „D" has very low relative humidity of indoor air and trend lines „T_C" and „T_D", which are very low, in the range of 13–16%, also indicates to that. It should be noted that one building is not-renovated, and the other is newly erected, respectively "A" and "C". When comparing lines of relative humidity of indoor air for both of these buildings, we can see that the line "C" of relative humidity of air for newly erected building, with the corresponding trend line, in majority are under the line „A" corresponding with the trend line „T_A". Better relative humidity of indoor air is fixed in building „D" and the corresponding line „D" and trend line „T_D", which is on 26% mark. These data fixed are explainable and complains from staff about increased cooling of rooms from outter walls, especially in windy weather during the heating season, is like a confirmation.

Conclusions about lines of relative humidity of indoor air for permises of buildings „A", „C" and „D", disclosed in figure 2.5., are:

1. Relative humidity fixed in permises for not-renovated, renovated and newly erected buildings, almost in all fixed cases is under the line of regulation of the Cabinet of Ministers, 28th of April, year 2009, Nr.359 „Work safety requirements in the workplace" determined minimal boundries.
2. Line location of relative humidity of air in permises of the not-renovated building „A", which is under the permissible relative humidity minimal boundary – 30%, clearly indicates that during possible renovation works, needs to be provided also actions for improving relative humidity in permises until requirements determined by the Cabinet of Ministers, 28th of April, year 2009, Nr.359.
3. Relative humidity of air in the partly newly erected building „C" is under determined minimal boundries in regulations by the Cabinet of Ministers, 28th of April, year 2009, Nr.359 „Work safety requirements in the workplace". Measurements and fixation of relative humidity was done in 88 m^2 room which is located in newly erected section of the building. This could be explained by the fact that in the room where measurements were done was fixed also too high air temperature, which has caused low-level condition for relative humidity of air.
4. Location of the line of relative humidity of air and trend line T_D of the renovated building „D" are very close to requirements of the Cabinet of Ministers Nr.359, but fulfill them only in several cases, in 22nd, 24th and 25th of February, when temporarily were reached the following values of relative humidity in days mentioned before: 33.4%, 35.8% and 36.0%. Value of trend line is 26.0%, which indicates that relative humidity in permises of the „D" building during the research are inappropriate with requirements of the Cabinet of Ministers Nr.359.

5. Design of works and building exploitation are done in a very low, unprofessional level and does not provide compliance with regulations of the Cabinet of Ministers.
6. Disadvantages and inadequacy to regulations of the Cabinet of Ministers Nr.359 may lead to an increased number of diseases like acute respiratory illnesses both among staff and children. Frequent recurrence of illneses can cause the illness to become chronical and progression of chronical diseases.
7. In any room of the building it is possible to increase relative humidity of air by installing local air humidification devices.

In the figure 2.6. are disclosed lines of carbon dioxide concentration level in permises during the research period. Natural background or the concentration level of carbon dioxide in outside air was not determined. Assumed natural background is about 420ppm, which was fixed as arithmetical average in Riga, Over-Daugava region, but in another region of Riga size of the value could be different. The average level of natural CO_2 in the world, as mentioned before, is 350 – 450ppm. The smallest values of the line „C" are fixed on Saturday and Sunday, February 26 and 27, which was 431ppm, but for the line „D" it was 407ppm at night to Monday, February 21. It should be noted, that the day-care center building „C" is located in the Central Region, but „D" – in the Vidzeme suburb.

As mentioned in previous chapters, the carbon dioxide concentration level can be dangerous to human health, even with lethal consequences. It should be remembered that quantities of carbon dioxide inhaled accumulates in time. If the concentration level of CO_2 reaches 1,000 – 2,500ppm fatigue and sleepiness shows up, adverse effects on health it leaves at 2,500 – 5,000ppm, a little intoxication, increase of breathing and hart rate at 30,000ppm, all of the above and headache with a slight nausea at 50,000ppm, unconsciousness with possible lethal outcome at 100,000ppm. The range recommended, which is not harmful to health is from 600 to 1,000ppm (ASHRAE standards 62–1989). In the mean time, amount which would be harmless and desired in 8 working hours is 5,000ppm, and normal level of carbon dioxide concentration in work permises is 600ppm. In figure following, where are concentration levels of carbon dioxide shown, these limit values will be drawn as straight „Norm.", which will reflect recommended level of CO_2 and maximum concentration limit of CO_2 in the air, when there are no threat to health will be drawn as a straight „Max.".

Over the period, the lowest concentration of carbon dioxide during working days in day-care center building „C" is in February 23. It is when in the particular room are the least of people – 11 children and 2 teachers. The total amount of CO_2 received during the working day is about 6,500ppm, which is very close to boundary of danger, when a first sign of fatigue and sleepiness shows up, as well the reduction of concentration. The highest concentration level of carbon dioxide per hour is fixed in February 24, which was 1,195ppm and already exceeds the maximum limit of safety.

For the building „D", this line which reflects concentration level of CO_2, in the figure 2.6. disclose that practically all of the working day kids and taechers are in environment which is hazardous and harmful to health, because concentration level of CO_2 exceeds even 1,500ppm per hour and in three cases even 2,000ppm per hour. The maximum dose what children and service staff receives per one working day, reaches 12,000ppm, which already can cause adverse effects on children's health, but safety threshold for an adult, which was mentioned before – 5,000ppm, is exceeded 2.4 times!

Conclusions about amount of CO_2 concentration level for lines „C" and „D", reflected in the figure 2.6., which shows these fixed air parameters in rooms of „C" un „D" buildings during the period of the research, are following:

1. In all cases fixed values of carbon dioxide concentration level in case of summing during working hours or in cases of detarmination of working days size is above 5,000ppm.
2. Better parameters of carbon dioxide concentration level are in the building „C", because a value during the period of the research does not exceed 1,000ppm, with the exception of February, when the fixed maximum was 1,195ppm.
3. Quantities of carbon dioxide concentration level, fixed in rooms of the „D" building, have exceeded the maximum level, the border of safety, which is 1,000ppm and reaches even 2,285ppm in February 24 (in the room were 12 children and 2 teachers).
4. In the building „D" room with floor area 60m^2 fixed quantities of carbon dioxide concentration level can be already classified as a threat to the health of children and service staff.
5. Fixed quantities of carbon dioxide concentration level in the building „D" were preventable by opening windows for 10–15 minuntes and therefore making ventilation of the room in a natural way.
6. Fixed quantities of carbon dioxide concentration level during the period of the research, demonstrated in the figure 2.6., that especially building „D" can increase fatigue and sleepiness for children and it can cause reduction of ability to concentrate.

7. To reduce quantities of carbon dioxide concentration level, mechanical ventilation systems needs to be used, like for example in the „C" building, or in the case if it is not possible, natural ventilation can be used, like for example in the „D" building.
8. The ventilation system in building „C", which is not doing it's functions, and not existing mechanical ventilation systems in the building „D" disclose mistakes in the design stage which can be classified as lack of professional skills from the designer and/or client.
9. To normalize the existing situation, at least in the building „D", ventilation should be used more often by opening windows, but also considering conclusions made previously, which are given about the indoor air temperature, relative humidity of air, and also the increased heat flow through the building envelope. The old heating system needs to be considered a possibility of making quality renovation for the second time, based on the results of the energy audit, which would reduce thermal energy consumption at least until drafted normative value.

During the research, which was made in day-care center building „C", the following air pollution with aldehydes was found: formaldehydes $0.023\pm0.005 mg\cdot m^{-3}$; acetaldehydes $0.015\pm0.003 mg\cdot m^{-3}$; benzoaldehydes $0.004\pm0.001 mg\cdot m^{-3}$; propilaldehydes $0.003\pm0.001 mg\cdot m^{-3}$ and VOC $0.56\pm0.11 mg\cdot m^{-3}$. The floor was made from linoleum, window frames - plastic, no mechanical ventilation system in the room.

Conclusions about polution of the room air are:

1. Results of the research show various chemical substances in the air.
2. The total concentration of aldehydes does not exceed the recommended maximum limit recommended by WHO.
3. VOC pollution is bigger than the maximal border recommended by WHO.
4. Complains from staff and children about bad air quality in rooms are reasonable.
5. There is a need to reduce usage of plastic and other synthetic materials in day-care center buildings, especially in the interior.
6. Equipment, which would help to prevent the harmful effects of chemicals to organisms of children and staff.
7. The large quantity of dusts indicates to basic violations of health standards.

2.3. Locations of heat loss in the experimental building

Experimental building „C" consist of renovated section and newley erected section. Construction works was done in 2007. Renovation works contained heat insulation of building envelpe, built-in double glazed windows with plastic frames. Total floor areas of the building premises – 1,901 m^2, total thermal energy consumption in 2008 was 645,000 kWh and intensity of thermal energy consumption was 339 $kWh\cdot m^{-2}$. Personel of the day-care center building has complaints of indoor air temperature in the building premises. Existing ventilation system have no impact to modifying IAQ, therefore it is not in use. Air exchanging in the premises of building was made with the natural ventilation throught opened windows.

Places of heat transmission in building „C" through delimitated constructions with a help of thermal camera were determinated in January 23th, year 2012, when temperature outside in Riga was –3.2 ^{0}C at 11:00 AM and –3.6 ^{0}C at.2:00 PM, wind direction: A, 4–8 ms^{-1}, in accordance of information from Latvian meteorology website.

In curent building renovated section and newley erected section was made thermographic audit. Most important results are reflected in the images of figures from 2.7. to 2.30., where can see photos of images of the building elements, thermographic image of the building, data table, temperature of surfaces in the area „Ar 1" and temperature in the profile line „Li 1".

Image 2.7 depicting the photographic picture of the element of the building, to image 2.10 demonstrates a recital of details of the obtained thermal image 2.8. The obtained data are shown in image 2.9. Image 2.10 reflects the temperatures of the surface of the building with their percentage distribution in the selected section "Ar 1". Images 2.9 and 2.10 demonstrate that in the selected section "Ar 1" the temperatures fluctuate within the limits from –9.2 ^{0}C on the snow surface to +0.4 ^{0}C on the building foundation plane surface, which indicates a significant transmission of heat through the foundation of the building. No major heat losses are seen on the eastern section of the façade of the building. The exception in the above section of the façade of the building is the aforementioned heat losses through the foundation and window openings.

Image 2.11 depicting the photographic picture of the roof element of the building, to image 2.15 demonstrates a recital of details of the obtained thermal image 2.12. Image 2.14 demonstrates the percentage distribution of air temperature in the selected section "Ar 1". Image 2.15 demonstrates the distribution of temperature in the selected profile line "Li 1". It is evident from images 2.14 and 2.15 that in the selected section “Ar 1” the temperatures fluctuate within the limits from –3.2 ^{0}C on the surface of the façade of the building to +5.5 ^{0}C on the surface of the lower section of roof of the building, which indicates a significant transmission of heat through the covering of the upper floor to the attic. By means of wind from the East the warm air is discharged to the western side of the building.

Upon comparing the thermal graphs of the eastern façade and western façade of the building we see that on the eastern façade the temperature on the profile line “Li 1” drawn on the thermo-graphic image is within the limits from – 6.1 ^{0}C to –7.5 ^{0}C. In the thermal graph on the western façade of the building, where the profile line “Li 1” shown in image 2.15 has been drawn, the temperature fluctuations on the surface of the façade of the building are within the limits from –3.3 ^{0}C to +3.0 ^{0}C. Differences of temperature on the eastern and western façades of the building have been recorded within the limits from –7.5 ^{0}C to +3.0 ^{0}C. This means that the building is air permeable, with insufficient and/or low quality heat insulation. This causes large and irregular heat losses in the premises of the building, especially in windy weather conditions.

In the figure 2.16. is disclosed the renovated section of the facade of western side. In the thermogram, reflected in the figure 2.17., are identified temperature measurement area „Ar 1” and profile line „Li 1”. In the figure 2.1.7 is clearly demostrated fixing devices of insulation materials which has increased the heat loss and which are formed from wrong technologically (there are four attachment points needed for 0.5m^{2}). Figure 2.18. displays data tabele where which disclose temperature for outdoor air and also outdoor surfaces with smallest and largest values in the area „Ar 1” and profile line „Li 1”. In the figure 2.19. there is demostrated percentage distribution of surface temperature with the lowest temperature fixed on facade surface area which is –4.4 ^{0}C and highest temperature fixed in this area which is –0.8 ^{0}C. The thermographical picture and profile line „Li 1”, which are showed in figure 2.20., clearly demonstrate places of increased heat loss – window openings, which could be a result of failure to comply construction technologies. Temperature fixed are in range from –4.6 ^{0}C to –1.9 ^{0}C.

A bedroom corner is shown on image 2.21 and its thermal graph in image 2.22. The recorded temperature of the room is shown in image 2.23 and it is +20.0 ^{0}C. The distribution of temperature in the selected section “Ar 1” is shown in image 2.24 and it is within the limits from +14.9 ^{0}C to +17.3 ^{0}C. Temperature fluctuations on the profile line “Li 1” are shown in image 2.25 and they are within the limits from +15.0 ^{0}C to +19.3 ^{0}C. There is a considerable surface temperature decrease in the corner of the room to +15.0 ^{0}C. Compared to the air temperature in the room, it is 5 degrees lower and mould can build up here due to increased humidity.

The figure 2.26. demonstrates the renovated outer walls, partitions and ceiling part of section area, and in figure 2.27 is a thermogram. In the thermogram and figures 2.28. and 2.29. are clearly visible temperature diferences on outer walls, partitions and ceiling surface, which draws up even from 4.5 ^{0}C to 5.0 ^{0}C difference. Temperature in the place where ceilings are connected with external walls, which is in area „Ar 1”, is fixed in range from +15.7 ^{0}C to +18.4 ^{0}C and is disclosed in figures 2.28. and 2.29. In the figure 2.30. are seen changes of the temperature on the profile line „Li 1” and are in range from +15.7 ^{0}C to +17.6 ^{0}C.

Conclusions about a thermographic audit made for day-care center newley erected and renovated section of the building „C”, whose results are disclosed in figures 2.7. – 2.30., about heat loss areas specified in demarcated structures, are:

1. In the renovated section, thermal insulation material used for wall insulation, gives saving of thermal energy resources as indicates lover surface temperatures of facade walls and which are closer to the temperature outside.
2. In the newly erected section, material used in outter walls - FIBO blocks with no extra thermal insulation material, are with great heat transmission and therefore makes large amounts of heat loss for building premises.
3. During replacement and built-in double glazed windows, for the whole building there is not respected the window installation technology, therefore connection places of window frames and walls are with very big reductions of surfaces temperature, even to 5.0 ^{0}C, and therefore making extra heat losses in these places.
4. Overhead cover and joints of exterior wall (lack of adequate insulation materials) are designed in such a way that in those places occured extra heat losses as indicated by reduced temperatures of surfaces in rooms.
5. Attic of the building are not properly insulated, which causes very big heat losses.
6. Corners of the building (lack of insulation material) are not established in accordance with requirements, which is a reason for reduced temperatures of surfaces and increased heat losses.

2.4. Statistical analysis of reseach data

The regression line in the tabele 1.2. is drawn up from variation indicators of floor area (m^2) and thermal energy consumption (MWh) of day-care center and school buildings per annum, which is equal $\hat{y}_i$ = 0.09x + 183.05. In the 2.3., 2.4. and 2.5. are disclosed parameters of data analysis.

As displayed in the table 2.3., correlation coefficient of the regression line r = 0.89 and coefficient of determination $R^2 = 0.79$, which indicates to strong linear relation between signs.

Table 2.4. demonstrate that the regression line's F test value is $4.7692 \cdot 10^{-102}$ and it is lower than value of significance level:$4.7692 \cdot 10^{-102} < 0.05$, which shows that between signs there is a linear relation to the accepted probability P = 95%.

The tabele 2.5. demonstrate coefficients of the regression equation and it is detectable by the regression equation: $\hat{y}_i = 183.05 + 0.09x_i$.

Values of confidence interval for direction coefficient 95% in this case are: $0.09 < \beta_i < 0.10$ which means that consumption factor of thermal energy is essential, with probability 95%.

2.5. GOSPIL and metodology of the economic evaluating

There are one year data about thermal energy consumption for 143 day-care center buildings in total, which includes 32 not-renovated buildings and 111 renovated or newly erected buildings. Total floor area of all day-care-center buildings draws up 248,923 m^2 total amount of thermal energy consumption in the year 2008 was 53,102,920 kWh. Total floor area of 111 renovated day-care-center buildings is 17,866 m^2 with total thermal enegy consumption 40,328 MWh (data from tables 2.2.). Average intensity of thermal energy consumption in renovated and newly erected buildings in the year 2008 was 224 $kWh \cdot m^{-2}$. From the figure 2.3. choose data about two not-renovated day-care-center buildings - the first, under the trend line with the total floor area 1,605 m^2 with thermal energy consumption 269,000 kWh per annum or intensity of thermal energy consumption 168 $kWh \cdot m^{-2}$ and the second, not-renovated day-care-center building, with the total floor area 1,920 m^2 with thermal energy consumption 456,000 kWh per annum or intensity 238 $kWh \cdot m^{-2}$. Floor area for these two day-care-center buildings is closest to the average indicator – 1,741 m^2. Intensity of thermal enegy consumption for the virtual building is dermined in the way of interpolation from these two not-renovated day-care-center buildings with the closest floor areas. It is 198 $kWh \cdot m^{-2}$. In the year 2008, the highest rate for thermal energy prices by stock company "Rīgas Siltums" was in December – 44.89$Ls \cdot (MWh)^{-1}$ + VAT. According to these data is made a calculation which is summarized in tabele 2.6., about economical benefits for this kind of renovation and construction works.

In the table 2.6. is disclose that renovation works done like that (replacement of windows with disregarding technological requirements of installation, without total insulation of building's envelope in accordance with technological requirements, without renovation of heating system and heating unit, and also without installtation of energy efficient ventilation system) is not economically beneficial to the customer as renovation works like that are making losses or pays off in a very long period of time which in the case of the virtual building is 31.8–47.6 years.

What kind of optimization actions should be done to ensure short perid of repaying construction costs on the account of increasing the heat insulation of buildings?

First of all legal responsibility needs to be put in order for those involved construction parties which are doing poor quality. If an essential mistake is done which has caused that designed criteria are not achieved or serious error is vitiated during the design phase because of customers incompetence, constructions supervision does not fulfil its functions, people which are responsible and guilty are exempted from possibility to participate in the following construction process. There is no arrangement in the field of construction at the moment in Latvia.

Process of construction should be supervised by competent specialists from the the side of national regulatory for which they need to bear the responsibility as well, at least for each municipality or construction objets financed by public authorities.

The side of national regulatory is important because all of the EU and the Council Directives in construction sector is adopted by the Republic of Latvia and is also responsible for their execution, for example nationwide normative acts and Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council about energy efficiency of buildings (before Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council about energy efficiency of buildings).

The task of optimizations algorithm is to determine maximal boundries of optimal thermal energy consumtion for buildings depending on their floor area (if heating systems of rooms are without floor heating systems). It is showed in figure 2.31. „Annual thermal energy consumption intensity optimisation line", where from several crossing straights: N_t – p.i.i. (day-care-center), N_t – skolas (schools), N–100 and N–90 is made GOSPIL – annual thermal energy consumption intensity optimisation line.

In the figure 2.32. is demonstrate GOSPIL (annual thermal energy consumption intensity optimisation line) with it's four forming stages:

1. in 0–1 points interval a line equation: $y_{0;1} = 0.11x–1.67$;
2. in 1–2 points interval a line equation: $y_{1;2} = 0.09x+21.67$;
3. in 2–3 points interval a line equation: $y_{2;3} = 0.07x+93.00$;
4. in 3–4 points interval a line equation: $y_{3;4} = 0.07x+116.37$.

Equations for these stages shows maximal values for thermal energy's consumption and coordinates of critical points with their values, where equation's mathematical expressions are changing.

From figure 2.31 it is possible to see that distribution of GOSPIL into four stages which is divided separately and disclosed in figure 2.32, is formed from intersection of these straights:

Stage 1 – building's floor areas are from 300 m^2 to 2,100 m^2, straight $y_{0;1} = 0.11x–1.67$ begins at N–100 (N–90) (lines for buildings with heat energy consumption intensity 100 or 90 $kWh·m^{-2}$ per annum) beginning of straight with a little increase on the Y-axis it continues but without reaching N.t.–p.i.i. straight values until x = 2,100m^2. Original value of the straight on X-axis is 300 m^2 because minimal floor area of day-care center buildings during this research is 331m^2.

Stage 2 – buildings floor areas are from 2,100 m^2 to 3,000 m^2, straight $y_{1;2} = 0.09x+21.67$ condition against the X-axis is with a little bigger angle than stage 1, and ending point is crossing point for straight N– 100 and N.t.–p.i.i.

Stage 3 – buildings floor areas are from 3,000 m^2 to 4,500 m^2, straight $y_{2;3} = 0.07x+93.00$ ending point on the X-axis is crossing point of straight N.t.–p.i.i. and N–90 beginning and maximal floor area for day-care center buildings (maximal floor area found during the research for day-care center buildings is 4,464 m^2).

Stage 4 – buildings floor areas are from 4,500 m^2 to 14,000 m^2, straight $y_{3;4} = 0.07x+116.37$ ending point is biggest value of floor area – 14,000m^2 (maximal floor area found during the research for school buildings is 13,393 m^2). This stage for GOSPIL line is located between straights N.t.–p.i.i. and N.t.–schools.

To sum up facts mentioned previously it can be told that GOSPIL line is limited from normative trend lines obtained in the research of day-care center and school buildings, which accordingly are maximum and minimum boundaries. Maximal values of day-care center buildings floor areas obtained in a result of the research is like a tipping point for the GOSPIL line, and after x value 4,500 m^2 GOSPIL line linear connection aspires to the line N.t.–schools maximal value on the x-axis –14,000 m^2. Besides that, GOSPIL line supports Directive 2010/31/ES of the European Parliament and of the Council about energy efficiency of buildings (before that also Directive 2002/91/EK of the European Parliament and of the Council about energy efficiency of buildings).

GOSPIL line (the maximum quantities of energy consumption) applies to any public building in the Republic of Latvia, by determining it's maximum allowable intensity of energy consumption because data obtained in the result of the research are based on current applicable normative acts and results of thermal energy consumption in day-care center buildings made in the research and buildings of this group are one of the most demanding after an appropriate microclimate of indoors (also IEQ) and therefore also energy consumption.

GOSPIL line made for increasing the efficiency of thermal energy consumption is based on Riga city meteorological data basis of year 2008 (average temperature of seasonal heating was +3.8 ^{0}C, period 207 days). To obtain data in each particular year conversions should be done in accordance with regulations by the Regulations Nr.39 of the Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia from 13.01.2009., „Calculation method of buildings energy efficiency":

$$Q=Q_1 \cdot GDD_1 \cdot (GDD)^{-1} \qquad (2.1.)$$

where:

Q – correcting energy consumption (Wh);
Q_1 – energy consumption (Wh) during the observation period;
GDD_1 – normative number of degree days;
GDD – number of degree days during the observation period.

$$GDD_1 = D_{napk.} \cdot (T_1 – T_2) \quad (2.2.)$$

where:

D_{napk} – norms of heating days in accordance with LBN 003–01 "Construction Climatology";

T_1 – indoor air temperature during the observation period (^0C);

T_2 –average outdoor air temperature in accordance with LBN 003–01 "Construction Climatology".

$$GDD = D_{apk.} \cdot (T_1 – T_3) \quad (2.3.)$$

where:

GDD – number of degree days during the observation period;

T_1 – indoor air temperature during the observation period (^0C);

T_3 – actual average outdoor air temperature during the observation period (^0C).

Intensity of thermal energy consumption in a given year with methodology developed by RTU:

$$q_{st} = q_{apk.} \frac{Gst}{G} + q_{k..ū} \frac{A}{30n} \text{ (kWh·m}^{-2}\text{per annum)} \quad (2.4.)$$

where:

q_{st} – standardised thermal consumption kWh·m^{-2};

$q_{apk.}$ – measured actual annual specific thermal consumption for heating, kWh·m^{-2} per annum;

$q_{k.ū.}$ – measured actual annual specific thermal consumption for hot water, kWh·m^{-2} per annum;

G_{st} – number of degree days per standard year;

G – number of degree days per analysed year;

A – full heated area, m²;

30 – unified population density level, m²·person^{-1};

n – actual number of persons in the building, persons.

Before renovation works buildings energy efficiency class is determined after buildings energy audit in accordance with the Regulations Nr.39 of the Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia from 13.01.2009. „Calculation method of buildings energy efficiency ".

An economical assessment of projects of increasing energy efficiency is an essential factor to ensure a financial investment into a viable event. Therefore development of algorithm methodology optimization and ensuring the efficiency is so important and significant.

An economical assessment of the algorithm of optimization consists of three criteria:

1. time of payback;
2. remaining values;
3. previous payback rates.

Total estimated economy of thermal energy at buildings renovation needs to be determinated - E (kWh), but for new projects - total estimated consumption of thermal energy.

Profit from economy per year – P (€), which is derived from the planned amount of usable thermal energy – Q (kWh) and the price product – c (€·kWh^{-1}).

$$P = Q \cdot c \text{ (€)} \quad (2.5.)$$

Project recoupment period – AP (years), which are obtained by dividing the total capital investment by the profit from economy:

$$AP = K_i \cdot P^{-1} \text{ (years)} \quad (2.6.)$$

For the calculation of the internal rate of return (IRR), a table should be drawn analogous to table 2.10 and the necessary calculations should be made.

Net book value AV – is the amount of discount rates for the reporting period:

$$AV = P \cdot DF_n + P \cdot DF_{n+1} + P \cdot DF_{n+2} + ... + P \cdot DF_{n+x-1} \text{ (€)} \quad (2.7.)$$

If a number in assumed calculations of the discount rate AV is positiv it means that repeated calculation needs to be done by raising percentage of the discount rate because AV value needs to be negative, or in the case of positive value IAL needs to be less than 10%.

For each alternative it is possible to determine the total costs in an integrated way and obtaining real costs in the result, which are necessary for realization of a project. But it is difficult to interpret these commons, especially when complicated alternatives are being explored. The same applies in a case when effects need to be compared. By simply summing up all the expences or by calculating average costs per year, one can not get any information about when those costs should be done.

A generally accepted way how to solve this problem is discounting, which gives values for all of the future costs and existing benefits. A result of discounting is leading to a base year the cash flow in specified years. For that is used discount factor, which can be expressed as:

$$DF = 1 \cdot (1+p)^{-n} \qquad (2.8.)$$

where:
DF – discount factor;
p – discount coefficient (as a percentage);
n – the year in which the costs are made in relation to the base year.

The table 2.11.is disclosed the discount factors by years, depending on the discount rates.

For example, a discount factor for costs to be incurred in the third year (with a discount coefficient of 5%) shall be:

$$DF= 1 \cdot (1+p)^{-n} = 1 \cdot (1+0.05)^{-3} = 0.8638 = 0.864 \qquad (2.9.)$$

Consequently, €100,000 to be spent during the 3rd year is equal to the discount value of €88,400 in the base year.

An important question is what discount coefficient should be used. This is heavily dependent from a project initiator. For example, discount coefficient determined by the Netherlands government for government projects is 5%. This percentage includes difference between bank interest rates and inflation. The percent like that could be used in countries with high level of inflation because then interest rates will be high as well. The percent is universal and „with no risk". Universal means that this percent could not fluctuate depending on the difference during the cycle of project's life and from relative changes of price and value, but „with no risk" means that it does not include any risks which would be in the case of realization alternatives.

An alternative method of financing can cause certain effects. For determination of these effects one needs to analyze how do costs change.

CONCLUSIONS

1. The research is scientifically important because the research base of the construction sector has been added to significantly and it is the first in Latvia where the use of thermal energy resources in public buildings of local authorities has been compared and analysed depending on their status: newly constructed and renovated buildings to non-renovated buildings.
2. The results of the doctoral thesis should be used for developing relevant regulatory acts, including construction regulations, as well as in the construction of public buildings. They should be adapted for use in other groups of buildings as well.
3. The proposed hypothesis that the intensity of use of thermal energy in newly constructed buildings or renovated buildings is not always less or equal to the maximum limit set forth by regulatory acts has been confirmed.
4. It has been established in the due course of the performance of the research that:
   b) there is no air processing equipment in the buildings that would ensure the required indoor air quality (IAQ) required by regulatory acts;
   b) in the majority of cases the IAQ caused an adverse effect on the health of those people who stayed in the premises for a long time;
   c) low quality construction works and use of the buildings has caused thermal energy consumption which is larger than that set forth by regulatory acts;
   d) the proposed thermal energy consumption intensity annual optimisation line (GOSPIL) permits harmonising the construction process with Directive 2002/91/EC and 2010/31/EU of the

European Parliament and the Council regarding the energy efficiency of the buildings and using it in construction would significantly improve the energy efficiency of the buildings;

e) the provided economic assessment methodology provides the opportunity to assess the effectiveness of capital investments.

5. Analysis of the statistical data proves that there is a positive linear relation between the area of the floors of the premises and the volume of thermal energy used in the buildings.

RECOMMENDATIONS

1. The author of the thesis suggests perfecting the basis of regulatory acts so as not to allow the performance of low quality construction works and commissioning of buildings that do not meet the defined requirements (in the LBN: to perform the Blower Door test, an energy audit of the building and the IAQ control measurements during critical meteorological periods) and thereby facilitate the sustainability of buildings.
2. The author of the thesis suggests not implementing construction projects where the capital investment recoupment period is longer than the warranty term of the materials used.
3. Prior to commencing renovation works it is necessary to evaluate the condition of the building constructions of the building and to define the remaining service life of the buildings.
4. It is necessary to foresee the installation of relevant air processing equipment in the construction of the buildings, which would allow the required IAQ to be ensured according to the regulatory acts of the EU and Latvia.