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

Normunds Talcis
Doktora studiju programmas „Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija” doktorants

CENTRALIZĒTĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS PĀRVALDĪBAS UN KONTROLES METODOLOĢIJA

Promocijas darbs

Zinātniskie vadītāji:
Profesors *Dr. habil. sc. ing.*
EGILS DZELZĪTIS

Profesors *Dr.math.*
ANDREJS KOLIŠKINS

Rīga 2018

ANOTĀCIJA

Promocijas darba "Centralizētās siltumapgādes sistēmas pārvaldības un kontroles metodoloģija", pētījuma objekts ir Rīgas pilsētas centralizētās siltumapgādes sistēmas (CSS) Labā krasta siltumtīkli TEC-1 un TEC-2 siltumapgādes zonā. Darbs ir veltīts CSS patērētāju subjektīvi nepieciešamajām vajadzībām pēc komfortablas gaisa temperatūras ēku telpās un karstā ūdens un tajā pašā laikā arī droši un efektīvi ražotu un pārvadītu siltumenerģiju. Promocijas darba tēmas aktualitāti nosaka CSS efektivitātes palielināšanas nepieciešamība, kas saistīta ar Apvienoto Nāciju Organizācijas konvencijas par klimata pārmaiņām nostādnēm, liekot samazināt kaitīgo gāzu izmešus atmosfērā un primāro energoresursu patēriņu.

Promocijas darba mērķis ir izvērtēt visu CSS elementu mijiedarbību un izstrādāt metodoloģisku risinājumu CSS procesu pārvaldībai un kontrolei, kas ļautu samazināt CO_2 izmešu daudzumu un paaugstināt CSS efektivitāti. Veicot pētījumu par atgaitas temperatūras izmaiņām pārvades sistēmā, var atklāt novirzes no normālā stāvokļa. Tas nozīmē, ka sistēmā ir izmaiņas, kas jāidentificē ar praktiskām metodēm, piemēram,

- patērētāju sistēmu pārbaudi, izmantojot siltumskaitītāju datu nolasīšanu;
- patērētāju sistēmu apsekošanu, pārbaudot atgaitas temperatūras režīma ievērošanu;
- pārvades sistēmu (bezkanālu siltumtrašu) kontroles monitoringa rezultātu analīzi;
- virzemes un kanālu siltumtrašu apsekošanu;
- siltumkameru noslēgarmatūras stāvokļu pārbaudi (nesankcionētu darbību pārbaude).

Pētījums parāda, ka, izmantojot vēsturiskos datus, katrai siltumapgādes sistēmai var sastādīt trenda līnijas un noteikt atgaitas temperatūras nobīdes robežas. Samazinot atgaitas temperatūru, mazinās siltumenerģijas zudumi, elektroenerģijas patēriņš tīkla sūkņiem un siltumapgādes sistēmai, bet, izejot no iepriekš minētā, samazinās arī CO_2 izmešu daudzums un primāro energoresursu patēriņš. Katras sistēmas operators, kontrolējot atgaitas temperatūru un salīdzinot to ar trendu līniju robežām, var ātri konstatēt nobīdi un operatīvi rīkoties, lai novērstu nepilnības CSS pārvadē. Izstrādātās sistēmas efektīvākai izmantošanai ir jāizveido tehnisko datu pārvaldes sistēma, kas automātiski kontrolē iestatījumu nobīdes un ziņo par tām.

Darbā aplūkoti CSS enerģijas avoti, tai skaitā atjaunojamo energoresursu (šķeldas) pieejamība un izmantošana turpmāk, kurināmā izmantošanas efektivitātes palielināšanas iespējas, izvērtēta siltumenerģijas pārvades loma CSS attīstībā, kā arī esošo un perspektīvo siltumenerģijas patērētāju ietekme uz CSS attīstību pētāmajā reģionā.

Promocijas darbs sastāv no ievada, četrām nodaļām, kurās apskatīti centralizētās siltumapgādes sistēmas enerģijas avoti, siltumenerģijas ražošanas efektivitātes palielināšanas iespējas, siltumenerģijas pārvades loma centralizētās siltumapgādes sistēmas attīstībā un siltumenerģijas lietotāju ietekme uz to, kā arī eksperimentālās daļas un rezultātu vērtējuma, secinājumiem, izmantotās literatūras saraksta un pielikumiem.

Pirmajā nodaļā aprakstīta centralizētajās siltumapgādes sistēmās izmantojamo energoresursu – atjaunojamo energoresursu un fosilo energoresursu – pieejamība un pieprasījums. Darbā vērtēti svarīgāko atjaunojamo enerģijas avotu Latvijā – koksnes biomasas, hidroenerģijas un vēja enerģijas – potenciāls un to izmantošanas iespējas enerģētikā.

Otrajā nodaļā vērtētas kurināmā efektivitātes paaugstināšanas iespējas siltumenerģijas ražošanā, izmantojot biokurināmo (šķeldu) Rīgas centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumavotos. Šajā sadaļā salīdzināti tādi siltumenerģijas ražošanas veidi centralizētajā siltumapgādē kā kombinētā cikla dabasgāzes koģenerācija, koģenerācijas iekārtas, kas tiek darbinātas, izmantojot šķeldu, dabasgāzes ūdens sildkatli un ūdens sildkatli, kuros par kurināmo izmanto šķeldu. Pētot centralizētā siltumapgādes sistēmā uzstādītās siltumenerģiju ražojošās iekārtas, kuru darbībā tiek izmantota šķelda, var secināt, ka, tehnoloģijām attīstoties, iespējams sasniegt līdzvērtīgus kurināmā sadedzināšanas efektivitātes rādītājus, kā tas ir ar dabasgāzi darbināmās iekārtās.

Trešajā nodaļā ir izvērtēta siltumenerģijas pārvades loma centralizētās siltumapgādes sistēmas attīstībā, veikta īpatnējo, absolūto un dažādu citu siltumenerģijas zudumu samazināšanas pasākumu analīze.

Nodaļā apkopoti un analizēti eksperimenta rezultāti, kas parādīja saikni starp siltumnesēja temperatūras (T1 un T2) starpību un āra gaisa temperatūru siltumenerģijas ražošanas avotos TEC-1 un TEC-2 Rīgā. Veiktie pētījumi parādīja, ka ar izstrādāto metodoloģiju, mainoties temperatūras starpībai pārvades sistēmā, iespējams atklāt nobīdes no normālā stāvokļa. Izstrādātā CSS pārvaldības un kontroles metodoloģija palīdz noteikt, kā funkcionē CSS noteiktas temperatūras starpības (ΔT) gadījumā. Līknes virs regresijas līknes un zem tās atbilst 95 % ticamības intervāla vidējām prognozētajām vērtībām starp kurām ir optimāla zona, kas nosaka, kā darbojas siltumapgādes sistēma.

Ceturtajā nodaļā pētīta esošo un perspektīvo siltumenerģijas patērētāju ietekme uz centralizētās siltumapgādes sistēmas attīstību, tai skaitā iedzīvotāju skaita izmaiņu ietekme, pētīta iedzīvotāju izpratne par dzīves kvalitāti, apkopota informācija par pašvaldības finansētiem mājokļu celtniecības projektiem un apbūves teritorijām, prognozētas dzīvojamo platību kvantitatīvo rādītāju pārmaiņas, pētīts nedzīvojamo platību pieprasījums un attīstības tendences. Nodaļā pētīta siltumenerģijas lietotāju energoefektivitātes palielināšanas ietekme uz centralizēto siltumapgādes sistēmu, tai skaitā novērtēts ēku energoefektivitātes līmenis, tehniskās iespējas nodrošināt ēku energoefektivitātes uzlabošanu, finansējuma pieejamība un nosacījumi, prognozējamais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš dzīvojamās ēkās Rīgā. Siltumenerģijas lietderīgais patēriņš daudzu faktoru ietekmes un nenoteiktību dēļ tiek prognozēts zināmā secībā: siltumenerģijas pieprasījuma prognoze Rīgas dzīvojamā un nedzīvojamā sektorā, siltumenerģijas patēriņa prognoze atsevišķās Rīgas siltumapgādes zonās.

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, tā apjoms ir 122 lpp. Darbs ietver 57 attēlus, 33 tabulas, 83 formulas, 4 pielikumus un tajā izmantoti 111 literatūras avoti.

ANNOTATION

The Doctoral Thesis "Management and Control Methodology of the District Heating System", where the subject of research is the district heating network of Riga City district heating system (DHS) in the heat supply area of CHPP-1 and CHPP-2, is focused on a DHS with subjective necessary needs of consumers to have comfortable indoor temperature in buildings under our climate conditions, as well as to have hot water, by ensuring safe and efficient production and transmission of heat at the same time. The topicality of the subject matter of the Doctoral Thesis is based on the necessity to improve the DHS efficiency, which is related to the guidelines of the UN Convention on the Climate Change, to reduce emission of gases harmful to the climate into the atmosphere and to reduce consumption of primary energy resources.

The objective of the Doctoral Thesis is to assess the interaction of all the DHS elements and to develop a methodological solution for management and control of DHS processes providing a higher contribution for reduction of CO_2 emissions and improvement of the DHS efficiency.

By performing a study on changes of the return temperature in the transmission system it is possible to reveal deviations from the normal condition. This means that there are changes in the system that need to be identified by other practical methods, for example:

- examination of the consumers' systems by applying reading of heat meter data;
- survey of the consumers' systems, compliance with the return temperature regime;
- analysis of the results of monitoring of the control systems of transmission systems (heat pipelines without channels);
- survey of heat pipelines above the ground and in channels;
- inspection of the condition of shut-off fittings of heat chambers (verification of unauthorised interferences).

The study demonstrates that trend graphs can be prepared for each heat supply system by using historical data and the limits of deviations of the return temperature can be established. As the return temperature is reduced, heat losses decrease electricity consumption for the network pumps decreases and energy consumption by the heat supply system decreases leading to reduction of CO_2 emissions and consumption of primary energy resources. The operator of each system can identify the deviation fast by following the return temperature and comparing it to the trend graph margins and respond fast in order to prevent deficiencies in the DHS management. For more efficient use of the developed system it is necessary to develop a technical data management system which automatically follows and notifies deviations from settings.

The Thesis also reviews availability of DHS energy sources, including renewable energy resources (wood chips), and the possibilities of their future use, the possibilities of improving efficiency of the use of fuel, assesses the role of heat transmission in the DHS development and the impact of existing and perspective heat consumers on the DHS development in the area subject to study.

The Thesis consist of an introduction, four chapters reviewing the district heating system energy sources, the possibilities of improving efficiency of heat production, the role of heat transmission in the district heating system development and the impact of existing and

perspective heat consumers on the district heating development, an experimental section, the result evaluation, conclusions, the list of references and annexes.

The first chapter describes the availability of and the demand for energy resources used in district heating systems, in particular, availability of and demand for renewable energy resources and fossil energy resources. The potential of major renewable energy sources in Latvia, i.e. wood biomass, hydro energy and wind energy, and the possibilities of their use in energy are assessed.

The second chapter assesses the possibilities of improving of fuel efficiency by using biofuel (wood chips) for heat production in the heat sources of Riga City district heating system. Within this chapter the forms of heat production in district heating, namely, combined cycle natural gas fired cogeneration, cogeneration units using wood chips, natural gas fired water heating boilers and water heating boilers using wood chips as the fuel, were compared. The study of the heat production units installed in the district heating system where wood chips are used as the fuel leads to the conclusion that, along with development of technologies, equal efficiency indices of fuel combustion to those of natural gas fired units can be achieved.

The third chapter contains assessment of the role of heat transmission in the development of a district heating system, the analysis of specific and absolute heat losses and various measures of reduction of heat losses has been performed. The chapter summarises and analyses the results of the experiment identifying the link between the difference of the heat carrier temperature (T1 and T2) and the ambient air temperature in heat production sources CHPP-1 and CHPP-2 operating in Riga. The performed studies demonstrated that deviations from the normal condition, upon the change of the temperature difference in the transmission system can be revealed by applying the developed methodology. The developed DHS management and control methodology defines the function of the DHS at a particular difference of temperatures (ΔT). Curves above and below the regression curve correspond to the mean forecasted values of 95 % reliability interval and between them there is the optimum zone defining the operation of the district heating system.

The fourth chapter contains the study of impact of heat consumers upon development of the district heating system, including the study of impact of change of the number of population, study of demand regarding the people's perceived quality of life, summarises information about housing development projects funded by the municipality and development territories, forecast of quantitative indices of living spaces, demand for non-residential areas and trends thereof. The chapter contains study of impact of improvement of energy efficiency of heat consumers upon the district heating system, including assessment of the current level of energy efficiency of buildings, technical possibilities of securing improvement of energy efficiency of buildings, sufficiency and conditions of funding, forecasted specific heat consumption in residential buildings in Riga. Forecasting of effective heat consumption is done according to a particular sequence of assessment due to the impact of multiple factors and uncertainties: forecast of heat demand in the residential sector of Riga city, forecast of heat demand by the non-residential sector in Riga; forecast of heat demand in particular heat supply areas of Riga city.

The Doctoral Thesis has been developed in Latvian on 122 pages. The Thesis contains 57 Figures, 33 Tables, 83 formulas, 4 Annexes and 111 sources of reference have been used.

SATURS

IEVADS 8

1. CENTRALIZĒTĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS PRIMĀRIE ENERGORESURSI . 10

1.1. Atjaunojamie energoresursi 10
1.2. Fosilie energoresursi 13
1.3. Pieejamie koksnes biomasas resursi 14
1.3.1. Šķeldas ražošanas apjoms 17

2. SILTUMENERĢIJAS RAŽOŠANAS EFEKTIVITĀTES PALIELINĀŠANAS IESPĒJAS 23

2.1. Kurināmā izmantošanas efektivitātes palielināšanas iespēju vērtējums siltumenerģijas ražošanas procesā 23
2.1.1. Kombinētā ciklā ražotās siltumenerģijas lietojums CSS 23
2.1.2. Biokurināmā izmantošana pētāmās CSS siltumavotos 25
2.2. Šķeldas izmantošanas ietekme uz siltumenerģijas ražošanu 32
2.3. Siltumenerģijas ražošanas avotu modernizācija 33
2.3.1. Kondensācijas ekonomaizers dabasgāzes ūdens sildkatlam 33
2.3.2. Dūmgāzu kondensators ūdens sildkatlam 37
2.4. Siltumenerģiju ražojošo iekārtu salīdzinājums 40

3. SILTUMENERĢIJAS PĀRVADES LOMA CSS ATTĪSTĪBĀ 43

3.1. Īpatnējo un absolūto siltumenerģijas zudumu analīze CSS 43
3.1.1. Sistēmas zudumi neatgriezeniskā procesā 45
3.1.2. Siltumnesēju transporta efektivitātes faktori 46
3.1.3. Siltuma aktivitātes koeficienta ietekme uz siltuma zudumiem 51
3.1.4. Siltuma zudumu aprēķina piemērs divām gruntī ieguldītām caurulēm 56
3.2. Dažādu siltumenerģijas zudumu samazināšanas pasākumu pārvadē analīze 59
3.2.1. Siltumapgādes pārvades sistēmas kontroles metodoloģija 60

4. CENTRĀLĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS SILTUMENERĢIJAS PATĒRĒTĀJI .. 67

4.1. Esošo un perspektīvo siltumenerģijas patērētāju ietekme uz CSS attīstību 67
4.1.1. Ārgaisa temperatūra 67
4.1.2. Iedzīvotāju skaita izmaiņu ietekmes izpēte 68
4.2. Siltumenerģijas lietotāju energoefektivitātes paaugstināšanas ietekmes izpēte uz CSS83
4.2.1. Esošā ēku energoefektivitātes līmenis 84
4.2.2. Tehniskās iespējās nodrošināt ēku energoefektivitātes paaugstināšanu 84
4.2.3. Finansējuma pieejamība un nosacījumi 85
4.2.4. Prognozētais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš dzīvojamās ēkās Rīgas pilsētā ... 87
4.2.5. Prognozēšanas vispārējie nosacījumi un pieņēmumi 89
4.2.6. Siltumenerģijas pieprasījuma prognozēšana Rīgas pilsētas dzīvojamā sektorā 90

4.2.7. Siltumenerģijas pieprasījuma prognozēšana Rīgas pilsētas nedzīvojamā sektorā . 91
4.2.8. Rīgas pilsētas siltumapgādes patēriņa prognozēšana atsevišķās siltumapgādes zonās 94
4.2.9. Centralizētās siltumapgādes sistēmas slodžu lielumu prognozēšana 95
4.2.10. Centralizētās siltumapgādes sistēmas (CSS) rādītāju prognožu rezultāti 99
SECINĀJUMI 102
PIELIKUMI 103
IZMANTOTĀ LITERATŪRA 116

IEVADS

Vispārīgā daļa

Promocijas darba aktualitāti pamato šādi likumdošanas akti:

- ANO Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām 1997. gada 11. decembra Kioto protokols, kas tika izveidots kā līdzeklis cīņā pret globālo sasilšanu;
- ANO Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām 2016. gada 5. oktobra Parīzes nolīgums, kas ir pirmā, vispārējā juridiski saistoša pasaules mēroga vienošanās klimata jomā, lai ierobežotu globālo vidējas temperatūras pieaugumu zem 2 °C, salīdzinājumā ar pirmsindustriālā laikmeta līmeni un tiekties temperatūras kāpumu iegrožot līdz 1,5 °C, salīdzinājumā ar pirmsindustriālā laikmeta līmeni;
- ES direktīvās noteiktie jaunie klimata un enerģētikas mērķi, kas jāsasniedz līdz 2030. gadam – vismaz par 40 % samazināt siltumnīcefekta gāzu emisiju, panākt, ka vismaz 27 % enerģijas patēriņa būtu atjaunojamā enerģija, panākt, lai energoefektivitāte tiktu uzlabota vismaz par 27 %.
- Latvijas likums "Par Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām Parīzes nolīgumu", stājās spēkā 09.02.2017.
  Parīzes nolīguma nosacījumus Latvija īstenos kopīgi ar pārējām ES dalībvalstīm – līdz 2030.gadam samazinās SEG emisijas ES par vismaz 40%
- Latvijas valsts likumi un MK noteikumi.

Minētie dokumenti pieejami: http://www.lsua.lv/text.php?id=24&menu_id=9

Darba mērķis

Samazināt CO_2 emisiju, paaugstinot centralizētās siltumapgādes (CSS) efektivitāti, vadot un regulējot to ar promocijas darbā izstrādāto metodoloģiju.

CSS ir liels primāro energoresursu patērētājs un Latvijas klimatā ir būtiski samazināt primārās enerģijas patēriņu, uzlabojot komforta līmeni ēkās.

CSS efektivitātes nodrošināšanai ir nepieciešams, lai T2 atgaitas temperatūra siltumtīklā būtu zemāka, bet temperatūru starpība lielāka. Par šo tēmu ir veikti pētījumi Zviedrijā (*Ph.D.* Sven Werner, *Ph.D.* Justin N.W. Chin, *Dr.* Henrik Gadd), Dānijā (*Ph.D.* Hakan Ibrahim Tol, *Ph.D.* Maksym Kotenko) un Polijā (*Ph.D.* Sergey Anisimov). Atgaitas temperatūras ietekme uz CSS līdz galam nav izpētīta. Līdz šim laikam nav izdevies ar lineāru metodi aprakstīt atgaitas temperatūras izmaiņas pozitīvas āra gaisa temperatūras gadījumā. Šo jautājumu Latvijā ir pētījuši: profesors *Dr. habil. sc. ing.* N. Zeltiņš, LZA akadēmiķis, profesors *Dr. habil. sc. ing.* P. Šipkovs, profesors *Dr. habil. sc. ing.* J. Barkāns, profesors *Dr. habil. sc. ing.* E. Dzelzītis, LZA goda doktors *Dr. sc. ing.* Ā. Žīgurs, *Dr. sc. ing.* A. Cers, *Dr. sc. ing.* E.Vīgants, sociāli atbildīgos siltumapgādes aspektus, ņemot vērā mikroklimatu dzīvojamās telpās, ir pētījis *Dr. oec* J. Kurovs.

Turpgaitas un atgaitas temperatūru starpība (ΔT) pārvades sistēmās gada laikā parasti svārstās. Promocijas darbā ir pētīta saikne starp ΔT un āra gaisa temperatūru siltumenerģijas ražošanas avotos Rīgā. Promocijas darbā aprakstītais rūpnieciskais eksperiments ir veikts Rīgas Labā krasta siltumtīklos TEC-1 un TEC-2 siltumapgādes zonā.

Otrās kārtas polinoms precīzāk aproksimē sakarību starp ΔT un Tārg., sniedzot visaugstāko determinācijas koeficienta R2 vērtību. Izmantojot otrās pakāpes polinomu, sastādīts regresijas vienādojums un sniegta tā grafiskā interpretācija ar 95 % varbūtību.

Novitāte

Izstrādāta metodoloģija siltumenerģijas pilnīgai pārnesei no bioenerģijas izmantojošas CSS gala patērētājam, to regulējot pēc atgaitas temperatūras, bet atgaitas temperatūru noturot determinētā deviācijas joslā.

Praktiskā nozīme

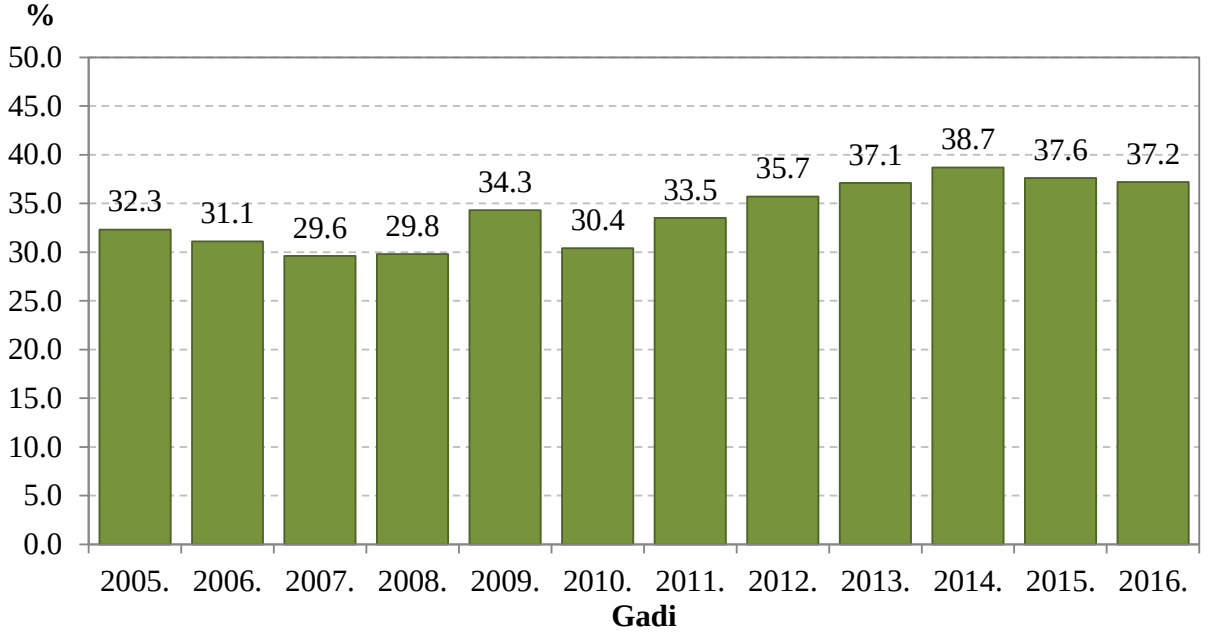
Metodoloģiju var lietot pilsētu CSS, balstoties uz vēsturiskiem datiem. Savukārt operatīvi un nepārtraukti sekojot aktuālajiem datiem, var pazemināt T2, tā samazinot siltumenerģijas zudumus pārvadē, elektroenerģijas patēriņu tīkla sūkņiem, siltumapgādes sistēmas enerģijas patēriņu, turklāt šādā gadījumā siltumenerģiju ražojošās iekārtas darbojas efektīvāk, samazinot CO_2 izmešu daudzumu un ietekmi uz apkārtējo vidi.

CSS sniedz plašas iespējas izmantot atjaunojamos energoresursus, vienlaicīgi samazinot CO_2 izmešu daudzumu, piemēram, plašāk par kurināmo lietot koksni, ģeotermālo siltumu vai saules starojumu. Izmantojot metodoloģiju CSS pārvades sistēmas efektivitātes palielināšanai, samazinās siltumenerģijas zudumi un primārās enerģijas patēriņš, kas palielina sistēmas pārvaldnieka konkurētspēju siltumenerģijas tirgū.

1. CENTRALIZĒTĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS PRIMĀRIE ENERGORESURSI

1.1. Atjaunojamie energoresursi

Pieaugošais pieprasījums pēc enerģijas, ierobežotie fosilā kurināmā krājumi, kā arī vides piesārņojums un globālās klimata pārmaiņas pēdējos gados radījušas pastiprinātu interesi par atjaunojamiem enerģijas avotiem. Tie ir saules, ūdens, vēja, biomasas un ūdens viļņu enerģija, plūdmaiņu enerģija utt. Svarīgākie atjaunojamie enerģijas avoti Latvijā ir koksnes biomasa, hidroenerģija un vēja enerģija. Pašlaik tiek pētītas ģeotermālās enerģijas izmantošanas iespējas. Atjaunojamo energoresursu īpatsvars kopējā energoresursu patēriņā laika periodā no 2005. līdz 2016. gadam atspoguļots 1.1. attēlā [1]. Kopējā tendence ir lēna, bet pieaugoša atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanās primārajā energoresursu patēriņā.



1.1. att. Atjaunojamās enerģijas īpatsvars kopējā enerģijas galapatēriņā [1]

Koksne ir viens no nozīmīgākajiem atjaunojamiem energoresursiem. Pieprasījums pēc enerģētiskās koksnes pasaulē nemitīgi pieaug un aktuāls ir jautājums par tās potenciālo pieejamību nākotnē. Enerģētiskās koksnes izmantošanai enerģētikā ir šādas priekšrocības:

1) <u>vietējas izcelsmes un atjaunojams produkts;</u>

Pēc Meža valsts reģistra datiem mežs Latvijā aizņem 3,02 miljonus hektāru lielu platību. [2]. Meža platību pieaugums prognozējams arī turpmāk, jo turpinās lauksaimniecībā neizmantoto zemju dabiskā aizaugšana, kā arī to mērķtiecīga apmežošana. Meža zemju kopējā krāja Latvijā ir 677 milj. m^3 [3]. Enerģētiskai koksnei iespējams izmantot kokapstrādes blakusproduktus, koksni no meža, koksni no ārpus meža zemēm, ciršanas atliekas. Līdzšinējos pētījumos ikgadējais potenciālais pieejamais apjoms tiek lēsts ap 10 milj. cieš. m^3 gadā. Lauksaimnieciskās izcelsmes biomasas potenciāls (salmi, ilggadīgie zālāji – zaļbarība, skābbarība, kukurūza – skābbarība un zaļbarība, pļavu un ganību siens u.c.) tiek lēsts apmēram

9,2 miljoni tonnu gadā. 2007. gadā Latvijā mežsaimnieciskās darbības rezultātā tika iegūti 9,2 milj. m^3 (± 18 %) enerģētiskās koksnes, no kuras mežistrādē – 3,5 milj. m^3, koksne ārpus meža – 0,1 milj. m^3, kokapstrādes blakusprodukti – 5,5 milj. m^3, lietota koksne – 0,1 milj. m^3 [4]. Enerģētiskās koksnes tehniski iegūstamais apjoms ir 2 480 378 t sausnas jeb 13 146 GWh gadā. Vidējā svērtā sausnas raža ir 18,1 t sausnas/ha. Koksnes sausnas sadegšanas enerģija ir 19,08 GJ/t sausnas [5].

2) samazina atkarību no fosilās enerģijas importa;

Ņemot vērā Latvijas klimatiskos apstākļus (apkures sezonas ilgums ~ 6 mēneši gadā), enerģijas bilancē primāro vietu ieņem siltumenerģijas ražošana (64 %). Šobrīd siltuma ražošanā koģenerācijas stacijās un centralizētajās siltumapgādes katlumājās dominē gāze, bet mājsaimniecībās – koksne. Latvijas siltumapgādē netiek pienācīgi izmantots vietējā kurināmā (biomasas) potenciāls, tā lietošanu var palielināt, jo resursu ir pietiekami. 2007. gadā Latvijā mazie energoresursu lietotāji patērēja 4,4 milj. m^3 koksnes, centralizētās siltumapgādes sistēmas 1,7 milj. m^3. 3,5 milj. m^3 enerģētiskās koksnes eksportēja (enerģētiskās koksnes apjomu vērtēšanas nenoteiktība ± 11 %) [4].

3) samazina siltumnīcefekta gāzu emisiju (SEG);

Koksnes biomasas izmantošanas intensificēšana ir būtisks nosacījums Eiropas Savienības jauno klimata mērķu sasniegšanai – siltumnīcefekta radītās gāzu emisijas samazināšana par 20 %, salīdzinot ar 1990. gadu Eiropā kopumā. Saskaņā ar klimata un enerģētikas tiesību aktu paketi paredzēts, ka emisijas kvotu tirdzniecības sistēmas (ETS) nozarēm līdz 2020. gadam emisija būs jāsamazina par 21 %, salīdzinot ar 2005. gadu. Nozarēs, kas nav ietvertas ETS, piemēram, enerģētika, atkritumu apsaimniekošana, transports un lauksaimniecība, Latvijai līdz 2020. gadam atļauts palielināt emisiju par 17 %, salīdzinot ar 2005. gadu. Faktiski prognozētais emisijas pieaugums sasniedz 50%, salīdzinot ar 2005. gadu. ETS sektorā būtiska būs enerģētiskās koksnes resursu izmantošanas palielināšana siltumenerģijas ražošanā, bet nozarēs ārpus ETS tā būs ne tikai koksne, bet visa pārējā biomasa, kas iegūstama no lauksaimnieciskās darbības gan siltuma un elektroenerģijas ražošanai, gan biodegvielas iegūšanai autotransportam. Diskusija par biomasas ilgtspējības kritērijiem ir aizsākta Eiropas Savienībā, ņemot vērā pirmās paaudzes biodegvielas nenovērtēto ietekmi uz vidi, bet diskusijas virzība Eiropas Padomē liecina, ka kritērijus varētu attiecināt uz biomasu kopumā. SEG emisijas samazinājumam, aizstājot fosilo kurināmo ar biokurināmo, jābūt vismaz 35 % (pēc 2017. gada – vismaz 50 %) [5].

4) dažādo enerģijas piegādi;

5) uzlabo tirgus bilanci, nodrošinot papildu darbavietas un ienākumus laukos;

Tiek lēsts, ka 0,7 milj. ha zemes platību šobrīd Latvijā netiek izmantotas. Šīs zemes potenciāla efektīva izmantošana var dot būtisku ieguldījumu enerģētikas sektorā un radīt papildus ~ 10–20 tūkstošus darbavietu.

6) vērā ņemama tautsaimniecības reorganizācija – samazinot zemas pievienotās vērtības produktu eksportu (papīrmalka, graudi, šķelda u.c.).

Koksnes biomasa ir nozīmīgākais vietējais kurināmais. Tās īpatsvars 2017. gada Latvijas primāro energoresursu bilancē sastādīja 31,2 % jeb 59,50 PJ no kopējā primāro energoresursu patēriņa [6]. Koksnes biomasu Latvijā izmanto centralizētajā, lokālajā un individuālajā

siltumapgādē, kā arī koģenerācijā. Lai arī Latvijā ir potenciāls koksnes biomasas izmantošanai enerģijas ražošanā, palielinoties koksnes biomasas pieprasījumam, samazināsies cenu priekšrocības koksnes biomasas izmantošanai dažādu produktu (celulozes, koksnes plātņu) ražošanā, salīdzinot ar tās lietojumu enerģijas ražošanā.

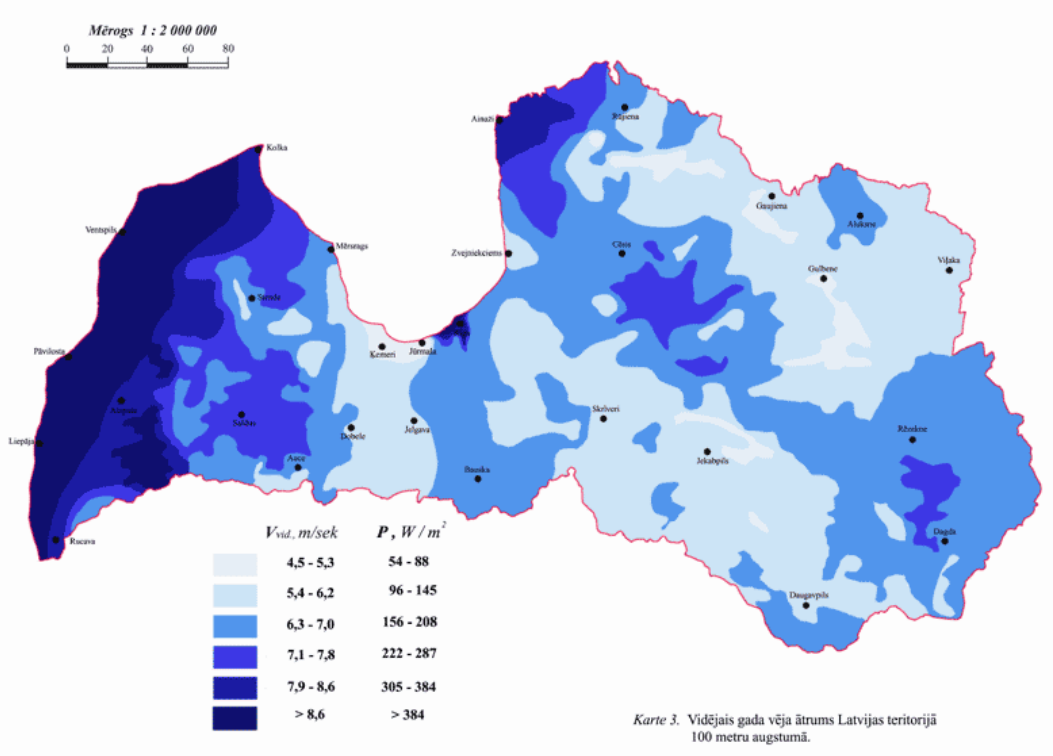
Koksnes biomasu kokrūpniecībai veido koka stumbrs un no tā iegūtie apaļie kokmateriāli jeb sortimenti, kas ir primārā izejviela, kā arī mežizstrādes atliekas – galotnes, zari, miza, celmi un saknes. Pārstrādājot apaļo sortimentu, kokrūpniecībā veidojas koksnes atliekas – skaidas, atgriezumi, nomaļi, serdeņi, lēveri, miza. Latvijā mežizstrādes un kokapstrādes atliekas izmanto galvenokārt par energoresursu granulu, šķeldas un brikešu ražošanai. Nozīmīgs koksnes energoresurss ir malka.

Latvijā liela daļa siltumapgādes uzņēmumu, īpaši lielajās pilsētās, enerģijas ražošanai izmanto importētos fosilos energoresursus, pamatā dabasgāzi, bet pēdējā laikā primārā energoresursu bilancē ir vērojama koksnes biomasas īpatsvara palielināšanās. Tajā pašā laikā mazākajās pilsētās un novadu centros siltumenerģijas ražošanai tiek izmantota vietējā enerģētiskā koksne – malka un šķelda. Pēdējos gados, aktualizējoties jautājumam par Latvijas energoneatkarību un kaitīgo izmešu daudzuma samazināšanu, arvien vairāk siltumenerģijas ražotāju plāno daļēji vai pilnīgi pāriet uz enerģijas ražošanu no enerģētiskās koksnes. Viens no šādiem uzņēmumiem ir Latvijas lielākais centralizētās siltumenerģijas ražotājs AS „RĪGAS SILTUMS”, kas tuvāko gadu laikā koksnes šķeldas īpatsvaru kurināmā gada bilancē palielinās no 2,5 % līdz 30,4 %.

Salīdzinoši vismazākais kapitālieguldījumu apjoms uz saražoto enerģijas daudzumu ir vajadzīgs hidroenerģijas iegūšanai [7]. Latvijā ir piemēroti apstākļi hidroenerģijas izmantošanai. Atsevišķas hidroelektrostacijas kopā ar enerģijas uzkrāšanu ūdenskrātuvēs, izmantojot elastīgas ražošanas iespējas no fosilajiem vai biogāzes energoresursiem, var izmantot arī par bāzes elektrostacijām. Hidroenerģijas attīstība rada neviennozīmīgu ietekmi uz vidi un apkārtējām ekosistēmām, taču modernās tehnoloģijas, kas nodrošina turbīnu darbību atbilstīgi upes caurteces režīmam, samazina šos riskus līdz minimumam. Latvijas vidējo un mazo upju hidroenerģijas resursi teorētiski ir 900 GWh elektroenerģijas gadā, neizmantojot Ventu, Lielupi un Gaujas vidus un lejas posmus. Praktiski lietojamie mazo upju hidroenerģijas resursi tiek lēsti 250–300 GWh elektroenerģijas gadā. Līdz šim apgūti tikai 70 GWh, tātad 23–28 % no agrāko ūdensdzirnavu un bijušo mazo HES potenciālās jaudas.

Savukārt vēja energoresursu sadalījums Latvijā ir izteikti nevienmērīgs (skat.1.2. attēlu). Latvijas vēju atlasā ir iezīmētas zonas ar dažādiem gada vidējo vēja ātruma intervāliem – no 2,8 m/s līdz pat vairāk par 5,4 m/s. Vēja turbīnas enerģiju sāk ražot, līdzko vēja ātrums sasniedz 2,5 m/s.

Latvijas iekšienē labvēlīgi vēja enerģijai ir tikai tie rajoni, kur vējš veidojas reljefa paaugstinājumu rezultātā. Latvijā vislielākais vēja ātrums ir Baltijas jūras un Rīgas jūras līča rietumu piekrastes ziemeļu daļā. Vēja ātrums šajās zonās ir 5,1–5,8 m/s. Latvijas iekšienē vēja potenciāls ir 1,5 TWh, bet izmantojamais vēja enerģijas potenciāls jūrā nav pilnīgi apzināts. Saskaņā ar prognozi 2020. gadā vēja enerģijas potenciāls selgā varētu sasniegt 95 MWh.



1.2. att. Latvijas vēju atlass (vidējais vēja ātrums gadā 100 m augstumā) [8]

Ģeotermālā enerģija pasaulē ir nākamā izplatītākā AER tehnoloģija pēc hidroenerģijas. Eiropas Savienībā ir apmēram 68 ģeotermālās centralizētās siltumapgādes sistēmas ar kopējo uzstādīto jaudu 1,85 GWth, kas 2013. gadā saražoja apmēram 11,7 TWh elektroenerģijas, un apmēram 237 ģeotermālās centralizētās siltumapgādes sistēmas ar kopējo uzstādīto jaudu 4,3 GWth, kas 2013. gadā saražoja apmēram 12883 GWh siltumenerģijas [9].

Latvijā galvenie ģeotermālie resursi ir saistīti ar pazemes ūdeņiem, kuru temperatūra pārsniedz 30 ^{o}C, un pamatklintāja karstajiem iežiem. Ģeotermālo ūdeņu izmantošanas iespējas saistās ar Elejas un Dienvidlatvijas ģeotermālajām anomālijām, kur temperatūra sasniedz 57 ^{o}C uz pamatklintāja Elejas rajonā un no 50 ^{o}C līdz 65 ^{o}C Baltijas jūras piekrastes daļā.

Ģeotermālās enerģijas izmantošana Latvijā ir perspektīva, jo ģeotermālās enerģijas izmantošana augstas efektivitātes apkures tehnoloģijās palīdz samazināt CO_2 emisiju, ļaujot daļēji atteikties no fosilā kurināmā un palielināt neatkarību no importēta kurināmā. Savukārt viens no pašlaik būtiskākajiem ierobežojumiem ģeotermālās enerģijas izmantošanai Latvijā ir samērā lielās investīcijas, kas nepieciešamas, lai ieviestu jaunus tehnoloģiskos risinājumus.

1.2. Fosilie energoresursi

2017. gadā naftas produktu kopējais patēriņš Latvijā sasniedza 1538 tūkst. tonnu jeb 65,81 PJ, lielākā daļa no kuriem – 1194 tūkst. tonnu (no tām 1000 tūkst. tonnu autotransportā) – tika izlietota transporta sektorā [6]. Termināli naftas produktu tranzīta nodrošināšanai pa jūras ceļiem Latvijā ir labi attīstīti (Rīga, Ventspils), kas ievērojami paplašina piegāžu daudzveidību un palielina konkurenci. Naftas produktu piegādes kanāli ir pietiekami diversificēti – naftas produktus Latvijai piegādā gan no Austrumu, gan Rietumu tirgiem. Latvijā darbojas

starptautiskas naftas mazumtirdzniecības kompānijas, kas naftu un naftas produktus var iepirkt dažādos pasaules reģionos. Ievest Latvijā autobenzīnu un dīzeļdegvielu vairumtirdzniecības un mazumtirdzniecības vajadzībām iespējams no vismaz desmit naftas pārstrādes uzņēmumiem 1000–1500 km rādiusā. Naftas produktu cauruļvads no Samāras Krievijā un Novopolockas Baltkrievijā ļauj transportēt dīzeļdegvielu, piegādājot to arī Ilūkstē un Ventspilī.

Latvijai ir potenciāls ogļūdeņražu ieguvei. Kā sauszemē, tā arī Baltijas jūrā kopā ir atklātas apmēram 35 ogļūdeņražu iegulas, daļu no tām pašreiz veiksmīgi izstrādā. Līdz šim Latvijā ir atklāta viena naftas atradne (Kuldīgas) un vairākas nelielas naftas iegulas. Daudzviet naftas meklēšanas un izpētes urbumos novērotas naftas pazīmes iežu porās vai plaisās.

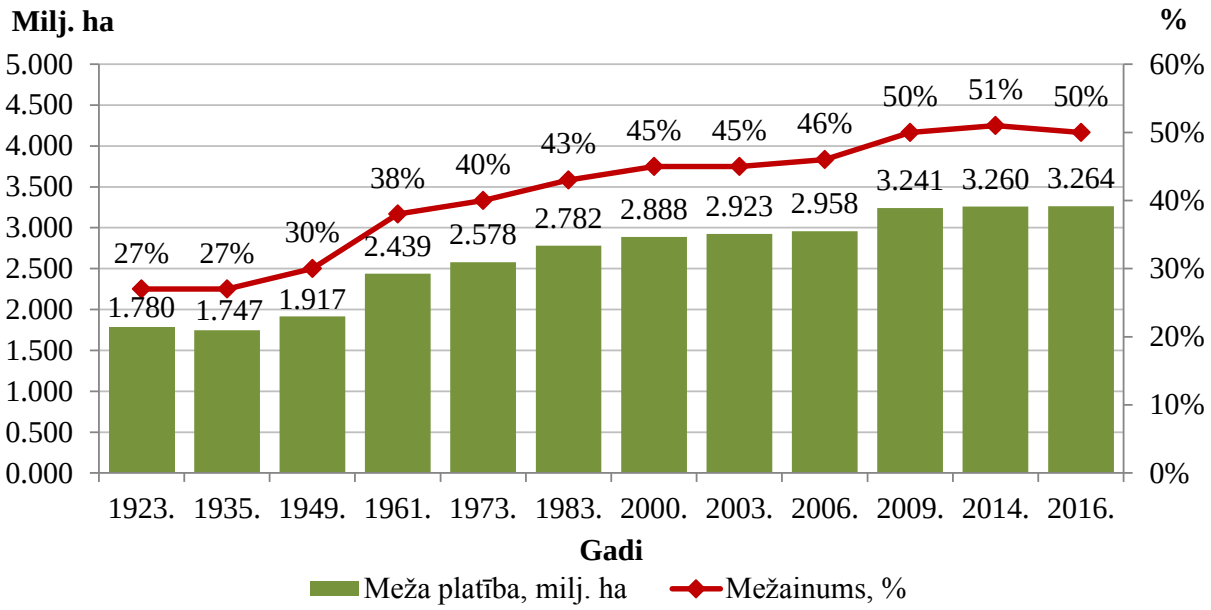
Dabasgāzei ir nozīmīga vieta Latvijas primāro energoresursu struktūrā. 2017. gadā tā aizņēma 21,7 % jeb 41,33 PJ no kopējā primāro energoresursu patēriņa. 2017. gadā Latvijā dabasgāzes kopējais patēriņš bija 1209 milj. m^3. Piecu gadu laikā dabasgāzes patēriņa īpatsvars samazinājies par 5,2 procentpunktiem. Lielākā daļa dabasgāzes – 789 milj. m^3 jeb 65,3 % – izlietota pārveidošanas sektorā, tajā skaitā 711 milj. m^3 patērēti elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanai koģenerācijā, bet 69 milj. m^3– siltumenerģijas ražošanai katlumājās. Mājsaimniecību sektorā 2017. gadā izlietoti 137 milj. m^3 dabasgāzes jeb 11,3 % no kopējā Latvijas dabasgāzes patēriņa, rūpniecībā – 132 milj. m^3 (10,9 %) un pārējos sektoros – 151 milj. m^3 (12,5 %) [6].

Galvenais dabasgāzes piegādes ceļš Latvijas patērētājam ir maģistrālie gāzesvadu tīkli, kas atzarojas no Jamalas – Eiropas gāzesvada Tveras apgabalā Krievijā, nogādājot gāzi uz Sanktpēterburgu, Pleskavu un tālāk uz Igauniju, Latviju. Baltijas valstu maģistrālie dabasgāzes tīkli ir labi attīstīti un to spēju nodrošināt stabilas piegādes garantē arī Inčukalna pazemes gāzes krātuve, kuras ietilpība ir 2,32 miljardi m^3 aktīvās gāzes. No 2015. gada dabasgāzes piegāde ir iespējama arī no Klaipēdas (Lietuva) sašķidrinātās dabasgāzes termināla.

Atlikušo daļu Latvijas primāro energoresursu struktūrā veido elektroenerģijas neto imports, kā arī kūdra, ogles, kokss un atkritumi. Zināms potenciāls ir kūdras ieguvei. Enerģētiskās kūdras ieguvi jau sagatavotās kūdras atradnēs, kuru izstrādes uzņēmumiem ir spēkā esošas licences, var sākt apmēram 4000 ha platībā, iegūstot vismaz 700 tūkst. tonnas enerģētiskās kūdras gadā [10]. Latvijā šobrīd darbojas vismaz 324 ūdens sildkatli, kuros iespējams līdzsadedzināt kūdru. Siltumenerģijas ražošanai var izmantot apmēram 462 tūkst. tonnu kūdras gadā. Tajā pašā laikā, izmantojot kūdru par kurināmo, varētu pasliktināties vides kvalitāte, kas būtu pretrunā ar siltumnīcefekta gāzes emisijas samazināšanas mērķiem, īpaši nepieļaujami tas būtu blīvi apdzīvotajās vietās.

1.3. Pieejamie koksnes biomasas resursi

Latvija pieskaitāma pie mežiem bagātām valstīm, pēc mežainuma ierindojoties ceturtajā vietā Eiropas Savienībā. Mūs apsteidz vien Somija, Zviedrija un Slovēnija [16]. Kopš 1923. gada Latvijas meža platība gandrīz dubultojusies (sk. 1.3. attēlu).



1.3. att. Meža platību izmaiņu dinamika [3]

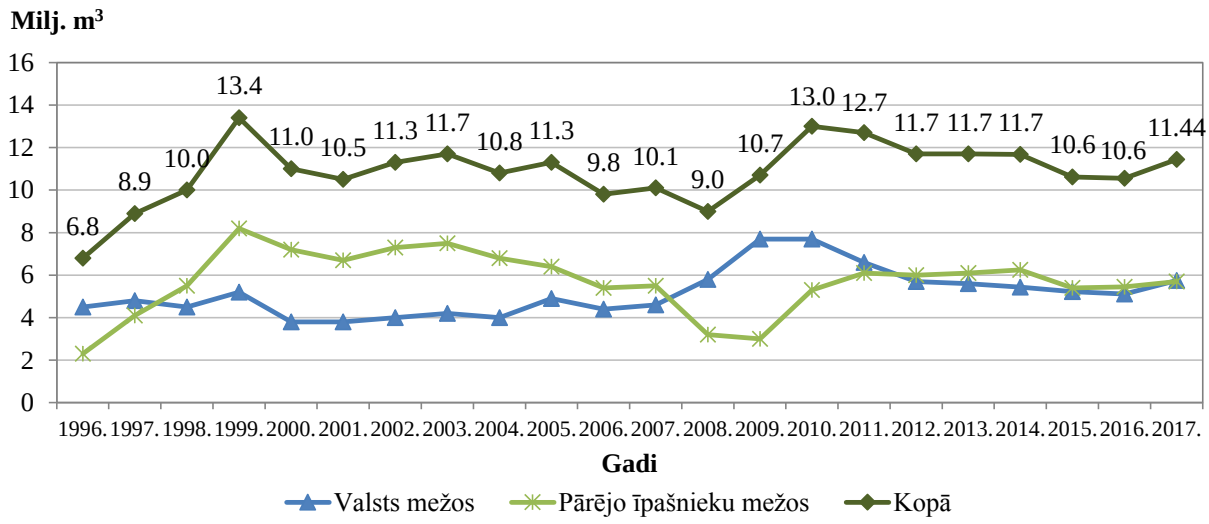
Saskaņā ar Latvijas Republikas Meža politiku (1998.) meži Latvijā var piederēt valstij, pašvaldībām un fiziskām vai juridiskām personām. Pēc Meža Valsts reģistra datiem mežs Latvijā aizņem 3,02 miljonus hektāru lielu platību. Valstij pieder 1,48 miljoni hektāru jeb 49 %, savukārt 51 % jeb 1,53 milj. ha pieder pārējiem īpašniekiem un pašvaldībām [2].

Lielu ietekmi uz meža īpašumtiesību sadalījumu atstājusi Zemes reforma – īpašumtiesību atjaunošana uz meža zemēm, kas tika realizēta pēc 1990. gada. Zemes reformas rezultātā Latvijā radās vairāk nekā 170 000 privāto mežu īpašumu. Arī patlaban privāto meža īpašnieku skaits Latvijā ir viens no lielākajiem Eiropā. Šobrīd Latvijā puse meža platību ir apmēram 150 000 privāto meža īpašnieku, uzņēmumu, pašvaldību un baznīcu īpašumā. Ievērojamais meža īpašnieku skaits tādai teritorijas ziņā nelielai valstij kā Latvija nozīmē relatīvi nelielus meža īpašumus. Pēc oficiālās statistikas vidējā viena meža īpašuma platība Latvijā nepārsniedz 10 hektārus.

Pateicoties mērķtiecīgai mežsaimnieciskai darbībai un meža platību palielināšanās tendencei, kopējais mežā uzkrātās koksnes krājas apjoms nemitīgi palielinājies un 2014. gadā pārsniedza 668 miljonus kubikmetru.

Pēdējā desmitgadē Latvijā vidēji ik gadu tiek iegūti apmēram 10–12 miljoni kubikmetru koksnes. No 1998. līdz 2008. gadam lielākā daļa koksnes tika iegūta privātajos mežos, taču, sākoties ekonomiskajai krīzei, koksnes pārdošanas cenas būtiski pazeminājās, līdz ar to samazinājās arī koksnes ieguves apjoms privātajos mežos. Lai glābtu kokrūpniecības nozari un saglabātu darbavietas, tika pieņemts lēmums 2009. un 2010. gadā palielināt ciršanas apjomu valsts mežos par 2 miljoniem kubikmetru.

Pēc Valsts meža dienesta sniegtās informācijas 2017. gadā Latvijā izcirsti 11,44 miljoni kubikmetru koksnes (sk. 1.4. attēlu), no kuriem 5,75 miljoni iegūti valsts mežos, bet 5,69 miljoni privāto meža īpašnieku, pašvaldību un citu īpašnieku mežos. Salīdzinot ar 2016. gadu, iegūts par 8 % kubikmetru koksnes vairāk, šis palielinājums ir izskaidrojams galvenokārt ar zemas kvalitātes koksnes realizācijas iespējām.



1.4. att. Izcirstās koksnes apjoms Latvijā [17]

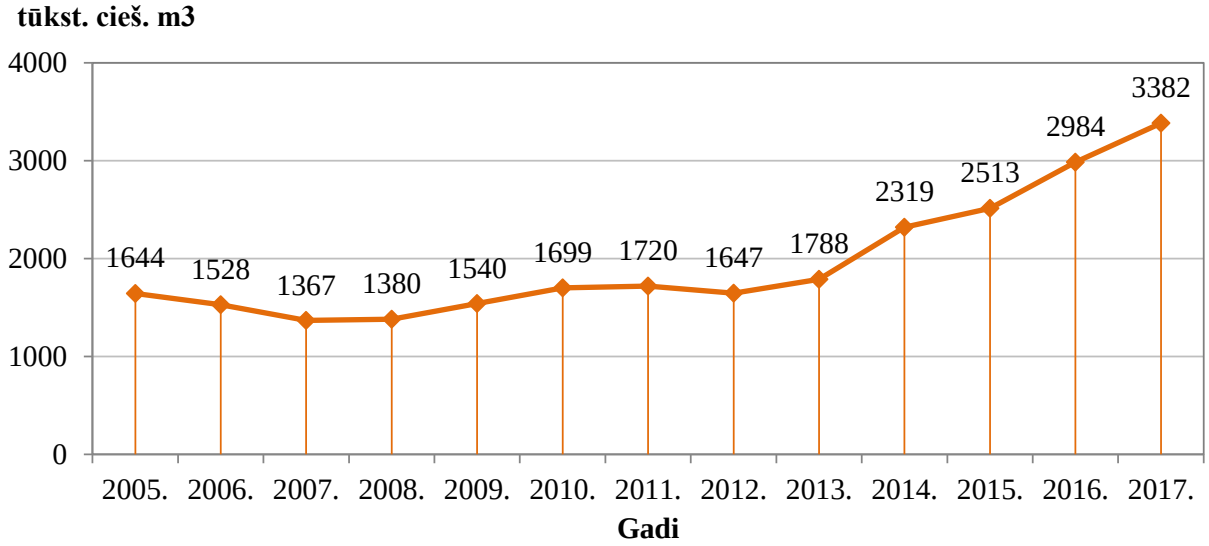
Provizoriskā informācija par plānotajiem koksnes ciršanas apjomiem tuvākajos piecos gados liecina, ka būtiskas pārmaiņas koksnes resursu piegādēs nav gaidāmas. Tomēr jāsaka, ka gaidāmas izmaiņas, kas saistītas ar koksnes krājas vērtējumu un vecuma struktūras pārmaiņām. Ilgākā laika periodā (2020.–2030. gadā) Latvijā ir iespējama pieejamās koksnes biomasas apjoma pakāpeniska pārskatīšana, to palielinot. Maksimāli pieejamā ciršanas apjoma pārmaiņas saistītas ar turpmāk minētajiem faktoriem.

- Precizējumi koksnes krājas pieauguma uzskaitē. Latvijas Valsts Mežzinātnes institūta „Silava" pētījumu rezultāti [18] apstiprina pieņēmumu, ka koksnes krājas pieaugums pirmajā ciklā pārsniedz pašlaik pieņemto līmeni par 20–30 % un sastāda potenciālo pieaugumu 25–27 m^3 apmērā. Monitoringa dati parāda arī lielāku nocirsto koku kopējo apjomu – tie varētu sasniegt pat no 13 līdz 15 milj. kubikmetru.
- Pāraugušās koksnes īpatsvars Latvijā palielinās un ik gadu koksnes krājumi augošā mežā palielinās apmēram par četriem miljoniem kubikmetru. Kopējais koksnes uzkrājums pāraugušās audzēs saimnieciskajos mežos, kas ir ārpus aizsargājamām teritorijām, sasniedzis no vismaz 200 līdz 250 milj. kubikmetru no kopējās krājas, kas ir 583 milj. m^3. Pieaugošā koksne jāizstrādā, lai meži nezaudētu savu ekonomisko vērtību. Vecuma un sugu struktūra norāda uz zemas kvalitātes lapkoku koksnes ciršanas apjoma būtisku pieaugumu.

Kopš 2004. gada koksnes biomasas ražošanas apjoms Latvijā palielinājies. Līdz 2009. gadam kurināmās koksnes ražošanas apjoms nepārsniedza 9,0 milj. m^3, ko noteica relatīvi nelielais vietējās enerģētikas nozares pieprasījums. Pēc 2009. gada kurināmās koksnes ražošanas apjoms stabilizējās 9–10 milj. m^3 līmenī, ko veicināja vietējā pārveidošanas sektora pieprasījuma kāpums, kas sākotnēji bija saistīts ar sarežģītiem laika apstākļiem, kā rezultātā 2009./2010. gada un 2010./2012. gada apkures sezonā palielinājās siltumenerģijas patēriņš. Pēc tam pieprasījumu pozitīvi ietekmēja jaunie kurināmās koksnes izmantošanas projekti pārveidošanas sektorā. Tendences dažādu enerģētiskās koksnes produktu ražošanā atšķīrās.

1.3.1. Šķeldas ražošanas apjoms

Kurināmās šķeldas ražošanas apjoms Latvijā pakāpeniski pieaug un salīdzinājumā ar 2008. gadu ir gandrīz dubultojies, 2017. gadā sasniedzot 3,3 milj. m^3. Ražošanas apjoma kāpums ir saistīts ar vietējo patērētāju aizvien lielāko interesi par šo sortimentu. Šķeldas ražošanai tiek izmantota malka, mežizstrādes atlikumi un pēdējos gados arī aizaugošās lauksaimniecības zemēs iegūtā koksne. Šķeldas ražošanas apjoma pieaugumu skatīt 1.5. attēlā [29].



1.5. att. Šķeldas ražošanas dinamika Latvijā no 2004. līdz 2017. gadam (tūkst. m^3) [29]

Lai datu grafiskajā attēlojumā būtu labāk redzamas aktuālās tendences, vērtību skala vairumā gadījumu nesākas no nulles, bet tās sākumpunkts tuvināts minimālajām datu sērijas vērtībām.

Informācija par kurināmās šķeldas ražošanas apjomu pa sortimentiem (meža šķelda un industriālās jeb malkas šķelda) netiek oficiāli apkopota, tomēr pieejamā informācija par atsevišķiem uzņēmumiem ļauj izdarīt secinājumus par šķeldas izcelsmi un ražošanas apjoma sadalījumu pa veidiem.

Latvijā aizvien aktīvāk tiek izmantota meža (mežsaimniecības atlikumu) šķelda. Viens no lielākajiem šīs kurināmās koksnes sortimenta piegādātājiem ir AS „Latvijas valsts meži", kas meža šķeldu iegūst no apsaimniekošanā esošajiem mežiem, kur tās ražošanai izmanto ciršanas atliekas (92 %), meliorācijas sistēmu apaugumu (5 %) un celmus.

Vēl viens pašvaldības mežu apsaimniekotājs – AS „Rīgas Meži" patērētājiem piegādā ievērojami mazāku kurināmās koksnes apjomu. Pēc uzņēmuma sniegtās informācijas [19] ikgadējais ciršanas apjoms pieaudzis no 117 tūkst. m^3 līdz 180 tūkst. m^3 2013.–2016. gadā. Ievērojot to, ka koksnes atlikumi vidēji veido līdz 10 % no ciršanas apjoma, maksimālais iegūtais meža šķeldas apjoms sastāda 18 tūkst. m^3/gadā, bet faktiski iegūtais apjoms ir par 40–60 % mazāks. Jāatzīmē, ka AS „Rīgas Meži" no 2013. gada ražo arī, tā saucamo balto (nomaļu) šķeldu.

Ne mazāk svarīgi ir vēl divi mežu šķeldas ražošanas avoti: meža šķelda no privātiem mežiem un zaru/krūmu šķelda no lauksaimniecībā neizmantotām zemēm un apauguma. Līdz ar straujo pieprasījuma kāpumu pēdējos divos gados ražošana jūtami aktivizējusies abās iepriekš minētajās grupās, bet statistiskie dati šajā segmentā nav pieejami, tāpēc ražošanas apjoma novērtēšanai izmantoti ekspertu vērtējumi un šādi pieņēmumi:

- ievērojot privātajos mežos nocirstās koksnes apjomu 2017. gadā, kas ir 5,69 milj. m^3, un mežizstrādes atlikumu īpatsvaru, kas ir 5 %, kopējais privātajos mežos iegūtais meža šķeldas apjoms ir 270 tūkst. m^3 gadā. Saražotās meža šķeldas apjoms privātajos mežos nākamajos gados var pieaugt, jo vēl pastāv plašas darba un loģistikas optimizācijas rezerves;
- ievērojot to, ka Latvijā lauksaimniecībā neizmantotās zemes platības jau vairāk nekā 20 gadus sastāda ne mazāk par 0,3 milj. ha un saimnieciskā darbība šajās zemēs netiek regulēta ar Meža likumu, šķeldas ražošanas apjoms ir pietiekami augstā līmenī un sastāda 200–250 tūkst. m^3 gadā. Tomēr turpmāk lauksaimniecībā neizmantotās zemes kā šķeldas avots jāizskata piesardzīgi, jo iespējamās likumdošanas izmaiņas var būtiski ierobežot koksnes resursu iegūšanu šajās zemēs.

No 2013. gada lielāko daļu šķeldas ražošanas apjoma veido industriālā kurināmā šķelda. Tā tiek ražota no malkas un zemas kvalitātes koksnes, piegādājot to šķeldas pārveidošanas sektoram vai granulu ražošanas uzņēmumiem. Balstoties uz CSP [30] sniegtajiem Latvijas energobilances datiem par kopējo šķeldas ražošanas apjomu un iepriekš pētījumā aprēķināto apjomu, jāsecina, ka industriālās šķeldas ražošanas apjoms ir apmēram 1,9 milj. m^3.

Tiek prognozēts, ka koksnes resursu piedāvājums laika periodā no 2018. līdz 2020. gadam Latvijā nemainīsies. Pēc 2020. gada iespējams, ka situācija mainīsies, jo to var ietekmēt vairāki faktori, no kuriem minēsim dažus būtiskākos:

- mežizstrādes pieļaujamā apjoma pārskatīšana, ievērojot pāraugošo mežu koksnes mobilizācijas pasākumus;
- izmaiņas ES budžetā 2020.–2027. gada plānošanas periodam, iespējams, samazinās maksājumus un citas dotācijas lauksaimniecības sektoram, kas savukārt var mazināt lauksaimniecības zemju īpašnieku vēlmi veikt kopšanas darbus kokaudzēs.

Iepriekš minētās izmaiņs var radīt apaugumu šķeldas piedāvājuma samazinājumu, kas jāaizvieto ar lielāku mežizstrādes atlieku piedāvājumu.

Latvijā ar katru gadu pieaug to katlu māju skaits, kurās par kurināmo izmanto šķeldu. Tomēr pēdējos gados ir mainījusies motivācija – var uzskatīt, ka līdz 2011. gadam šķeldas katlu māju skaits pieauga, pateicoties esošo ar koksni kurināmo katlu māju modernizācijai, piemēram, laika periodā no 2007. līdz 2011. gadam šķeldas katlu māju skaits pieauga no 46 līdz 85, vienlaicīgi samazinoties ar malku kurināmo katlu māju skaitam – no 171 līdz 130. Tāpēc šī tendence praktiski neietekmēja kopējo koksnes patēriņu pārveidošanas sektorā. Savukārt no 2012. gada modernizācija pārsvarā skāra centralizētās siltumapgādes sistēmas un koģenerāciju, kur vecās enerģētiskās iekārtas, kurās līdz šim par kurināmo izmantoja citus energoresursus – dabas gāzi un/vai naftas produktus – tika aizstātas ar jaunajiem šķeldas katliem. Pateicoties tam, salīdzinot ar 2011. gadu, kurināmās šķeldas patēriņš ir pieaudzis 3,7 reizes – no 600 tūkst. m^3 līdz 2232 m^3 (sk.1.1. tabulu).

1.1. tabula

Kurināmās šķeldas patēriņš Latvijā pa patēriņa vietām no 2010. līdz 2017. gadam tūkstošos m^3 [29]

Gads	Rūpniecība	Pārveidošanas sektors
2010.	262	659
2011.	320	600
2012.	348	764
2013.	437	1175
2014.	452	1394
2015.	591	1509
2016.	473	1867
2017.	556	2232

Saskaņā ar CSP datiem [30] 2012. gadā šķeldas katlu māju jauda palielinājās par 139 MW, 2013. gadā – par 148 MW, laikā no 2014. gada līdz 2017. gadam – par apmēram 86 MW. Tā rezultātā kopējā šķeldas katlu māju jauda, salīdzinot ar 2011. gadu, ir dubultojusies un pārsniedz 900 MW līmeni (sk.1.2. tabulu). Tiek prognozēts [29], ka, realizējot jaunos ieplānotos projektus (sk.1.4. tabulu), laika periodā no 2018.līdz 2020. gadam šķeldas katlu māju jauda pieaugs vēl par 73 MW.

Pateicoties minētajai pēdējo gadu tendencei, samazinās Latvijas atkarība no importētajiem energoresursiem un uzlabojas valsts ārējās tirdzniecības bilance, ļaujot saglabāt zemākus siltumenerģijas tarifus attiecīgo pilsētu iedzīvotājiem un dodot papildu ieņēmumus Latvijas tautsaimniecībā (meža īpašnieki, mežizstrādes pakalpojumu sniedzēji, transporta sektors u.c.).

1.2. tabula

Šķeldas KM skaita un uzstādītās siltumenerģijas jaudas izmaiņas 2010.–2017. gadā [29]

Gads	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Ar šķeldu kurināmo katlumāju skaits	85	85	112	109	118	124	128	131
Uzstādītā siltumenerģijas jauda, MW	389,8	405,6	544,6	692,6	819	838	842	905

1.3. tabula

Kurināmās šķeldas pieprasījuma prognoze pa lietotāju grupām no 2015. līdz 2023. gadam miljonos cieš. m^3 [29]

Gads		2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2023.
Patēriņš pārveidošanas sektorā	Vēsturiskie dati no CSP+DH/CHP, jaunie projekti	1,51	1,86	2,23	2,42	2,49	2,5	2,6
Uzņēmumu pašpatēriņš	Vēsturiskie dati no CSP+, jaunie projekti	0,59	0,47	0,55	0,59	0,6	0,65	0,65
Kurināmās šķeldas patēriņš		2,1	2,33	2,78	3,01	3,09	3,15	3,25

1.4. tabula

Jaunie centralizētās apkures (pārveidošanas sektors) projekti laikā no 2017. līdz 2023. gadam [29]

Nr. p.k.	Nosaukums	Siltuma ģenerācijas nominālā jauda, MW	Elektrības ģenerācijas nominālā jauda, MW	Darbības sākuma gads	Paredzamais šķeldas patēriņš, tūkst. cieš. m^3
1.	*Eko NRG*	11	3	2017	
2.	*Eco Energy Riga*	14	n/d		
3.	*Energia Verde*	22	4	2017	80
4.	*Rīgas Bioenerģija* (Rīga, Rencēnu iela)	48	-	2017	140
5.	*Rīgas Enerģija*	16	4	2018	90
6.	*Rīgas Bioenerģija* (Rīga, Kurzemes rajons)	48	-	2019	140
7.	*Valmieras Enerģija*	7	2	2020	
8.	*Krāslavas Namsaimnieks*	2	-	2020	
9.	*RĪGAS SILTUMS*, SC *Imanta*	40	-		

1.5. tabula

Kurināmu šķeldu eksporta un importa dinamika Latvijā no 2004. līdz 2017.gadam, tūkstošos cieš.m^3 [29]

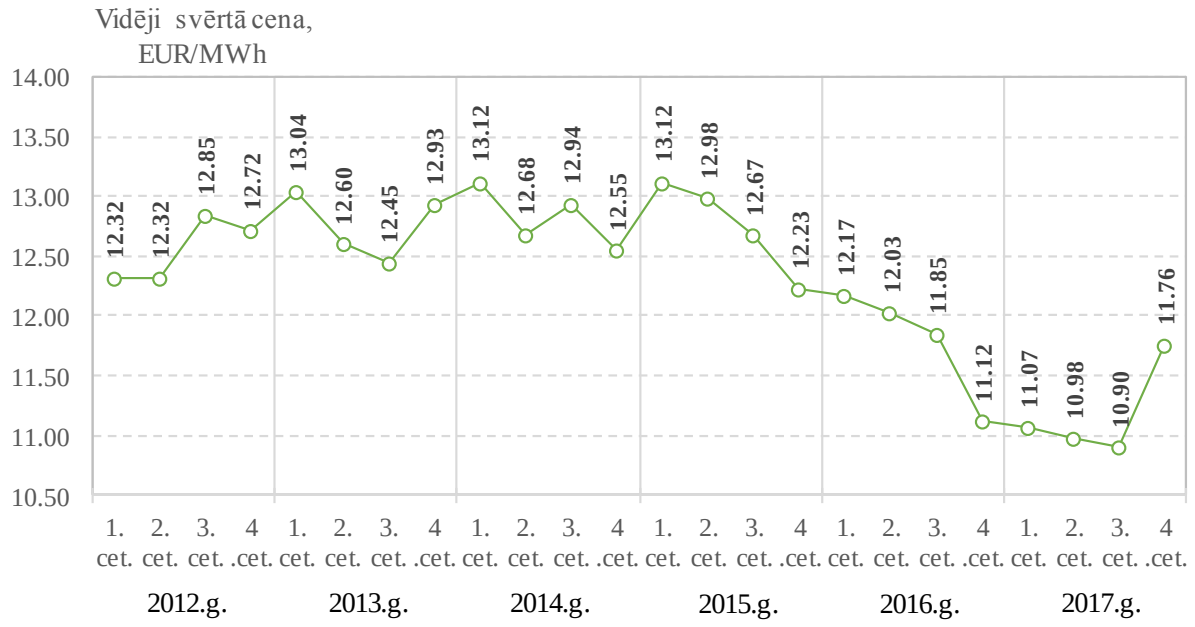
Gads	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Eksports	585	880	702	558	504	463	662	599	511	473	430	391	711	722
Imports	1	12	13	8	10	9	-	0	29	72	64	88	n.d.	123

Prognozes pamatotas ar šādiem pieņēmumiem:

- mežizstrādes apjoms un blakus produktu ražošanas apjoms kokrūpniecībā nemainīsies, neietekmējot bilanci;
- tiks realizēti ieplānotie projekti pārveidošanas un rūpniecības sektorā (sk. 1.4. tabulu);
- atkārtosies situācija, kad, pieaugot vietējam pieprasījumam, nepieciešamie resursi tiks iegūti, aizvietojot eksportam piedāvāto kurināmās koksnes apjomu.

Ņemot vērā iepriekš uzskaitītos pieņēmumus, jāsecina, ka kurināmās šķeldas pieprasījums enerģijas ražošanas vajadzībām laika periodā no 2018. līdz 2023. gadam pieaugs no 2,78 līdz 3,25 milj. cieš. m^3, t.i., par 16 % jeb 0,47 milj. m^3. Lielākais pieprasījuma pieaugums būs Rīgas reģionā, kur koncentrēta lielākā daļa no jaunajām jaudām pārveidošanas sektorā. Tomēr,

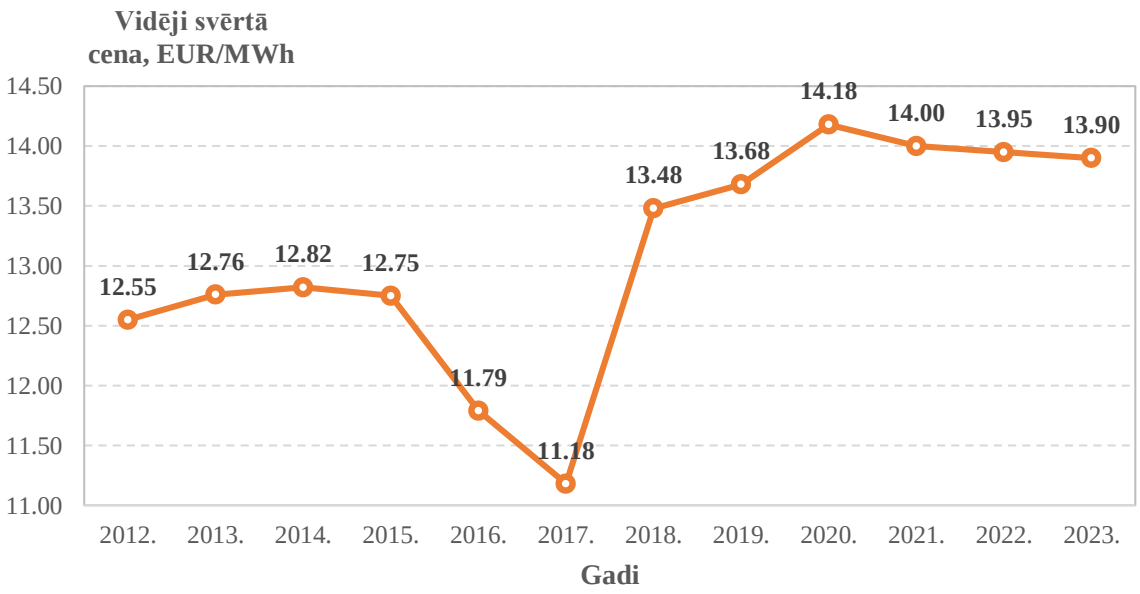
neskatoties uz pieprasījuma pieaugumu, Latvijai vēl joprojām būs iespēja arī eksportēt kurināmo koksni, bet mazākā – pēc provizoriskiem aprēķiniem 0,2–0,3 milj. m^3 – apjomā.



1.6. att. Kurināmās meža šķeldas cenu (ar piegādi pircējam) dinamika Latvijas pārveidošanas sektorā, EUR/MWh [29]

Meža nozares informācijas centrs kopš 2012. gada veic kurināmās šķeldas cenu monitoringu pārveidošanas sektorā. Pieaugot pieprasījumam, no 2013. līdz 2014. gadam tika novērots meža šķeldas vidējo cenu kāpums, tām sasniedzot 12,5–13,0 EUR/MWh. Sākot ar 2015. gadu, tika novērots cenu samazinājums, kas ieilga līdz 2017. gadam. Meža šķeldas vidējās cenas šajā periodā samazinājās par 15–20 % atkarībā no reģiona. Tendence tika novērota, neskatoties uz siltuma ražošanas jaudu kāpumu pārveidošanas sektorā, kas liecina par to, ka līdz šim brīdim resursam bija augsta pieejamība un ražošanas apjomu bija salīdzinoši viegli kāpināt.

No ekonomiskā viedokļa kurināmās koksnes ražošanas cenu kāpums Latvijā ir saistīts galvenokārt ar loģistikas/uzkrājumu sistēmas pilnveidi, ko nosacīti var nosaukt par koksnes mobilizācijas izmaksām. Izdarot sprēķinus, secināts, ka koksnes resursu mobilizācijas izmaksas ir 0,5 EUR/MWh. Līdz 2020. gadam visticamāk saglabāsies augsts šķeldas pieprasījums un cenas Ziemeļvalstu tirgos, kas saistīts ar atsevišķu kurināmās koksnes pārveidošanas sektora projektu realizāciju, kā arī ar kopējo nenoteiktību ES enerģijas resursu tirgū. Tomēr pēc 2021. gada, stabilizējoties resursu piegādēm (*Nord Stream-2* u.c.) un stājoties spēkā jaunajiem cenu veidošanas mehānismiem ES tirgū, šo faktoru ietekme visticamāk samazināsies. Savukārt Latvijā OIK un citu atbalsta maksājumu pārskatīšana var samazināt koģenerācijas staciju maksātspējīgo pieprasījumu. Ņemot vērā iepriekš minētos faktorus, pēc 2021. gada aprēķinu modelī ir ielikts mērens cenu samazinājums.



1.7. att. Kurināmās meža šķeldas iepirkuma cenu (ar piegādi pircējam) dinamika un prognozes līdz 2023.gadam, EUR/MWh [29]

2. SILTUMENERĢIJAS RAŽOŠANAS EFEKTIVITĀTES PALIELINĀŠANAS IESPĒJAS

2.1. Kurināmā izmantošanas efektivitātes palielināšanas iespēju vērtējums siltumenerģijas ražošanas procesā

2.1.1. Kombinētā ciklā ražotās siltumenerģijas lietojums CSS

Viens no veidiem, kā visizdevīgāk izmantot kurināmo, ir kombinēta siltuma un elektroenerģijas ražošana jeb koģenerācija. Koģenerācijas stacijās tiek izmantots par 30–40 % mazāk kurināmā, nekā ražojot siltumenerģiju un elektroenerģiju atsevišķi. Koģenerācijas energoefektivitāte parasti ir par 40 % augstāka, salīdzinot ar abu enerģijas veidu atsevišķu ražošanu, ja elektroenerģija tiek ražota kondensācijas iekārtās, bet siltumenerģija – ūdens sildkatlos, lietojot vienu un to pašu kurināmo. Tādēļ, modernizējot katlumājas vai siltumcentrāles, iekārtu izvēlē priekšroka tiek dota koģenerācijai. Koģenerācija – pēc 2004/8/EC direktīvas ir siltumenerģijas un elektroenerģijas vienlaicīga ražošana vienotā procesā.

Par koģenerāciju neuzskata:

- siltumenerģijas ražošanu ūdens sildkatlos;
- siltumenerģijas ražošanu tvaika boileros (maksimuma slodzes siltummaiņos);
- elektroenerģijas ražošanu kondensācijas režīmā;
- elektroenerģijas vai siltumenerģijas ražošanu, izmantojot pēcdedzes iekārtas.

Koģenerācijas elektroenerģija ir enerģija, kas saražota koģenerācijas iekārtās proporcionāli lietderīgajam siltumenerģijas pieprasījumam. Lietderīgais siltums ir enerģija, kas saražota koģenerācijas procesā, lai apmierinātu ekonomiski pamatotu siltuma un dzesēšanas pieprasījumu. Rīgā ir gan lielas elektroenerģijas un siltumenerģijas koģenerācijas stacijas (termoelektrocentrāles TEC-1 un TEC-2 ar vairāk nekā 1000 MW_{th}), gan vidēja lieluma (ap 400 MW_{th}), kā arī mazākas jaudas (līdz 100 MW_{th}) katlumājas siltuma ģenerācijai, kas atbilst visām pārējām trim iedalījuma grupām. Viena no galvenajām lielu TEC priekšrocībām ir iespēja ražot elektroenerģiju un siltumenerģiju koģenerācijas ciklā ar augstu kopējo efektivitāti. Kopējā efektivitāte ir gadā saražotās elektroenerģijas un lietderīgās siltumenerģijas summas attiecība pret kopējo kurināmā daudzumu, kas izmantots enerģijas ražošanai koģenerācijas režīmā (2.1.):

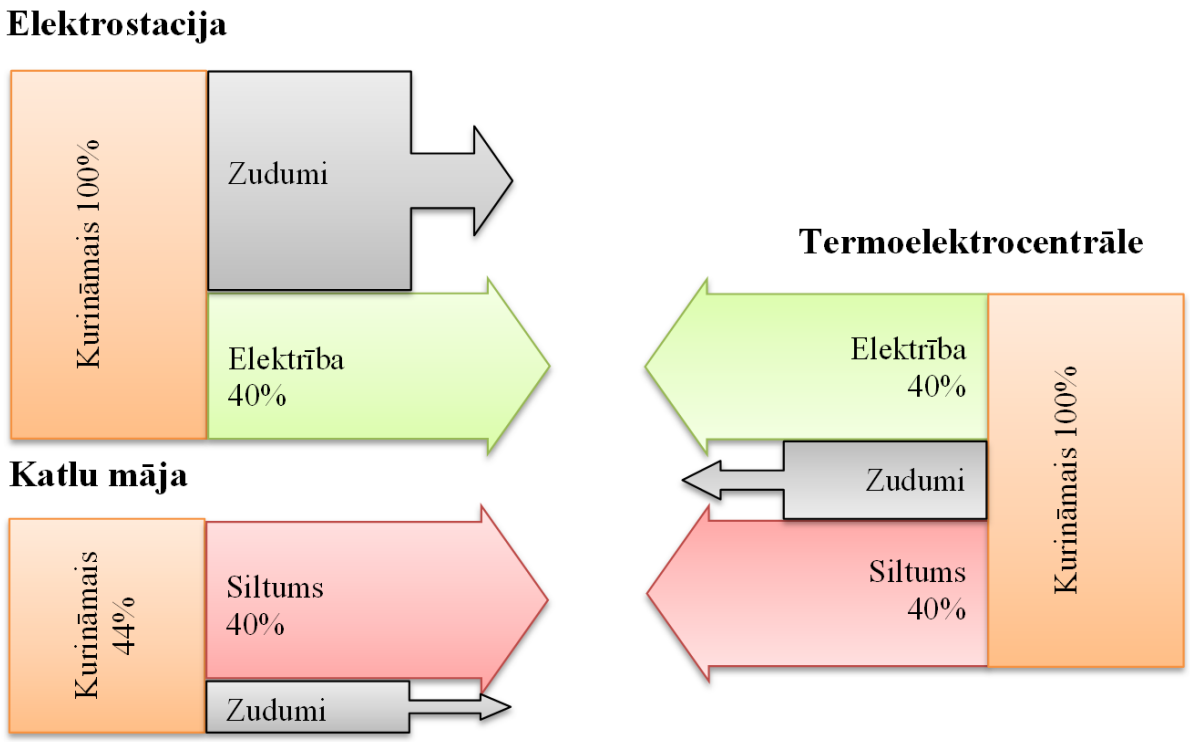
$$\eta_{TEC} = \frac{E_{TEC}+Q_{TEC}}{B_{TEC}}, \qquad (2.1.)$$

kur E_{TEC} – koģenerācijas elektroenerģija;

Q_{TEC} – koģenerācijas režīmā saražotā siltumenerģija;

B_{TEC} – kurināmā patēriņš koģenerācijas iekārtās.

Augstas efektivitātes koģenerācija ir tā, kas, salīdzinot ar dalīto ražošanu, ļauj ietaupīt primāros energoresursus vairāk nekā par 10 % (sk. 2.1. attēlu).



2.1. att. Dalītas ražošanas un koģenerācijas salīdzinājums

Kombinētā izstrādē ietverta termofikācijas pamata atšķirība no siltumapgādes dalītās metodes, pēc kuras elektroenerģiju ražo elektrostacijās, bet siltumenerģiju – katlumājās. Grupu, kvartālu un rajonu centralizētās siltumapgādes sistēmās vēl joprojām bieži būvē katlumājas, kas orientētas tikai uz siltumenerģijas izstrādi. Galvenais katlumāju trūkums ir zemāka efektivitāte, salīdzinot ar TEC , trūkstot kombinētai elektroenerģijas izstrādei, pazeminās katlumāju lietderības koeficients, jo pastāv samērā augsts īpatnējais kurināmā patēriņš.

Lai palielinātu nelielu katlumāju darbības efektivitāti, izmanto kombinētu elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanu, lietojot mikroturbīnu iekārtas ar jaudu 30–350 kW. Lielās katlumājās koģenerācija notiek mērķtiecīgi, izmantojot jaudīgākas gāzu turbīnu iekārtas ar jaudu no 10 līdz 50 MW, jaudīgākus iekšdedzes gāzu virzuļdzinējus un tvaika turbīnu iekārtas, ko plaši piedāvās starptautiskajā tirdzniecībā. Vēl jāņem vērā un jāsalīdzina elektriskā jauda un apkurei pieprasītā siltuma slodze ziemā, pavasarī, vasarā, rudenī, kā arī izmaiņas diennakts laikā un pieprasījums maksimumstundās. Mikroturbīnu priekšrocības ir iespēja tās elastīgi piemērot izmantošanai objektos ar lielu maksimālo slodzi, kas ļauj tās lietot arī decentralizētiem siltumapgādes avotiem. Daudzviet Eiropas pilsētās praktizē vairāku katlumāju saslēgšanu gredzenu sistēmā, tā optimizējot siltumenerģijas ražošanu atkarībā no konkrētā brīža pieprasījuma rakstura un veidojot priekšnoteikumus konkurencei siltumenerģijas ģenerācijas tirgū [11, 12, 13, 14 un 15].

2.1.2. Biokurināmā izmantošana pētāmās CSS siltumavotos

Latvijā AER īpatsvars primārajos energoresursos pakāpeniski pieaug. Atbilstīgi Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvai 2009/28/EK [31] mūsu valstij noteikts konkrēts mērķis – 2020. gadā 40 % primāro energoresursu bilancē jābūt AER. Svarīgākie primārie energoresursi Latvijā ir koksnes biomasa un hidroenerģija. Šajā nodaļā atspoguļoti pētījuma rezultāti par koksnes šķeldas izmantošanu centralizētā siltumapgādes sistēmā Rīgā. Līdz 2017. gadam Rīgā bija četri siltuma avoti, kuros par kurināmo paralēli dabas gāzei izmantoja koksnes biomasu (šķeldu).

Siltumcentrāle „Daugavgrīva”

Siltuma avotā uzstādītās jaudas:

- dabas gāzes tvaika katli – 8,14 MW_{th}, 2 gab.;
- tvaika katls ar šķeldas priekškurtuvi – 7,5 MW_{th};
- ar gāzi kurināms ūdens sildkatls – 8 MW_{th};
- tvaika turbīna ar elektrisko jaudu 600 kW un 4,8 MW_{th} kondensators;
- kopējā siltuma jauda – 31,78 MW_{th};
- kopējā elektriskā jauda – 0,60 MW_{el};
- pieslēgtā siltumslodze – 14 MW.

2.2. att.Siltumcentrāles „Daugavgrīva” kopskats

Pirmais biokurināmā izmantošanai paredzēto iekārtu izbūves projekts tika realizēts 1996. gadā siltumcentrālē „Daugavgrīva”, uzstādot koksnes šķeldas priekškurtuvi ar siltumjaudu 7,5 MW tvaika katlam DKVR 10/13. 2003. gadā tika realizēts siltumcentrāles

modernizācijas projekts, uzstādot tvaika turbīnu ar elektrisko jaudu 0,5 MW un izbūvējot siltumakumulatoru ar tilpumu 100 m^3. 2007. gadā turbīnas jauda tika palielināta līdz 0,6 MW.

2.3. att. Siltumcentrāles „Daugavgrīva" tvaika turbīna

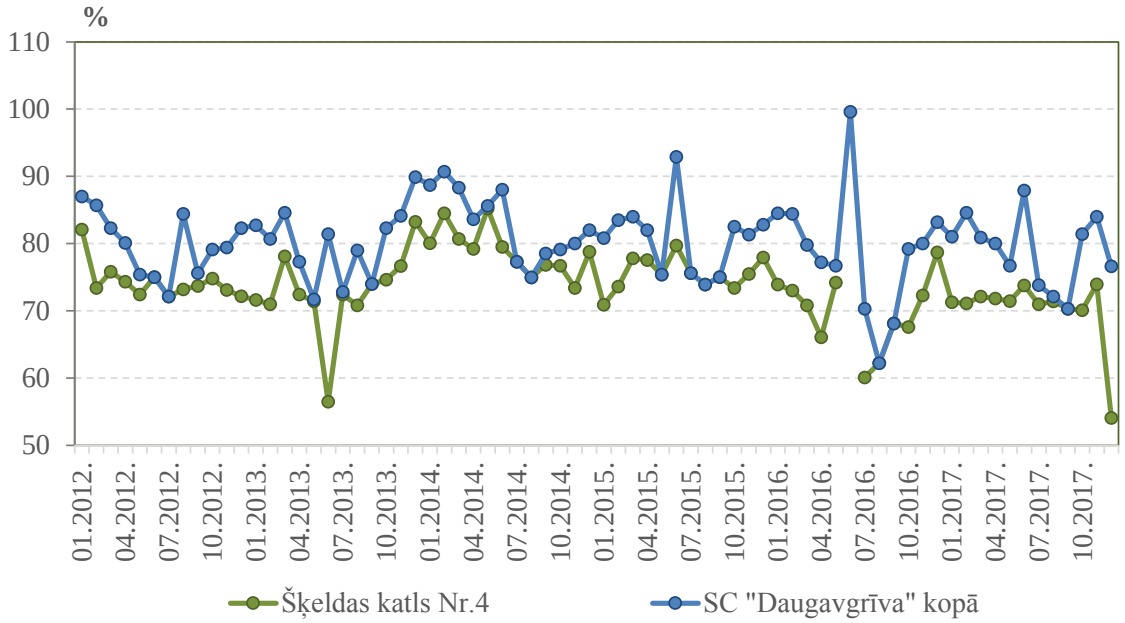
Apkopojot ilgākā laikā iegūtu šķeldas katla ekspluatācijas pieredzi, tika konstatētas šādas SC „Daugavgrīva" projektam raksturīgas problēmas:

- mūsdienīga šķeldas priekškurtuve tika uzstādīta kopā ar novecojušas konstrukcijas tvaika katlu ar zemu efektivitāti. Šobrīd līdzīgos projektos tiktu uzstādīts jauns tvaika katls ar augstāku spiedienu un dūmgāzu kondensatoru;
- sākotnēji siltumcentrāle tika ekspluatēta bez avārijas dīzeļģeneratora, tāpēc, atslēdzot elektroenerģijas padevi, varēja rasties bīstama situācija, ņemot vērā katlu smago apmūrējumu un cietā kurināmā dedzināšanas īpatnības (nav iespējams strauji pārtraukt degšanu). Problēma tika atrisināta 2009. gadā, uzstādot dīzeļģeneratoru.

2.1. tabula

SC „Daugavgrīva" gada vidējie lietderības koeficienti [32]

Gads	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
SC „Daugavgrīva" kopā	79,9	80,0	83,1	80,8	78,8	79,1
Šķeldas katls Nr.4	74,3	72,7	78,9	75,5	69,7	70,2



2.4. att. SC „Daugavgrīva" darbības lietderības koeficienti [32]

Siltumcentrāle „Vecmīlgrāvis"

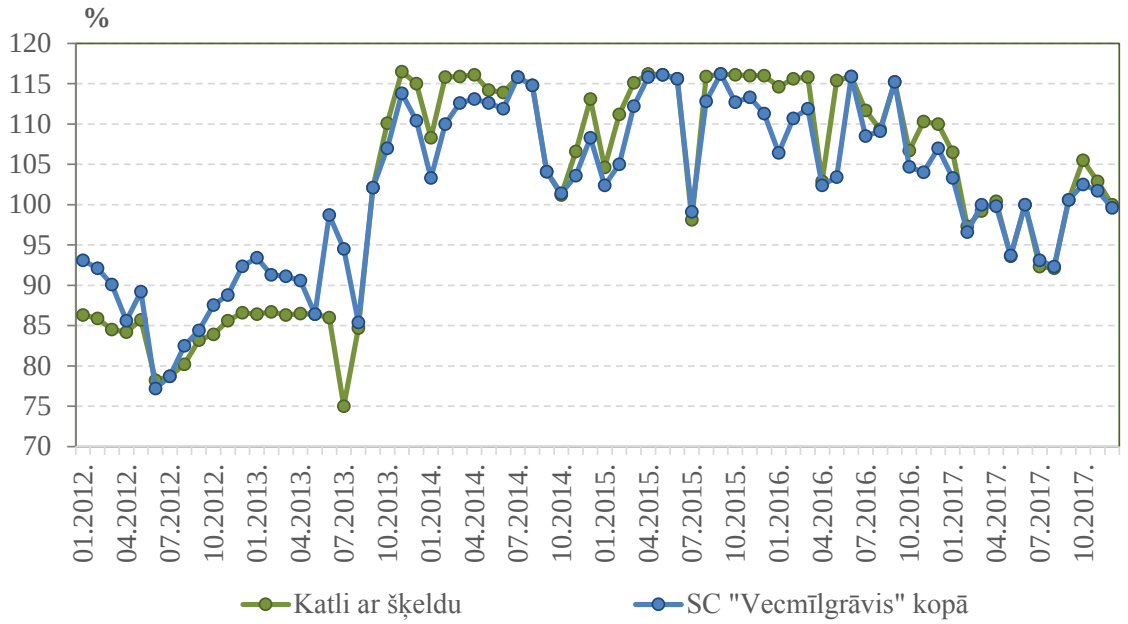
Siltuma avotā uzstādītās jaudas:

- dabasgāzes ūdens sildkatli – 16,4 MW_{th}, 3 gab.;
- šķeldas ūdens sildkatli – 7,0 MW_{th}, 2 gab.;
- dūmgāzu kondensators šķeldas ūdens sildkatliem – 3,3 MW_{th};
- kopējā siltuma jauda – 66,5 MW_{th};
- pieslēgtā siltumslodze – 39 MW.

2.5. att. Siltumcentrāles „Vecmīlgrāvis" šķeldas ūdens sildkatli

Siltumcentrāle „Vecmīlgrāvis” nodota ekspluatācijā 1979.–1980. gadā un paredzēta Vecmīlgrāvja dzīvojamā rajona siltumapgādei. 2009.–2010. gadā ir realizēta siltumcentrāles modernizācija, nomainot PTVM-30M un KVGM-100 katlus ar moderniem automatizētiem dabasgāzes katliem 3 x 16,4 MW, kas aprīkoti ar kondensācijas ekonomaizeriem. Paralēli tika izbūvēta šķeldas katlumāja ar jaudu 2 x 7 MW. 2013. gadā šķeldas katliem ir uzstādīts viens dūmgāzu kondensators ar 3,3 MW jaudu, kas utilizē dūmgāzu latento siltumu no abiem šķeldas katliem. Dūmgāzu kondensators palielināja katlumājas kopējo efektivitāti par 10–20 %, samazinot kurināmā patēriņu.

Šķeldas biokurināmā ūdens sildkatlu darbība apkures periodā notiek bāzes slodzē (aptuveni 12 MW), kas ir tuvu nominālai jaudai. Papildus atbilstīgi siltumslodzes izmaiņām darbojas dabasgāzes ūdens sildkatli. Vasaras režīmā paredzēts darbināt tikai šķeldas ūdens sildkatlus. Šķeldas katlumājas izbūvē izmantota tradicionālā šķeldas noliktavas konstrukcija ar kustīgu grīdu, kurtuve ar kustīgiem ārdiem un vertikālo dūmcauruļu katlu. Dūmgāzes attīra, izmantojot multiciklonu un dūmgāzu kondensatoru.



2.6. att. SC „Vecmīlgrāvis” lietderības koeficienti [32]

2.2. tabula

SC „Vecmīlgrāvis” gada vidējie lietderības koeficienti [32]

Gads	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
SC „Vecmīlgrāvis” kopā	86,8	97,1	109,3	111,0	108,3	98,6
Ar šķeldu kurināmi katli	83,6	93,5	111,7	113,1	112,0	99,2

Siltumcentrāle „Ziepniekkalns”

Siltuma avotā uzstādītās jaudas:

- gāzes ūdens sildkatli – 36 MW_{th}, 2 gab.;
- šķeldas tvaika katls – 22 MW_{th} ;
- dūmgāzu kondensators – 4,3 MW_{th};
- tvaika turbīna – 4 MW_{el};
- kopējā siltuma jauda – 94 MW_{th};
- pieslēgta siltumslodze – 48 MW.

Siltumcentrāle „Ziepniekkalns”, Siltuma ielā 6, Rīgā, nodota ekspluatācijā 1988. gadā Ziepniekkalna mikrorajona siltumapgādes nodrošināšanai. Sākotnēji SC tika uzstādīti:

- divi ūdenssildāmie dabasgāzes katli KVGM-50 ar siltuma jaudu 2 x 58,15 MW,
- divi tvaika katli DE - 25/14 ar siltuma jaudu 2 x 16 MW.

Kopējā sākotnējā uzstādītā SC siltuma jauda – 148,3 MW.

2009. gadā tika veikta katlu KVGM-50 degļu rekonstrukcija, pēc kuras katlu jauda samazinājās līdz 2 x 36 MW.

Sākot ar 2012. gadu, SC „Ziepniekkalns” darbojas Rīgas Kreisā krasta apvienotajos siltumtīklos. 2012. gadā viens tvaika katls DE - 25/14 ar siltuma jaudu 16 MW tika noņemts no uzskaites un demontēts.

Pirms 2013. gadā veiktās SC rekonstrukcijas bija uzstādīti un darbojās:

- divi ūdenssildāmie dabasgāzes katli KVGM-50 ar siltuma jaudu 2 x 36 MW;
- viens tvaika katls DE - 25/14 ar siltuma jaudu 16 MW.

Kopējā uzstādītā SC siltuma jauda bija 88,0 MW.

2013. gadā tika izbūvēts biokurināmā koģenerācijas energobloks (KE) ar siltuma jaudu līdz 22 MW un elektrisko jaudu 4 MW. KE bloks tiek darbināts ar biokurināmā tvaika katlu „Wellons” (ASV). Katla ražība ir 25 t/h tvaika, ar temperatūru 450 °C un spiedienu 40 bar. Elektroģeneratoru darbina „Siemens” tvaika turbīna. Aiz biokurināmā tvaika katla dūmgāzu siltuma utilizācijai ir uzstādīts dūmgāzu kondensators „Clean Air Technologies” ar jaudu apm. 4,3 MW.

2015. gadā dabasgāzes ūdens sildkatls KVGM-50 Nr. 2 tika aprīkots ar kondensācijas ekonomaizeri „Danske Energi Teknik” ar jaudu 0,85–1,3 MW.

2017. gadā tika demontēts tvaika katls DE-25/14.

SC „Ziepniekkalns” ir uzstādīti un pašlaik darbojas:

- divi rekonstruēti dabasgāzes ūdenssildkatli (ŪSK) KVGM-50 ar nominālo siltuma jaudu 2 x 36 MW. Katls ŪSK Nr. 2 ir aprīkots ar kondensācijas ekonomaizeri „Danske Energi Teknik”ar jaudu 0,85–1,3 MW.
- biokurināmā koģenerācijas energobloks ar siltuma jaudu līdz 22 MW un elektrisko jaudu 4 MW un dūmgāzu kondensatoru.

Kopējā uzstādītā SC siltuma jauda šobrīd – 94,0 MW.

SC „Ziepniekkalns” pamatkurināmais ir šķelda un dabasgāze.

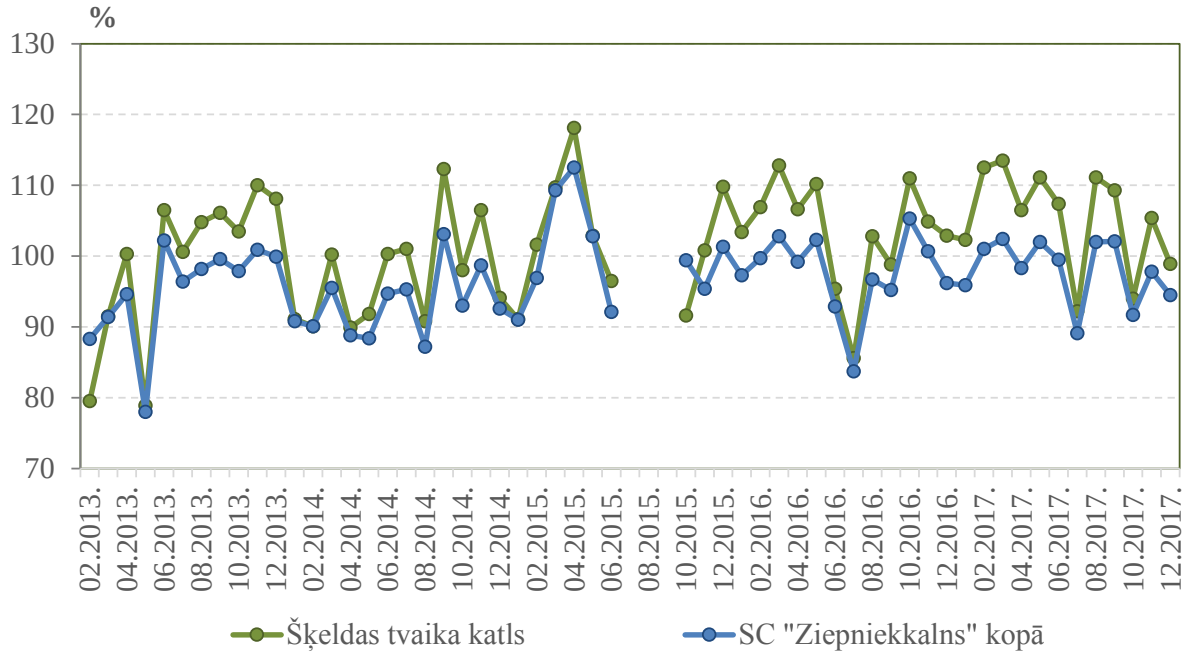
Kurināmais avārijas gadījumiem – dīzeļdegviela.

CSS kā siltumenerģijas ražotāja ir ieinteresēta modernizēt esošos siltumavotus, lai panāktu nepārtrauktu un energoefektīvu siltumenerģijas piegādi patērētājiem. Uzņēmumam ir svarīgi ražot siltumenerģiju ar visaugstāko lietderības koeficientu, bet par zemāko pašizmaksu, vienlaicīgi nepiesārņojot apkārtējo vidi. Tas ir iespējams, ja tiek izvēlēta koģenerācijas stacija, kas ļauj vienlaicīgi ražot gan siltumenerģiju, gan elektroenerģiju, tādējādi daudz efektīvāk izmantojot kurināmo (par 20–30 % vairāk, nekā ražojot atsevišķi tikai siltumenerģiju vai elektroenerģiju, sk. 2.1. attēlu).

Lai mazinātu atkarību no primāro energoresursu importa, centralizētās siltumapgādes sistēmas operators nolēma siltumcentrālē „Ziepniekkalns" izbūvēt koģenerācijas staciju, par kurināmo izmantojot cieto biokurināmo (šķeldu). Modernizācijas projekta ietvaros tika uzstādīts viens ar biokurināmo darbināms divu boileru dabiskās cirkulācijas tvaika katls, tvaika turboģenerators ar elektrisko jaudu līdz 4 MW_{el}, izveidotas biokurināmā noliktavas un transportēšanas sistēmas, kā arī pieslēgums elektrotīkliem.

Siltumcentrāles „Ziepniekkalns" biokurināmā koģenerācijas stacijas ekonomiskie rādītāji:

- lietderības koeficients līdz 97 %;
- dabasgāzes ekonomija, tūkst. m^3/gadā – 11 794;
- CO_2 emisijas kvotu ekonomija, tūkst. kvotu/gadā – 22,2;
- elektroenerģijas ražošana, tūkst. MWh/gadā – 16,7.



2.7. att. SC „Ziepniekkalns" lietderības koeficienti [32]

2.3. tabula

SC „Ziepniekkalns” gada vidējie lietderības koeficienti [32]

Gads	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
SC „Ziepniekkalns” kopā	92,7	94,9	93,2	100,1	97,7	98,0
Šķeldas tvaika katls	-	99,1	97,2	102,5	103,4	105,4

Siltumcentrāle „Zasulauks”

Siltuma avotā uzstādītās jaudas:

- dabasgāzes tvaika katli – 58,15 MW_{th}, 3 gab.;
- dabasgāzes ūdenssildkatli – 8,14 MW_{th}, 2 gab.;
- šķeldas ūdensildkatls – 20 MW_{th};
- šķeldas katla dūmgāzu kondensators – 4,8 MW_{th};
- kopēja siltuma jauda – 215,53 MW_{th};
- pieslēgtā siltumslodze (kopā ar siltumcentrāli „Imanta”) – 215 MW.

Siltumcentrāle „Zasulauks” ir rezerves siltumavots siltumcentrāļu „Imanta”, „Zasulauks” un „Ziepniekkalns” siltumapgādes zonā, kas darbojas vasaras periodā un siltumcentrāles „Imanta” remonta laikā. Pēc siltumcentrāles „Imanta” modernizācijas pabeigšanas siltumcentrāles „Zasulauks” darbība vasaras periodā pastāvīgi nav vajadzīga, jo ir maksimāli jānoslogo siltumcentrāles „Imanta” koģenerācijas energobloks. Taču, ievērojot siltumcentrāles „Imanta” siltumtīklu specifiku, atsevišķu maģistrālo siltumtīklu avārijas gadījumā vai, atslēdzot to remonta dēļ, lai neradītu siltumenerģijas padeves traucējumus, ir lietderīgi iedarbināt siltumcentrāli „Zasulauks”. Siltumcentrālē „Zasulauks” 2013. gadā paralēli dabasgāzes katlumājai ir izbūvēta šķeldas katlumāja ar 20 MW ūdens sildkatlu un 4,5 MW dūmgāzu kondensatoru.

Siltumcentrāles „Zasulauks” biokurināmā katlumājas ar dūmgāzu kondensatoru ekonomiskie rādītāji:

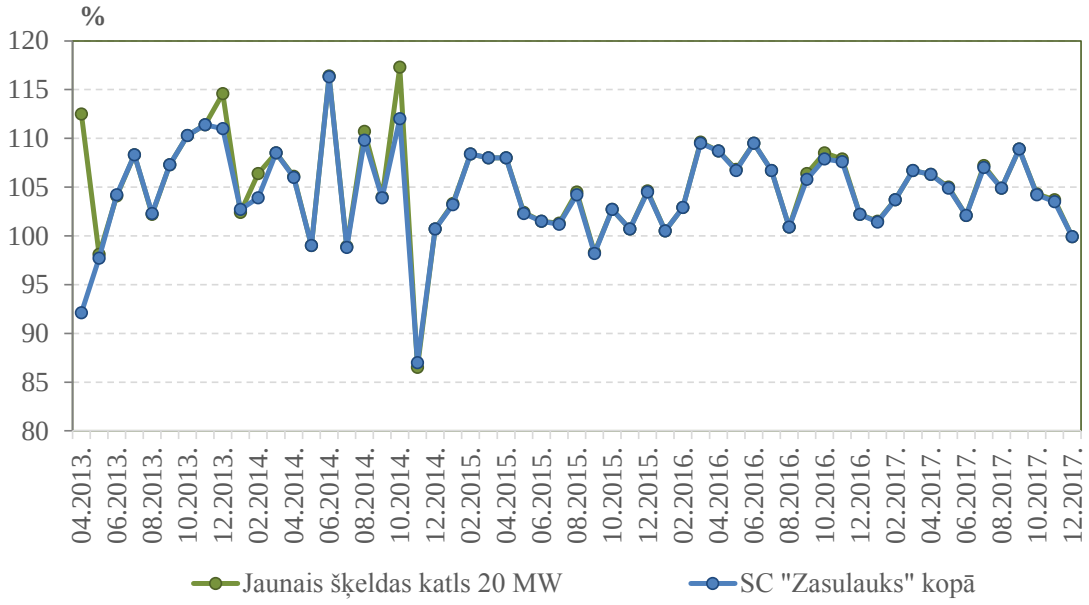
- lietderības koeficients līdz 110 %;
- dabasgāzes ekonomija, tūkst. m^3/gadā – 11 200;
- šķeldas patēriņš, ber. m^3/gadā – 112 300;
- CO_2 emisijas kvotu ekonomija, tūkst. kvotu/gadā – 21.

Konkrētā projekta realizācija ietaupa 11 200 tūkst. m^3 dabasgāzes gadā, vienlaicīgi palielinot šķeldas patēriņu par 112 300 ber. m^3/gadā.

2.4. tabula

SC „Zasulauks” vidējie gada lietderības koeficienti [32]

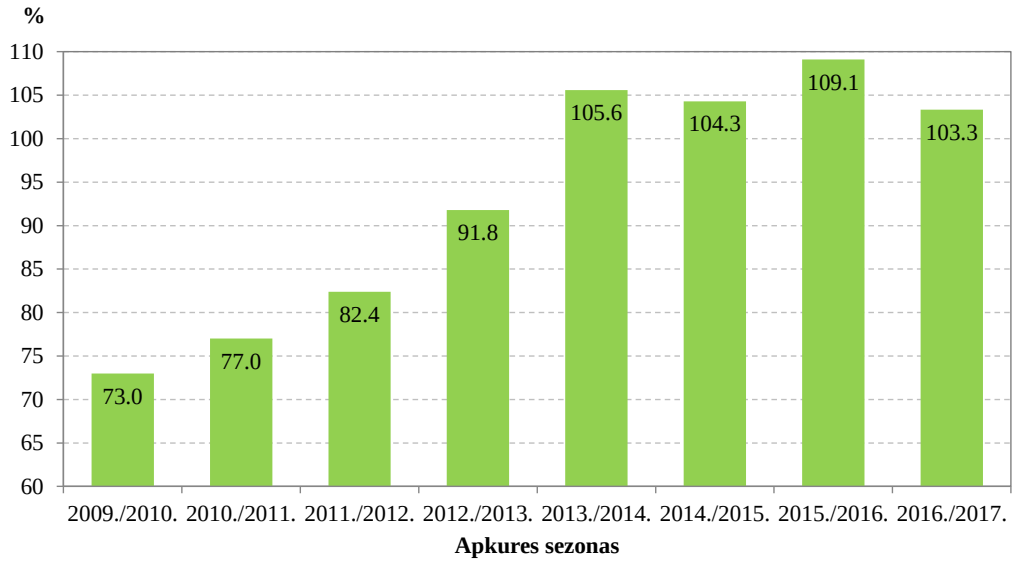
Gads	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
SC „Zasulauks” kopā	94,0	105,0	104,1	103,6	105,7	104,5
Jaunais šķeldas katls 20 MW	-	107,6	104,7	103,6	105,9	104,5



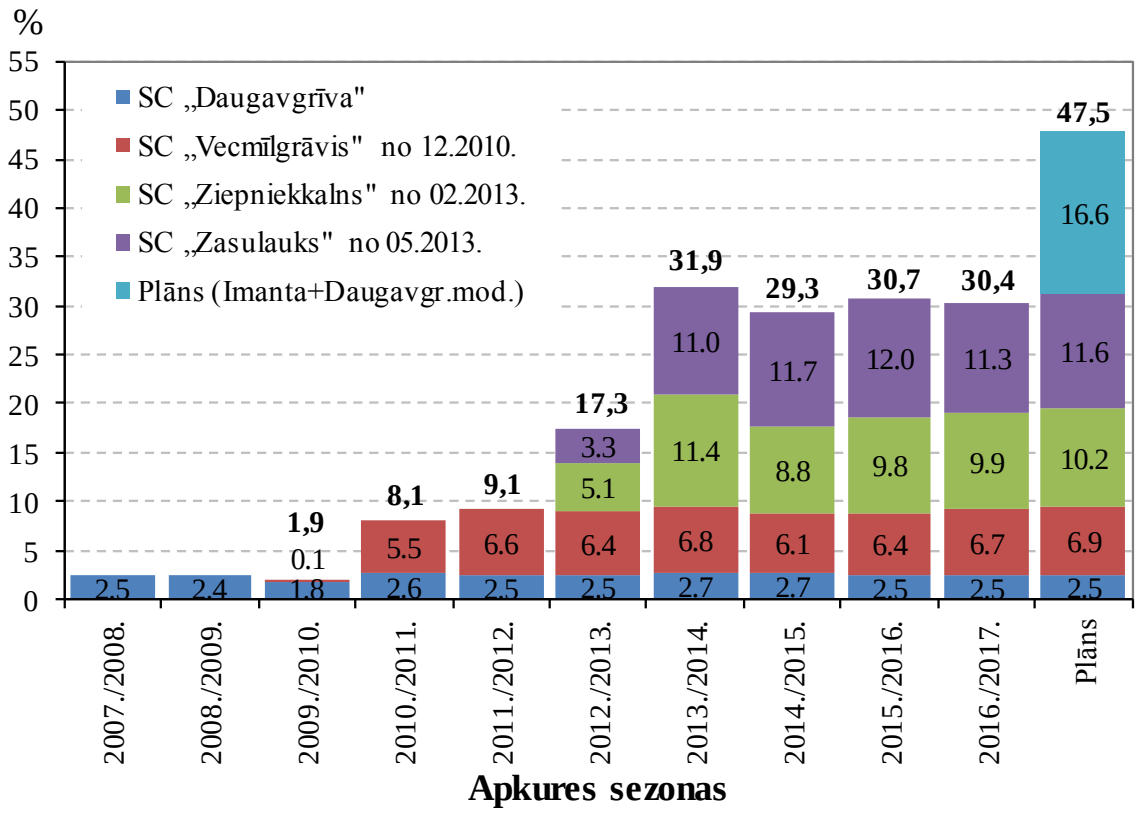
2.8. att. SC „Zasulauks” lietderības koeficienti [32]

2.2. Šķeldas izmantošanas ietekme uz siltumenerģijas ražošanu

Pētot centralizētā siltumapgādes sistēmā uzstādītās siltumenerģiju ražojošās iekārtas, kuras darbina ar šķeldu, var secināt, ka, tehnoloģijām attīstoties, šajās iekārtās iespējams sasniegt līdzvērtīgus kurināmā sadedzināšanas efektivitātes rādītājus, kā tas ir ar dabasgāzi darbināmās iekārtās. Ja pagājušā gadsimta beigās lietderības koeficienti iekārtām, kurās izmantoja šķeldu, bija 80–90 %, tad jāsecina, ka šobrīd lietderības koeficienti pārsniedz 100 % un ir sasnieguši pat 110 %, t.i., rēķinot pēc kurināmā zemākā sadegšanas siltuma. Ja lietderības koeficientus aprēķina pēc augstākā kurināmā sadegšanas siltuma, tad tie svārstās no 95 % līdz 98 %. Izpētot apskatāmos siltuma avotus un katlu iekārtas, kurās par kurināmo izmanto šķeldu, iegūti dati, kas redzami 2.9. attēlā, kur uzskatāmi parādīts, kā ir pieaudzis kurināmā izmantošanas lietderības koeficients vai, tā saucamā efektivitāte.



2.9. att. Kurināmā izmantošanas lietderības koeficienti šķeldas katliem (%) [32]



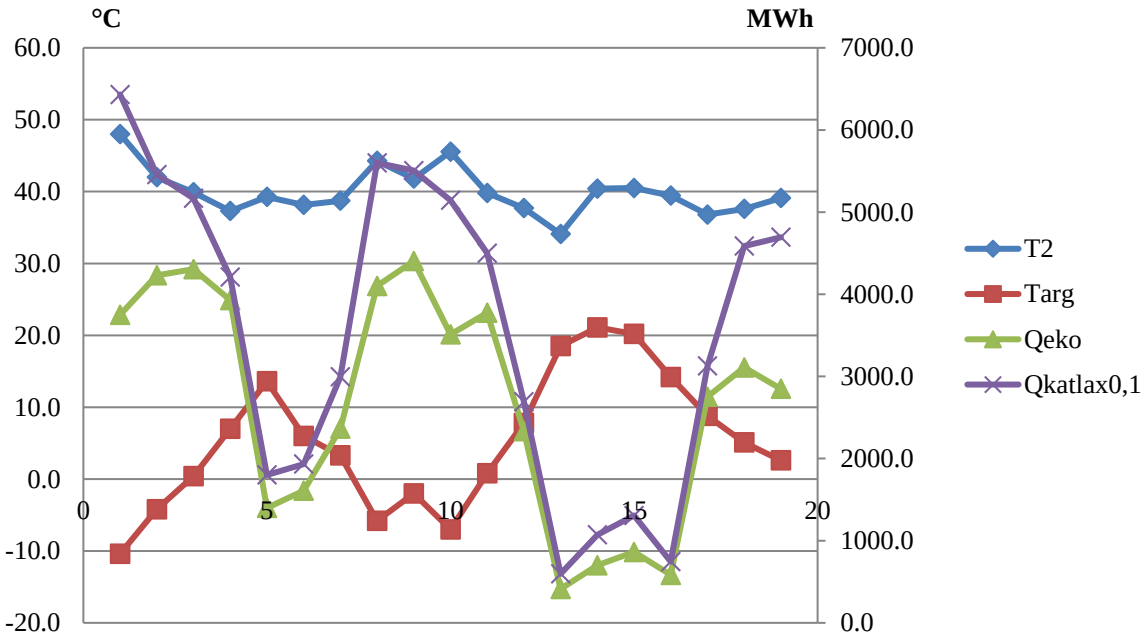
2.10. att. Šķeldas izmantošanas īpatsvara palielināšana siltumenerģijas ražošanā siltumavotos [32]

2.3. Siltumenerģijas ražošanas avotu modernizācija

2.3.1. Kondensācijas ekonomaizers dabasgāzes ūdenssildkatlam

Izmantojot siltumenerģijas ražošanā dabasgāzes katlus, viens no nozīmīgākiem elementiem, lai nodrošinātu iekārtas efektivitāti, ir kondensācijas ekonomaizers, kas ļauj izmantot aizplūstošo dūmgāzu latento siltumu, tā palielinot kopējos katlu iekārtas efektivitātes parametrus par 15–20 %. Veicot šo pētījumu, tika konstatēts, ka pētāmajā nogabalā siltumcentrālē „Imanta" ar dabasgāzi kurināmajam ūdens sildkatlam Nr. 3 KVGM 100 uzstādītais kondensācijas ekonomaizers ar jaudu 10 MW ļauj saražot siltumenerģiju, nepatērējot kurināmo. Kondensācijas ekonomaizera darbība ir atkarīga no vairākiem faktoriem.

Tāpēc tika veikts rūpniecisks eksperiments, divu gadu laikā apkopojot datus, kas iekļauti 1. pielikumā un parādīti 2.11. attēlā.

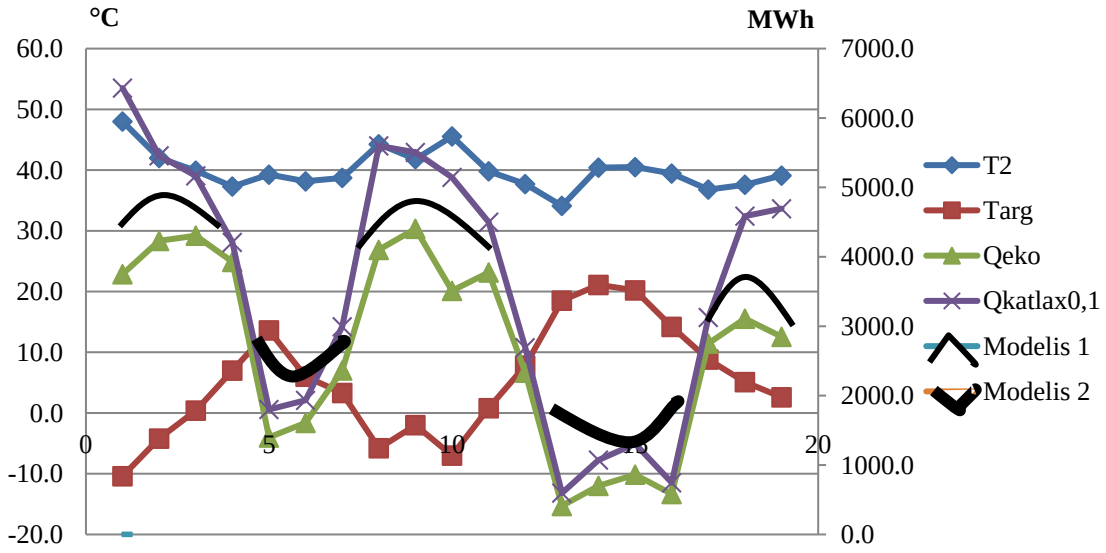


2.11. att. Kondensācijas ekonomaizera darbība

2.11. attēlā labi var redzēt divus parametrus, kas ietekmē kondensācijas ekonomaizera darbību:

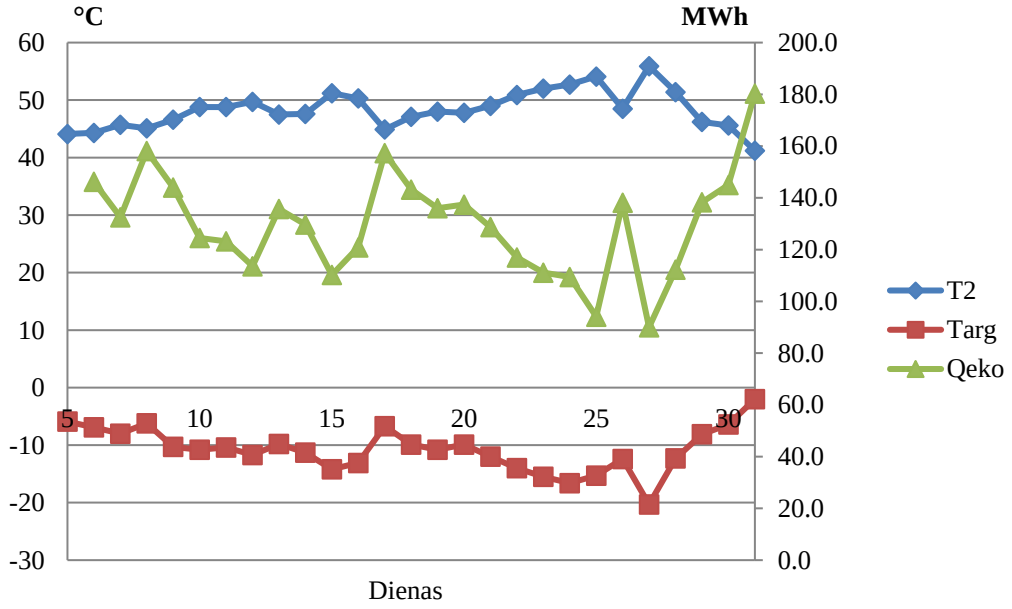
- ūdenssildkatla Nr.3 saražotā siltumenerģija;
- atgaitas ūdens temperatūra.

Abi parametri cieši saistīti ar ārgaisa temperatūru. Ekonomaizera saražotās siltumenerģijas līkne gandrīz precīzi atkārto katla saražotās siltumenerģijas līkni, izņemot tos gadījumus, kad sāk palielināties atgaitas ūdens temperatūra. Šajā gadījumā ekonomaizera saražotās siltumenerģijas līkne strauji samazinās. 2.12. attēlā redzami divi modeļi. Pirmajā modelī parādīta situācija, kad atgaitas ūdens temperatūra saglabātos 38–40 °C līmenī, ļaujot ekonomaizerī saražot vairāk siltumenerģijas.

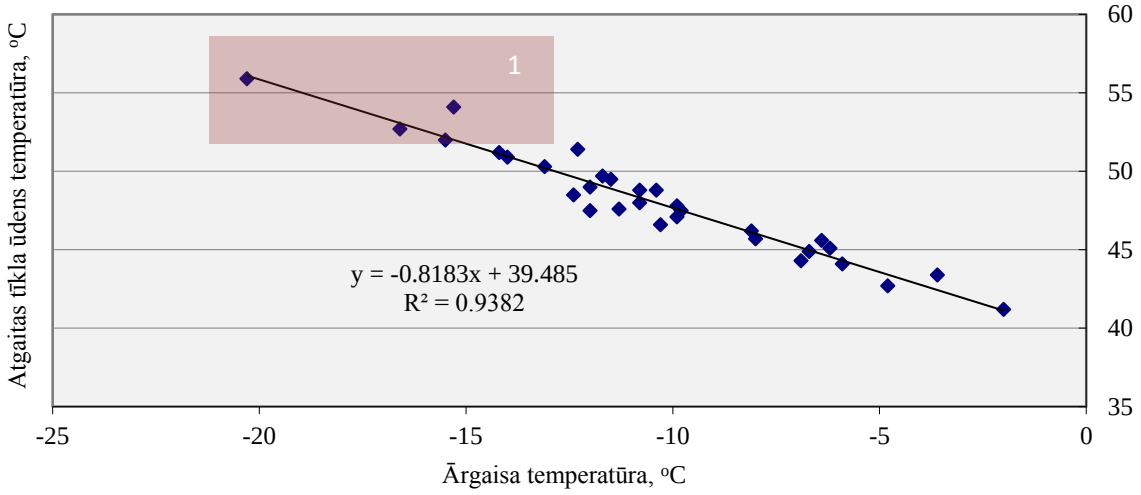


2.12. att. Kondensācijas ekonomaizera darbības modelēšana

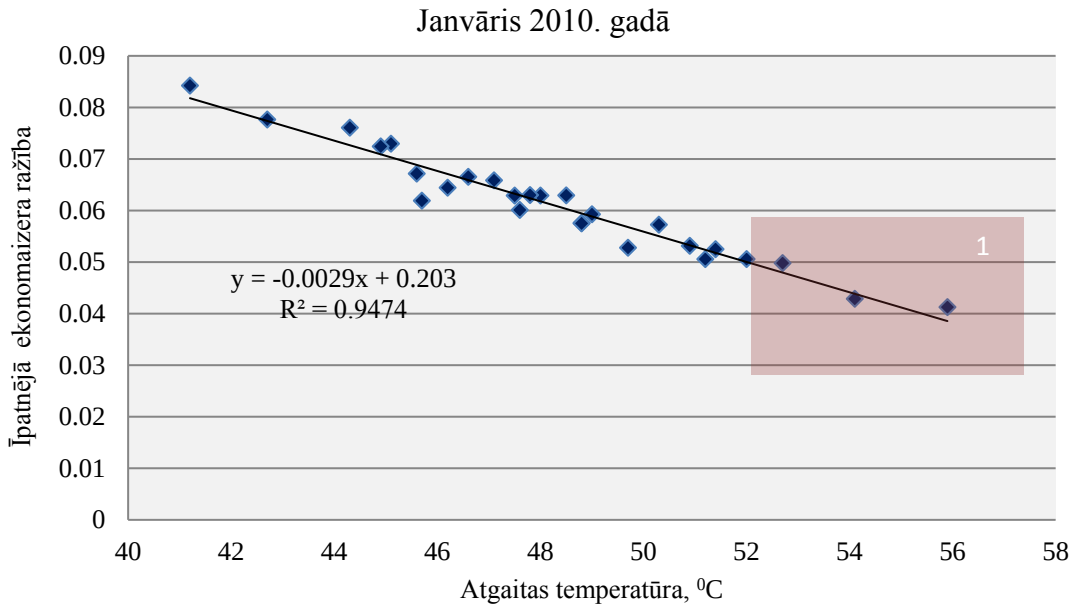
Otrajā modelī parādīta situācija, kad katla slodze netiek samazināta tik strauji, dodot iespēju saražot vairāk siltumenerģijas ekonomaizerī. Atgaitas ūdens ietekme uz ekonomaizera saražoto siltumu vistiešāk izpaužas ziemas mēnešos. 2.13. attēlā parādīti ekonomaizera darbības parametri 2010. gada janvārī. Attēlā labi redzama šāda likumsakarība: ārgaisa temperatūra samazinās – atgaitas ūdens temperatūra pieaug – ekonomaizerā saražotās siltumenerģijas daudzums samazinās.



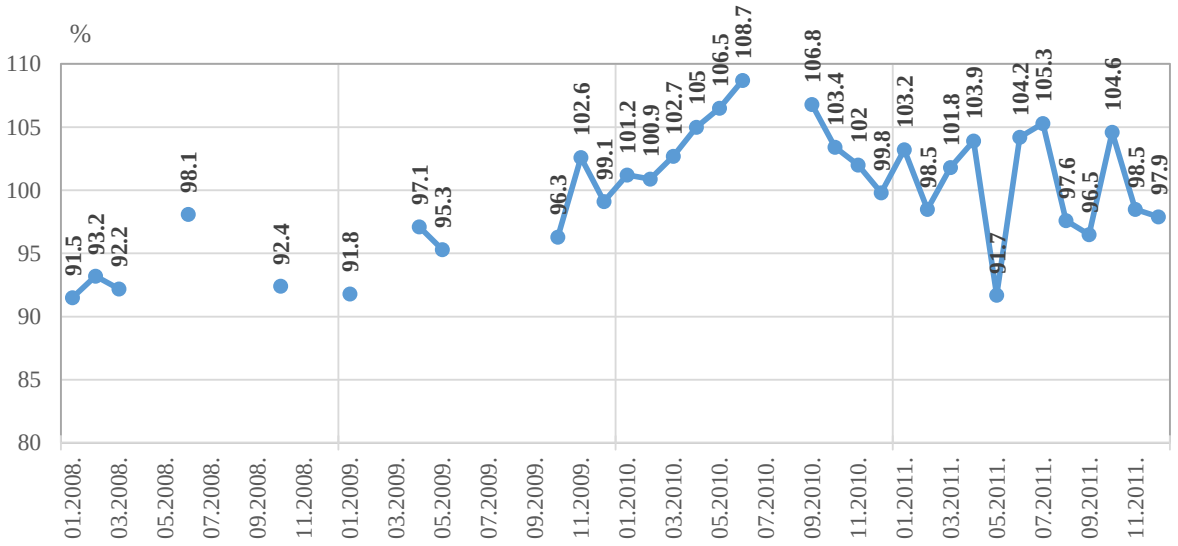
2.13. att. Kondensācijas ekonomaizera darbība 2010. gada janvārī



2.14. att. Atgaitas tīkla ūdens temperatūra atkarībā no āra gaisa temperatūras 2010. gada janvārī (pirmajā nogabalā kondensācijas process nenotiek)



2.15. att. Īpatnējā ekonomaizera ražība atkarībā no atgaitas ūdens temperatūras (pirmajā nogabalā kondensācijas process nenotiek)



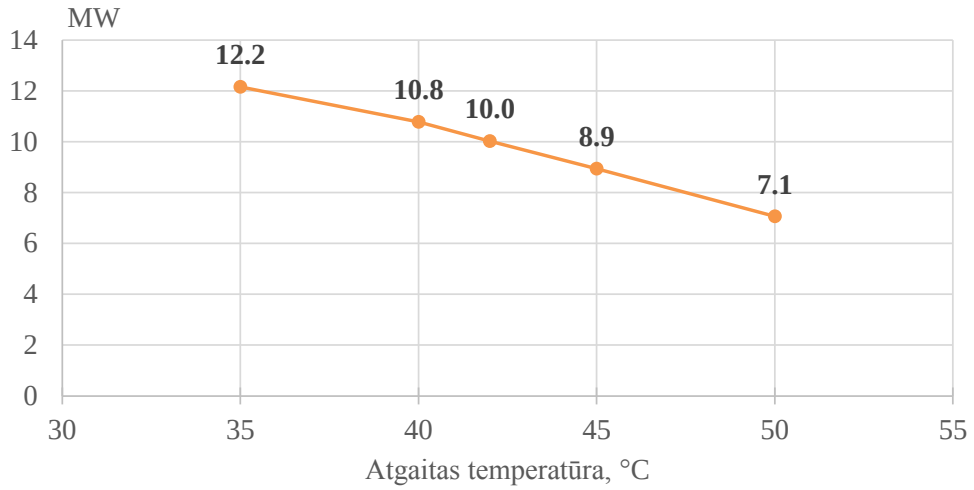
2.16. att. SC „Imanta” ūdens sildkatla Nr. 3 lietderības koeficients periodā pirms un pēc kondensācijas ekonomaizera uzstādīšanas

2.5. tabula

SC „Imanta” ūdens sildkatla Nr. 3 kondensācijas ekonomaizera darbības rādītāji

Nr. p.k.	Parametrs	Mērv.	Mēģinājumi				
			1.	2.	3.	4.	5.
1.	Katla slodze	MW	116	116	116	116	116
2.	Dūmgāzu temperatūra aiz katla	°C	159	159	159	159	159
3.	Dūmgāzu temperatūra aiz DKE	°C	45,70	48,70	51,70	54,50	49,90
4.	Tīkla ūdens pirms DKE	°C	35	40	45	50	42
5.	Tīkla ūdens pēc DKE	°C	48,90	52,30	56,20	58,0	53,50
6.	DKE jauda (garantētā)	MW	12,15	10,78	8,94	7,06	10,02

Atgaitas tīklu ūdens temperatūrai pazeminoties par 1°C, ekonomaizera ražība palielināsies vidēji par 0,340 MW attiecībā pret kondensācijas ekonomaizera pilno slodzi 12,15 MW (lietderības koeficients pieaugs par 2,8 %).



2.17. att. SC „Imanta” ŪSK KVGM-100 Nr. 3 kondensācijas ekonomaizera saražotā siltumenerģija atkarībā no siltumtīklu atgaitas temperatūras maksimālās slodzes laikā (116 MW)

2.3.2. Dūmgāzu kondensators ūdenssildkatlam

Lai izpētītu, kādi faktori ietekmē dūmgāzu kondensatora darbības efektivitāti, tika veikts rūpniecisks eksperiments, kura laikā tika analizēta ar šķeldu darbināmā ūdens sildkatla „Renewa OY” (Somija) 20 MW ar dūmgāzu kondensatoru 4 MW darbība ar atšķirīga mitruma šķeldu un noteikts, kā dūmgāzu kondensatora darbību ietekmē T2. Eksperimenta laikā tika analizēts šķeldas mitruma saturs un T2. Dati tika sistematizēti 2.6., 2.7. un 2.8. tabulā [32].

2.6. tabula

SC „Zasulauks” darbības rādītāji, izmantojot šķeldu ar mitruma saturu 50 %

Gads	Mēnesis	Šķeldas katla lietderības koeficients, %	Siltumtīklu atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūra, °C	Šķeldas mitruma saturs **50 %**, (48,5 %–52,4 %)
2014.	Janvāris	103	48	52,2
	Februāris	105	41	50,3
2015.	Februāris	108	41	48,0
2016.	Februāris	104	42	51,9
	Marts	110	42	51,2
2017.	Marts	107	41	48,6
2018.	Februāris	101	49	49,7
	Marts	101	45	48,7
	Aprīlis	102	42	49,9

2.7. tabula

SC „Zasulauks” darbības rādītāji, izmantojot šķeldu ar mitruma saturu 45 %

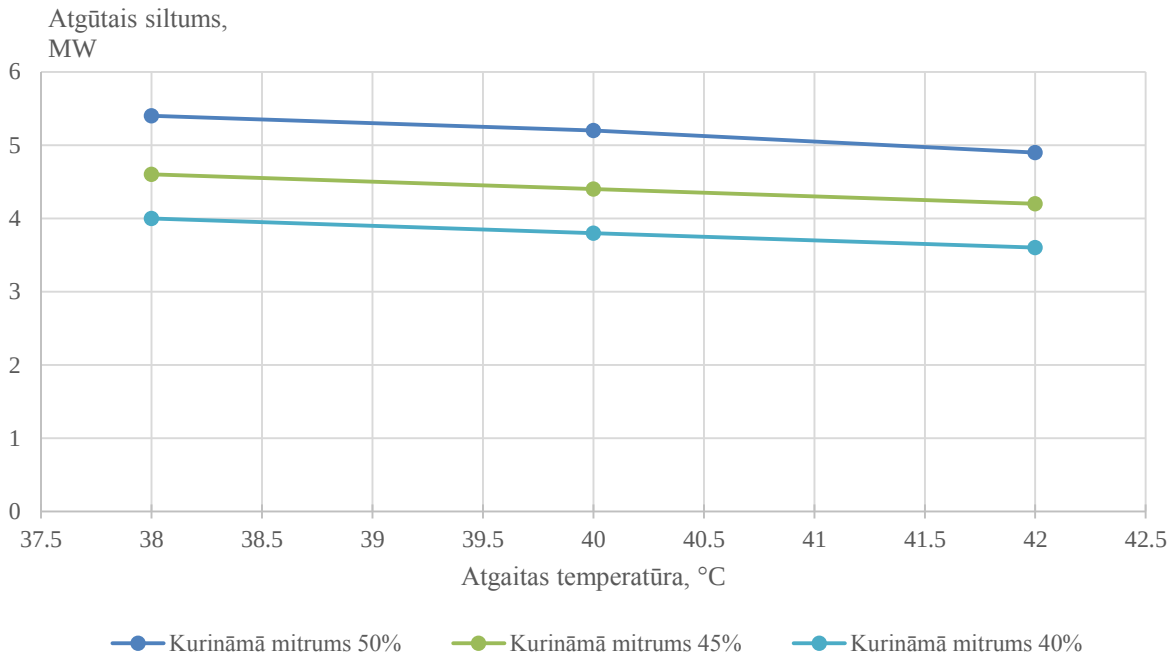
Gads	Mēnesis	Šķeldas katla lietderības koeficients, %	Siltumtīklu atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūra, °C	Šķeldas mitruma saturs **45 %**, (42,5 %–47,4 %)
2014.	Marts	109	39	45,4
	Aprīlis	106	38	47,4
	Oktobris	117	39	44,6
2015.	Janvāris	103	42	43,4
	Marts	108	39	47,0
	Novembris	108	41	43,3
2016.	Janvāris	106	47	42,2
	Aprīlis	112	40	45,4
	Decembris	102	42	43,6
2017.	Janvāris	102	44	45,0
	Februāris	104	44	45,6
	Aprīlis	106	41	47,2
	Maijs	105	44	44,9
	Oktobris	104	42	42,7
	Novembris	104	43	47,2
	Decembris	100	44	47,4
2018.	Janvāris	101	43	43,7
	Maijs	104	45	46,1

2.8. tabula

SC „Zasulauks” darbības rādītāji, izmantojot šķeldu ar mitruma saturu 40 %

Gads	Mēnesis	Šķeldas katla lietderības koeficients, %	Siltumtīklu atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūra, °C	Šķeldas mitruma saturs **40 %**, (38,5 %–42,4 %)
2014.	Maijs	99	40	40,7
	Jūnijs	117	41	40,3
	Novembris	87	40	41,2
	Decembris	101	43	41,5
2015.	Jūlijs	101	45	39,9
	Decembris	109	41	41,4
2016.	Janvāris	106	47	42,2
	Maijs	106	43	40,9
	Jūnijs	117	44	40,4
	Augusts	101	44	41,1
	Oktobris	109	41	40,4
2017.	Jūnijs	102	44	39,5
	Jūlijs	107	45	40,9
	Augusts	105	45	38,5

Pēc sistematizētiem datiem tika izveidota diagramma, kas redzama 2.18. attēlā. Diagrammā nepārprotami redzams, ka dūmgāzu kondensatora darbības efektivitāte ir būtiski atkarīga no T2 un šķeldas mitruma.



2.18. att. Siltuma atgūšana

Analizējot iegūtos datus, var secināt, ka šķeldas mitruma saturs ietekmē dūmgāzu kondensatora darbību, bet šo jautājumu vajadzētu atrisināt ar šķeldas piegādātājiem. T2 ir faktors, kura lielums ietekmē dūmgāzu kondensatora darbības efektivitāti, savukārt to nosaka tas, cik kvalitatīvi sistēmas operators kontrolē CSS darbību.

Atgaitas tīklu ūdens temperatūrai pazeminoties par 1 °C, ekonomaizera ražība vidēji palielināsies par 0,100 MW attiecībā pret kondensācijas ekonomaizera pilno slodzi 4,0 MW (lietderības koeficients pieaugs par 2,5 %).

2.4. Siltumenerģiju ražojošo iekārtu salīdzinājums

Veicot izpētes darbu, tika salīdzināti vairāki centralizētā siltumapgādes sistēmās sastopami siltumenerģijas ražošanas veidi:

- kombinētā cikla dabasgāzes koģenerācija, kur tiek izmantotas gāzes turbīnas un tvaika turbīnas;
- koģenerācijas iekārtas (tvaika turbīna), kas tiek darbinātas, par kurināmo izmantojot šķeldu;
- dabasgāzes ūdens sildkatli;
- ūdens sildkatli, kuros par kurināmo izmanto šķeldu.

Promocijas darbā, katrs no iepriekš uzskaitītiem siltumenerģijas ražošanas veidiem tika analizēts izmantojot SVID metodi, kuras mērķis ir saskaņot stiprās puses ar iespējām tirgū, vienlaicīgi pārvarot vājās puses un samazinot draudus.

2.9. tabula

SVID analīze ar dabasgāzi kurināmiem ūdenssildkatliem

Stiprās puses	Vājās puses
1) Zemi kapitālieguldījumi. 2) Siltumražošanas process augsti automatizēts. 3) Iespēja nodrošināt ražot siltumenerģiju ar augstu lietderības koeficientu. 4) Iekārtas ir tehniski vienkāršas un drošas ekspluatācijā. 5) Ātra siltumslodzes uzņemšana un samazināšana.	1) Augstas ražošanas izmaksas dabasgāzes cenas dēļ. 2) Grūti konkurēt siltuma tirgū. 3) Siltumenerģijas ražošanas iekārtu darbības efektivitāte ir atkarīga no siltumtīklu atgaitas temperatūras lieluma.
Iespējas	**Draudi**
1) Operatīvi uzņemt un samazināt siltuma slodzi. 2) Iespējas nodrošināt maksimuma slodžu nosegšanu sistēmā. 3) Iespējas būt par avārijas siltumjaudas CSS.	1) Neiegūt iespējas pastāvīgi realizēt siltumenerģiju siltuma tirgū. 2) Paaugstināt siltumtīklu atgaitas temperatūru, kondensācijas ekonomaizera neefektīva darbība. 3) Jāiegādājas CO_2 SEG kvotas.

2.10. tabula

SVID analīze ar šķeldu kurināmiem ūdenssildkatliem

Stiprās puses	Vājās puses
1) Saražotā siltumenerģija ir konkurētspējīga siltumenerģijas tirgū. 2) Kurināmais ir vietējais – nauda paliek Latvijā. 3) Siltumenerģijas izmaksas zemākas nekā dabasgāzes katliem. 4) Augsts kurināmā izmantošanas koeficients. 5) Kurināmais CO_2 neitrāls.	1) Lieli kapitālieguldījumi SC ražošanas iekārtās. 2) Ilgs atmaksāšanās periods. 3) Efektivitāti ietekmē siltumtīklu atgaitas temperatūra. 4) Šķeldas kvalitāte ietekmē efektivitātes rādītājus. 5) Lēna siltumslodzes uzņemšanas un samazināšana.
Iespējas	**Draudi**
1) Iespējas izmantot vietējo kurināmo. 2) Kurināmā cena prognozējama apmēram gadam vai termiņam, par kuru ir noslēgts šķeldas piegādes līgums. 3) Iespējas kurināt dažādu šķeldu – koksnes atkritumus, celmus. 4) Kurināmā tirgū daudz tirgus dalībnieku, liela konkurence.	1) Kurināmo var nepiegādāt neparedzētu dabas apstākļu dēļ. 2) Augsta siltumtīklu atgaitas temperatūra, dūmgāzu kondensatora neefektīva darbība. 3) Sarežģīta iekārta, var apstāties.

2.11. tabula

SVID analīze koģenerācijai ar dabasgāzi

Stiprās puses	Vājās puses
1) Efektīva primāro energoresursu izmantošana. 2) Nelielas ražošanas izmaksas siltumenerģijai.	1) Sarežģīta tehnika. 2) Kurināmā cenu izmaiņas grūti prognozēt. 3) Lieli kapitālieguldījumi. 4) Ilgs finanšu līdzekļu atmaksāšanās periods. 5) Atkarība no elektroenerģijas tirgus.
Iespējas	**Draudi**
1) Siltumenerģijas konkurētspēja siltuma tirgū. 2) Saražot un pārdot divus enerģijas veidus. 3) Liels dabas gāzes patērētājs – iespējas iepirkt dabas gāzi iespējami lētāk.	1) Nespēja realizēt elektroenerģiju gadījumos, kad konkurences dēļ, siltumenerģijas tirgū, siltumenerģija netiek pārdota. 2) Elektroenerģijas realizācija atkarīga no tirgus pieprasījuma (cenu līmeņa tajā). 3) Atbalsta samazināšanās vai neesamība.

2.12. tabula

SVID analīze koģenerācijai ar šķeldu

Stiprās puses	Vājās puses
1) Efektīva vietējo primāro energoresursu izmantošana. 2) Nelielas ražošanas izmaksas pa enerģijas veidiem.	1) Lieli kapitālieguldījumi. 2) Ilgs atmaksāšanās periods. 3) Sarežģīts tehniskais risinājums. 4) Ilgs slodzes uzņemšanas un samazināšanas laiks –paralēli jāstrādā ar kādu citu siltumu ražojošu iekārtu. 5) Šķeldas kvalitātes ietekme uz darbības efektivitāti.
Iespējas	**Draudi**
1) Siltumenerģija ir konkurētspējīga siltuma tirgū. 2) Pārdod divus enerģijas veidus. 3) Kurināmā tirgū daudz tirgus dalībnieku, liela konkurence. 4) Kurināmā cena prognozējama vienam gadam.	1) Elektroenerģijas realizācija atkarīga no tirgus pieprasījuma. 2) Atbalsta samazināšanās vai neesamība. 3) Augsta siltumtīklu atgaitas temperatūra, dūmgāzu kondensatora neefektīva darbība. 4) Kurināmo var nepiegādāt neparedzētu dabas apstākļu dēļ.

Izanalizējot populārāko siltumenerģijas ražošanas veidu koģenerācijā ar dabasgāzi, ar dabasgāzi darbināmos ūdens sildkatlus, ar šķeldu darbināmu koģenerāciju un ar šķeldu darbināmos ūdens sildkatlus, var secināt, ka, ja ir pieejams atbalsts koģenerācijas darbināšanai ar šķeldu, tas ir visefektīvākais primāro energoresursu izmantošanas veids, jo vienlaicīgi tiek ražoti divi enerģijas veidi – elektroenerģija un siltumenerģija ar augstu efektivitāti, tātad siltumenerģijas ražošanas izmaksas ir konkurētspējīgas siltuma tirgū. Viens no svarīgākajiem koģenerācijas stacijas efektivitāti ietekmējošajiem apstākļiem ir siltumtīklu atgaitas temperatūra, kuras kontrolēšanai jāizstrādā metodoloģija, kas palīdzētu uzlabot CSS siltumenerģijas ražošanas avotu darbības efektivitāti, tātad primārie energoresursi tiktu iztērēti optimāli.

Izmantojot ar šķeldu darbināmu koģenerāciju, ir liels risks, ka elektroenerģiju nevarēs realizēt, ja to neatļauj valsts. Tātad, ja vietējā administratīvajā teritorijā CSS lietotāji jānodrošina ar siltumenerģiju, ar šķeldu darbināms ūdens sildkatls ir visoptimālākais siltumenerģijas ražošanas veids.

3. SILTUMENERĢIJAS PĀRVADES LOMA CSS ATTĪSTĪBĀ

3.1. Īpatnējo un absolūto siltumenerģijas zudumu analīze CSS

Enerģiju definē kā materiālu, ķermeņu un sistēmu kustības un mijiedarbības kvantitatīvu mēru, kas kopīgs visām matērijas kustības formām. Katrai matērijas kustības formai atbilst noteikts enerģijas veids – mehāniskā, termiskā, elektriskā u.c. Noslēgtā sistēmā ir spēkā enerģijas nezūdamības likums – tā nevar rasties no nekā un izzust, bet tikai vai nu pāriet no viena veida citā, vai arī no viena ķermeņa uz otru. Pilnu termodinamisko sistēmu enerģiju veido tās iekšējā un ārējā enerģija.

Par ekserģiju E sauc to termodinamiskās sistēmas daļu, ko var pārvērst mehāniskajā, elektriskajā vai cita veida enerģijā, turklāt tas ir maksimālais darbs, ko sistēma var paveikt, ja tā atgriezenisku procesu ceļā nonāk līdzsvarā ar apkārtējo vidi. Ekserģija ir termodinamiskās sistēmas stāvokļa un apkārtējās vides stāvokļa funkcija. Atkarībā no termodinamiskās sistēmas rakstura ekserģijas aprēķināšanas izteiksmes atšķiras. Ekserģiju, kas attiecināta uz masas kilogramu, apzīmē ar e. Izmantojot dažādu autoru darbus, var rasties pārpratumi, jo arī enerģijai ir tā pati mērvienība J/kg.

No ekonomiskā viedokļa nepietiek novērtēt enerģijas daudzumu, ko izsaka J/kg vai kJ/kg, bet jānovērtē arī enerģijas veids un tās stāvokļa parametri. Siltumenerģijas daudzums ar zemiem parametriem (temperatūra tuvu 0°C un atmosfēras spiediens) ir mazvērtīgāks nekā mazāks enerģijas daudzums ar augstiem parametriem, ko viegli pārvērst mehāniskajā enerģijā. Vērtīgāka ir elektroenerģija, kuras izmantošanā lietderības reizulis var sasniegt 95 % un vairāk. Arī šajā gadījumā elektroenerģijas vērtība ir atkarīga no citiem parametriem, ko ietekmē tās izmantošanas mērķi. Tā kā daļu enerģijas nav iespējams izmantot, fiziķis Z. Rants ierosinājis neizmantojamo enerģijas daļu nosaukt par „anerģiju". Tādā kārtā jebkuru enerģiju var sadalīt divās daļās – ekserģijā un anerģijā [20, 21]. Enerģija ir pakļauta nezūdamības likumam, bet uz ekserģiju tas neattiecas. Gluži pretēji – katra neatgriezeniska parādība ir neatgriezenisks ekserģijas zuduma cēlonis. Saskaņā ar Z. Ranta [21] sniegto informāciju neatgriezeniskās norisēs ekserģija pārvēršas anerģijā, bet anerģijas transformācija ekserģijā slēgtā sistēmā nav iespējama. Dažādiem procesiem sākuma nosacījumi ir atšķirīgi, tādēļ salīdzinājumsjāveic, izdarot attiecīgus pārrēķinus. Ne vienmēr, izdarot praktisku vērtēšanu, jāiekļauj visas iespējamās ekserģijas sastāvdaļas, no kurām dažas vēl nav zinātniski pietiekami izpētītas. Pēdējā daļa gan ir praktiski nenozīmīgi maza. Tādas daļas ir kinētiskā, potenciālā un ķīmiskā ekserģija bezreakciju norisēs, kodolenerģijas ekserģija, statiskās elektroenerģijas ekserģija, dažādu starojumu enerģētisko lauku ietekme, gravitācija u.c.

Arī vakuums būtu jādala divās daļās – fiziskais vakuums, kur nav fiziskās matērijas un absolūtais vakuums, kuru necaurstrāvo gravitācijas un citi lauki vai rezonanses.

Darba vielas ekserģiju noslēgtā tilpumā raksturo parametri:

T – temperatūra Kelvina grādos K;

t – temperatūra Celsija grādos °C;

p – spiediens N/m^2=Pa; bārs (bar)=10^5Pa; tehniskā atmosfēra at=1kgf/cm^2, normālā fizikālā atmosfēra atm = 1,033 at; pārspiediena atmosfēra ati;

v – īpatnējais tilpums m^3/kg;

ρ – vielas blīvums = 1/v, kg/m^3 skaitliski vienāds ar īpatnējo svaru γ = gρ, N/m^3;

u – īpatnējā iekšējā enerģija J/kg, tehniskos risinājumos bieži izsaka kJ/kg, kas dažkārt rada pārpratumus;

U – iekšējā enerģija ir sistēmas stāvokļa funkcija:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV; \tag{3.1.}$$

h – īpatnējā entalpija J/kg:

$$h = u + pv, \tag{3.2.}$$

(Lieto arī citus īpatnējās entalpijas apzīmējumus, piemēram, i.)

diferenciālā formā:

$$dh = du + pdv + vdp; \tag{3.3.}$$

s – īpatnējā entropija J/(kg·K),

diferenciālā formā:

$$ds = \frac{dq}{T} \tag{3.4.}$$

un apkārtējo vidi – parametri T_0, p_0, v_0, u_0, h_0, s_0.

Saskaņā ar Pirmo termodinamikas likumu:

$$q = u_0 - u + I_{max}. \tag{3.5.}$$

Tā kā:

$$q = T_0(s_0 - s),$$

$$I_{max} = e \tag{3.6.}$$

un apkārtējās vides izspiešanai patērētais darbs:

$$p_0(v_0 - v), \tag{3.7.}$$

tad:

$$E = u - u_0 - T_0(s - s_0) - p_0(v_0 - v). \tag{3.8.}$$

Darba vielas plūsmas ekserģiju nosaka šādi:

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0). \tag{3.9.}$$

Tā kā $dh = c_p dT$, tad ideālās gāzes plūsmai, ņemot vērā entropijas izteiksmi, ekserģija būs:

$$e = c_p(T - T_0) - T_0\left(c_p ln\frac{T}{T_0} - Rln\frac{p}{p_0}\right). \tag{3.10.}$$

Izmantojot entropijas noteikšanas tabulas, ekserģiju nosaka:

$$E = h - h_0 - T_0\left(s^0 - s_0^0 - Rln\frac{p}{p_0}\right). \tag{3.11.}$$

Siltuma plūsmas ekserģija ir siltuma maksimālais darbs, ko var veikt siltums atgriezeniskajā Karno ciklā temperatūras intervālā $T - T_0$. Šim ciklam:

$$\eta_1^{(K)} = \frac{1-T_0}{T} = \frac{l_{max}}{q}. \tag{3.12.}$$

Tā kā $I_{max} = e$, tad:

$$e = q\left(\frac{1-T_0}{T}\right) = q - T_0 \cdot \frac{q}{T} = q - T_0\Delta s. \tag{3.13.}$$

3.1.1. Sistēmas zudumi neatgriezeniskā procesā

Kā neatgriezeniska procesa piemēru var aprakstīt siltuma vadīšanu no ķermeņa A ar temperatūru T_A uz ķermeni B ar temperatūru T_B, kur $T_A > T_B$.

Ekserģija ķermenim A:

$$e_A = q - T_0\Delta s_A. \tag{3.14.}$$

Ekserģija ķermenim B:

$$e_B = q - T_0\Delta s_B. \tag{3.15.}$$

Sistēmas ekserģijas zudumi:

$$\Delta e = e_A - e_B = (q - T_0 s_A) - (q - T_0 s_B) = T_0(\Delta s_B - \Delta s_A). \tag{3.16.}$$

Tā kā:

$$\Delta s_B - \Delta s_A = \Delta s_{sist}, \tag{3.17.}$$

ir sistēmas entropijas izmaiņas, tad:

$$\Delta e = T_0\Delta s_{sist}. \tag{3.18.}$$

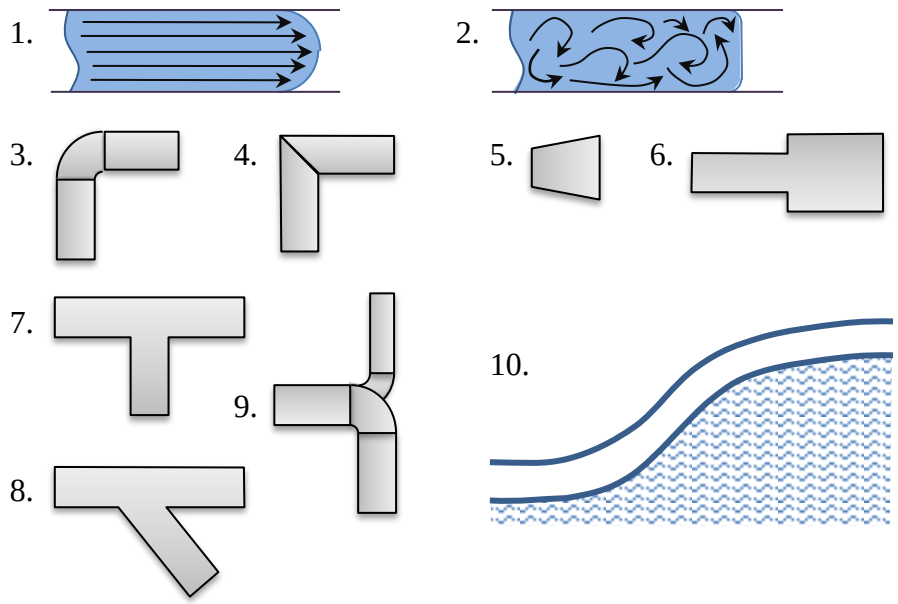
Izteiksme izsaka ekserģijas zudumus sistēmā, kurā notiek neatgriezeniski procesi.

Ekserģētiskais lietderības koeficients raksturo, cik efektīvi konkrētajā iekārtā tiek izmantota darba vielas enerģija. Ekserģētiskais lietderības koeficients η_e ir konkrētajā iekārtā iegūtās ekserģijas – e_i attiecība pret patērēto ekserģiju – e_p:

$$\eta_e = \frac{\Delta e_i}{e_p}. \tag{3.19.}$$

3.1.2. Siltumnesēju transporta efektivitātes faktori

Enerģijas patēriņš siltumnesēju – karstā un aukstā ūdens, arī tvaika un gaisa – pārvietošanai pa cauruļvadiem ir atkarīgs no spiediena zudumiem atsevišķos cauruļvadu tīklu elementos.



1.,2. – berzes pretestība laminārās un turbulentas šķidruma plūsmas gadījumā; 3.,4. – vietējās pretestības līkumos; 5.,6. – vietējās pretestības plūsmas deformācijas dēļ sašaurinājumos un paplašinājumos; 7.,8.,9. – vietējās pretestības plūsmām savienojoties un sadaloties; 10. – zudumi, pārvarot smaguma spēku

3.1. att. Spiediena zudumus ietekmējošie faktori, transportējot siltuma nesējus pa cauruļvadu tīkliem

Dati par spiediena zudumiem un plūsmu apjomiem kopā ar pārsūknēšanas iekārtu tehniskajiem raksturojumiem kalpo par pamatu siltumnesēja transporta patēriņa noteikšanai.

Vispārējā gadījumā siltumnesēja spiediena zudumos ietilpst trīs sastāvdaļas:

$$\Delta P = \Delta P_b + \Delta P_{lk} + \Delta P_h, \tag{3.20.}$$

kur $\Delta P_b, \Delta P_{lk}, \Delta P_h$ - spiediena zudumi atbilstoši berzes, lokālās pretestības un augstuma starpības dēļ.

Reāla cauruļvada posmam spiediena kritumu aprēķina uz pārbaudes rezultātu pamata, ņemot vērā pārbaudāmā posma grumbuļainumu un lokālo pretestību. Spiediena zudumu iepriekšējai pārbaudei var aptuveni aprēķināt, izmantojot teorētiskās sakarības un standarta

izmēģinājumu rezultātus. Spiediena zudumu caurulēs, ko radījusi berzes pretestība, var aprēķināt saskaņā ar sakarību:

$$\Delta P_{lk} = \frac{\lambda_b \rho L \omega^2}{2D_n}, \tag{3.21.}$$

kur λ_b – berzes pretestības koeficients;

L – cauruļvada posma garums, m;

ρ – siltumnesēja vidējais blīvums, kg/m^3;

ω – siltumnesēja vidējais ātrums pārbaudāmajā caurules posmā, m/s;

D_n – caurules nosacītais iekšējais diametrs.

Spiediena kritums augstuma starpības dēļ:

$$\Delta P_{lk} = \frac{\lambda_{lk} \rho \omega^2}{2}, \tag{3.22.}$$

kur λ_{lk} – lokālās pretestības koeficients tipiskam ģeometriskam veidam, ko nosaka pēc empīriskiem tehnisko rokasgrāmatu datiem.

Spiediena zudumi augstuma starpības dēļ:

$$\Delta P_h = \rho g (h - h_0), \tag{3.23.}$$

kur g – brīvās krišanas paātrinājums, m/s;

h_0 un h – pieņemtais nulles un konkrētais līmenis, m.

Siltumnesējs var pārvietoties pa caurulēm ar dažādiem tecēšanas režīmiem atkarībā no plūsmas Reinoldsa skaitļa:

$$Re = \frac{\omega D_n}{v}. \tag{3.24.}$$

Pastāv trīs hidrodinamiskās tecēšanas režīmi: laminārais, ja Re < 2200; pārejas, ja 2200 ≤ Re ≤ 4000 un turbulentais, ja Re > 4000.

Hidrodinamiski gludām caurulēm berzes pretestības koeficienti ir šādi:

$\lambda_b = 64/Re$, ja Re < 2200;

$\lambda_b = 6{,}3 \cdot 10^{-4} Re^{0{,}5}$, ja 2200 ≤ Re ≤ 4000;

$\lambda_b = (0{,}78 \ln Re - 1{,}64)^{-2}$, ja Re > 4000. (3.25.)

Reālos cauruļvados saskaņā ar Altšūla u.c. zinātnieku ieteikumiem papildus ierēķina cauruļu grumbuļainuma radīto efektu:

$$\lambda_b = 0{,}11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{D_n}\right)^{0{,}25}, \tag{3.26.}$$

kur Δ – ekvivalentais absolūtais grumbuļainums, mm.

Jaunām, tīrām un metinātām tērauda caurulēm Δ=0,05 mm, pēc dažiem ekspluatācijas gadiem – 0,2 mm, bet stipri sarūsējušām vai ar ievērojamām nogulsnēm – 3,0 mm.

Uz spiediena integrālo zudumu aprēķina pamata nosaka enerģijas patēriņu siltuma nesēja pārsūknēšanas sūkņiem:

$$N = \frac{G\Delta}{\rho\eta_{el}}, \qquad (3.27.)$$

kur G – siltumnesēja masas patēriņš;

ρ – siltumnesēja blīvums;

$\eta_{el.}$ – sūkņa elektrodzinēja lietderības koeficients.

Siltumnesēja patēriņa sadalījums pa sazarota tīkla posmiem jāaprēķina ar iterācijas metodi, pamatojoties uz Kirhofa likumiem. Pie tam vienlaicīgi aprēķina arī spiediena zudumus katrā posmā.

Enerģijas patēriņu siltumnesēja transportam pa cauruļvadiem var samazināt:

- ekonomiski attaisnotos apmēros, palielinot cauruļvadu diametru;
- izmantojot plūdenas pārejas cauruļvados, lai mazinātu lokālo pretestību;
- likvidējot noplūdes;
- izmantojot modernizētas pārsūknēšanas iekārtas ar augstu lietderības koeficientu.

Siltuma nesējos pārvērstās enerģijas transportēšana notiek pa cauruļvadiem, kas, kā jau iepriekš aprakstīts, ir saistīta ar enerģijas zudumiem hidrauliskās pretestības pārvarēšanai. Enerģijas zudumi notiek arī siltuma veidā, transportējot karstu ūdeni, tvaiku vai gaisu. No siltuma avota patērētājiem siltumu nodod caur siltumapgādes sistēmu, kurā ietilpst siltuma avoti, siltumtīkli un patērētāju siltuma izmantošanas ierīces – siltummaiņi, apsildes radiatori, ūdens sagatavošanas ierīces, regulēšanas automātika un armatūra.

Izplatītākie siltumapgādes avoti ir enerģētisko iekārtu kompleksi: katlumājas, termoelektrocentrāles (TEC), atomelektrostacijas (ATES), kas aprakstītas iepriekšējā nodaļā.

Siltumtīklos ietilpst cauruļvadu sistēma, pa kuru siltumnesējs – karsts ūdens vai tvaiks – nogādā siltumu no avota līdz patērētājam un, jau atdzisis (tvaiks – kondensējies), tas pilnīgi vai daļēji atgriežas. Piegādāto siltumu izmanto dzīvojamo, sabiedrisko, administratīvo un rūpniecisko ēku apsildei, tehnoloģiskām vajadzībām, apgādei ar karsto ūdeni un ventilācijai. Siltumtīklu tehniskais izpildījums izceļas ar ļoti sazarotu tīklu, kura maģistrāles turklāt savienotas ar pārslēgu savienojumiem, lai ārkārtas situācijās panāktu apgādes drošību, izmantojot shēmas gredzenus.

Siltumtīkla cauruļvadi sastāv no :

- tērauda caurulēm, pa kurām plūst siltumnesējs;
- siltuma izolācijas no poliuretāna, putuplasta vai cita materiāla, piemēram, sausas minerālvates, kuru siltumvadīšanas koeficients ir robežās no 0,02 līdz 0,027 W/(m·K);
- rūpnieciski izolētas caurules aizsargapvalkā vai čaulā, visbiežāk no izturīgas plastmasas;
- kompensatoriem, atzarojumiem, aizbīdņiem, pārejas posmiem;

– indikatoru sistēmas, kas nodrošina temperatūras distances kontroli un noplūdes atklāšanu.

Lai vecā parauga cauruļvados novērstu neparedzamas, ārkārtas situācijas un mazinātu siltuma zudumus vājākas siltuma izolācijas dēļ, daļu veco cauruļvadu, kas savu darba mūžu jau nokalpojuši, laiks nomainīt ar modernākiem. Jaunā parauga cauruļvadus var ieguldīt tieši gruntī bez kanāliem un papildu izolācijas, tā samazinot būvdarbu izmaksas un saīsinot darbu laiku. Konkrētos būvniecības apstākļos pilsētās joprojām nav izslēgta nepieciešamība cauruļvadus ieguldīt arī kanālos vai montēt uz estakādēm brīvā gaisa telpā.

Siltuma zudumu samazināšanai ļoti rūpīgi izolējamas cauruļu un savienojumu vietas, aizbīdņu šahtas un dažādi citi cauruļvadu elementi.

Siltuma zudumi ārējā vidē no izolētajiem cauruļvadiem ir atkarīgi no temperatūras starpības starp siltuma nesēja un vides temperatūru, cauruļvada ģeometriskajiem izmēriem, izolācijas kvalitātes. Šobrīd rūpnieciski izolēto cauruļu tirgū tiek piedāvātas caurules ar dažādu izolācijas biezumu, tāpēc tiek izvēlētas konkrētas caurules konkrētiem apstākļiem. Jāņem vērā gruntsūdens esamība vidē, kur tiks ieguldītas konkrētās caurules. Ja izolācija tiks samitrināta, siltuma vadāmības koeficients var palielināties vairākas reizes. Siltuma zudumi saistīti ar siltuma nesēja atdzišanu, bet tvaika izmantošanas gadījumos – arī ar kondensācijas zudumiem. Zudumus var noteikt pēc mērījumu rezultātiem un aprēķināt, izmantojot siltuma bilances vienādojumu:

$$Q = Gc_p(t_1 - t_2) + rG_k, \qquad (3.28.)$$

kur G – vienfāzes siltumnesēja transportētā masa (šķidruma vai tvaika), kg/s;

c_p – īpatnējā siltumnesēja siltumietilpība konstanta spiediena gadījumā, J/(kg·K);

r – kondensācijas siltums, J/kg;

G_k – kondensētais siltumnesēja daudzums kg/s.

Virszemes siltumvadu zudumus var aprēķināt pēc siltuma pārejas vienādojuma, attiecinot uz posma garumu l:

$$Q = q_{lin} \cdot l = k_{lin}\Delta t l, \qquad (3.29.)$$

kur q_1 – lineārās siltuma plūsmas blīvums, W/(m °C);

$\Delta t \cong (\bar{t}_s - t_v)$ – temperatūras kritums, °C;

$\bar{t}_s$ – siltumnesēja vidējā temperatūra cauruļvada posmā l, °C;

t_v – apkārtējās vides temperatūra, °C.

Siltuma pārneses lineāro koeficientu k_{lin} caur iepriekš izolēta cauruļvada daudzslāņu sieniņu nosaka no attiecības:

$$k_{lin} = \left(\frac{1}{\alpha_s \pi D_{iekš}} + \frac{1}{2\pi\lambda} ln\frac{D_{ār}}{D_{iekš}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{izol}} ln\frac{D_{izol}}{D_{ār}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{apv}} ln\frac{D_{apv}}{D_{izol}} + \frac{1}{\alpha_{gaiss}\pi D_{apv}}\right)^{-1}, \qquad (3.30.)$$

kur α_s – siltumnesēja siltumatdeves koeficients, W/m^2·K;

α_{gaiss} – gaisa siltumatdeves koeficients, W/m^2·K;

λ – caurules siltuma vadāmības koeficients, W/(m·°C);

λ_{izol} – izolācijas siltuma vadāmības koeficients, W/(m·°C);

λ_{apv} – apvalka, resp., čaulas, siltuma vadāmības koeficients, W/(m·°C);

$D_{iekš}$ – tērauda caurules iekšējais diametrs, m;

$D_{ār}$ – tērauda caurules ārējais diametrs, m;

D_{izol} – izolācijas slāņa ārējais diametrs, m;

D_{apv} – apvalka ārējais diametrs, m.

Vienādojuma (3.30.) pirmais loceklis iekavās izsaka siltumnesēja siltuma atdeves termisko pretestību, otrais – tērauda caurules termisko pretestību, trešais – siltuma izolācijas termisko pretestību, ceturtais – apvalka termisko pretestību un piektais – siltuma atdevi apkārtējai videi. Robežgadījumā var novērtēt maksimālos iespējamos siltuma zudumus, pieņemot, ka siltuma pārneses koeficients k_{lin} atkarīgs tikai no daudzslāņu sieniņu termiskās pretestības:

$$k_{lin} = R^{-1} = \left(\frac{1}{2\pi\lambda} ln\frac{D_{ār}}{D_{iekš}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{izol}} ln\frac{D_{izol}}{D_{ār}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{apv}} ln\frac{D_{apv}}{D_{izol}}\right)^{-1}. \quad (3.31.)$$

Transportējot siltumenerģiju, rodas ievērojami siltuma zudumi. Neapmierinošas siltuma izolācijas un siltuma nesēja noplūdes dēļ vecajās sistēmās zudumi sasniedza pat 50 % robežu. Pētāmajā apgabalā īpatnējie siltuma zudumi bija 20 %, pašreiz – 13 %. Šādus zudumus savā laikā varēja atļauties Padomju Savienība, kurināmā patēriņam un izmaksām nepievēršot pietiekamu vērību. Īpaši lieli siltuma zudumi konstatēti tehnoloģiskajos siltuma cauruļvados, kuros valda augstākas temperatūras diferences. No tvaika rodoties kondensātam, fāzu pārejas rezultātā izdalās kondensācijas siltums, bet horizontālajos cauruļvados palielinās spiediena zudumi, kas jākompensē ar pārsūknēšanu.

Siltuma zudumu samazināšanai apkārtējā vidē var ieteikt:

- izvēlēties siltuma cauruļvadus ar iespējami labāku siltuma izolāciju;
- samazināt siltuma nesēja padeves temperatūras līmeni tiktāl, ciktāl tas nerada neērtības patērētājiem;
- sadarbojoties ar CSS lietotājiem, samazināt atgaitas temperatūru T2;
- atteikties no tvaika izmantošanas par siltuma nesēju;
- ja iekšējās siltuma avotu sistēmās izmanto tvaika vadu līnijas, ar kondensāta novadīšanas ierīcēm no vadiem savākt kondensātu, neļaujot tam cirkulēt tvaika vados;
- operatīvi likvidēt siltuma nesēja noplūdes;
- izstrādāt un nepārtraukti pilnveidot racionālas sistēmas siltuma sadales un piegādes automatizācijai [22, 23, 24, 25].

3.1.3. Siltuma aktivitātes koeficienta ietekme uz siltuma zudumiem

Aprēķinu piemērā tiek noteikti siltuma zudumi atdziestoša elementāra stienīša galā. Siltuma zudumi dQ_s laikā τ izsakāmi uz laukuma vienību:

$$dQ_s = -\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=0} d\tau = -\lambda(T_0 - T_c)\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right)\right]\right\}_{x=0}, \quad (3.32.)$$

kur α – temperatūras vadāmības koeficients, m^2/s;

λ – siltuma vadāmības koeficients, W/m·K;

γ – ķermeņa blīvums, kg/m^3;

T – temperatūra absolūtos grādos, K.

Ir zināms, ka:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[erf\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right)\right] = \frac{1}{\sqrt{\pi\alpha\tau}} exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha\tau}\right). \quad (3.33.)$$

Ja x=0, eksponenciālā funkcija vienlīdzīga ar 1. Tad iegūsim w/m^2:

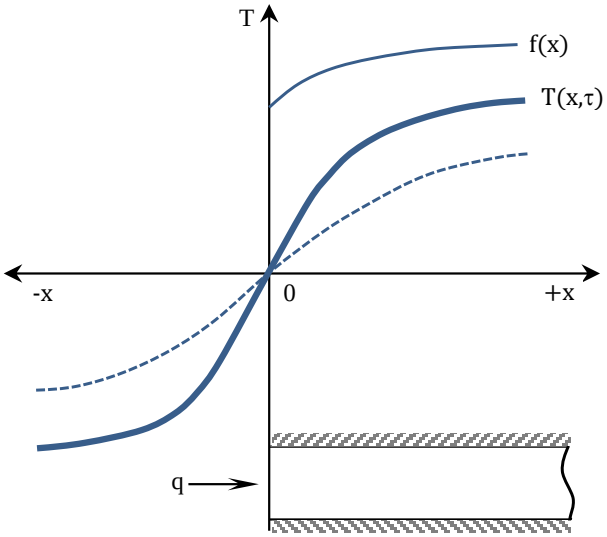
$$q = \frac{dQ_s}{d\tau} = -\frac{\lambda(T_0 - T_c)}{\sqrt{\pi\alpha\tau}} = -\sqrt{\lambda c\gamma}(T_0 - T_c)\frac{1}{\sqrt{\pi\tau}}. \quad (3.34.)$$

Tādā kārtā siltuma atdeves ātrums no virsmas vienības vai siltuma plūsmas blīvums ir tieši proporcionāls temperatūru starpībai $(T_0 - T_c)$, kādam termiskam koeficientam $\sqrt{\lambda c\gamma}$ un apgriezti proporcionāls $\sqrt{\tau}$. No tā izriet, ka pirmajos laika momentos siltuma apmaiņas ātrums ir bezgalīgi liels (triecienveidīgs), bet pēc tam pakāpeniski samazinās. Termisko konstanti $\sqrt{\lambda c\gamma}$ sauc par ķermeņa siltuma aktivitātes koeficientu vai siltuma akumulācijas koeficientu $\varepsilon = \sqrt{\lambda c\gamma}$ un tā mērvienība ir $\frac{J}{m^2 \cdot K\sqrt{sek}}$.

Attiecību var iegūt, arī izmantojot operāciju metodi:

$$L_{[q]} = -\lambda\frac{\partial}{\partial x}\{L[T(x,\tau)]\}_{x=0} = -\lambda\frac{dT_L(0,s)}{dx}; \quad (3.35.)$$

$$\frac{T_0}{s} - T_L(x,s) = \frac{T_0 - T_c}{s} e^{\sqrt{\frac{s}{\alpha}}x}. \quad (3.36.)$$



3.2. att. Temperatūras sadalījums pusierobežotā ķermenī ar siltumizolāciju sānos

Diferencējot vienādojumu (3.35.) pēc x, saskaņā ar 3.2. attēlu par temperatūru sadalījumu pusierobežotā ķermenī tiek iegūta šāda izteiksme:

$$L_{[q]} = -\lambda \frac{T_0 - T_c}{s} \sqrt{\frac{s}{\alpha}} e^{-\sqrt{\frac{s}{\alpha}}0} = -\sqrt{\lambda c \gamma}(T_0 - T_c)\frac{1}{\sqrt{s}}. \qquad (3.37.)$$

Izmantojot fizikālās matemātikas attēlojumu tabulas, iegūst:

$$q = -\sqrt{\lambda c y}(T_0 - T_c)\frac{1}{\sqrt{\pi\tau}}. \qquad (3.38.)$$

No šīs sakarības par siltuma atdeves ātrumu izriet atdzišanas atkarība no siltuma aktivitātes koeficienta ε:

$$\varepsilon = \sqrt{\lambda c y}\left[\frac{J}{m^2}\right] (K s^{1/2}). \qquad (3.39.)$$

Siltuma daudzumu, ko noteiktā laika sprīdī T zaudē vai atdod materiālais elements, atrodam, integrējot robežās no 0 līdz T :

$$Q_s = Q_{s,0} - \int_0^{\tau} \varepsilon(T_0 - T_c)\frac{1}{\sqrt{\pi\tau}} d\tau = Q_{s,0} - \frac{2\varepsilon}{\sqrt{\pi}}(T_0 - T_c)\sqrt{\tau}. \qquad (3.40.)$$

Tādā kārtā siltuma daudzums $(Q_{s,0} - Q_s)$, ko atdod elementārā stienīša gala virsma, ir tieši proporcionāls kvadrātsaknei no laika T, temperatūras starpības $(T_0 - T_c)$ un siltuma aktivitātes koeficienta ε.

Aprēķinot reālo termoizolācijas materiālu siltuma aktivitātes koeficientus, var spriest par šo materiālu piemērotību paredzētās izolācijas pakāpes sasniegšanai, kā arī izvēlēties ekonomiski pieļaujamo izolācijas slāņa biezumu, ņemot vērā optimizācijas teoriju. Jāapsver arī iespējamās rādītāju izmaiņas ekspluatācijas gaitā.

Reālos apstākļos siltumtīklos ieliktās caurules ir pārklātas ar izolācijas materiāliem, kuru parametri ir zināmi no sertifikātiem. Caurules ir pārklātas ar aizsargapvalkiem: plastmasas aizsargčaulām vai metāla apvalkiem. Ideālā gadījumā apvalks ir hermētisks un droši aizsargā caurules termoizolācijas slāni (vai vairākus dažāda materiāla slāņus), bet ieslēgtais gāzu sastāvs un relatīvais mitrums ir konstanti lielumi. Bojājumu gadījumā jārēķinās ar mitruma iekļūšanu siltumizolācijas slānī, mainot tā parametrus, un tas nozīmē jaunus papildu siltuma zudumus, kas nekavējoties jādefektē un jānovērš.

Ap rūpnieciski izolētajām caurulēm, kas iebūvētas gruntī, ir heterogēns slānis, kura mitrums var būt dažāds un atrasties gan šķidrā, gan gāzveida, gan cietā – sasaluma stāvoklī, turklāt cauruļu garumā grunts slāņa sastāvs var mainīties plašā diapazonā. Pēc nodošanas ekspluatācijā grunts blīvējums var palielināties.

Papildu grūtības fiksēt minēto stāvokli rada fakts, ka izolēto cauruļu ārējie izmēri salīdzinājumā ar ierakšanas dziļumu ir tik lieli, ka, ja ārgaisa temperatūra ilgāku laiku ir mīnusos, ap cauruli sasalšanas dziļuma tuvumā veidojas sarežģīts temperatūras lauks, tādēļ uzdevuma formulējumā jāizsaka daži pieļāvumi, kas nemazina vispārējo slēdzienu pareizību par ietekmi uz siltuma zudumiem.

Varam pieņemt, ka grunts siltuma aktivitātes koeficients ε nevar būt augstāks par 1500 $\frac{J}{m^2 \cdot K\sqrt{sek}}$ un zemāks par 500 $\frac{J}{m^2 \cdot K\sqrt{sek}}$. Teorētiskā aprēķinā pieņemsim ekvivalento siltuma aktivitātes koeficientu nezināmai gruntij $\varepsilon_e = 1000 \frac{J}{m^2 \cdot K\sqrt{sek}}$.

Izveidots vienkāršots uzdevums par dzisināšanas efekta atkarību no ε.

Ņemsim vienkāršu sistēmu, kas sastāv no diviem pusierobežotiem elementāriem stienīšiem, kas no sāniem norobežoti ar ideālu siltuma izolāciju un saskaras ar vienādi liela laukuma gala virsmām. Stienīšu sākumtemperatūra sākumā ir dažāda, tie nostādīti cieši līdzās un saskaras.

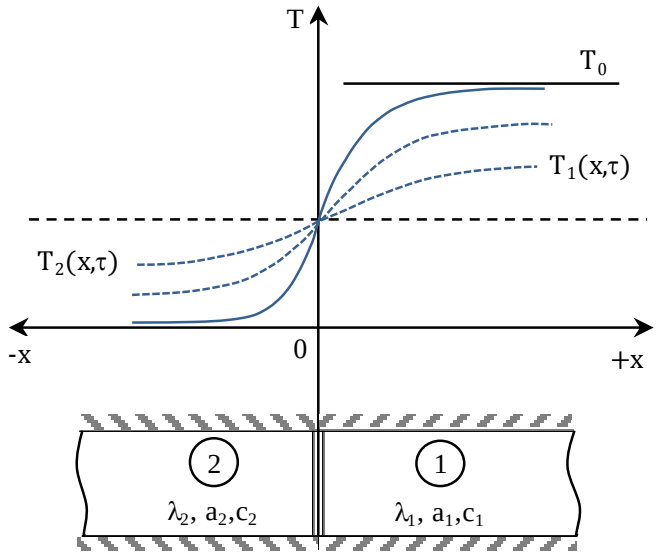
Šai divu pusierobežoto ķermeņu sistēmai nosaka temperatūras sadalījumu.

Var izveidot šādas sakarības:

$$\frac{\partial T_1(x,\tau)}{\partial \tau} = \alpha_1 \frac{\partial^2 T_1(x,\tau)}{\partial x^2};\ (\tau > 0; x > 0), \qquad (3.41.)$$

$$\frac{\partial T_2(x,\tau)}{\partial \tau} = \alpha_1 \frac{\partial^2 T_2(x,\tau)}{\partial x^2};\ (\tau > 0; x < 0). \qquad (3.42.)$$

Koordinātu sākums atrodas saskares vietā (sk.3.3.attēlu).



3.3. att. Divu cieši kopā novietotu pusierobežotu stienīšu temperatūras lauks

Robežnoteikumus pieraksta šādi:

$$T_1(x,0) = f_1(x); T_2(x,0) = f_2(x);$$

$$\frac{\partial T_1(+\infty,\tau)}{\partial x} = \frac{\partial T_2(-\infty,\tau)}{\partial x} = 0;$$

$$T_1(+0,\tau) = T_2(-0,\tau);$$

$$\frac{\partial T_1(0,\tau)}{\partial x} = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\frac{\partial T_2(0,\tau)}{\partial x}. \qquad (3.43.)$$

Apskatīsim vienkāršotu uzdevumu ar šādiem nosacījumiem (sk. 3.3. attēlu):

$$T_1(x,0) = T_{01} = const.;\ T_2 = (x,0) = 0.$$

Temperatūras atskaiti sāk no otrā ķermeņa temperatūras.

<u>Uzdevuma atrisinājums</u>

No abām pirmajām sakarībām (3.41., 3.42.) un izvēlētajiem robežnoteikumiem (3.43.) $T_{L1}(x, s)$ un $T_{L2}(x, s)$ izsakāmi šādā veidā:

$$T_{L1}(x,s) - \frac{T_{01}}{s} = B_1 exp\left(-\sqrt{\frac{s}{\alpha_1}}x\right);\ (x > 0), \qquad (3.44.)$$

$$T_{L2}(x,s) = B_2 exp\left(\sqrt{\frac{s}{\alpha_2}}|x|\right);\ (x < 0). \qquad (3.45.)$$

Konstanšu B_1 un B_2 vērtības atrod, ņemot vērā robežnoteikumus, kurus pārraksta šādā formā:

$$T_{L1}(0,s) = T_{L2}(0,s);$$

$$T'_{L1}(0,s) = -\left(\frac{\lambda_2}{\lambda}\right) T'_{L2}. \qquad (3.46.)$$

Tad (3.44.) un (3.45.) risinājumu var pārrakstīt šādi:

$$T_{L1}(x,s) = \frac{T_0}{s} - \frac{T_0}{(1+K_\varepsilon)s} exp\left(-\sqrt{\frac{s}{\alpha_1}}x\right), (x > 0); \qquad (3.47.)$$

$$T_{L2}(x,s) = \frac{K_\varepsilon T_0}{(1+K_\varepsilon)s} exp\left(-\sqrt{\frac{s}{\alpha_2}}|x|\right), (x < 0); \qquad (3.48.)$$

$$K_\varepsilon = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \sqrt{\frac{\lambda_1 c_1 \gamma_1}{\lambda_2 c_2 \gamma_2}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}; \qquad (3.49.)$$

$$K_\varepsilon = \frac{K_\lambda}{\sqrt{K_\alpha}}, \qquad (3.50.)$$

kur K_ε ir kritērijs, kas raksturo pirmā elementārā stieņa materiāla siltuma aktivitāti pret otro stieni. Tas ir vienlīdzīgs siltuma aktivitātes koeficientu attiecībai;

K_λ ir kritērijs, kas raksturo ķermeņa relatīvo siltumvadītspēju:

$$K_\lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}; \qquad (3.51.)$$

K_α ir kritērijs, kas raksturo otra ķermeņa siltuma inerces īpašības attiecībā pret pirmo ķermeni:

$$K_\alpha = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}. \qquad (3.52.)$$

(3.47.) un (3.48.) risinājumā iekļauti funkciju tabulu atveidojumi, tādēļ risinājumu oriģinālam var uzrakstīt tieši bez starpvienādojumiem:

$$\theta_1 = \frac{T_1(x,\tau)}{T_0} = \frac{K_\varepsilon}{1+K_\varepsilon}\left(1 + \frac{1}{K_\varepsilon} erf \frac{x}{2\sqrt{\alpha_1 \tau}}\right), (x > 0); \qquad (3.53.)$$

$$\theta_2 = \frac{T_2(x,\tau)}{T_0} = \frac{K_\varepsilon}{1+K_\varepsilon} erfc \frac{|x|}{2\sqrt{\alpha_2 \tau}}, (x < 0). \qquad (3.54.)$$

Ja otrā ķermeņa sākuma temperatūra ir T_{02}, bet pirmā ķermeņa temperatūra T_{01}, tad atrisinājums būs šāds:

$$\theta_1 = \frac{T_1(x,\tau) - T_{01}}{T_{01}} = \frac{K_\varepsilon}{1+K_\varepsilon}\left(1 + \frac{1}{K_\varepsilon} erf \frac{x}{2\sqrt{\alpha_1 \tau}}\right); \qquad (3.55.)$$

$$\theta_2 = \frac{T_2(x,\tau) - T_{02}}{T_{01} - T_{02}} = \frac{K_\varepsilon}{1+K_\varepsilon} erfc \frac{|x|}{2\sqrt{\alpha_2 \tau}}. \qquad (3.56.)$$

No atrisinājumu analīzes izriet, ka, ja $T \to \infty$, kad stāvoklis ir stacionārs, abu ķermeņu relatīvā temperatūra būs vienāda un vienlīdzīga ar:

$$\theta(x,\infty) = \frac{K_\varepsilon}{1+K_\varepsilon}. \quad (3.57.)$$

Ja abu stieņu siltuma aktivitāte ir vienāda ($K_\varepsilon = 1$), tad stacionārā stāvoklī relatīvā temperatūra būs vienāda ar $\theta/2$. Saskares robežās šī temperatūra noregulējas uzreiz pēc ķermeņu pieskaršanās un paliek nemainīga visā siltuma apmaiņas procesā, jo

$$\theta(0,\tau) = \theta(x,\infty) = \frac{K_\varepsilon}{1+K_\varepsilon}. \quad (3.58.)$$

Ja viena ķermeņa siltuma aktivitāte ir ievērojami lielāka par otra ķermeņa siltuma aktivitāti, t.i. $\varepsilon_1 >> \varepsilon_2$, tad $K_\varepsilon >> 1$. Tādā gadījumā $\theta(0,\tau)$ būs maksimālā un vienlīdzīga ar $\theta(0,\tau) = 1$. Ja ķermeņa relatīvā siltuma aktivitāte ir maza ($K_\varepsilon \to 0$), tad lielums $\theta(0,\tau)$ vienlīdzīgs nullei.

Tādā kārtā lielums $\theta(0,\tau)$ raksturo pusierobežota ķermeņa relatīvās temperatūras pazeminināšanos, tam saskaroties ar citu pusierobežotu ķermeni. Tādēļ lielumu sauc par *dzisināšanas efektu*.

$$1 - \theta(0,\tau) = \frac{1}{1+K_\varepsilon} = X. \quad (3.59.)$$

Ja $\theta(0,\tau) = 1$, tad dzisināšanas efekta nav (kas dabā nav iespējams bez papildu enerģētisko lauku iedarbības). Turpretī, ja $\theta(0,\tau) = 1$, tad X=1 un ir sasniegts maksimālais teorētiski iespējamais dzisināšanas efekts. [26, 27]

3.1.4. Siltuma zudumu aprēķina piemērs divām gruntī ieguldītām caurulēm

Definīcijas:

λ – siltumvadītspējas koeficients W/(m·K) – izsaka to siltuma daudzumu, kas izplūst caur 1 m^2 virsmas, ja temperatūru diference starp virsmām ir 1 grāds un attālums starp tām 1 m;

c – īpatnējā siltumietilpība J/(kg·K) – ir siltuma daudzums, kas jāpievada vielas masas vienībai, lai paaugstinātu tās temperatūru par vienu grādu;

ρ – materiāla blīvums kg/m^3 – tilpuma vienības masa, kas attiecināma pret tā tilpumu.

Siltuma zudumus viena metra turpgaitas caurulei Φ_1 un atgaitas caurulei Φ_2 aprēķina pēc vienādojumiem [33]:

$$\Phi_1 = K_1(t_1 - t_{gr}) - K_2(t_2 - t_{gr}); \quad (3.60.)$$

$$\Phi_2 = K_1(t_2 - t_{gr}) - K_2(t_1 - t_{gr}). \quad (3.61.)$$

Kopējie abu cauruļvadu siltuma zudumi ir:

$$\Phi_1 + \Phi_2 = 2(K_1 - K_2)\left(\frac{t_1+t_2}{2} - t_{gr}\right), \quad (3.62.)$$

kur K_1 un K_2 – siltumpārejas (siltuma zudumu) koeficienti, W/m·K;

$t_1$un t_2 – turpgaitas un atgaitas temperatūra, K;

t_{gr} – grunts temperatūra dziļumā Z, K.

Simetrisku struktūru caurulēm siltumpārejas (siltuma zudumu) koeficientus aprēķina pēc vienādojumiem:

$$K_1 = \frac{R_{gr}+R_i}{(R_{gr}+R_i)^2-R_h^2}; \quad (3.63.)$$

$$K_2 = \frac{R_h}{(R_{gr}+R_i)^2-R_h^2}, \quad (3.64.)$$

kur R_{gr} – grunts termiskā pretestība, m·K/W;

R_i – izolācijas materiāla termiskā pretestība, m·K/W;

R_h – termiskā pretestība starp turpgaitas un atpakaļgaitas cauruli, m·K/W.

Grunts termiskā pretestība:

$$R_{gr} = \frac{1}{2\pi\lambda_{gr}} ln \frac{4Z_c}{D_c}; \quad (3.65.)$$

$$Z_c = Z + R_0 \cdot \lambda_{gr}, \quad (3.66.)$$

kur Z_c – ieguldījuma dziļuma Z koriģētais lielums, kas iekļauj arī siltuma plūsmas pārejas termisko pretestību R_0 grunts virspusē, m;

Z – ieguldījuma dziļums no grunts virsmas līdz caurules vidum, m;

λ_{gr} – grunts siltumvadītspējas koeficients, W/m·K;

(Ja grunts ir mitra, tad $\lambda_{gr} = 1{,}5-2$ W/(m·K). Ja grunts ir sausa un smilšaina, tad $\lambda_{gr} \approx 1{,}0$ W/(m·K).)

R_0 – siltuma plūsmas pārejas termiskā pretestība grunts virspusē, (m·K)/W.

(Parasti R_0 = 0,0685 (m·K)/W.)

Izolācijas materiāla termiskā pretestība:

$$R_i = \frac{1}{2\pi\lambda_i} ln \frac{D_{PU}}{d_o}, \quad (3.67.)$$

kur, D_{PU} – izolācijas materiāla diametrs, m;

d_o – darba caurules ārējais diametrs, m;

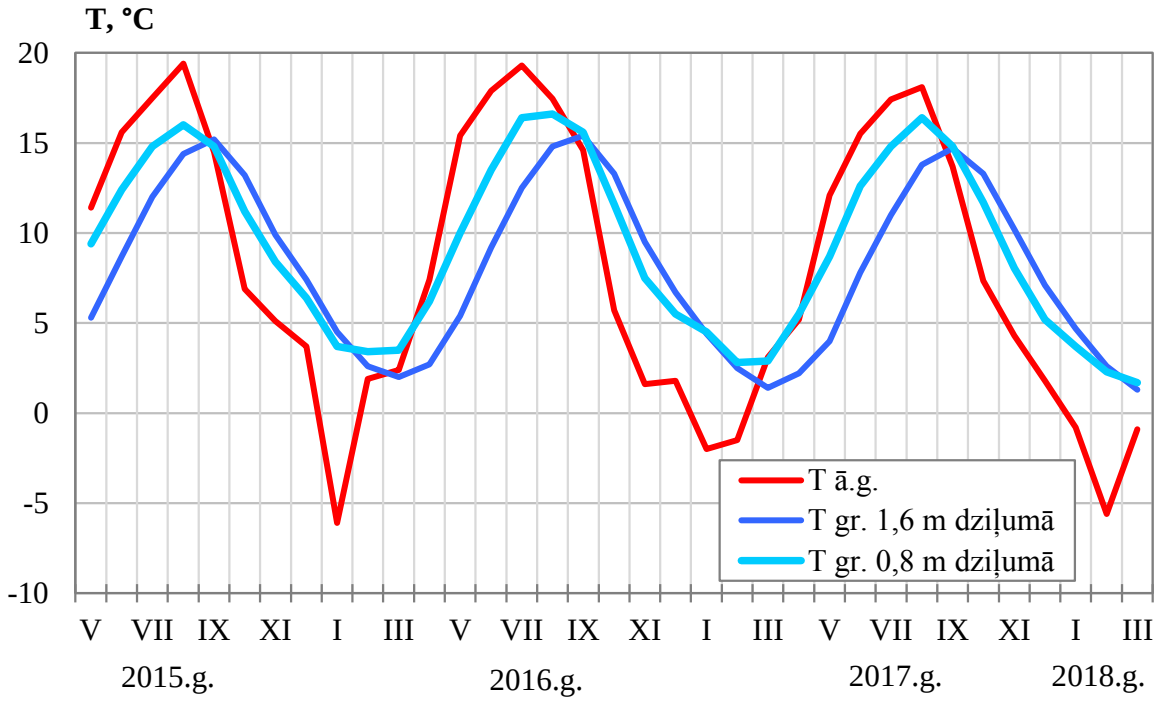
λ_i – PU izolācijas siltumvadītspējas koeficients, W/(m·K).

EN 253 paredzētā siltumvadītspējas koeficienta robeža ir λ_i = 0,033 W/(m·K). Veicot aprēķinus, siltumvadītspējas koeficientu pieņem atbilstoši ražotāja instrukcijai.

Kopējo siltuma pārejas koeficientu var aprēķināt:

$$K_1 - K_2 = \frac{1}{R_{gr}+R_l+R_h}. \qquad (3.68.)$$

Siltumu zudumu aprēķina piemērs



3.4. att. Āra gaisa un grunts mēneša vidējā temperatūra no 2015. gada maija līdz 2018. gada martam [34]

Lai aprēķinātu siltumtrases siltuma zudumus, izmanto šādus lielumus:

- caurule – 168,3/250;
- attālums no zemes virsmas līdz cauruļu asīm – Z = 0,8 m;
- attālums starp cauruļu asīm – C = 0,25+0,15 = 0,4 m;
- grunts siltumvadītspējas koeficients – λ_{gr} = 2,0 W/m·K (mitra smilts vai māls);
- PU siltumvadītspējas koeficients – λ_1 = 0,030 W/m·K;
- vidējā gada turpgaitas temperatūra – t_1 = 100 K;
- vidējā gada atgaitas temperatūra – t_2 = 50 K;
- grunts temperatūra dziļumā Z – t_{gr} = 8 K

Grunts termiskā pretestība:

$$Z_c = 0{,}8 + 0{,}0685 \cdot 2{,}0 = 0{,}937 \text{ m};$$

$$R_{gr} = \frac{1}{2\pi\lambda_{gr}} ln\frac{4Z_c}{D_c} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}0} ln\frac{4 \cdot 0{,}937}{0{,}250} = 0{,}23\ (m \cdot K)/W.$$

Izolācijas materiāla termiskā pretestība:

$$R_i = \frac{1}{2\pi\lambda_i} ln \frac{D_{PU}}{d_0} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}030} ln \frac{0{,}250 - 2 \cdot 0{,}0039}{0{,}1683} = 1{,}93\ (m \cdot K)/W.$$

Termiskā pretestība starp turpgaitas un atgaitas caurulēm:

$$R_h = \frac{1}{4\pi\lambda_i} ln\left(1 + \left(\frac{2Z_c}{C}\right)^2\right) = \frac{1}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}0} ln\left(1 + \left(\frac{2 \cdot 1{,}137}{0{,}4}\right)^2\right) = 0{,}14\ (m \cdot K)/W.$$

Siltuma pārejas koeficienti:

$$K_1 = \frac{R_{gr} + R_i}{\left(R_{gr} + R_i\right)^2 - R_h^2} = \frac{0{,}23 + 1{,}93}{(0{,}23 + 1{,}93)^2 - 0{,}14^2} = 0{,}465\ W/(m \cdot K);$$

$$K_2 = \frac{R_h}{\left(R_{gr} + R_i\right)^2 - R_h^2} = \frac{0{,}14}{(0{,}14 + 1{,}93)^2 - 0{,}14^2} = 0{,}0316\ W/(m \cdot K).$$

Siltuma zudumi turpgaitas caurulē:

$$\Phi_1 = K_1\left(t_1 - t_{gr}\right) - K_2\left(t_2 - t_{gr}\right) = 0{,}465(100 - 8) - 0{,}0316(50 - 8) = 41{,}5\ W/m.$$

Siltuma zudumi atgaitas caurulē:

$$\Phi_2 = K_1\left(t_2 - t_{gr}\right) - K_2\left(t_1 - t_{gr}\right) = 0{,}465(50 - 8) - 0{,}0316(100 - 8) = 17{,}1\ W/m;$$

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = 58{,}6\ W/m.$$

Ja ir nepieciešams aprēķināt siltuma zudumus tikai cauruļu pārim, tad vieglāk to izdarīt šādi:

$$K_1 - K_2 = \frac{1}{R_{gr} + R_i + R_h} = \frac{1}{0{,}23 + 1{,}93 + 0{,}14} = 0{,}435\ W/(m \cdot K).$$

Kopējie cauruļu pāra 1 metra siltuma zudumi:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = 2(K_1 - K_2)\left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_{gr}\right) = 2 \cdot 0{,}435 \cdot \left(\frac{100 + 50}{2} - 8\right) = 58{,}3\ W/m.$$

Siltuma zudumi Q noteiktam siltumtīklu posmam ar garumu L noteiktā laikā h ir:

$$Q = \Phi \cdot L \cdot h. \qquad (3.69.)$$

3.2. Dažādu siltumenerģijas zudumu samazināšanas pasākumu pārvadē analīze

Centralizētās siltumapgādes sistēma darbības efektivitātes novērtējumu mēdz izteikt ar lietderības koeficientu (īpatnējie siltumenerģijas zudumi pārvades sistēmā) – pie patērētājiem patērētās siltumenerģijas daudzums (lietderīgā enerģija) pret sistēmā ievadīto siltumenerģijas daudzumu (saražotā enerģija) (sk.(3.70.) vienādojumu):

$$\eta = \frac{Q_{lietd.}}{Q_{saraž.}}, \qquad (3.70.)$$

kur $Q_{lietd.}$ - pie patērētājiem patērētās siltumenerģijas daudzums (lietderīgā enerģija);

$Q_{saraž.}$ - sistēmā ievadītais siltumenerģijas daudzums (saražotā enerģija).

Lai taupītu siltumenerģiju, jāmeklē ceļi un līdzekļi siltuma zudumu samazināšanai, netraucējot vajadzīgā siltuma režīma nodrošināšanu patērētājiem.

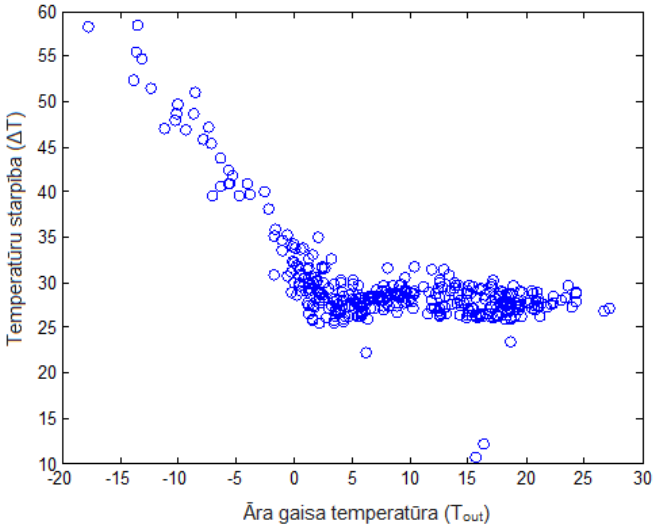
Svarīgākā problēma, samazinot siltuma zudumus, ir visu apzināto zudumu komponentu rakstura un skaitlisko vērtību noskaidrošana, kas ļautu pievērsties optimāliem tehnoloģiskiem, ekonomiski pieļaujamiem risinājumiem un paaugstināt lietderības koeficientu. Lai varētu pamatot izvēlēto ceļu zudumu samazināšanai, pirms lēmuma pieņemšanas jāveic visu pārvades sistēmu detalizēta izpēte, noskaidrojot dažāda veida zudumu varbūtējo savstarpējo ietekmi, to samazināšanas metožu ekonomiskos rādītājus un tehnisko stabilitāti, ieskaitot automatizācijas iespējas. Tā kā siltumapgādes sistēmas atšķiras ar tīklu ģeogrāfisko izvietojumu, atsevišķu posmu garumu un cauruļu diametru, kā arī ar pieslēgto patērētāju raksturu (patērētāju siltumslodžu blīvums), izmaiņu aprēķinu metodika mainīgiem lielumiem var izrādīties neprecīza, bet plūsmu līdzības teorija grūti izmantojama. Tādā gadījumā piemērotos meteoroloģiskos apstākļos lietderīgi veikt reālu tehnisku eksperimentu, iegūstot vajadzīgos izejas datus izvēlētā tehniskā risinājuma pilnveidošanai. Tieši šāds ceļš tika izvēlēts arī iespējamo automātiskās regulēšanas risku pārbaudei, izveidojot temperatūras kontroles metodoloģiju un ar mūsdienu mērīšanas tehniku viegli un ar vēlamo precizitāti kontrolējot CSS darbību un konkrēti T2.

3.2.1. Siltumapgādes pārvades sistēmas kontroles metodoloģija

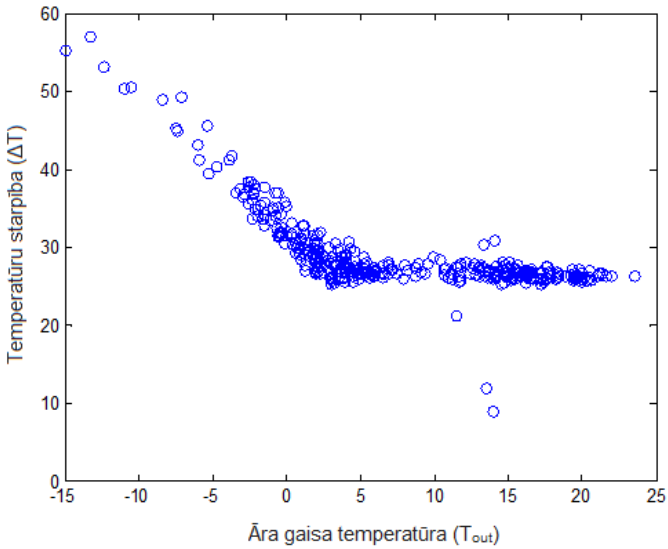
Turpgaitas un atgaitas temperatūrām ir būtiska nozīme centralizētās apgādes sistēmas efektīvā darbībā, svarīgi ir arī siltumenerģijas zudumi pārvadē. Kā jau iepriekšējās sadaļās minēts, siltumenerģijas zudumi ir atkarīgi no ΔT, siltumnesēja un apkārtējās vides temperatūras. Jaunākie pētījumi [35, 36] liecina, ka pat relatīvi zema turpgaitas temperatūra (nedaudz virs 50 °C) var apmierināt patērētāju prasības Centrāleiropas un Ziemeļeiropas valstīs. Bet, tā kā mūsu valstī centralizētās siltumapgādes sistēmas ir projektētas un būvētas 20. gs. 70. gados, turpgaitas temperatūras ir daudz augstākas un sasniedz 120 °C, tāpēc patērētāju sistēmas (ēku iekšējās siltumapgādes sistēmas) ir izveidotas atbilstīgi šim temperatūras grafikam un patērētāju sistēmu pārbūve ir gandrīz neiespējama, jo tās ir patērētāju īpašums un sistēmas pārbūve citam zemākam temperatūras grafikam ir finansiāli liels slogs patērētājiem. Un, ņemot vērā, ka šobrīd sistēma darbojas labi, mainīt to ir ļoti grūti. Nākotnē jāprojektē jaunas apkaimes, kur var paredzēt modernas siltumapgādes sistēmas ar zemākām turpgaitas temperatūrām.

Pārvades sistēmas turpgaitas un atgaitas temperatūru starpība (ΔT) gada laikā parasti svārstās. Pētījums [35] parādīja, ka apkures sezonas laikā Dānijā pastāv korelācija starp ΔT un āra gaisa temperatūru (T_{out}). Trenda līnija, kas parāda ΔT samazināšanos T_{out} pieauguma gadījumā, ja T_{out}< 10°C, ir parādīta [35]. Ja T_{out} vērtības ir lielākas (no 0 °C līdz 30 °C), dati ir izkliedēti plašā vērtību diapazonā, tāpēc T_{out}> 10 °C korelācija nepastāv. Ņemot vērā to, ka Dānijas un Latvijas siltumapgādes sistēmu darbība zināmā mērā atšķiras, tika nolemts veikt pētījumu, lai iegūtu saikni starp ΔT un T_{out} siltumenerģijas ražošanas avotos Rīgā. Ir izvēlēti

divi siltumenerģijas ražošanas avoti (TEC1 un TEC2), kas darbojas Rīgā. Dati ir klasificēti par diviem gadiem (2015./2016. un 2016./2017. gads). Dienas vidējā turpgaitas un atgaitas temperatūra tiek reģistrēta visu gadu. Arī dienas vidējā āra gaisa temperatūra ir reģistrēta šajā laika posmā. Izkliedes diagrammas, kas parāda saikni starp ΔT un T_{out}, redzamas 3.5. un 3.6. attēlā.



3.5. att. Temperatūru starpība (ΔT) pret āra gaisa temperatūru (T_{out}) siltumapgādes stacijā TEC1 viena gada laikā (no 2015. gada 1. oktobra līdz 2016. gada 30. septembrim)



3.6. att. Temperatūru starpība (ΔT) pret āra gaisa temperatūru (T_{out}) siltumapgādes stacijā TEC1 viena gada laikā (no 2016.gada 1. oktobra līdz 2017. gada 30. septembrim)

Atšķirību centralizētās siltumapgādes sistēmas darbībā Latvijā un Dānijā var apskatīt, salīdzinot pētījuma [35] grafiku ar 3.5. un 3.6.attēlu. Kā redzams 3.5. un 3.6.attēlā, korelācija pastāv starp ΔT un T_{out}, -20 °C< T_{out}< 10 °C diapazonā. Ja āra gaisa temperatūra ir augstāka,

ΔT ir praktiski neatkarīga no T_{out}. Kā parādīts [35], T_{out} > 10 °C gadījumā temperatūru starpība ΔT ir plaši izkliedēta (0 °C - 50 °C intervālā).

Tā kā korelācija starp ΔT un T_{out} pastāv diapazonā T_{out}< 10 °C, tika veikta regresijas analīze atbilstīgi 2015./2016. un 2016./2017. (no 2015. gada 1. oktobra līdz 2016. gada 1. maijam un no 2016. gada 1. oktobra līdz 2017. gada 1. maijam) apkures sezonu datiem, izmantojot pirmās un otrās pakāpes polinomus. Aprēķini ir veikti ar *Matlab* programmatūru. Regresijas analīzes rezultāti rāda, ka otrās pakāpes polinomi labāk aproksimē sakarību starp ΔT un T_{out} (otrās pakāpes polinomam atbilst ievērojami lielāka determinācijas koeficienta R^2 vērtība). 3.7. attēlā parādīti abi: gan vislabāk piemērotais otrās pakāpes polinoms, gan atbilstīgo datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC1 2015./2016. gada apkures sezonā. Līdzīga informācija iekļauta 3.8. attēlā 2016./2017. gada apkures sezonai.

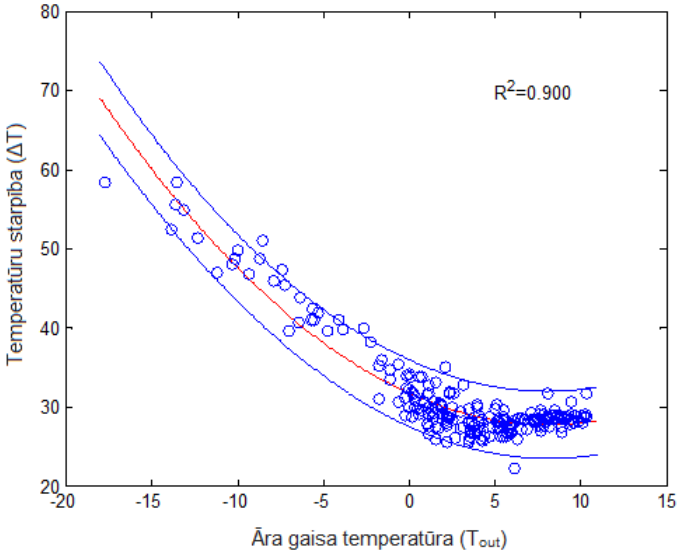
Regresijas vienādojums TEC1 2015./2016. gada apkures sezonai:

$$\gamma = 0{,}0604\,x^2 - 0.9813x + 31{,}7189;$$
$$R^2 = 0{,}900.$$

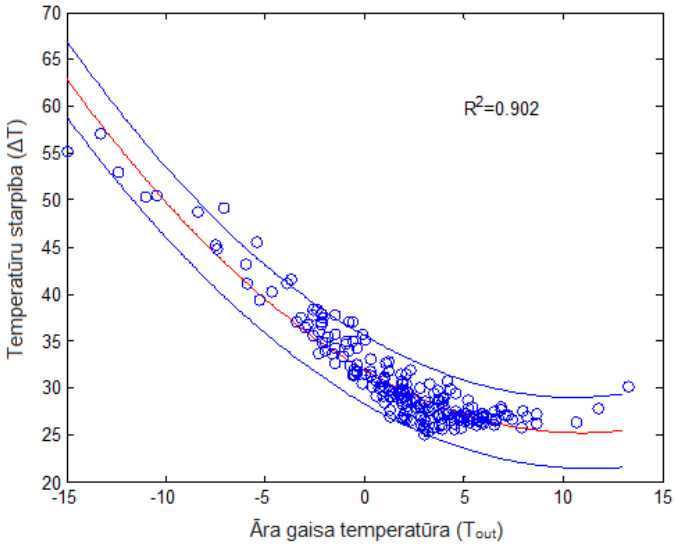
Regresijas vienādojums TEC1 2016./2017. gada apkures sezonai:

$$\gamma = 0{,}0559\,x^2 - 1{,}2221x + 31{,}913;$$
$$R^2 = 0{,}902.$$

Kļūda ir mazāka nekā TEC2. 90 % no mainīgās ΔT izkliedes (dispersijas) izskaidroti ar regresijas modeli.

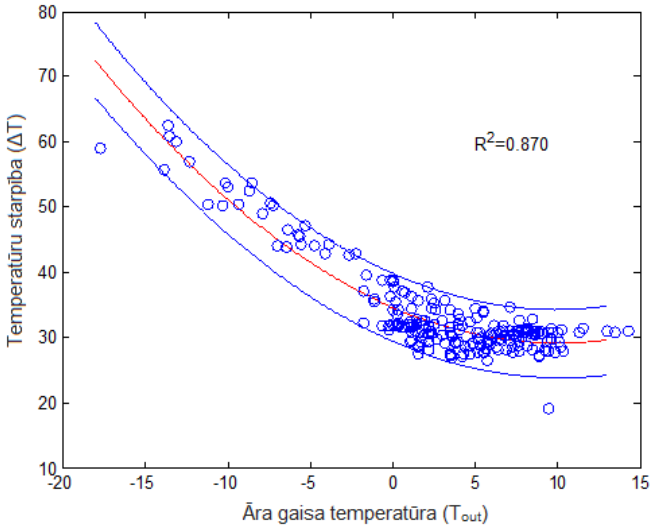


3.7. att. Vislabāk piemērots otrās pakāpes polinoms un datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC1 2015./2016. (no 2015. gada 1. oktobra līdz 2016. gada 1. maijam) apkures sezonai



3.8. att. Vislabāk piemērots otrās pakāpes polinoms un datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC1 2016./2017. (no 2016. gada 1. oktobra līdz 2017. gada 1. maijam) apkures sezonai

Līknes virs un zem otrās pakāpes polinoma diagrammā 3.7. un 3.8. attēlā atbilst 95 % ticamības intervālam vidējām prognozētajām vērtībām.



3.9. att. Vislabāk piemērots otrās pakāpes polinoms un datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC2 2015./2016. (no 2015. gada 1. oktobra līdz 2016. gada 1. maijam) apkures sezonai

Izmantojot klasificētos datus no citas siltumapgādes stacijas Rīgā (TEC2), ir sastādītas trenda līnijas un noteiktas atgaitas temperatūras nobīdes robežas 2015./2016. un 2016./2017. gada apkures sezonai, attiecīgi tas ir redzams 3.9. un 3.10. attēlā.

Regresijas vienādojums TEC2 2015./2016. gada apkures sezonai:

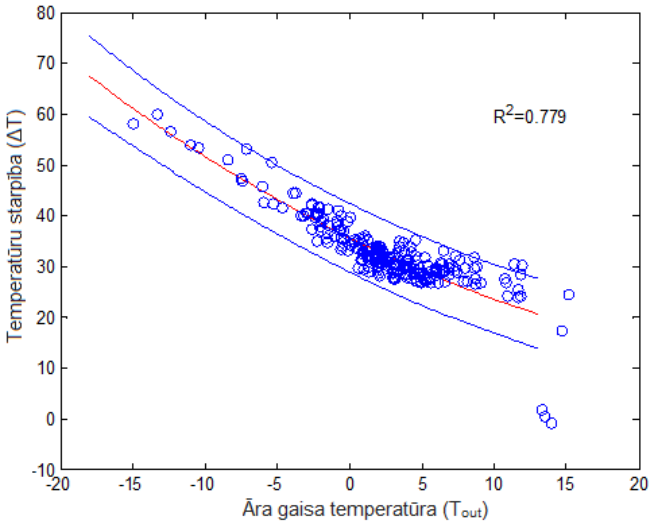
$$\gamma = 0{,}0557x^2 - 1{,}1082x + 34{,}6453;$$

$$R^2 = 0{,}870.$$

Regresijas vienādojums TEC2 2016./2017. gada apkures sezonai:

$$\gamma = 0{,}0201x^2 - 1{,}4021x + 35{,}5356;$$
$$R^2 = 0{,}779.$$

Izmantots otrās kārtas polinoms. Mēģinājām izmantot lineāro funkciju, bet otrās kārtas polinoms dod visaugstāko determinācijas koeficienta R^2 vērtību. Minētais koeficients nosaka, cik lielu daļu no γ var izskaidrot šo modeli. Koeficienta R^2 vērtībai jātiecas tuvāk 1, tad kļūdas nav.



3.10. att. Vislabāk piemērots otrās pakāpes polinoms un datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC2 2016./2017. (no 2016. gada 1. oktobra līdz 2017. gada 1. maijam) apkures sezonai

Dažus vispārīgus secinājumus var izdarīt, analizējot grafikus 3.7.–3.10. attēlā. Pirmkārt, otrās pakāpes polinoms ir piemērots visiem datiem (noteikšanas koeficients svārstās no 0,779 līdz 0,902). Atbilstīgās p-vērtības, kas noteiktas ar *Matlab* programatūru, visos izskatītajos gadījumos ir mazākas par 10^{-4}. Gandrīz visi datu punkti 3.7.–3.10. attēlā atrodas starp 95 % ticamības intervāla augšējo un apakšējo robežu.

Jāņem vērā, ka trenda līnija kopā ar trīs standarta novirzes līnijām ir parādīta pētījuma [35] grafikā. Pētījuma [35] rezultāti liecina, ka tipisks temperatūras starpības (ΔT) diapazons starp +/- trīs standarta novirzēm ir apmēram 25 °C. Kā redzams 3.7.–3.10. attēlā, tipiska starpība starp augšējām un apakšējām uzticamības intervāla robežām ir apmēram 9 °C (tātad 95 % ticamības intervāla vērtējums rada daudz mazāku nenoteiktību nekā vērtējumi, kas balstīti uz trim standarta novirzēm no trenda līnijas). Pētot, kā, mainoties atgaitas temperatūrai, mainās pārvades sistēma, var atklāt nobīdes no normālā stāvokļa, tātad sistēmā ir izmaiņas, kas jāidentificē ar citām praktiskām metodēm. Piemēram:

- patērētāju sistēmu pārbaude, izmantojot siltumskaitītāju datu nolasīšanu;
- patērētāju sistēmu apsekošana, atgaitas temperatūras režīma ievērošanas pārbaude;
- pārvades sistēmu (bezkanālu siltumtrašu) kontroles sistēmu monitoringa rezultātu analīze;
- virzemes un kanālu siltumtrašu apsekošana;

- siltumkameru noslēgarmatūras stāvokļu pārbaude (nesankcionētu darbību pārbaude).

Pētījuma rezultāti parāda kā, izmantojot vēsturiskos datus, katrai siltumapgādes sistēmai var sastādīt trenda līnijas un noteikt atgaitas temperatūras nobīdes robežas. Katras sistēmas operators, sekojot atgaitas temperatūrai un salīdzinot to ar trendu līniju robežām, var operatīvi konstatēt nobīdi un rīkoties, lai novērstu nepilnības centralizētās sistēmas pārvades sistēmā.

Izstrādātās sistēmas efektīvākai izmantošanai jāizveido tehnisko datu pārvaldīšanas sistēma, kas automātiski seko tās darbībai un paziņo par iestatījumu nobīdēm. Tas nozīmē, ka, lai kvalitatīvi pārvaldītu centralizētu siltumapgādes sistēmu, vajag organizēt automātisku atgaitas temperatūras datu savākšanu un ievadīšanu kopējā sistēmā, kur tiek ģenerētas atskaites par sistēmas darbības parametriem, un izveidotā sistēma brīdina par nobīdēm no iestatījumiem.

Un tikai šādi var operatīvi pārvaldīt siltumapgādes pārvades sistēmu un noteikt defektus (sistēmas elementu funkcionālās nobīdes no normāliem parametriem).

Metodoloģijas aprēķina piemērs

Lai pārbaudītu promocijas darbā piedāvāto centralizētās siltumapgādes sistēmas pārvaldības un kontroles metodoloģiju, samazinot siltumnesēja atgaitas temperatūru par 1 °C, tika veikts siltuma zudumu aprēķins, un tika noteikta arī ekonomaizera ražības izmaiņas. Siltuma zudumu aprēķins veikts Rīgas pilsētas Labā krasta siltumtīklos, TEC1 un TEC2 siltumapgādes zonai. Vasaras periodā strādā TEC1, bet apkures sezonā strādā kā TEC1, tā arī TEC2.

3.1. tabula

Siltuma zudumu aprēķins samazinot rūpnieciskā eksperimenta apgabalā TEC1 atgaitas temperatūru 2015./2016.gada apkures sezonā par 1 °C

Mēneša vidējās temperatūras														
	Dziļums, m	Mēneši												Gadā
		10.	11.	12.	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	
Grunts	1,6	13,2	9,9	7,4	4,5	2,6	2,0	2,7	5,4	9,2	12,5	14,8	15,4	8,3
Gaiss		6,9	5,1	3,7	-6,1	1,9	2,4	7,4	15,3	17,9	19,3	17,4	14,6	8,8

Tīklu ūdens temperatūras			
Vid. faktiskās		Samazinātās	
T_1	T_2	T_1	T_2
70,7	41	70,7	40,0

Siltuma zudumu pieaugums, %			
Apakšzemes trases	-1,05	Vidēji	-1,05
Virszemes trases	-1,06		

3.2. tabula

Siltuma zudumu aprēķins samazinot rūpnieciskā eksperimenta apgabalā TEC1 atgaitas temperatūru 2016./2017.gada apkures sezonā par 1 °C

Mēneša vidējās temperatūras														
	Dziļums, m	Mēneši												Gadā
		10.	11.	12.	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	
Grunts	1,6	13,3	9,5	6,7	4,4	2,5	1,4	2,2	4,0	7,8	11,0	13,8	14,7	7,6
Gaiss		5,7	1,6	1,8	-2,1	-1,5	3,1	5,2	12,1	15,5	17,4	18,1	13,7	7,6

Tīklu ūdens temperatūras			
Vid. faktiskās		Samazinātās	
T_1	T_2	T_1	T_2
73,3	42,4	73,3	41,4

Siltuma zudumu pieaugums, %			
Apakšzemes trases	-1,00	Vidēji	-1,00
Virszemes trases	-0,99		

3.3. tabula

Siltuma zudumu aprēķins samazinot rūpnieciskā eksperimenta apgabalā TEC2 atgaitas temperatūru 2015./2016. gada apkures sezonā par 1 °C

Mēneša vidējās temperatūras														
	Dziļums, m	Mēneši												Gadā
		10.	11.	12.	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	
Grunts	1,6	13,2	9,9	7,4	4,5	2,6	2,0	2,7	-	-	-	-	-	6,0
Gaiss		6,9	5,1	3,7	-6,1	1,9	2,4	7,4	-	-	-	-	-	3,0

Tīklu ūdens temperatūras			
Vid. faktiskās		Samazinātās	
T_1	T_2	T_1	T_2
73,4	39,9	73,4	38,9

Siltuma zudumu pieaugums, %			
Apakšzemes trases	-0,99	Vidēji	-0,98
Virszemes trases	-0,93		

3.4. tabula

Siltuma zudumu aprēķins samazinot rūpnieciskā eksperimenta apgabalā TEC2 atgaitas temperatūru 2016./2017. gada apkures sezonā par 1 °C

Mēneša vidējās temperatūras														
	Dziļums, m	Mēneši												Gadā
		10.	11.	12.	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	
Grunts	1,6	13,3	9,5	6,7	4,4	2,5	1,4	2,2	-	-	-	-	-	5,7
Gaiss		5,7	1,6	1,8	-2,1	-1,5	3,1	5,2	-	-	-	-	-	2,0

Tīklu ūdens temperatūras			
Vid. faktiskās		Samazinātās	
T_1	T_2	T_1	T_2
74,0	40,8	74,0	39,8

Siltuma zudumu pieaugums, %			
Apakšzemes trases	-0,97	Vidēji	-0,96
Virszemes trases	-0,90		

Aprēķini parādīja, ka ar T2 pazemināšanu par vienu grādu siltumtīklu atgaitas cauruļvadā, par 1 %, samazinās siltumenerģijas pārvades zudumi. Vienlaicīgi ar T2 pazemināšanu par vienu grādu, dūmgāzu latentā siltuma utilizācijas iekārtu lietderības koeficients palielinās par 2,5 līdz 2,8 %. Savukārt, latentā siltuma izmantošanas palielināšana samazina primāro energoresursu izmantošanu.

4. CENTRĀLĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS SILTUMENERĢIJAS PATĒRĒTĀJI

4.1. Esošo un perspektīvo siltumenerģijas patērētāju ietekme uz CSS attīstību

Prognozējot Rīgas siltumslodzes un siltumenerģijas pieprasījumu, par izejas lielumiem izmantoti AS „RĪGAS SILTUMS" dati par patērētāju siltumslodzēm, siltumenerģijas patēriņu, kā arī Rīgas attīstības plāna [37] dati. Lai novērtētu siltumslodžu veidošanos, tika analizēti siltumenerģijas pieprasījumu ietekmējošie faktori. Analīzē tika iekļauti šādi faktori:

a) ārgaisa temperatūra;
b) iedzīvotāju skaits Rīgā;
c) mājokļu sektora raksturojošie rādītāji;
d) nedzīvojamā sektora attīstība;
e) energoefektivitātes uzlabošanas iespējas.

Pamatojoties uz iepriekš minētajiem avotiem, sastādot perspektīvo siltumslodžu un siltumenerģijas patēriņa prognozi Rīgai, tika analizēti un vērtēti siltumslodžu izmaiņas ietekmējošie faktori un gaidāmo izmaiņu tendences.

4.1.1. Ārgaisa temperatūra

Apkures sezona sākas, kad diennakts vidējā ārgaisa temperatūra ir +8 ^{o}C vai zemāka, un parasti tā sākas oktobrī un beidzas aprīlī. Pēdējo piecu apkures sezonu (2008./2009.–2012./2013.) ilgums Rīgā ir svārstījies no 194 līdz 218 dienai. Normatīvais apkures sezonas ilgums Rīgā ir 203 dienas, kad vidējā ārgaisa temperatūra ir 0 ^{o}C [28]. Pilsētas centrā, tāpat kā visās lielajās pilsētās, ir siltāks nekā nomalēs. Ziemā šī temperatūras starpība var sasniegt pat 8–10 grādus un vairāk. Daudz agrāk beidzas pavasara un vēlāk sākas rudens salnas (atšķirība līdz 20 dienām).

Sala periodi parasti sākas decembra vidū un turpinās līdz februāra beigām. Ļoti aukstas ziemas pēdējos 90 gados bijušas 1939./1940., 1941./1942., 1955./1956., 1978./1979., 1984./1985., 1986./1987. gadā. Ieplūstot arktiskajām gaisa masām, ziemā rodas stiprs sals ar temperatūru, kas zemāka par -30 ^{o}C, bet nesaglabājas ilgāk par 2–3 dienām. Viszemākā gaisa temperatūra Rīgā parasti tiek reģistrēta janvārī un februārī. Aukstuma rekords pēc novērojumiem, sākot ar 1923. gadu, Rīgā ir reģistrēts 1956. gada 1. februārī (-34,9 ^{o}C), savukārt janvāra temperatūras minimums ir fiksēts 1970. gada 30. janvārī (-33,7 ^{o}C).

Pēdējo desmit gadu laikā (2004.–2013.) zemākās gaisa temperatūras fiksētas 2006. gada janvārī (-27,3 ^{o}C) un 2012. gada februārī – (-24,4 ^{o}C). Savukārt apkures sezonas laikā zemākā vidējā mēneša gaisa temperatūra ir bijusi 2010. gada janvārī (-10,4 ^{o}C) un 2012. gada februārī (-7,5 ^{o}C).

4.1. tabula

Vidējās un minimālās gaisa temperatūras Rīgā, ºC

	Mēneši											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Vidējā gaisa temperatūra (normatīvā)	-4,7	-4,3	-0,6	5,1	11,4	15,4	16,9	16,2	11,9	7,2	2,1	-2,3
Vidējā faktiskā gaisa temperatūra (2008.-2017. g.)	-3,6	-1,7	1,8	7,2	13,2	16,5	19,6	18,3	13,8	7,4	4,0	0,0
Minimālā vidēji faktiskā gaisa temperatūra (2008.-2017. g.)	-13,8	-9,5	-3,7	2,0	6,7	11,4	15,3	13,9	9,1	1,8	-2,7	-6,6
Minimālā gaisa temperatūra (rekords kopš 1923. g.)	-33,7	-34,9	-30,3	-13,1	-5,5	-2,3	4	0	-4,1	-8,7	-17,1	-31,9
Minimālā gaisa temperatūra (2008.-2017. g.)	-24,4	-20,2	-12,3	-4,7	0,2	6,4	10,5	9,2	3,8	-5,4	-13,8	-16,2

Ņemot vērā, ka oktobrī un aprīlī kalendāra dienu skaits nesakrīt ar apkures dienu skaitu, AS „RĪGAS SILTUMS" informācija par vidējo temperatūru mēnesī atšķiras, tāpēc ir minēta vidējā gaisa temperatūra attiecīgā mēneša apkures periodā.

4.2. tabula

Ārgaisa vidējā temperatūra un temperatūras koeficients apkures periodā

Mēnesis	Oktobris	Novembris	Decembris	Janvāris	Februāris	Marts	Aprīlis	Vidēji
	t^o C I K_t	t^o C I K_t	t^o C I K_t	t^o C I K_t	t^o C I K_t	t^o C I K_t	t^o C I K_t	t^o C I K_t
2012./2013. apkures perionds - 194 apk. dienas (12.10.2012.-23.04.2013.)	6,7 0,2474	4,7 0,3500	-3,9 0,5763	-5,3 0,6132	-0,8 0,4947	-3,8 0,5737	4,2 0,3632	1,8 0,4263
2013./2014. apkures periods - 200 apk.dienas (11.10.2013.-28.04.2014.)	8,6 0,2474	5,3 0,3342	2,7 0,4026	-5,1 0,6079	1,1 0,4447	4,7 0,3500	8,4 0,2526	3,7 0,3763
2014./2015. apkures periods - 207 apk.dienas (06.10.2014.-30.04.2015.)	6,9 0,2921	3,1 0,3921	-0,2 0,4789	-0,1 0,4763	0,8 0,4526	4,6 0,3526	6,9 0,2921	3,1 0,3921
2015./2016. apkures periods - 206 apk.dienas (06.10.2015.-28.04.2016.)	5,8 0,3211	5,1 0,3395	3,7 0,3763	-6,1 0,6342	1,9 0,4237	2,4 0,4105	7,3 0,2816	2,9 0,3974
2016./2017. apkures periods - 218 apk.dienas (10.10.2016.-15.05.2017.)	4,2 0,3632	1,6 0,4316	1,8 0,4263	-2,1 0,5289	-1,5 0,5132	3,1 0,3921	5,2 0,3368	2,7 0,4026

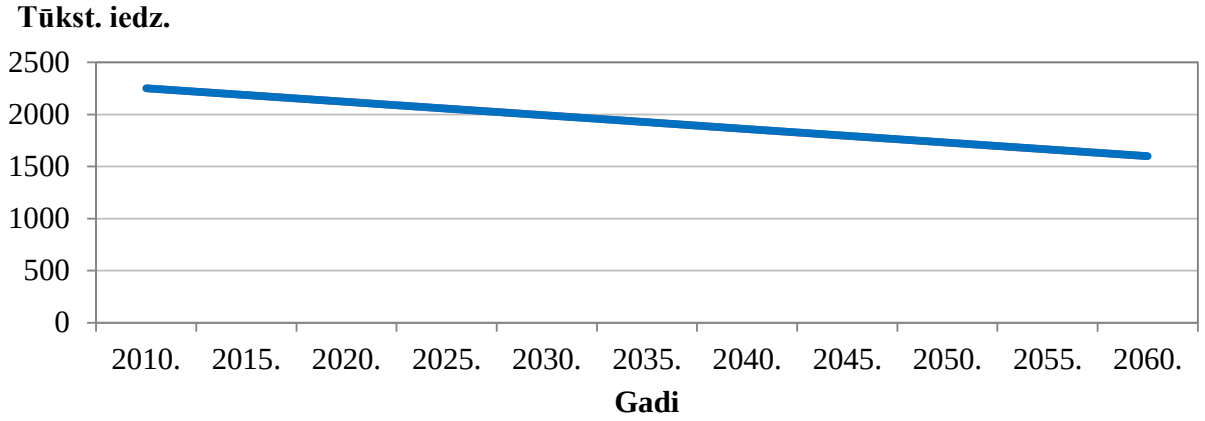
Latvijas būvnormatīvs [28] paredz, ka minimālā gada gaisa temperatūra, kuras pārsniegšana iespējama reizi 50 gados, ir -34,8 ºC, bet reizi 10 gados – -31,0 ºC.

4.1.2. Iedzīvotāju skaita izmaiņu ietekmes izpēte

Pēc Centrālās statistikas pārvaldes 2018. gadā publicētās informācijas iedzīvotāju skaits Latvijā 2017. gadā turpināja samazināties, lai gan temps kļuvis lēnāks un 2017. gada 1. janvārī pastāvīgo iedzīvotāju skaits bija 1950 116 [1].

Latvijas iedzīvotāju skaita ievērojamu samazināšanos turpmākajos gados paredz gan Latvijas, gan ārvalstu un starptautisko organizāciju pētījumi. Saskaņā ar ANO pētījumu [39] Latvijas iedzīvotāju skaits samazināsies no 2,0 miljoniem (2004. gadā) līdz 1,0 miljona (2100. gadā). Savukārt cits ANO pētījums [40] paredz, ka Latvijas iedzīvotāju skaits pēc vidējas attīstības scenārija 2100. gadā varētu būt 1,65 miljoni, bet pēc vājas attīstības scenārija – 934 tūkst. Savukārt *Eurostat* datubāzē atrodamā informācija liecina, ka Latvijas iedzīvotāju skaits samazināsies no 2,194 milj. 2015. gadā līdz 2,022 milj. 2030. gadā un 1,672 milj. – 2060. gadā [41].

Rīgas iedzīvotāju skaits kopš sasniegtā maksimuma 1990. gadā, kad tas bija 916 tūkst. cilvēku, ir ievērojami samazājies, un 2009. gada sākumā Rīgā bija reģistrēti tikai 716 tūkstoši iedzīvotāju. 2011. gada 1. martā saskaņā ar 2011. gada tautas skaitīšanas datiem Rīgā pastāvīgi dzīvoja 658 640 iedzīvotāji [38]. Savukārt Centrālās statistikas pārvaldes apkopotā informācija par stāvokli 2018. gada 1. janvārī liecina, ka pastāvīgo iedzīvotāju skaits Rīgā bija vairs tikai 637 971 [42]. Pēc *Eurostat* 2012. gada publikācijas jāsecina, ka 2010. gadā tikai divu ES valstu galvaspilsētās – Rīgā (Latvija) un Bukarestē (Rumānija) bija reģistrēta pastāvīgo iedzīvotāju skaita samazināšanās.



4.1. att. Latvijas iedzīvotāju skaits pēc *Eurostat* prognozēm [41]

Rīgas domes pasūtītais Zinātņu akadēmijas Ekonomikas institūta 2003. gada pētījums [43] parāda, ka laika posmā no 1990. līdz 2002. gadam iedzīvotāju skaita samazināšanās tempi Rīgā ir bijuši straujāki nekā apkārtējās un tālākajās lauku teritorijās (Rīgā samazinājums – 16,9 %, Rīgas rajonā – 15,8 %, bet Latvijā kopumā –12,1 %). Tas liecina, ka Rīga, līdzīgi daudzām citām lielpilsētām, ir sasniegusi attīstības pakāpi, kad iedzīvotāju koncentrāciju pilsētas centrā nomaina paplašināšanās jeb aglomerācijas veidošanās un iedzīvotāju blīvuma pieaugums tuvējās, no centra ērti sasniedzamajās piepilsētas teritorijās.

Iedzīvotāju skaits Rīgā samazinās gan dabiskās kustības, gan arī migrācijas rezultātā. Iedzīvotāju migrācija, tai skaitā pārcelšanās uz dzīvi Pierīgā vai ārpus Latvijas un jo īpaši zemā dzimstības līmeņa dēļ Rīgas iedzīvotāju skaits joprojām turpina samazināties un, kā liecina iepriekšminētā pētījuma prognozes [43] par Rīgas iedzīvotāju skaita izmaiņām no 2000. līdz 2025. gadam, šajā jomā nav paredzami uzlabojumi.

Migrācijas īpatsvars kopējā iedzīvotāju skaita sarukumā Rīgā un Rīgas reģionā ir lielāks, savukārt dabiskā samazinājuma īpatsvars ir mazāks nekā vidēji Latvijā. Saskaņā ar demogrāfu prognozēm vislielākais migrācijas radītais iedzīvotāju zudums bija laika posmā līdz 2015. gadam, savukārt no 2015. līdz 2025. gadam aktualizēsies Rīgas iedzīvotāju skaita sarukums dabiskās kustības rezultātā [43].

Jaunākās prognozes par Rīgas iedzīvotāju skaitu ir dotas 2012. gada Latvijas Zinātņu akadēmijas ekonomikas institūta pētījumā [44]. Pētījumā veiktas prognozes četriem variantiem:

- inerces variants bez migrācijas;
- inerces variants ar migrāciju;
- aktīvais variants bez migrācijas;
- aktīvais variants ar migrāciju.

Inerces variants – ar bāzes gadā pastāvošajiem visu kustības veidu intensitātes rādītājiem, kas ir nemainīgi visā prognozētajā periodā.

Aktīvais variants – ar mainīgu iedzīvotāju kustības intensitāti, kad faktisko norišu saglabāšanās nevēlamās sekas mazinātos, taču tuvākajos gadu desmitos nepārsniegtu Latvijas apstākļos paredzamo iedzīvotāju aktivitāti ģimenes paplašināšanā un veselības saglabāšanā.

Pētījumā [44] norādīts, ka jāņem vērā tas, ka iedzīvotāju dabiskās kustības un migrācijas intensitāti raksturojošie rādītāji laika posmā starp pēdējām tautas skaitīšanām 2000. un 2011. gadā ir aprēķināti pēc formāli reģistrētām iedzīvotāju skaita pārmaiņām, t.i., atbilstīgi migrantu pašu deklarētajai pastāvīgās dzīvesvietas maiņai. 2011. gada tautas skaitīšanā iedzīvotāju skaits izrādījās mazāks par reģistrēto, jo daudzi izbraucēji no Latvijas pastāvīgās dzīvesvietas maiņu nav deklarējuši. Tādēļ pētījumā aprēķinātie iedzīvotāju kustības rādītāji ir samazināti un iedzīvotāju kustības intensitātes raksturojumam bāzes gadā izmantoti tobrīd pieejamie oficiāli publicētie dati vidēji par pēdējiem sešiem gadiem, kas atspoguļo stāvokli gan migrācijas mazāk ietekmētajos pirmskrīzes, gan krīzes gados, kad migrācija kļuva ļoti intensīva.

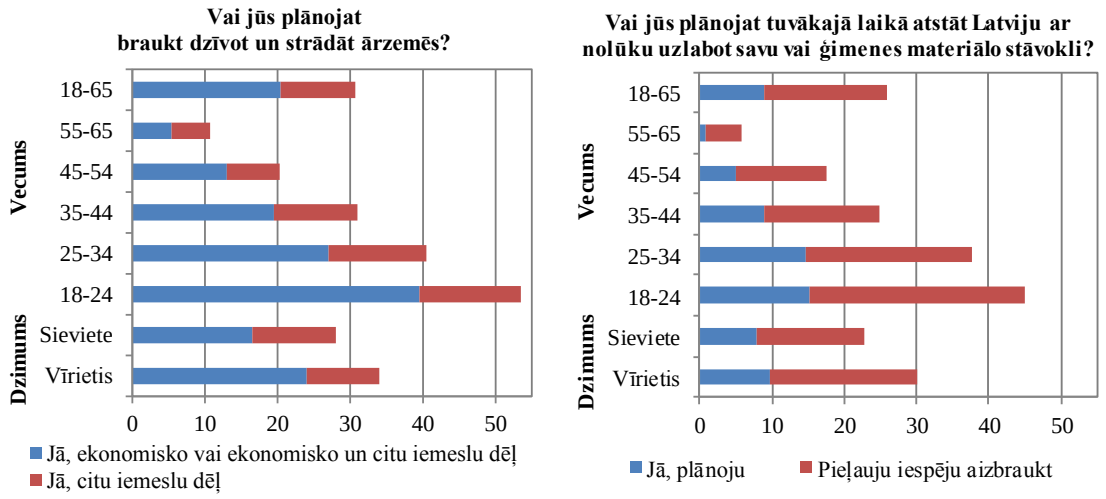
Reālāku migrācijas ietekmi uz iedzīvotāju skaitu parāda pētījuma „Pārskats par tautas attīstību, 2010/2011." rezultāti [45], kas atspoguļoti 4.3. tabulā un 4.2., 4.3. attēlā.

4.3. tabula

Iedzīvotāju skaita un migrācijas novērtējums Latvijā [45]

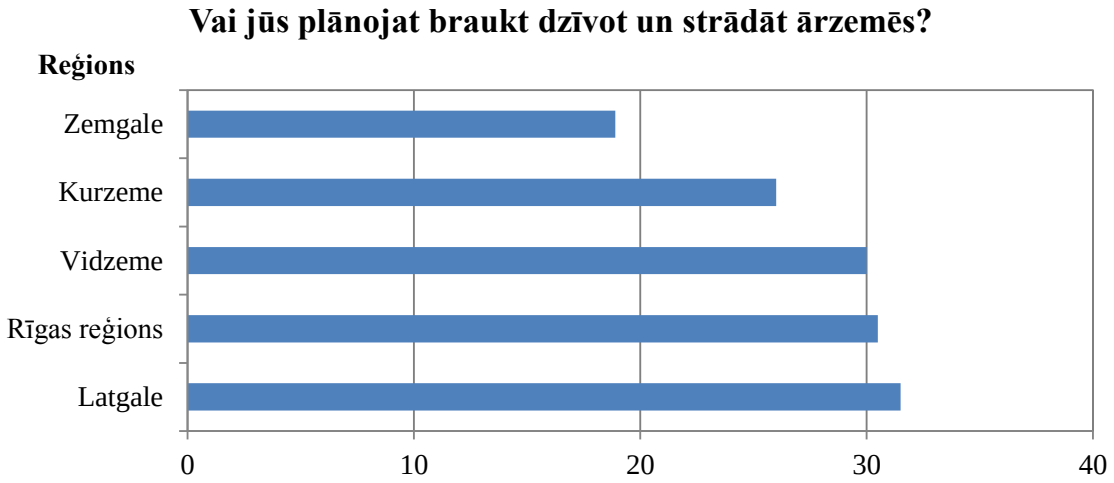
Rādītājs	Iedzīvotāju skaits 2010. g. beigās (tūkst.)	Emigrantu skaits (neto aizplūde) 2000.–2010. g. (tūkst.)
Minimālais dokumentētais novērtējums	2122,2	140,6
Vidējais dokumentētais novērtējums	2093,6	169,2
Vidēji augsts eksperta novērtējums	2062,8	200,0
Augsts eksperta novērtējums	2012,8	250,0

Vēl jo vairāk emigrācijas ietekmi uz Latvijas iedzīvotāju skaitu prognozējamajā periodā ļauj novērtēt Latvijas iedzīvotāju emigrācijas plāni.



4.2. att. Latvijas iedzīvotāju emigrācijas plāni, sadalot viņus pa dzimumiem un vecuma grupām, 12.2010.– 02.2011. (pozitīvo atbilžu %) [45]

Analizējot iedzīvotāju emigrācijas nodomus reģionu griezumā, jāsecina, ka Rīgas reģionā ir visvairāk iedzīvotāju, kuri turpmākajos gados plāno braukt dzīvot un strādāt ārzemēs.



4.3. att. 18–65 gadus vecu Latvijas iedzīvotāju emigrācijas plāni pa reģioniem, 12.2010.– 02.2011. (pozitīvo atbilžu %) [45]

Tātad iedzīvotāju skaita dinamika Rīgā emigrācijas rezultātā var būt ievērojami sliktāka nekā abos iepriekš minētajos iedzīvotāju skaita prognožu variantos (inerces un aktīvajā). Rēķinoties ar Rīgas iedzīvotāju relatīvi augtāko izglītības līmeni, rīdziniekiem, kuri plāno braukt dzīvot un strādāt ārzemēs, paredzama labāka konkurētspēja ES kopējā darba tirgū, tāpēc arī viņu izceļošanas varbūtība ir lielāka un Rīgā migrācijas dēļ paredzami lielāki iedzīvotāju skaita zudumi nekā vidēji valstī.

Tomēr jāņem vērā, ka Rīgas iedzīvotāju emigrāciju ir spējīga kompensēt visas Latvijas iedzīvotāju iekšējā teritoriālā mobilitāte. Ņemot vērā visu tautsaimniecības nozaru ražošanas jaudas un to attīstības potenciālu, kā arī dzīves kvalitāti Rīgā un pārējā Latvijas teritorijā, samērā droši var paredzēt demogrāfisko un migrācijas procesu rezultātā izraisīto Rīgas darbaspēka vakanču aizpildīšanu ar pārējās Latvijas teritorijas iedzīvotājiem. Turklāt jāņem vērā, ka sistemātisks darbaspēka trūkums var novest pie nepieciešamības to nodrošināt, veicinot imigrāciju. Arī Ekonomikas ministrijas 2012. gada informatīvajā ziņojumā [46] par darba tirgus vidējā un ilgtermiņa prognozēm paredzēts, ka „ (..) vidējā termiņā tas noteiks ekonomisku faktoru motivētas iedzīvotāju emigrācijas pakāpenisku samazināšanos, savukārt ilgtermiņā būtiski palielināsies imigrācijas plūsma. Līdz 2020. gadam iedzīvotāju imigrācijas galvenokārt veidos Latvijas valsts piederīgo atgriešanās dzimtenē, savukārt pēc 2020. gada repatriācijas plūsmas pakāpeniski samazināsies un arvien lielāku lomu imigrācijā ieņems imigranti no trešajām valstīm, kā arī no citām Eiropas Savienības valstīm. Vidējā termiņā tas noteiks ekonomisku faktoru motivētas iedzīvotāju emigrācijas pakāpenisku samazināšanos, savukārt ilgtermiņā būtiski palielināsies imigrācijas plūsma".

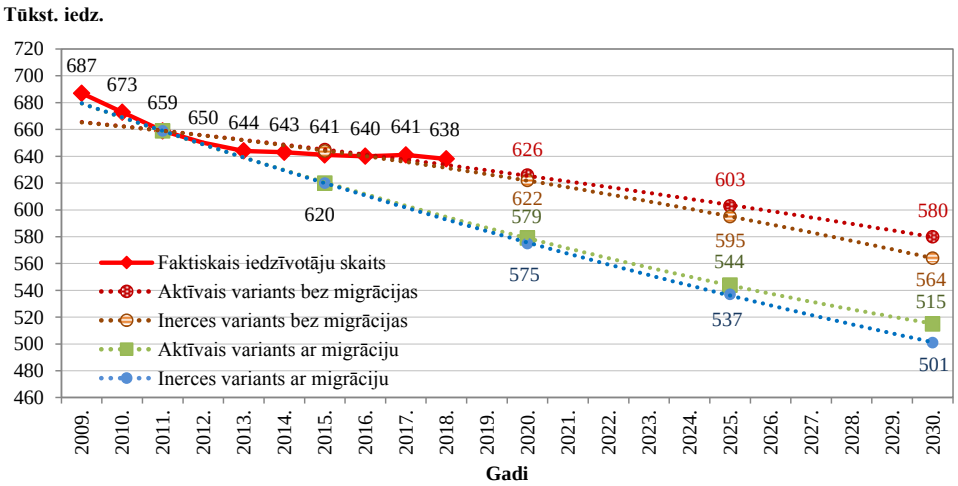
Tomēr strauja imigrācijas procesu pastiprināšanās vērtējamajā periodā (līdz 2024. gadam) ir maz ticama, jo saistās ne tikai ar politiskiem lēmumiem Latvijas valsts un Eiropas Savienības līmenī, kas var prasīt daudz laika, bet arī ar likumdošanas izmaiņām sociālās infrastruktūras pakāpeniskai sagatavošanai. Rīgas domes izstrādātajā ilgtermiņa Rīgas teritorijas plānojumā 2006.–2018. [37] norādīts, ka demogrāfijas un mājokļu jomas speciālisti iesaka pilsētas attīstības plānošanas vajadzībām izmantot optimistiskāku iedzīvotāju skaita prognozi – pozitīvās migrācijas variantu – pieņemot, ka 2018. gadā galvaspilsētā dzīvos 700 000 cilvēku.

Tomēr pēdējo gadu notikumi Latvijas un pasaules ekonomikā, demogrāfiskie procesi un migrācijas tendences Latvijā liecina par iedzīvotāju skaita samazināšanos. Latvijas Zinātņu akadēmijas Ekonomikas institūta 2012. gada pētījumā „Demogrāfiskās prognozes Rīgā un Pierīgā" [44] paredzēti četri Rīgas iedzīvotāju skaita samazināšanās varianti (sk. 4.4. tabulu).

4.4. tabula

Rīgas iedzīvotāju skaita samazināšanās prognoze 2011.–2030. gadam [44]

	2011. (faktiskais iedz. skaits)	2015.	2020.	2025.	2030.
Aktīvais variants bez migrācijas	658 640	644 200	622 043	594 642	564 192
Inerces variants bez migrācijas	658 640	644 909	626 024	603 422	579 729
Aktīvais variants ar migrāciju	658 640	620 201	579 141	543 720	514 980
Inerces variants ar migrāciju	658 640	619 516	575 434	535 639	500 888



4.4. att. Rīgas iedzīvotāju skaita izmaiņu prognoze [42, 44]

4.1.2.1. Pieprasījums un iedzīvotāju izpratnes par dzīves kvalitāti

Pieprasījumu pēc apdzīvojamās platības veido sociāli ekonomisku faktoru grupa, kurā svarīgākie faktori ir vajadzības un to apmierināšanas ekonomiskie nosacījumi. Vajadzības un līdz ar to komforta standartus nosaka kopējai ekonomiskai telpai raksturīgie parametri.

Ņemot vērā Latvijas integrāciju Eiropas Savienībā, par pamatu var izmantot Eiropas Savienības mājokļu standartus, kā arī kopējās ekonomiskās sistēmas ekonomiskās attīstības nosacīti labākos rādītājus.

Izvērtējot pieprasījumu pēc apdzīvojamās platības un iedzīvotāju izpratni par dzīves kvalitāti, ir izmantotas šādas definīcijas:

Dzīvojamā ēka (dzīvojamā māja) ir ēka, kurā vairāk nekā 50 % no kopējās platības aizņem dzīvojamās telpas.

Dzīvojamās ēkas kopējā platība. Dzīvojamās ēkas kopējā platībā ietilpst gan dzīvojamo telpu (dzīvokļu, atsevišķu istabu, virtuvju un palīgtelpu), gan nedzīvojamo telpu, gan visu īpašnieku koplietošanas telpu platība.

Dzīvoklis. Par dzīvokli uzskata visu gadu dzīvošanai paredzētu telpu kompleksu, kas sastāv no vienas vai vairākām istabām un palīgtelpām un kam ir tieša izeja uz ielu, kāpņu telpu vai kopējo gaiteni. Palīgtelpas ir virtuve, gaitenis, sanitārais mezgls, vannas istaba, pieliekamās telpas, iebūvēti skapji.

Pēc 2011. gada tautas skaitīšanas rezultātiem [38], Rīgā kopā bija reģistrētas 326 567 dzīvojamās vienības, no kurām par tradicionālām tika klasificēta 326 291 vienība. Daudzdzīvokļu mājās dzīvoja 92,6 % no Rīgas iedzīvotājiem. Ar centrālapkuri bija nodrošināti 85,4 % tradicionālo mājokļu iedzīvotāju.

Neskatoties uz vājajiem mājokļu būvniecības rādītājiem, mājokļu kopplatība uz vienu iedzīvotāju palielinājās no 18,2 m^2 1990. gadā līdz 22,3 m^2 2002. gadā un 24,2 m^2 2006. gadā, sasniedzot 28,45 m^2 2012. gadā. Līdz ar to dzīvojamā platība uz vienu iedzīvotāju pakāpeniski tuvojas Rietumvalstīs un Ziemeļvalstīs sasniegtajam nodrošinājumam, kas ir apmēram 30–40 m^2 uz vienu iedzīvotāju. Tomēr jāņem vērā, ka kopplatība uz vienu iedzīvotāju ir pieaugusi faktiski tikai uz ievērojamā iedzīvotāju skaita samazināšanās rēķina pilsētā.

Prognozes liecina, ka, saglabājoties ekonomisko faktoru noteiktajam pieprasījumam un ņemot vērā tagadējās Rīgas iedzīvotāju skaita prognozes, vidējā dzīvojamā platība uz vienu iedzīvotāju 2024. gadā varētu sasniegt 36 m^2.

Rīgas teritorijas plānojumā 2006.–2018. gadam [37] nodrošināmo mājokļu platību aprēķināšanai 2018. gadā pieņemts, ka standartam „n" atbilst mājokļu platība 28 m^2/personai. Standartam „n+1" atbilst 35 m^2/personai.

Viens no rādītājiem, ko aprēķina un salīdzina Eiropas Savienības ietvaros, ir pārapdzīvotības līmenis. Šis rādītājs tiek definēts kā procentuāla iedzīvotāju daļa, kas dzīvo pārpildītā mājsaimniecībā, izņemot vienas personas mājsaimniecību. Tiek uzskatīts, ka persona dzīvo pārapdzīvotā mājsaimniecībā, ja mājsaimniecības rīcībā nav telpu, kas atbilst šādiem kritērijiem:

- viena istaba mājsaimniecībai;
- viena istaba cilvēku pārim mājsaimniecībā;
- viena istaba katrai atsevišķai personai vecumā no 18 gadiem un vecākām;
- viena istaba divām viena dzimuma personām vecumā no 12 līdz 17 gadiem;
- viena istaba katrai personai vecumā no 12 līdz 17 gadiem, kura nav iekļauta iepriekšējā kategorijā;
- viena istaba diviem bērniem līdz 12 gadu vecumam.

Tomēr šī rādītāja prognozēšana ir darbietilpīga, tam nepieciešams ievērojams informācijas apjoms un sarežģīta matemātiskā modeļa izveidošana, tā ir dārga. Savukārt iegūto datu nepietiekamā precizitāte, ko nosaka ieejas rādītāju vērtību un to dinamikas augstā nenoteiktība, liek prognozēšanas vajadzībām izmantot vienkāršākas metodes. Pieprasījuma izmaiņas var prognozēt, izmantojot dzīvojamo telpu skaitu uz vienu iedzīvotāju. Rīgā 2012. gadā tas bija 1,30 dzīvojamās telpas, bet Eiropas Savienības attīstītajās dalībvalstīs (ES-15) – 1,80 dzīvojamās telpas. Līdz ar to var pieņemt, ka starpība norāda, ka Latvijā pastāv pieprasījuma potenciāls jaunu dzīvokļu iegādei. Ņemot vērā pašreizējo pasaules ekonomikas stāvokli un Eiropas Savienības ekonomiskās problēmas, var pieņemt, ka istabu skaits uz vienu iedzīvotāju Eiropas Savienības attīstītajās valstīs laika periodā līdz 2024. gadam būtiski nemainīsies. Jāņem vērā, ka šis rādītājs nav jūtami mainījies laika posmā no 2005. līdz 2011. gadam ne ES 15 valstīs kopumā, ne arī atsevišķās šīs grupas valstīs. Ievērojot sociālekonomiskos faktorus Latvijā, varam pieņemt, ka šī ir mājokļa komforta līmeņa ilgtermiņa mērķa rādītāja vērtība Rīgai.

Pieņemot, ka, vienas istabas vidējai platībai saglabājoties 2012. gada līmenī, bet jaunu dzīvojamo platību būvniecībai saglabājoties vidēji 2004.–2012. gada līmenī, istabu skaits uz vienu Rīgas iedzīvotāju 2024. gadā varētu sasniegt 1,64, tātad jāsecina, ka analizējamajā periodā pastāv pieprasījums pēc jaunām dzīvojamām platībām. Tai pašā laikā jāievēro, ka maksātnespējīgais (efektīvais) pieprasījums ir ievērojami zemāks.

Iekšzemes kopprodukts (pēc pirktspējas paritātes) uz vienu iedzīvotāju Latvijā 2011. gadā bija tikai 58 % no ES 27 valstu līmeņa jeb 53 % no ES 15 valstu līmeņa. Vēl krasākas atšķirības pastāv iedzīvotāju ienākumos. Tā Vācijā 2010. gadā vidējā gada bruto izpeļņa rūpniecībā un pakalpojumu nozarē pilna laika darbiniekiem uzņēmumos ar desmit un vairākiem darbiniekiem bija 42 100 EUR, Dānijā – 55 707 EUR, Nīderlandē – 44 784 EUR, Somijā – 38 520 EUR. Savukārt Latvijā šis rādītājs attiecīgajā gadā bija 8 027 EUR. Būtisks iedzīvotāju ienākumu

pieaugums Latvijā nav gaidāms arī analizējamajā periodā līdz 2024. gadam. LR Finanšu ministrijas vidējā un ilgtermiņa makroekonomiskās prognozes paredz, ka bruto darba algas salīdzināmās cenās laika periodā no 2012. līdz 2015. gadam augs vidēji par 3,2 %, bet laika periodā no 2016. līdz 2036. gadam – par 2,2 %.

Ir jāņem vērā, ka jauna mājokļa iegāde saistīta ar samērā lielām investīcijām, kas prasa adekvātus finanšu resursus, bet lielākajai daļai Latvijas iedzīvotāju uzkrājumu, kuru varētu pietikt mājokļa iegādei, nav, tāpēc parasti vienīgais līdzekļu avots ir kredīts. Tomēr pašreiz un tuvākajā nākotnē bankas Latvijā nav gatavas iesaistīties liela apmēra privātpersonu hipotekārās kreditēšanas pasākumos. Līdz ar to tuvāko desmit gadu laikā maksātspējīgais pieprasījums mājokļu tirgū būs neliels.

4.1.2.2. Pašvaldības finansēti mājokļu celtniecības projekti

Patlaban Rīgā ir ļoti mazs sociālo īres dzīvokļu fonds, kas atbilstu Eiropas Savienības valstīs pieņemtajai izpratnei, respektīvi, trūkst normāli labiekārtotu dzīvojamo ēku bez īpaša komforta, taču par maznodrošināto iedzīvotāju ienākumiem atbilstīgu īres maksu. Rīgas pašvaldības dzīvojamā fonda attīstības programmā 2014.–2018. gadam [47] ir sniegta informācija, ka laikā no 2002. līdz 2012. gadam, SIA „Rīgas Pilsētbūvnieks" ir papildinājis Rīgas pašvaldības dzīvojamo fondu ar 4510 labiekārtotiem dzīvokļiem. 2011. gada augustā ģimeņu/personu skaits, kuras ir tiesīgas saņemt pašvaldības palīdzību dzīvokļu jautājumā un ir iekļautas palīdzības reģistrā, bija 5 628 ģimenes. SIA „Rīgas Pilsētbūvnieks" pēdējo divu gadu un astoņu mēnešu laikā palīdzības reģistros reģistrētajām ģimenēm/personām ir nodevis vidēji 1 000 dzīvokļus gadā.

Šajā pašvaldības programmā [47] ir paredzēts, ka, turpinot būvēt un piešķirt dzīvokļus līdzšinējos tempos un arī pieprasījumam saglabājoties līdzšinējā līmenī, gaidāms, ka visu palīdzības reģistros esošo un no jauna uzņemto ģimeņu/personu pieprasījums varētu tikt apmierināts ne ātrāk kā pēc 57 gadiem. Turklāt tiek norādīts, ka SIA „Rīgas Pilsētbūvnieks" izbūvētie dzīvokļi nav vienīgie, kas tiek piešķirti rindā stāvošajiem – viņiem tiek piedāvāti brīvie dzīvokļi arī no pārējā Rīgas pašvaldības dzīvojamā fonda. Ņemot vērā, ka Rīgas pašvaldības dzīvojamā fonda attīstības programmas [47] darbības periods ir pieci gadi, var pieņemt, ka vidēji gadā tiks uzbūvētas dzīvojamās ēkas ar kopējo platību 25 580 m^2.

4.5. tabula

Sociālo dzīvojamo ēku celtniecības plāni Rīgā 2014.–2018. gadā [47]

Objekts	Dzīvojamās ēkas kopējā platība (m^2)	Dzīvokļu kopējā platība (m^2)
Lielvārdes un Dzelzavas iela	20 160	12 240
Duntes iela	22 272	14 650
Vangažu iela	6 066	4 165
Skanstes iela	16 000	9 900
J. Čakstes gatve	48 000	25 560
Andreja Saharova iela	15 400	11 040
KOPĀ	127 898	77 555

4.1.2.3. Apbūves teritorijas

Dzīvojamo māju celtniecības iespējas noteiktas Rīgas teritorijas plānojumā 2006.–2018. gadam [37], kurā paredzēts, ka daudzstāvu dzīvojamo ēku būvniecība plānota galvenokārt esošajos daudzstāvu dzīvojamajos rajonos un to tuvumā (t. sk. jaunās attīstības teritorijās ap Rīgas vēsturisko centru), jaunas teritorijas paredzot apbūvēt tikai atsevišķās pilsētas vietās, tur veidojot intensīvu jaukta tipa apbūvi – Rumbulas ziemeļdaļā, centru apbūves teritorijās – Podraga („Ziemeļu centrs"), Čiekurkalna („Ezerparka centrs") un Lucavsalas apkaimē. Dažādo dzīvojamo apbūves tipu un īpatsvaru konkrētajā teritorijā reglamentē Rīgas domes saistošie noteikumi par Rīgas teritorijas izmantošanu un apbūvi, kas nosaka Rīgas pilsētas atsevišķu teritoriju izmantošanas nosacījumus [48].

Rīgas vēsturiskie dzīvojamie rajoni, kuros starp citiem izmantošanas veidiem prioritāte saglabājama dzīvojamai funkcijai, noteikti Rīgas teritorijas plānojumā [37]:

Daugavas labajā krastā – Maskavas forštates teritorija, Teika, Čiekurkalns, Mežaparks, Sarkandaugava, Vecmīlgrāvis, Vecdaugava, Vecāķi.

Daugavas kreisajā krastā – Bolderājas vēsturiskā teritorija, Ķīpsala, Zolitūdes vēsturiskā daļa, Zasulauks, Šampēteris/Pleskodāle, Āgenskalns, Bieriņi, Atgāzene, Torņakalns, Ziepniekkalna vēsturiskā daļa, Bišumuiža un Katlakalns.

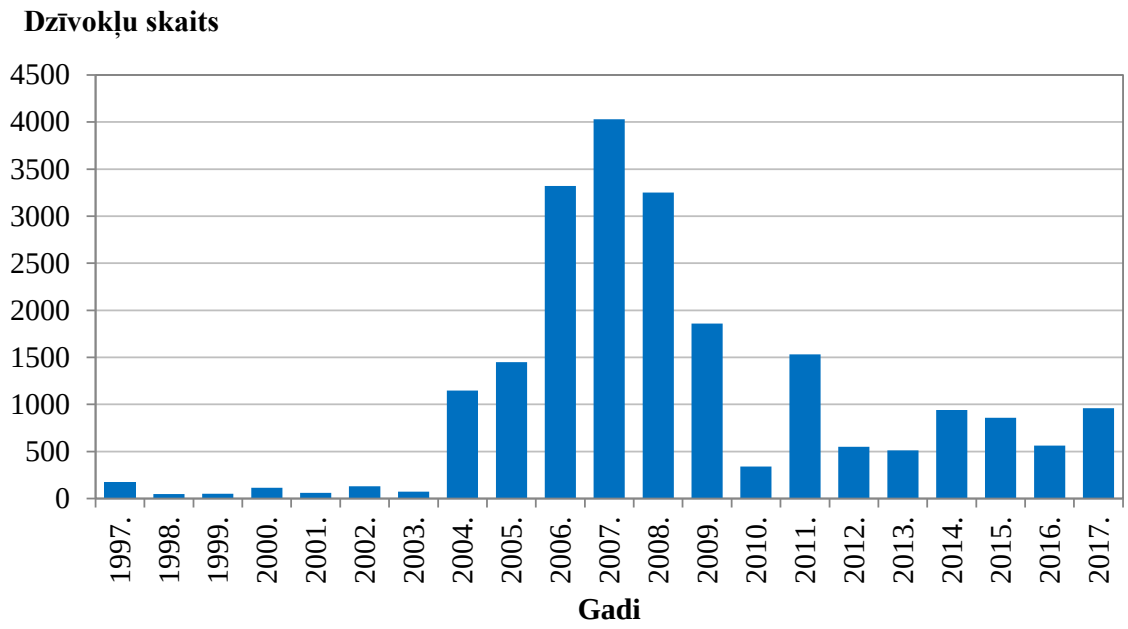
Rīgas teritorijas plānojumā paredzētas arī vairākas teritorijas jaunu dzīvojamo rajonu izveidošanai:

1) Daugavas labajā krastā – Dārziņi, Rumbula, Šķirotava, Dreiliņi, Skanstes ielas apkaime, teritorijas Juglas ezera DR un D piekrastē, teritorija starp Juglas kanālu un Ķīšezeru, Trīsciems un Mangaļi;
2) Daugavas kreisajā krastā – teritorija ap Ziepniekkalna un Ceraukstes ielām, kā arī Lucavsala.

Tādas teritorijas kā Rumbula un teritorija ap Bābelīti Rīgas teritorijas plānojumā paredzēts ilgtermiņā rezervēt dzīvojamajām teritorijām, kuru attīstīšanai labvēlīgi apstākļi būs atkarīgi no ekonomiskajiem apsvērumiem, infrastruktūras un citiem faktoriem, kā arī no valsts un Rīgas domes realizētās mājokļu politikas.

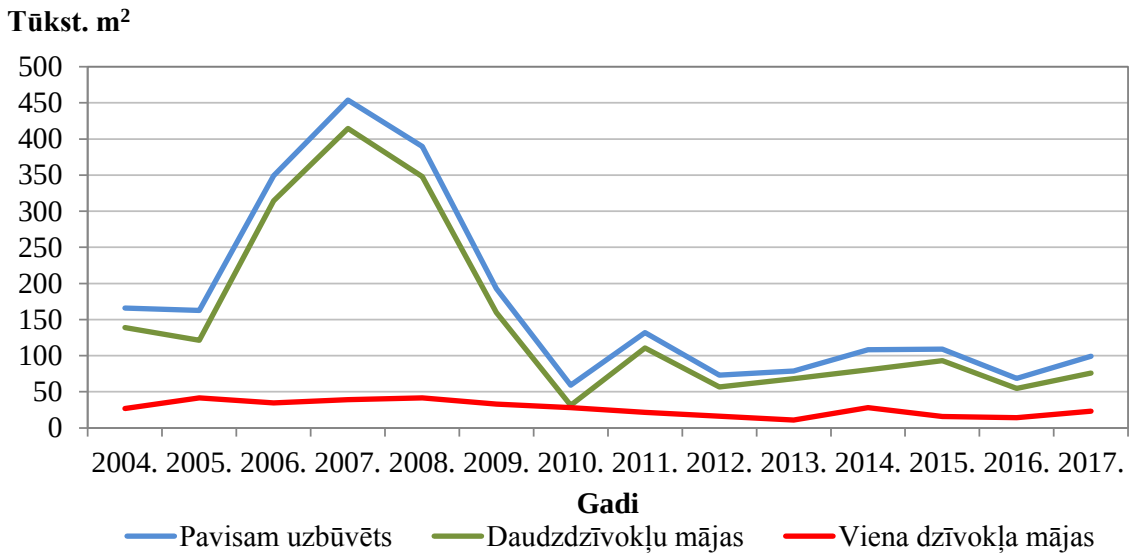
Lai veicinātu mazstāvu dzīvojamo ēku (tajā skaitā arī ģimenes māju) īpatsvara pieaugumu Rīgas dzīvojamā fondā, Rīgas teritorijas plānojums [37] paredz vairākas jaunas apbūvējamas teritorijas Rumbulā, Šķirotavā, Juglas ezera dienviddaļā, Bukultos, starp Juglas kanālu un Ķīšezeru, Trīsciemā, Mangaļos, un Vecdaugavā.

Prognozējot mājokļu būvniecības apjomu, svarīgi novērtēt vēsturiskās tendences un faktorus. Mājokļu fonda kopējā platība Rīgā 2012. gadā bija 18,51 miljons m^2. (2007. gadā – 17,93 milj. m^2). Laika posmā no 1990. līdz 2002. gadam Rīgas dzīvojamā fonda kopplatība gadā pieauga tikai par 0,3 % jeb nepilniem 50 tūkstošiem kvadrātmetru. Mājokļu būvniecības aktivitāte sāka pieaugt tikai no 2000. gada. Laika posmā no 2004. līdz 2012. gadam Rīgā tika uzbūvētas dzīvojamās ēkas 1,98 milj. m^2 apjomā, no kurām 281,9 tūkst. m^2 bija vienģimenes mājas.



4.5. att. Uzbūvēto dzīvokļu skaits Rīgā 1997.–2012. g.

Straujš dzīvojamo māju būvniecības pieaugums ir bijis periodā no 2006. līdz 2008. gadam, kad ekspluatācijā tika nodotas dzīvojamās ēkas vidēji 397 tūkst. m^2 gadā.



4.6. att. Uzbūvētās jaunās dzīvojamās ēkas Rīgā (tūkst. m^2 kopējās platības)

Ekonomiskās krīzes iespaidā būvniecības apjoms samazinājās un laika periodā no 2009. līdz 2012. gadam vidējais uzbūvēto dzīvojamo māju apjoms gadā sastādīja 114,2 tūkst. m^2. Turklāt jāņem vērā, ka šajā laikā 26 % no kopējās uzbūvētās platības bija vienģimenes mājas, kas ir par 7 procentpunktiem vairāk nekā laika periodā no 2004. līdz 2012. gadam.

4.6. tabula

Uzbūvētās jaunās dzīvojamās ēkas Rīgā (tūkst. m^2 kopējās platības)

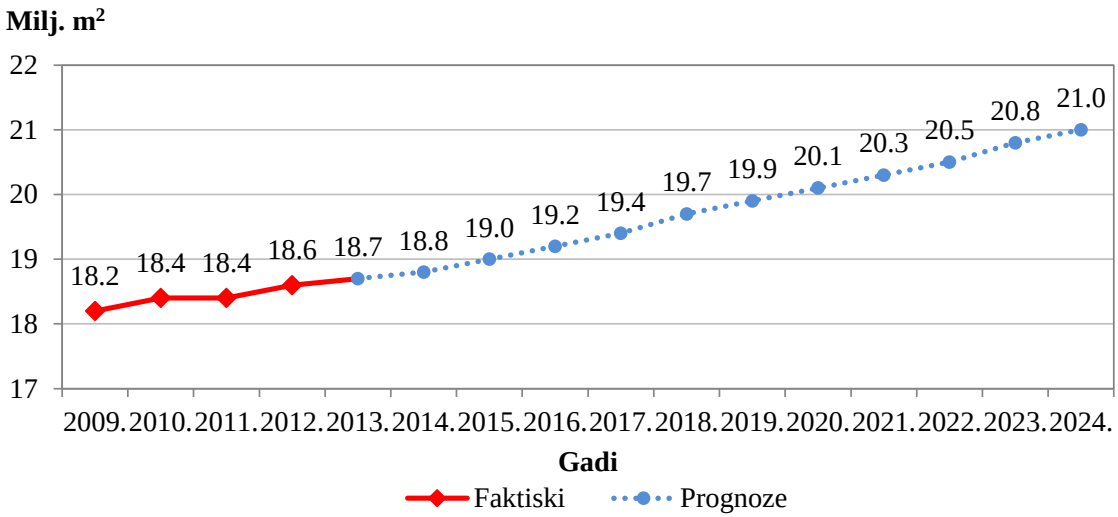
Gads	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	Vid. (2004.-2012.)	Vid. (2009.-2012.)
Pavisam uzbūvēts	165,7	162,8	349,2	453,7	389,5	192,7	59,1	132,1	72,9	219,7	114,2
Daudzdzīvokļu mājas	138,9	121,2	314,4	414,6	348,1	159,9	31,2	110,7	56,8	188,4	89,7
Viena dzīvokļa mājas	26,8	41,6	34,8	39,1	41,4	32,8	27,9	21,4	16,1	31,3	24,6
Viena dzīvokļa māju īpatsvars (%)	16,2	25,6	10,0	8,6	10,6	17,0	47,2	16,2	22,1	19	26

Prognozējot dzīvojamo ēku celtniecības dinamiku, ir jāņem vērā Centrālās statistikas pārvaldes apkopotie 2011. gadā veiktās mājokļu skaitīšanas dati [49]. Tā Rīgā no 327 379 mājokļiem tikai 83,1 % ir apdzīvoti, bet 16,8 % neapdzīvoti. Pierīgas reģionā attiecīgi ir 181 587 mājokļi, 73,6 % apdzīvoti, bet 26,3 % neapdzīvoti (mājokļi, kuros tautas skaitīšanas laikā neviens pastāvīgi nedzīvoja).

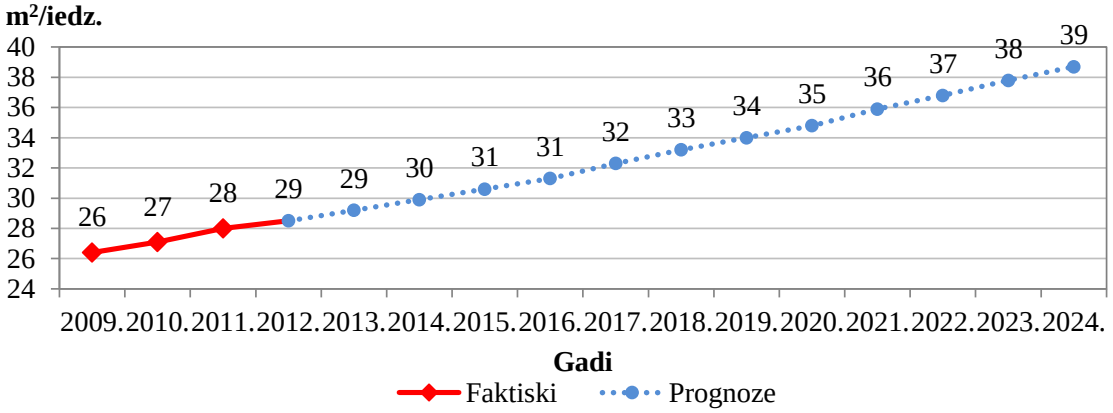
Ņemot vērā faktorus, kas izraisīja mājokļu celtniecības straujo uzplaukumu 2006.–2009. gadā un apsvērumus par maksātspējīgo pieprasījumu un esošajiem brīvajiem mājokļiem, prognozējot dzīvojamo māju celtniecības dinamiku laika posmā no 2014. līdz 2024. gadam, tiek pieņemts, ka kopējā uzbūvētā dzīvojamā platība prognozējamajā periodā pieaugs 2009.–2012. gada vidējā apjoma līmenī.

Vienlaikus, plānojot siltumslodzes, svarīgi ir ņemt vērā, ka vienģimenes mājas pārsvarā izmanto autonomu apkures sistēmu.

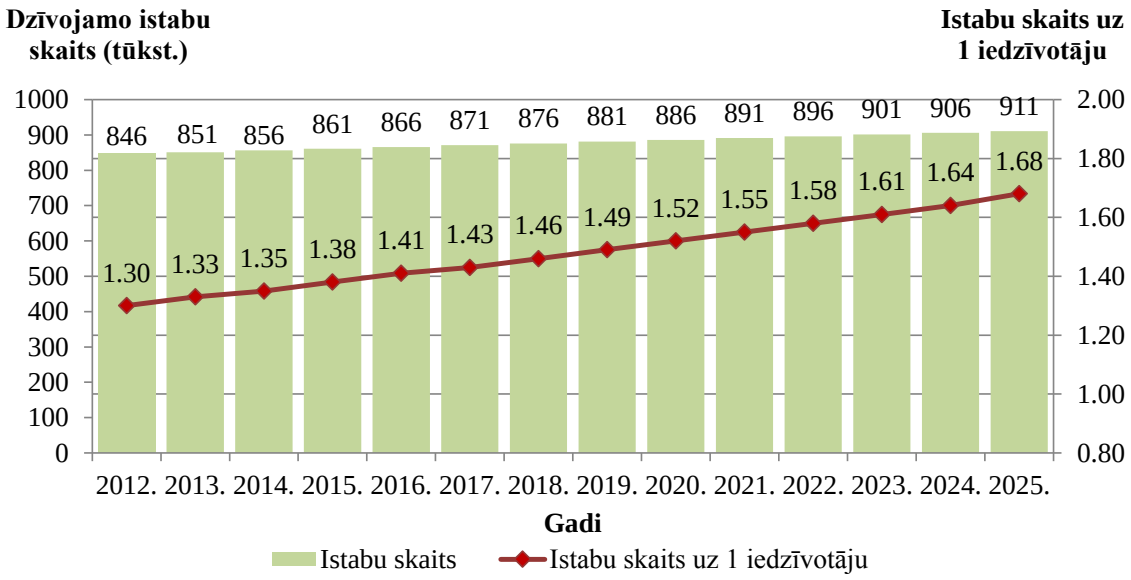
4.1.2.4. Prognozējamie dzīvojamo platību kvantitatīvie rādītāji



4.7. att. Rīgas dzīvojamo ēku kopējā platība (milj.m^2) [63]



4.8. att. Dzīvojamā fonda kopējā platība vidēji uz vienu iedzīvotāju Rīgā [63]



4.9. att. Dzīvojamo istabu skaits uz vienu iedzīvotāju [63]

4.7. tabula

Rīgas dzīvojamo ēku sektora kvantitatīvo rādītāju prognoze [63]

	Gadi											
	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	2024.
Iedzīvotāju skaits (tūkst.)	641,7	632,0	624,4	615,9	607,6	599,3	591,2	583,2	575,3	567,5	559,8	552,2
Kopējā platība, pavisam, milj. m²	18,6	18,7	18,8	18,9	19,1	19,2	19,3	19,4	19,5	19,6	19,7	19,8
Kopējā platība uz vienu iedzīvotāju, m²	29,01	29,58	30,16	30,76	31,36	31,98	32,60	33,24	33,89	34,54	35,22	35,90
Istabu skaits uz vienu iedzīvotāju	1,33	1,35	1,38	1,41	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,58	1,61	1,64

4.1.2.5. Nedzīvojamo platību pieprasījums un tendences

Pieprasījumu pēc jaunām siltuma jaudām pamatā nosaka nedzīvojamā sektora struktūra, piesātinājums un ekonomikas attīstības tendences.

Nedzīvojamo ēku kategorija pēc statistikas ietver:

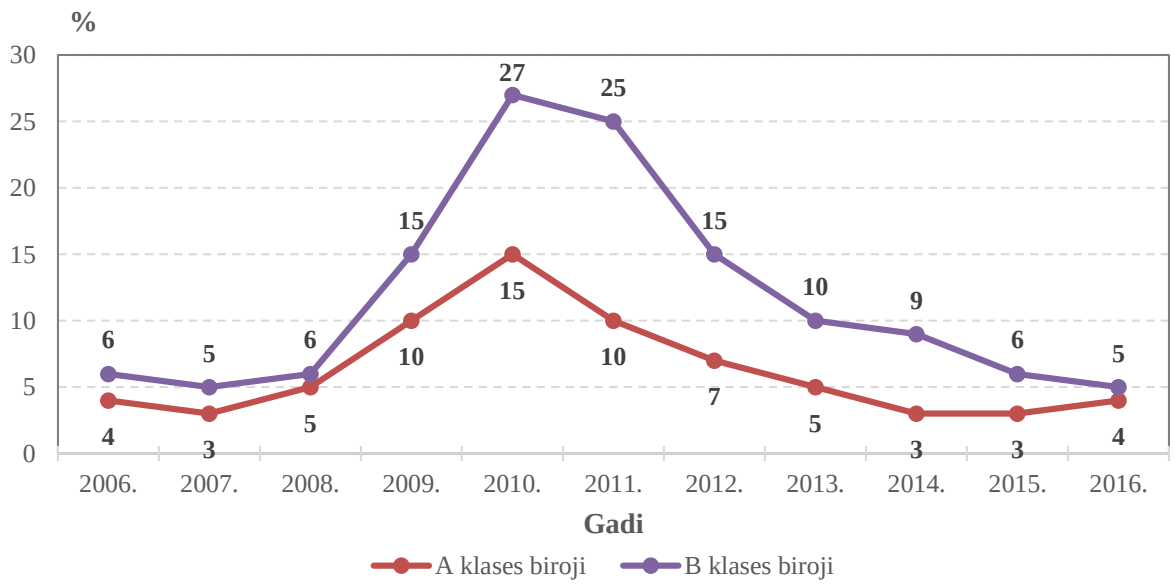
- viesnīcas un tām līdzīgi lietojamas ēkas;
- administratīvās ēkas;
- vairumtirdzniecības un mazumtirdzniecības ēkas, degvielas uzpildes stacijas;
- satiksmes un sakaru ēkas;
- rūpnieciskās ražošanas ēkas un noliktavas;
- plašizklaides pasākumu ēkas;
- sporta ēkas;
- muzeji un bibliotēkas;
- skolas, universitātes un zinātniskās pētniecības iestādes;
- veselības aizsardzības un sociālās nodrošināšanas ēkas;
- lauku saimniecību nedzīvojamās ēkas;
- pārējās nedzīvojamās ēkas.

Laika posmā no 2008. līdz 2013. gadam Latvijā jaunajā celtniecībā kopējā nedzīvojamo ēku celtniecības apjomā dominē:

- rūpnieciskās ražošanas ēkas un noliktavas – 22 %;
- administratīvās ēkas – 14 %;
- vairumtirdzniecības un mazumtirdzniecības ēkas, degvielas uzpildes stacijas – 12 %.

Rūpnieciskās ražošanas ēkas un noliktavas pamatā tiek apkurinātas autonomi. Lielākais pieprasījums pēc jaunām siltuma jaudām novērojams administratīvo ēku un tirdzniecības platību būvniecības sektorā. Administratīvo ēku sektors ietver divus segmentus – valsts pārvaldes iestādes un privātos komercobjektus. Tomēr šo segmentu izmantošanā notiek zināma pārklāšanās. Daudzos gadījumos valsts un pašvaldību iestādes nomā telpas privātajos komercobjektos, līdz ar to jaunu valsts iestāžu ēku būvniecība samazina pieprasījumu pēc biroju telpām privātajā sektorā. Tā 2012. gadā sākās Valsts ieņēmumu dienesta jaunā ēku kompleksa būvdarbi, bet līdz šim Valsts ieņēmuma dienesta struktūras atradās pārdesmit dažādās ēkās Rīgā, kurām bija atšķirīgs tehniskais stāvoklis un ekspluatācijas izmaksas. Apmēram 60 % telpu Valsts ieņēmumu dienests nomāja no privātā sektora, bet 40 % – no valsts [50].

Tajā pašā laikā biroju telpu iznomātāju firmu pārstāvji norāda, ka Rīgā ir ļoti daudz pustukšu biroju kompleksu, savukārt par izīrētajām telpām no nomniekiem bieži vien iekasē tikai tik daudz, lai nosegtu komunālos maksājumus. Pēc Valsts ieņēmumu dienesta jaunās ēkas nodošanas ekspluatācijā sāksies ķēdes reakcija, ietekmējot daudzu biroju centru darbību un pat apdraudot to eksistenci, jo Valsts ieņēmumu dienests taču atbrīvos biroju telpas 14 ēkās. Lai biroju ēkās, kur līdz šim atradās Valsts ieņēmumu dienesta struktūrvienības, piesaistītu jaunus nomniekus, kuru jau tā trūkst, telpas visticamāk tiks izīrētas par dempinga cenu. Savukārt citiem biroju kompleksiem, lai noturētu klientus, nāksies vēl jūtamāk samazināt telpu īres cenu, tādējādi apgrūtinot savu darbību [51].



4.10. att. Brīvo telpu īpatsvara dinamika Rīgas biroju ēkās [52]

Pēc „Latio" sniegtās informācijas [53] 2013. gadā lielākais pieprasījums ir pēc biroju telpām Rīgas aktīvajā centrā un kvalitatīvajās biroju ēkās Duntes, Skanstes ielas apkārtnē, kā arī tuvajā Pārdaugavā. Lielākais ir B klases telpu pieprasījums.

Pēc SIA „Kivi RealEstate" 2017. gada komercplatību tirgus pārskata datiem 2016. gadā A klases biroju segmentā ir neliels neiznomāto telpu īpatsvars – -4 %, bet B klases segmentā neiznomāto telpu īpatsvars pēdējo gadu laikā ir ievērojami samazinājies un 2016. gadā tas sasniedza 5 % [52].

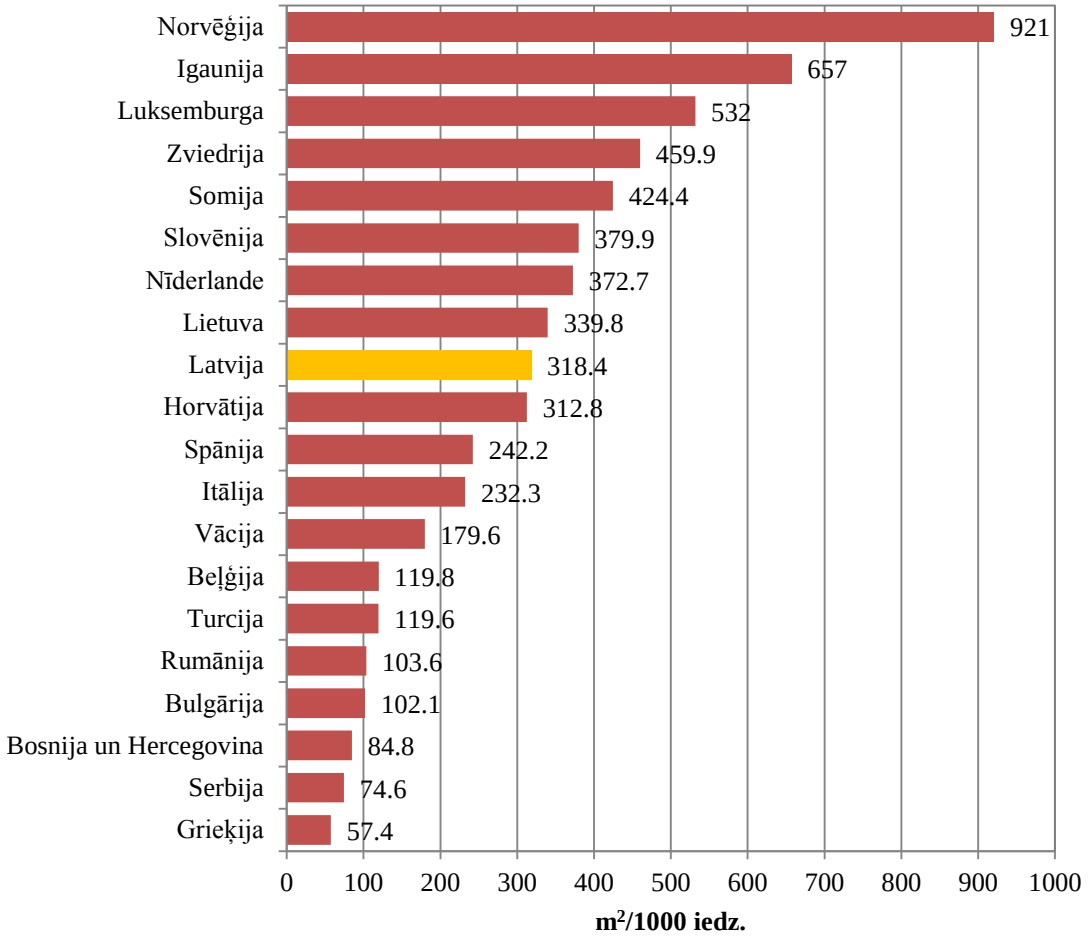
„Latio" darbinieki uzskata, ka brīvo telpu īpatsvara samazināšanās un nomas maksas izmaiņas sekmē attīstītāju plānus būvēt jaunas biroju ēkas. Šos nodomus gan ierobežo banku finansējuma saņemšanas stingrie nosacījumi. Tuvākajos gados Rīgas biroju telpu piedāvājumu varētu papildināt tikai dažas jaunas ēkas, kuru būvniecību attīstītāji spēs finansēt no saviem līdzekļiem [53].

Tirdzniecības telpas. Balstoties uz „Latio" sniegto informāciju [53], jāsecina, ka nomnieku lielākā aktivitāte tirdzniecības telpu segmentā 2013. gada pirmajā ceturksnī saglabājās Vecrīgā un Rīgas centrā. Neiznomātu telpu īpatsvars galvaspilsētas aktīvajā centrā ir niecīgs. Pēdējo trīs gadu laikā tas ir samazinājies ļoti strauji – 2009. gada nogalē brīvi bija tikai 25–30 % tirdzniecības telpu. Visbiežāk nomnieku vajadzībām atbilstošas ir 50–70 kvadrātmetrus lielas telpas, tomēr Rīgas centrā šādu telpu tikpat kā nav. Šogad Rīgas aktīvajā centrā, piemēram, Elizabetes ielā, piedāvājumā varētu nonākt tirdzniecības telpas vairākās ēkās, kas atrodas būvniecības vai pārbūves procesā. Ļoti labās vietās Vecrīgas vai aktīvajā centrā esošu tirdzniecības platību pārdošanas cenas ir 4 000–7 000 eiro par kvadrātmetru, citur centrā – 1 200–2 300 eiro par kvadrātmetru. Pilsētas centrālajā daļā, tālāk no aktīvā centra, neiznomāto tirdzniecības telpu īpatsvars pakāpeniski turpina samazināties [53].

Tomēr pieprasījuma dinamika pēc tirdzniecības platībām Rīgas centrā maz ietekmē pieprasījumu pēc papildu siltuma slodzēm. Būtisku siltumslodžu pieprasījuma pieaugumu rada

arī jaunu tirdzniecības centru būvniecība. Tomēr jāņem vērā šī sektora attīstības līmenis un iespējamā dinamika analīzes periodā.

Salīdzinot ar Eiropas Savienības valstīm, Latvijā tirdzniecības platības uz vienu iedzīvotāju tirdzniecības centros 2012. gadā pārsniedza vidējos ES 27 valstu rādītājus. Līdzīga situācija ir Dānijā, kur iekšzemes kopprodukts pēc pirktspējas paritātes ir divas reizes lielāks nekā Latvijā, bet vidējā neto darba alga pārsniedz Latvijas līmeni piecas reizes. Šis rādītājs (tirdzniecības platības uz vienu iedzīvotāju) Latvijā ir augstāks nekā tādās valstīs kā Lielbritānija, Francija, Spānija, Itālija, Vācija, Beļģija. Tas izraisa pamatotas šaubas par šī sektora ievērojamām pieauguma iespējām analizējamajā laika periodā.



4.11. att. Tirdzniecības centru bruto izīrējamā platība (m^2/1000 iedzīvotājiem) dažādās Eiropas valstīs, 2017. gada aprīļa dati [55]

Jau 2007. gadā konstatēts, ka, turpinot jaunu tirdzniecības centru būvniecību Rīgā esošās „reaktīvās" plānošanas ietvaros (iepriekš ieprogrammētām tirdzniecības centru aptveres zonām pārklājoties ar jau esošajām, jo pie jau izbūvētajām ielām ir iegūts pietiekami liels zemes gabals, kas atrodas „jauktu darījumu iestāžu teritorijā"), var sākties parasti neiespējama agrāk būvēto tirdzniecības centru darbības sašaurināšanās vai pat pārtraukšana un tirdzniecības centru pārprofilēšana (piemēram, pastāv draudi „Barona centram", tirdzniecības centriem „Maxima" Mūkusalas ielā un „Olimpia") [54].

Jāņem vērā, ka Eiropas valstīs tirdzniecības centru definē kā centralizēti pārvaldītu mazumtirdzniecības vajadzībām būvētu ēku ar bruto izīrējamo platību, kas lielāka par 5000 m^2[56].

Jaunu tirdzniecības centru būvniecība (veikali „Damme" un „Prisma" Imantā) pēdējos gados liecina, ka šis tirgus segments ir piesātināts un jaunas investīcijas kļūst finansiāli neefektīvas. Šajā gadījumā līdzās esošu tirdzniecības centru kopējās pastāvīgās izmaksas neizbēgami atsaucas uz tirdzniecības centru piedāvāto produktu cenām. Lielā konkurence un iedzīvotāju zemā pirktspēja neļauj cenas veidot, izmantojot normatīvo rentabilitāti, un atpelnīt investīcijas normatīvos termiņos.

Noliktavas un ražošanas telpas. Salīdzinot ar 2013. gada sākumu, nomnieku aktivitāte noliktavu un ražošanas telpu segmentā ir saglabājusies iepriekšējā gada līmenī [53]. Gada sākumā turpinājās nomnieku rotācija. Lielākais pieprasījums ir pēc labām noliktavu un ražošanas telpām platībā no 500 līdz 1000 kvadrātmetriem. Atbilstošs piedāvājums ir ierobežots. Ir atjaunojusies interese par padomju laikā būvēto industriālo telpu iegādi, tās pēc tam pārbūvējot. Šādu objektu priekšrocība, salīdzinot ar jaunu telpu būvniecību, ir jau izbūvētas komunikācijas un infrastruktūra.

Rīgā noliktavu telpu segmentu var iedalīt šādās kategorijās:

- „*prime*" jeb augstākās kategorijas, brīvo platību īpatsvars ir apmēram 5 %;
- „A" klases noliktavu telpu kategorijā, kurā ietilpst jaunas, kā arī pārbūvētas mūsdienu prasībām atbilstošas telpas, brīvo platību īpatsvars samazinājies līdz 15 %;
- „B" klases noliktavu telpu kategorijā, kuru veido padomju laikā būvētas telpas labā tehniskā stāvoklī, brīvo platību īpatsvars ir apmēram 30 %.

4.2. Siltumenerģijas lietotāju energoefektivitātes paaugstināšanas ietekmes izpēte uz CSS

Gan ēku dzīvojamā, gan nedzīvojamā sektorā viens no siltumenerģijas patēriņa apjomu noteicošajiem faktoriem ir ēku energoefektivitāte, ko raksturo vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš gadā.

Ēku īpatnējo siltumenerģijas patēriņu nosaka kā ēku energoefektivitātes līmenis, tā arī mentāli faktori. Šī pētījuma ietvaros tika analizēta energoefektivitātes un tās izmaiņu ietekme uz ēku īpatnējo siltumenerģijas patēriņu. Ēku energoefektivitātes līmeņa paaugstināšanas ietekme uz īpatnējo siltumenerģijas patēriņu ir funkcija:

1) no energoefektivitātes līmeņa ēkās;
2) no tehniskajām iespējām uzlabot ēku energoefektivitāti;
3) no energoefektivitātes pasākumu izmaksu – ieguvuma attiecības un ēku vai to daļu īpašnieku ekonomiskajiem un juridiskajiem apsvērumiem;
4) no finansējuma pieejamības un nosacījumiem.

4.2.1. Esošā ēku energoefektivitātes līmenis

Pēc Rīgas enerģētikas aģentūras veikto energoauditu datiem, 2009. gadā ēku īpatnējais siltumenerģijas patēriņš Rīgā bija 212 kWh/m^2/a, bet Rīgas enerģētikas aģentūras datubāzē [57] iekļauto daudzdzīvokļu dzīvojamo māju vidējais faktiskais siltumenerģijas īpatnējais patēriņš Rīgā 2012. gadā bija:

- mājās ar centralizēto karstā ūdens apgādi – 201 kWh/m^2/gadā,
- mājās bez centralizētās karstā ūdens apgādes – 170 kWh/m^2/gadā.

Pēc Centrālās statistikas pārvaldes datiem [58], Rīgā 2011. gadā dzīvojamajā sektorā apkurināmā platība, kas saņem siltumenerģiju no ārējiem avotiem, bija 12,6 milj. m^2. Pieņemot, ka AS „RĪGAS SILTUMS" Rīgas dzīvojamajam sektoram piegādā 99 % no ārējiem avotiem saņemtās siltumenerģijas apjoma, 2011./2012. gada apkures sezonā vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš gadā bija 191 kWh/m^2/a.

Rīgas enerģētikas aģentūras informācija liecina [57], ka kompleksi renovētu daudzdzīvokļu māju vidējais faktiskais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš Rīgā 2012. gadā bija:

- ar centralizēto karstā ūdens apgādi – 101 kWh/m^2/gadā;
- bez centralizētās karstā ūdens apgādes – 77 kWh/m^2/gadā.

Savukārt pēc AS „RĪGAS SILTUMS" datiem, siltumenerģijas īpatnējais patēriņš Rīgā centralizētās siltumapgādes sistēmas zonā 2012./2013. gada apkures sezonā bija 191,6 kWh/m^2/gadā, kas tad arī tiek pieņemts par bāzi siltumpatēriņa prognozēm 2014.–2024. gadam.

4.2.2. Tehniskās iespējās nodrošināt ēku energoefektivitātes paaugstināšanu

Pieejamie konstruktīvie un tehnoloģiskie risinājumi, kā arī materiāli ļauj nodrošināt kā daļēju, tā arī kompleksu ēku energoefektivitātes uzlabošanu.

Ar jēdzienu „kompleksā renovācija" domāts ēkas siltumnoturības uzlabošanas pasākumu kopums, kura apjoms atsevišķām ēkām var nedaudz atšķirties:

1) augšējā stāva pārseguma, ēkas cokola stāva, pamatu, pagraba pārseguma, ārsienu visaptveroša siltināšana saskaņā ar spēkā esošā Latvijas būvnormatīva LBN 002-15 prasībām [59];
2) siltumapgādes sistēmas renovācija, aprīkojot visus apkures radiatorus ēkā ar termostatiskiem vārstiem un ieviešot individuālo norēķinu sistēmu par apkurei patērēto siltumenerģiju;
3) karstā ūdens sistēmas renovācija;
4) logu, ārdurvju nomaiņa;
5) ventilācijas sistēmas renovācijas bez siltuma atguves.

Lai izvēlētos daļēju vai kompleksu renovāciju, jāizdara projekta izmaksu un ieguvumu analīze. Finanšu ministrijas izstrādātajā darbības programmā „Izaugsme un nodarbinātība" [60] norādīts, ka Latvijas nacionālās reformu programmas īstenošanai ir jāsamazina vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš ēkās no pašreizējā 220–250 kWh/m^2/gadā līdz 150 kWh/m^2/gadā 2020. gadā un izmaksu efektīvā veidā jārenovē 60–70 % no Latvijas ēku

sektora – dzīvojamo ēku sektorā ir apmēram 25 tūkstoši daudzdzīvokļu māju ar kopējo platību 38 milj. m^2.

4.2.3. Finansējuma pieejamība un nosacījumi

Energotaupības pasākumu ietekmi uz Rīgas ēku vidējo īpatnējo siltumenerģijas patēriņu gadā nosaka ikgadējais ēku energoefektivitātes pasākumu apjoms, kas atkarīgs no finansēšanas avotiem un apjoma. Šo pasākumu īstenošanu veicinās primāro energoresursu cenu pieaugums, kā arī šajā jomā jau pieņemtie atbilstošie normatīvie akti un attīstības programmu dokumenti. Ja nedzīvojamā sektorā (tās publiskajā daļā) pasākumu apjomu nosaka valsts budžeta politika, tad dzīvojamā sektorā, ņemot vērā iedzīvotāju zemo maksātspēju un nevēlēšanos uzņemties papildu kredītsaistības, minēto pasākumu īstenošanai būtiska ir Eiropas Savienības struktūrfondu pieejamība. Var pieņemt, ka energotaupības pasākumu apjomu nosaka Eiropas Savienības fondu apjoms, kas paredzēts ēku energoefektivitātes uzlabošanai, Eiropas Savienības fondu līdzfinansēšanas likme un izmaksas par vienu energoefektivitātes pasākumu apjoma vienību (m^2).

Finanšu ministrija izstrādātajā partnerības līguma projektā Eiropas Savienības fondu izmantošanas 2014.–2020. gada plānošanas periodam [61] norādīts, ka 2007.–2013. gada ES fondu programmu ietvaros tika renovēti 2,5 % daudzdzīvokļu ēku (vairāk par 950 ēkām). Gaidāms, ka pēc ES fondu līdzfinansētās daudzdzīvokļu māju siltināšanas, renovētajās ēkās tiks ietaupītas vairāk par 130 GWh gadā.

Šī pētījuma izstrādes brīdī vēl nav precīzi zināms ES struktūrfondu apjoms, kas nākamajā struktūrfondu programmēšanas periodā (2014.–2020. gads) būs pieejams dzīvojamo ēku energoefektivitātes pasākumu īstenošanai. Tomēr Finanšu ministrijas izstrādātajā darbības programmas „Izaugsme un nodarbinātība" projektā [60] dzīvojamā fonda renovācijai noteikts indikatīvais finansējums 150 milj. EUR apmērā, kas arī tiek pieņemts par pamatu dzīvojamo platību energoefektivitātes uzlabošanas pasākumu ietekmes aprēķinā (2007.–2013. g. periodā 3.4.4.1. aktivitātē maksimālās izmaksas ir 99,60 EUR/m^2 un aprēķinos tiek ņemta vērā inflācija (būvniecības cenu indekss 1,06 gadā)), tādējādi tiek pieņemts, ka vidējās izmaksas 2014.–2020. gadā ir 142,29 EUR/m^2.

Šī pētījuma ietvaros veiktais novērtējums liecina, ka ēku energoefektivitātes pasākumu efektīvākajā variantā izmaksas uz 1 m^2 2013. gadā bija aptuveni 98,02 EUR/m^2, kas vidēji programmēšanas periodā, izmantojot konstantu celtniecības izmaksu indeksa vērtību 1,25, ir 110,07 EUR/m^2.

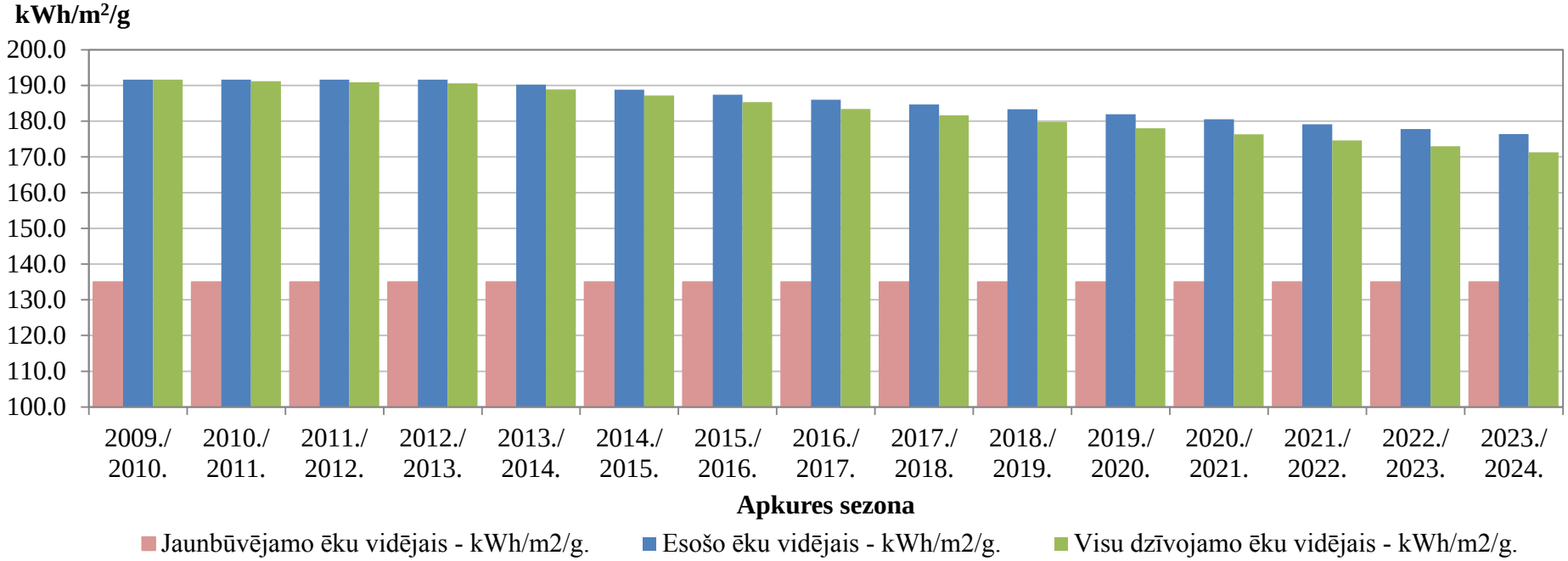
Pieņemot, ka:

1) Rīgas dzīvojamā fonda īpatsvars kopējā Latvijas dzīvojamajā fondā ir apmēram 46 %.
2) Rīgas iedzīvotāju vidējā maksātspējā 2012. gadā bija par 30 % augstāka nekā pārējos statistikas reģionos,
3) ēku energoefektivitātes pasākumu vidējās izmaksas varētu būt 101 EUR/m^2,
4) ēku vidējais siltumenerģijas īpatnējais patēriņš pēc siltināšanas būs 101 kWh/m^2/gadā,
5) Eiropas Reģionālās attīstības fonda līdzfinansējuma likme būs 50 %,

aprēķini liecina, ka bāzes pieprasījuma variantā ikgadējā platība, kurā var nodrošināt energoefektivitātes pasākumus Rīgā, varētu būt apmēram 190 tūkst. m^2, bet efekts – 17 tūkst. MWh gadā.

Savukārt Eiropas Savienības Direktīvā par energoefektivitāti [62] noteikts pienākums, sākot no 2014. gada ik gadu renovēt trīs procentus no tām centrālās valdības īpašumā esošajām un izmantojamajām ēkām, kas neatbilst minimālajām energoefektivitātes prasībām. Nedzīvojamajā sektorā, ņemot vērā valdības politiskos mērķus, kā arī komersantu finansiālos apsvērumus, tiek pieņemts, ka līdz šim „nesiltinātās" platībās energoefektivitātes pasākumi varētu tik īstenoti 20 gadu laikā.

4.2.4. Prognozētais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš dzīvojamās ēkās Rīgas pilsētā

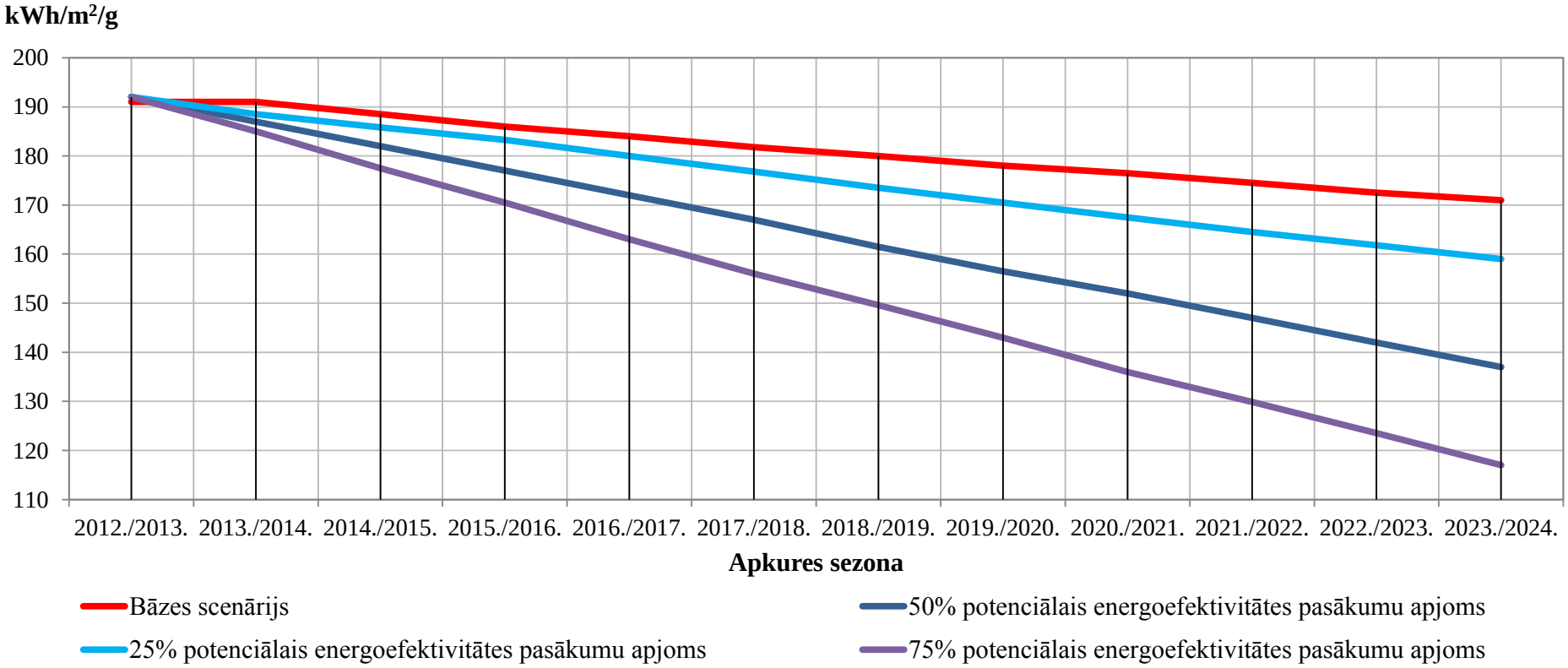


4.12. att. Prognozētais vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš dzīvojamās ēkas Rīgas pilsētā bāzes pieprasījuma gadījumā

4.8. tabula

Prognozētais vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš dzīvojamās ēkas Rīgas pilsētā bāzes pieprasījuma gadījumā

Apkures sezona	2009./ 2010.	2010./ 2011.	2011./ 2012.	2012./ 2013.	2013./ 2014.	2014./ 2015.	2015./ 2016.	2016./ 2017.	2017./ 2018.	2018./ 2019.	2019./ 2020.	2020./ 2021.	2021./ 2022.	2022./ 2023.	2023./ 2024.
Esošo ēku vidējais - kWh/m²/g.	191,6	191,6	191,6	191,6	190,2	188,8	187,4	186,0	184,7	183,3	181,9	180,5	179,1	177,8	176,4
Jaunbūvējamo ēku vidējais - kWh/m²/g.	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0
Visu dzīvojamo ēku vidējais - kWh/m²/g.	191,6	191,2	190,9	190,6	188,9	187,2	185,3	183,4	181,6	179,8	178,0	176,3	174,6	173,0	171,3



4.13. att. Prognozētais vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš dzīvojamās ēkas Rīgā (kWh/m^2/a), ja tehniski potenciālā energoefektivitātes pasākuma apjoms atšķiras

4.2.5. Prognozēšanas vispārējie nosacījumi un pieņēmumi

Siltumenerģijas lietderīgā patēriņa prognozēšana daudzu faktoru ietekmes un nenoteiktību dēļ tiek veikta zināmā secībā, kā arī tiek ievēroti vairāki nosacījumi un pieņēmumi.

1. Balstoties uz izejas datiem, vispirms tiek analizēti visas Rīgas gaidāmais siltumenerģijas patēriņš līdz 2024. gadam divos patērētāju sektoros:
   - dzīvojamā sektorā;
   - nedzīvojamā sektorā.
2. Katrā sektorā vērtē:
   2.1. tendences ēku būvniecības sektorā, tajā skaitā:
      2.1.1. būvniecības nozares dinamiku, ņemot vērā ekonomikas attīstības vispārējos faktorus,
      2.1.2. AS „RĪGAS SILTUMS" izdotos tehniskos noteikumus un pieprasījumus par siltumslodžu pieslēgumiem,
      2.1.3. pieejamo informāciju par perspektīvajiem siltumenerģijas lietotājiem;
   2.2. Rīgas centralizētās siltumapgādes sistēmas klientu pieauguma un paplašināšanās iespējamība siltumenerģijas tirgū, kas balstās uz Rīgas siltumavotu iekārtu uzstādītās jaudas un to siltumenerģijas ražošanas efektivitātes līmeni (80÷92%), augstas efektivitātes koģenerācijas ciklu ieviešanu un citiem attīstības pasākumiem siltumtīklos;
   2.3. energoefektivitātes pasākumus.
3. Tiek sastādītas prognozes par siltumenerģijas pieprasījumu katrā no siltumapgādes zonām.
   3.1. Rīgas atsevišķu siltumapgādes zonu siltumenerģijas patēriņa prognoze. Gatavojot prognozes, tiek ņemti vērā tie paši pieprasījumu ietekmējošie faktori, kas visas pilsētas prognozē. Patēriņa apjoms attiecīgās apgādes zonas teritorijā tiek noteikts atbilstoši Rīgas kopējam pieprasījumam un attiecīgās apgādes zonas īpatsvaram kopējā piegādē.
   3.2. Sastādot prognozes, par bāzi tiek izmantoti AS „ RĪGAS SILTUMS" 2012./2013. gada apkures sezonas faktiskie siltumenerģijas realizācijas rādītāji, kā arī dati par zudumiem tīklos un galveno siltumavotu tehnoloģiskie parametri.
4. Baltoties uz prognozēto pieprasījuma apjomu katrā no siltumapgādes zonām, tiek noteikti to centralizētās siltumapgādes sistēmas prognozētie rādītāji.
5. Siltumenerģijas izstrādes perspektīvā apjoma noteikšanai tiek ņemta vērā iespējamā zudumu samazināšana siltumenerģijas pārvades tīklos.
6. Prognozes tiek veiktas, ņemot vērā bāzes un paaugstināta pieprasījuma scenāriju.

Ņemot vērā prognozi ietekmējošos daudzos nenoteiktības aspektus, siltumenerģijas patēriņa prognozes nav iespējams uzskatīt par determinētu lielumu, bet gan par zināmu „koridoru", kurā, iespējams, atradīsies gaidāmais pieprasījums.

Detalizētāka katra segmenta vērtēšanas metodika sniegta turpmāk.

4.2.6. Siltumenerģijas pieprasījuma prognozēšana Rīgas pilsētas dzīvojamā sektorā

Siltumenerģijas pieprasījuma prognoze Rīgas dzīvojamajā sektorā bāzes scenārijam veikta, balstoties uz:

1) Latvijas Zinātņu akadēmijas ekonomikas institūta pētījumā „Demogrāfiskās prognozes Rīgā un Pierīgā" [44] prognozēto iedzīvotāju skaitu 2015. gadā – 619,5 tūkst. un 2025. gadā – 535.6 tūkst. iedz., kā arī izmantojot lineāru dinamikas tempu prognožu laika diapazonā;
2) CSP informāciju [58] par bāzes gada dzīvojamo platību, kas saņem siltumenerģiju no ārējiem avotiem;
3) pieņēmumu, ka vidējais jaunu dzīvojamo ēku celtniecības apjoms un daudzdzīvokļu māju īpatsvars kopējā jaunbūvējamā dzīvojamā fondā prognozējamajā periodā saglabājas 2004.–2012. gada vidējā apjomā;
4) pieņēmumu, ka 2012./2013. gada apkures sezonā dzīvojamā sektorā vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš gadā bija 195,57 kWh/m^2/a līmenī, kas atbilst vidējam īpatnējam siltumenerģijas patēriņam siltumenerģijas apgādes teritorijā dzīvojamā sektorā;
5) to, ka jaubūvējamo ēku īpatnējais siltumenerģijas patēriņš gadā tiek pieņemts 135 kWh/m^2/a līmenī;
6) prognozēto energoefektivitātes uzlabošanas pasākumu ietekmi uz ēku īpatnējo siltumpatēriņu.

   Energoefektivitātes pasākumu ietekme uz siltumenerģijas pieprasījumu tiek noteikta pieņemot, ka ikgadējā platība, kurā var tik nodrošināti energoefektivitātes pasākumi Rīgā, būs atkarīga no Eiropas Savienības struktūrfondu finansējuma apmēriem, un tie 2014.–2020. gada programmēšanas periodā varētu sastādīt 213,43 milj. EUR [61]. Šāda finansējuma gadījumā ikgadējā ar energoefektivitātes uzlabošanas pasākumiem aptvertā dzīvojamā fonda platība Rīgā varētu būt 192 tūkst. m^2, bet pasākuma efekts – 17 tūkst. MWh gadā.

Siltumenerģijas patēriņš Rīgas dzīvojamā sektorā ($Q_{dz.Rp(n)}$) n-tajā gadā noteikts:

$$Q_{DZ.Rp(n)} = Q_{DZ.Rp.e(n)} + Q_{DZ.Rp.j(n)}, \quad (4.1.)$$

kur $Q_{DZ.Rp.e(n)}$ – esošā dzīvojamā sektora ēku patēriņš Rīgas pilsētā n-gadā;

$Q_{DZ.Rp.j(n)}$ – jaunbūvējamo dzīvojamo ēku patēriņš Rīgas pilsētā n-gadā.

Prognožu bāzes periods ir 2012./2013. gada apkures sezona, kuras pieprasījuma apjoms dzīvojamā sektorā tiek koriģēts ar normatīvo temperatūru un apkures sezonas normatīvo ilgumu. Dzīvojamā sektora siltumenerģijas patēriņš tiek prognozēts, balstoties uz bāzes perioda dzīvojamo platību un īpatnējā siltumenerģijas patēriņa dinamiku energoefektivitātes pasākumu ietekmē.

Esošo un jaunbūvējamo dzīvojamo ēku siltumenerģijas patēriņš Rīgā ($Q_{DZ.Rp(n)}$) tiek aprēķināts, reizinot attiecīgās ēku kategorijas platību ar īpatnējo siltumenerģijas patēriņu attiecīgajā kategorijā.

$$Q_{DZ.Rp(n)} = L_{DZ.Rp(n)} \cdot IpQ_n, \tag{4.2.}$$

kur $L_{DZ.Rp(n)}$ – attiecīgās kategorijas dzīvojamā fonda platība;

IpQ_n – vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš attiecīgajā kategorijā gadā.

Esošo dzīvojamo ēku vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš pilsētā katrā no prognozētajiem apkures periodiem ($IpQ_{DZ.e(n)}$) tiek noteikts, ņemot vērā energoefektivitātes uzlabošanas pasākumu ietekmi:

$$IpQ_{DZ.e(n)} = \frac{(Q_{DZ.Rp(n-1)} - \Delta Q_{DZ.eRp(n)})}{L_{DZ.Rp(bg)}}, \tag{4.3.}$$

kur $Q_{DZ.Rp(n-1)}$ – Rīgas pilsētas esošu dzīvojamo ēku siltumenerģijas patēriņš *n-1* periodā;

$\Delta Q_{DZ.eRp(n)}$ – Rīgas pilsētas esošu dzīvojamo ēku siltumenerģijas patēriņa samazinājums energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumu rezultātā *n*-periodā;

$L_{DZ.Rp(bg)}$ – dzīvojamā fonda platības bāzes gadā.

Jaunbūvējamo dzīvojamo ēku vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš pilsētā ($Q_{DZ.j.Rp(n)}$) tiek pieņemts 135 kWh/m^2/a.

Paaugstināta pieprasījuma scenārijā, ņemot vērā, ka energoefektivitātes pasākumu apjomu Rīgā var samazināt Eiropas Savienības valstu struktūrfondu finansējuma pieejamība, iedzīvotāju finansiālās iespējas un motivācija, tiek pieņemts, ka ikgadējais energoefektivitātes pasākumu apjoms dzīvojamajā sektorā būs 75 % no bāzes scenārijā pieņemtā.

4.2.7. Siltumenerģijas pieprasījuma prognozēšana Rīgas pilsētas nedzīvojamā sektorā

Siltumenerģijas pieprasījuma prognoze Rīgas nedzīvojamā sektorā veikta, vērtējot pieslēgumu tendences un tālāko pieslēgumu prognozes:

1. Esošo objektu siltumenerģijas patēriņš bāzes gadā ($Q_{NDZ.Rp(bg)}$) ir noteikts:

$$Q_{NDZ.Rp(bg)} = Q_{RS.norm.(bg)} \cdot \frac{k_{NDZ.RS}}{k_{RS.NDZ.Rp}}, \tag{4.4.}$$

kur $Q_{RS.norm.(bg)}$ – kopējā piegādātā siltumenerģija bāzes gadā (2012./2013. gads) apkures sezonā normatīvo nosacījumu gadījumā;

$k_{NDZ.RS}$ – nedzīvojamā sektora daļa no visa centralizētās siltumapgādes sistēmai piegādātās siltumenerģijas, aprēķinos tiek pieņemts – 0,27;

$k_{RS.NDZ.Rp}$ – centralizētās siltumapgādes sistēmas daļa no visas Rīgas nedzīvojamam sektoram piegādātās siltumenerģijas, aprēķinos tiek pieņemts – 0,76.

2. Nedzīvojamā sektora patēriņš Rīgā turpmākajos gados (bāzes scenārijā) tika noteikts, summējot esošo un jaunbūvējamo ēku siltumenerģijas patēriņu.

2.1. Esošo (pēc bāzes gada) nedzīvojamo ēku siltumenerģijas patēriņš.

Tiek pieņemts, ka esošajos objektos tiks īstenoti energotaupības pasākumi, kā arī notiek atsevišķu objektu atslēgšana (alternatīvā siltumapgāde, nojaukšana vai pārbūve). Tomēr statistikas dati neļauj pietiekami precīzi prognozēt šādu darbību ietekmi uz kopējo siltumpatēriņu. Daudz drošāks ir pieņēmums par esošo objektu siltumpatēriņa samazināšanos energoefektivitātes uzlabošanas pasākumu rezultātā. Tomēr arī šo faktoru var vērtēt, tikai izmantojot dažādus pieņēmumus. Tiek pieņemts, ka esošajos objektos 20 gadu laikā tiks veikti energoefektivitātes uzlabošanas pasākumi, kuru rezultātā siltumenerģijas patēriņš samazināsies līdzvērtīgi siltumenerģijas ekonomijai energoefektivitātes pasākumu rezultātā dzīvojamā sektorā.

Nedzīvojamā sektorā esošo ēku siltuma patēriņš *n*-periodā ($Q_{NDZ.Rp(n)}$) tiek aprēķināts:

$$Q_{NDZ.Rp(n)} = Q_{NDZ.Rp(n-1)} - Q_{NDZ.Rp(bg)} \cdot \frac{1-k_s}{t_{silt}} \cdot EF_{silt} \,, \qquad (4.5.)$$

kur $Q_{NDZ.Rp(n-1)}$ – nedzīvojamā sektora kopējais patēriņš iepriekšējā apkures sezonā (tūkst.MWh/a);

$Q_{NDZ.Rp(bg)}$ – nedzīvojamā sektora kopējais patēriņš bāzes gadā, ja normatīvā ārgaisa temperatūra (tūkst. MWh/a);

k_s – jau siltināto ēku īpatsvars bāzes periodā;

t_{silt} – esošo ēku 100% siltināšanas periods;

EF_{silt} – siltināšanas efekts (%).

2.2. jaunbūvējamo nedzīvojamo ēku siltumenerģijas patēriņš tiek noteikts, balstoties uz jaunbūvējamo objektu siltumslodžu lielumu. Siltumslodzes jaunbūvētajos objektos tiek prognozētas, izmantojot šādus pieņēmumus:

2.2.1. laikā posmā no 2008./2009. līdz 2012./2013. gada apkures sezonai vidēji gadā ir noslēgti līgumi par siltumenerģijas piegādi ar vidējo siltumslodzi 16,6 MW un tajā pašā laikā ir sākta siltumenerģijas piegāde par 22,34 MW (skat. 4.9. tabulu);

2.2.2. tabulā redzams, ka siltumslodžu dinamikas rindā atšķirīgi ir 2008./2009. gada apkures sezonas rādītāji, kad sākta piegāde par 41,5 MW. Tomēr jāņem vērā, ka tās ir pirmskrīzes celtniecības uzplaukuma „atskaņas" un nevar tikt izmantotas nākotnes pieslēgumu vērtēšanā;

2.2.3. ņemot vērā nepieciešamību no vērtēšanas izslēgt pirmskrīzes celtniecības uzplaukuma ietekmi, atslēgto objektu siltumslodzes, kā arī balstoties uz Latvijas ekonomikas attīstības prognozēm, par bāzi nedzīvojamā sektora tiek pieņemts 2009.–2012. gada vidējais sākto piegāžu (pieslēgto siltumslodžu) rādītājs ar koeficientu 0,75;

4.9. tabula

Noslēgtie līgumi par siltumenerģijas piegādi un sāktās piegādes 2012./2013. līdz 2016./2017. gada apkures sezonā

	Mērvienība	Apkures sezona					
		2012./ 2013.	2013./ 2014.	2014./ 2015.	2015./ 2016.	2016./ 2017.	Vid. 2012./2013.- 2016./2017.
Noslēgti jauni līgumi par piegādi (plānotā siltumslodze)	MW	14,3	20,5	14,4	20,2	34,6	20,8
Sāktas piegādes (pieslēgtā siltumslodze)	MW	12,2	17,2	17,2	22,3	17,1	17,2

2.2.4. atbilstīgi tehniskajiem noteikumiem siltumslodžu pieprasījumā dominē publiskais un nedzīvojamais sektors, un, ņemot vērā iespējamo varbūtību, ka tehniskie noteikumi tiks realizēti, prognožu aprēķinos tiek pieņemts, ka jaunie pieslēgumi publiskajā sektorā sastādīs 65 %, bet dzīvojamā sektorā – 35 % no kopējās pieslēgumu slodžu prognozes;

Patērēto siltumenerģiju Rīgas jaunajiem nedzīvojamā sektora pieslēgumiem ($Q_{NDZ.j.Rp}$) gadā (tūkst. MWh) aprēķina pēc šādas formulas:

$$Q_{NDZ.j.Rp} = JQ_{(t=-20.7°c)} \cdot K_{NDZ.j.Rp} \cdot k_{JQekv} \cdot k_{RS.NDZ.j.Rp} \cdot h_{apr}, \quad (4.6)$$

kur $JQ_{(t=-20.7°c)}$ – jauno patērētāju siltumslodzei, ja $t_{.ā.g}$ = -20,7 °C, MW_{th};

k_{JQekv} – ekvivalentās vidējās gada slodzes aprēķina koeficients;

$K_{NDZ.j.}$ – nedzīvojamo ēku īpatsvars jaunajā celtniecībā Rīgā;

$k_{RS.NDZ.j.Rp}$ – nedzīvojamā sektora daļa jaunajos pieslēgumos centralizētās siltumapgādes gadījumā;

h_{apr} – aprēķina stundu skaits gadā (pieņemts 8 640 h).

Visas pilsētas nedzīvojamā sektora siltumenerģijas patēriņu nosaka, ņemot vērā, ka centralizētajai siltumapgādes sistēmai pieslēgtā jaunā nedzīvojamā sektora daļa ($k_{RS.NDZ.j.Rp}$) sastāda 65 %, bet no visa Rīgas publiskā sektora siltumenerģijas patēriņa 76 % tiek nodrošināti no centralizētās siltumapgādes sistēmas.

Paaugstinātā pieprasījuma scenārijā tiek pieņemts, ka:

1) energoefektivitātes pasākumi nedzīvojamā sektorā tiks realizēti 40 gadu laikā (divas reizes ilgākā periodā nekā bāzes scenārijā);
2) siltumslodze jaunbūvētajos objektos tiek prognozēta, pieņemot, ka prognozējamā perioda vidējais ikgadējais siltumslodzes pieaugums balstās uz vidējo piegāžu lielumu no 2009./2010. līdz 2012./2013. gadam;
3) zudumu samazinājums siltumtīklos prognozējamā periodā ir 5 %, salīdzinot ar 8 % bāzes scenārijā.

Rīgas siltumenerģijas pieprasījuma prognožu aprēķina rezultātus skatīt 4.14. attēlā un 4.11. tabulā.

4.2.8. Rīgas pilsētas siltumapgādes patēriņa prognozēšana atsevišķās siltumapgādes zonās

Prognozējot Rīgas atsevišķu siltumapgādes zonu siltumenerģijas patēriņu, ņemti vērā tie paši pieprasījumu ietekmējošie faktori, kas visas pilsētas siltumenerģijas patēriņa prognozē:

1) par patēriņa bāzes lielumu tiek pieņemtas siltumenerģijas realizācijas atskaites par 2009./2010., 2010./2011., 2011./2012., 2012./2013. apkures sezonu [32], kas pārrēķinātas atbilstīgi normatīvajiem rādītājiem ($t_{ā.g.}$ = 0 °C, 203 d.);
2) patēriņa apjoms attiecīgās apgādes zonas teritorijā tiek noteikts atbilstīgi Rīgas kopējam pieprasījumam un attiecīgās apgādes zonas īpatsvaram no kopējās piegādes. Ņemot vērā, ka lokālo siltumavotu apgādes zonās jauna celtniecība ir maz ticama, zonas īpatsvars tiek aprēķināts, izslēdzot no pieauguma lokālos avotus;
3) centralizētās siltumapgādes sistēmas atsevišķajās apgādes zonās esošajām nedzīvojamām ēkām piegādāto siltumenerģiju nosaka kā 27 % no kopējā patēriņa, bet pārējais apjoms attiecas uz dzīvojamo sektoru;
4) turpmākā prognoze esošajām ēkām tiek noteikta proporcionāli visas pilsētas attiecīgi prognozētajām izmaiņām;
5) zonu aptverošo teritoriju potenciālā siltumenerģijas patēriņa prognozē ņemts vērā arī iedzīvotāju izvietojums, kā arī visi iespējamie patērētāji, kas pašlaik neatrodas siltumapgādes tīklu tuvumā;
6) Rīgas centralizētās siltumapgādes sistēmas optimizācijas iespējas laika posmā no 2010. līdz 2020. gadam – AS „Siltumelektroprojekts” 2010. gada pētījums [63];
7) bāzes gados (2009./2010., 2010./2011., 2011./2012. un 2012./2013. gada apkures sezona) tiek norādīts jauno patērētāju siltumenerģijas patēriņš, jo šis apjoms iekļauts esošo ēku patēriņā.

4.10. tabula

Rīgas pilsētas centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumapgādes zonas

Apgādes zonas	Apkures sezonas				
	Faktiski				2012./2013. Izslēdzot lokālos avotus
	2009./2010.	2010./2011.	2011./2012.	2012./2013.	2012./2013.
TEC I, TEC II, „Juglas jauda”	68,5%	68,4%	68,0%	68,4%	69,2%
SC „Zasulauks”, SC „Imanta”, KM„Trijādības 5”, SC „Ziepniekkalns”	24,3%	24,4%	24,8%	24,5%	24,8%
SC „Vecmīlgrāvis”	3,2%	3,2%	3,2%	3,1%	3,2%
SC „Daugavgrīva”	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%
KM „Keramikas 2a”, KM „Gobas 33a”	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Lokālie siltuma avoti	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	
KOPĀ	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Siltumenerģijas piegāžu apjoma pieprasījumu nosaka pēc katras apgādes zonas kopējā pieprasījuma un attiecīgās apgādes zonas īpatsvara (bez lokālajiem piegādātājiem).

Siltumenerģijas piegāžu pieprasījumu katras zonas jaunajiem dzīvojamā sektora patērētājiem ($Q^n_{DZ.jRp}$) nosaka šādi:

$$Q^n_{DZ.j.RS} = Q_{DZ.j.Rp} \cdot k_{DZ.j.RS} \cdot k^n_Z, \tag{4.7}$$

kur $Q_{DZ.j.Rp}$ – kopējais Rīgas pilsētas dzīvojamā sektora jauno pieslēgumu patēriņš;

$k_{DZ.j.RS}$ – CSS operātora daļa jaunajos Rīgas pilsētas dzīvojamā sektora pieslēgumos;

k^n_z – apgādes zonas (z), n=1÷5, īpatsvars CSS operātora piegādes (izslēdzot lokālos siltumavotus).

Pieprasījumu pēc CSS operātora siltumenerģijas piegādēm katras zonas (Zn) jaunajiem nedzīvojamā sektora patērētājiem ($Q^n_{NDZ.j(Zn)}$) nosaka sekojoši:

$$Q^n_{NDZ.jRS} = Q_{NDZ.j.Rp} \cdot k_{NDZ.j.RS} \cdot k^n_Z, \tag{4.8}$$

kur $Q_{NDZ.j.Rp}$ – kopējais Rīgas pilsētas nedzīvojamā sektora jauno pieslēgumu patēriņš;

$k_{NDZ.j.RS}$ – CSS operātora daļa jaunajos nedzīvojamā sektora pieslēgumos;

k^n_z – apgādes zonas (z), n=1÷5, īpatsvars CSS operātora piegādes (izslēdzot lokālos siltumavotus).

Augsta pieprasījuma scenārijā ir iekļauti potenciālie siltuma patērētāji, agrāk iecerēto „vīziju" projekti apjomā:

4.2.9. Centralizētās siltumapgādes sistēmas slodžu lielumu prognozēšana

Slodžu lielums tiek prognozēts raksturīgajiem siltumenerģijas apgādes režīmiem:

1) vasarā, kad CSS operātors piegādātā siltumenerģiju, ņemot vērā vidējās normatīvās mēneša temperatūras;
2) apkures periodā – dažādiem raksturīgiem siltuma režīmiem:
   - katra apkures mēneša siltumslodzei vidējās normatīvās mēneša temperatūras gadījumā,
   - vidējai apkures sezonas (bez aukstākā apkures mēneša) siltumslodzei,
   - aukstākajam apkures mēnesim,
   - ekstremālai slodzei, kāda noteikta ar LBN piecām apkures sezonas dienām ar zemāko temperatūru -20,7 °C un -24,6 °C.

Apkures slodze raksturīgajam režīmam (JQ_a):

$$JQ_a = t_{\Delta.norm} \cdot K^n_{Q.\Delta t}\ , \tag{4.9.}$$

kur $t_{\Delta.norm}$ – normatīvais temperatūras deficīts stundā (18°C – $t_{ā.g.(n)}$);

$k_{z.\Delta t}^{n}$ – apkures īpatnējais apjoms n-tās apkures zonas temperatūras deficīta 1 °C.

Apkures īpatnējais apjoms n-tās apkures zonas temperatūras deficītam 1 °C, tiek aprēķināts pēc šādas formulas:

$$k_{Q.\Delta t}^{n} = \frac{Q_{P.apk.(s)}^{n}}{\Delta t_{\Sigma.(s)}^{n}}, \quad (4.10.)$$

kur $Q_{apk.(s)}^{n}$ – apkures pieprasījums attiecīgajai CSS operātora apgādes zonai sezonā;

$\Delta t_{\Sigma.(s)}^{n}$ – summārais normatīvais temperatūras deficīts apgādes sezonā.

Apkures pieprasījums attiecīgajai CSS operātora apgādes zonai sezonā tiek aprēķināts:

$$Q_{P.apk.}^{n} = Q_{P.\Sigma}^{n} - Q_{P.ku.}^{n}, \quad (4.11.)$$

kur $Q_{P.\Sigma}^{n}$ – summārais siltumenerģijas pieprasījums apkures sezonā apgādes zonā;

$Q_{P.ku.}^{n}$ – summārais karstā ūdens pieprasījums apgādes zonā.

Patērētāju slodze $JQ_{P.(n)}^{n}$ katrā raksturīgā režīma periodam tiek aprēķināta:

$$JQ_{P.(n)}^{n} = JQ_{P.apk.(n)}^{n} + JQ_{p.ku.}^{n}, \quad (4.12.)$$

kur $JQ_{P.apk.(n)}^{n}$ – n-tās apgādes zonas apkures slodze raksturīgā režīma periodam;

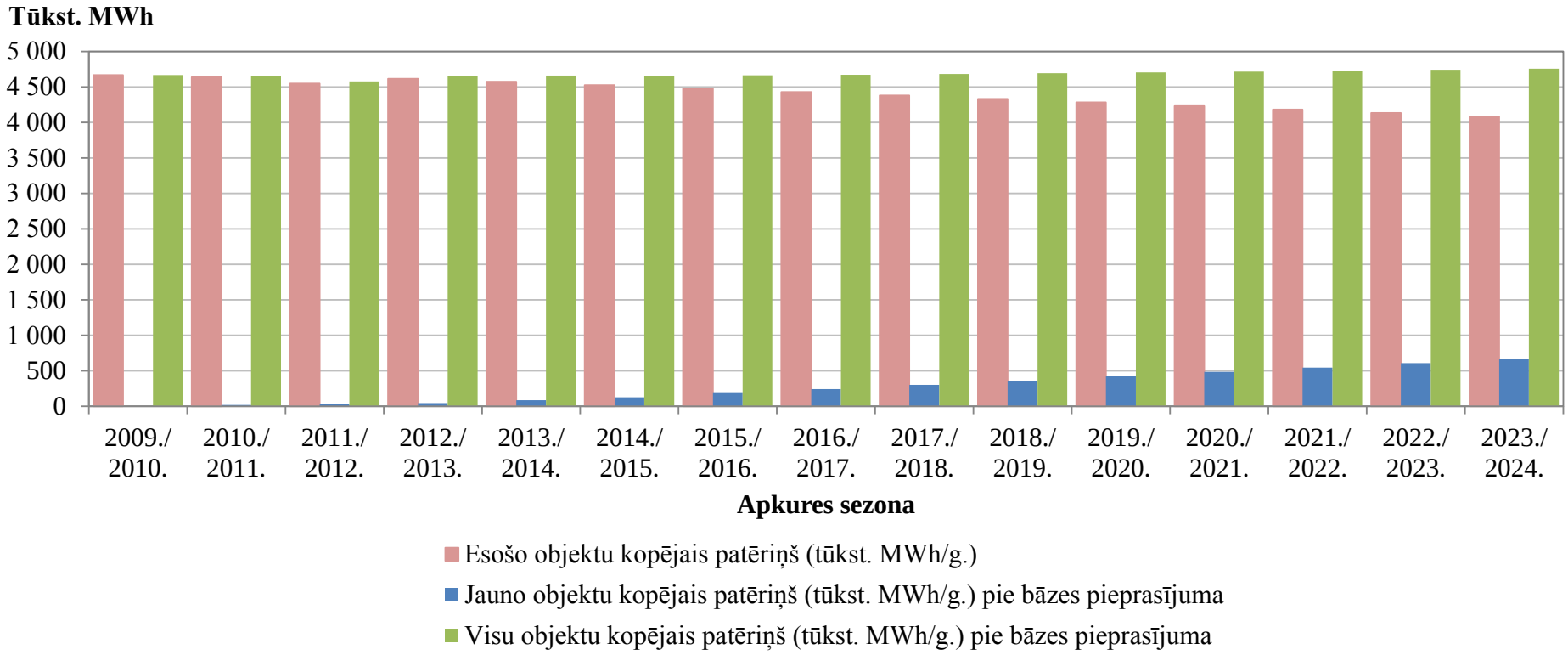
$JQ_{P.ku.}^{n}$ – n-tās apgādes zonas karstā ūdens slodze raksturīgā režīma periodam.

CSS slodzes kopā periodam n ($JQ_{CSS.(n.)}^{n}$) tiek aprēķināta:

$$JQ_{CSS.(n.)}^{n} = \frac{JQ_{P.(n.)}^{n}}{1 - k_{z.ap} * k_{z.n}}, \quad (4.13.)$$

kur $k_{z.ap}$ – prognozētie gada vidējie siltumenerģijas zudumi siltumtīklos;

$k_{z.n}$ – 2012.-2013.g. statistiski vidējais siltumenerģijas zudumu koeficients raksturīgā režīma periodā pret gada vidējo.

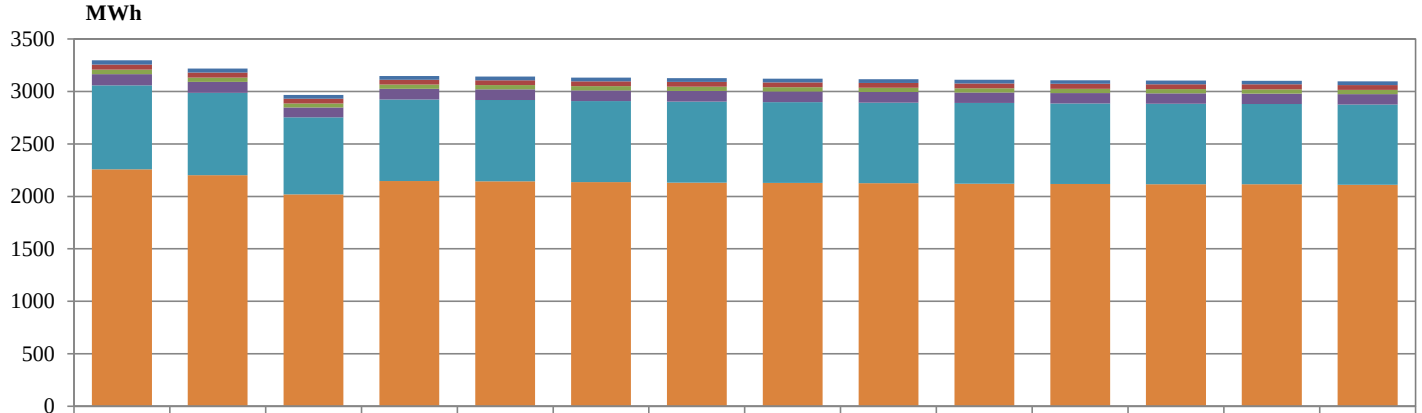


4.14. att. Visa Rīgas siltumenerģijas kopējā patēriņa prognoze bāzes pieprasījuma gadījumā

4.11. tabula

Visas Rīgas siltumenerģijas kopējā patēriņa prognoze bāzes pieprasījuma gadījumā

Apkures sezona	2009./ 2010.	2010./ 2011.	2011./ 2012.	2012./ 2013.	2013./ 2014.	2014./ 2015.	2015./ 2016.	2016./ 2017.	2017./ 2018.	2018./ 2019.	2019./ 2020.	2020./ 2021.	2021./ 2022.	2022./ 2023.	2023./ 2024.
Esošo objektu kopējais patēriņš (tūkst. MWh/g.)	4666	4638	4549	4614	4575	4526	4477	4428	4379	4330	4281	4232	4183	4134	4085
Jauno objektu kopējais patēriņš (tūkst. MWh/g.), ja ir bāzes pieprasījums	-	18	28	43	85	127	185	244	303	363	423	484	545	607	670
Visu objektu kopējais patēriņš (tūkst. MWh/g.), ja ir bāzes pieprasījums	4666	4656	4576	4657	4659	4653	4662	4672	4682	4692	4704	4715	4728	4741	4755



	2009./ 2010.	2010./ 2011.	2011./ 2012.	2012./ 2013.	2013./ 2014.	2014./ 2015.	2015./ 2016.	2016./ 2017.	2017./ 2018.	2018./ 2019.	2019./ 2020.	2020./ 2021.	2021./ 2022.	2023./ 2024.
Lokālās KM	39	38	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
KM Keramikas 2a, KM Gobas 33a	50	49	45	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	46
SC "Daugavgrīva"	42	41	39	41	41	41	41	41	41	40	40	40	40	40
SC "Vecmīlgrāvis"	106	103	94	101	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99
SC "Imanta", SC "Zasulauks", SC "Ziepniekkalns"	802	786	735	778	777	774	773	772	770	769	768	767	767	765
TEC-1, TEC-2, "Juglas jauda"	2258	2202	2019	2146	2143	2136	2132	2128	2125	2122	2119	2117	2115	2111

Apkures sezonas

4.15. att. AS „RĪGAS SILTUMS” siltumenerģijas piegāde no dažādiem siltumenerģiju ģenerējošiem avotiem

4.2.10. Centralizētās siltumapgādes sistēmas rādītāju prognožu rezultāti

Rīgas Labā krasta centralizētās siltumapgādes sistēmas prognozētie kvantitatīvie rādītāji sniegti 4.12. tabulā.

4.12. tabula

Labā krasta centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumapgādes zonu siltumslodžu prognozētie rādītāji

Rādītāji				Apkures sezonas		
				2012./2013.	2018./2019.	2023./2024.
1.Patērētāju aprēķina siltumslodze	$T_{ā.g.}$ = -20,7ºC	b.p.	MW_{th}	874	853	845
		a.p.	MW_{th}	874	885	904
	$T_{ā.g.}$ = -24,6ºC	b.p.	MW_{th}	955	932	923
		a.p.	MW_{th}	955	967	988
2.CSS kopējā aprēķina siltumslodze	$T_{ā.g.}$ = -20,7ºC	b.p.	MW_{th}	950	926	914
		a.p.	MW_{th}	950	972	998
	$T_{ā.g.}$ = -24,6ºC	b.p.	MW_{th}	1036	1 010	996
		a.p.	MW_{th}	1036	1 060	1089
3.CSS siltumenerģijas ražošanas apjoms gadā		b.p.	tūkst.MW_{th}h/a	2502	2 453	2426
		a.p.	tūkst.MW_{th}h/a	2502	2 548	2603
4. CSS siltumenerģijas realizācijas apjoms gadā		b.p.	tūkst.MW_{th}h/a	2151	2 122	2111
		a.p.	tūkst.MW_{th}h/a	2151	2 202	2259

Bāzes pieprasījuma variantā. Labā krasta centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumapgādes zonās patērētājiem realizētās siltumenerģijas apjoms prognozējamajā periodā samazinās no 2151 tūkst. MWh 2012./2013. gada apkures sezonā līdz 2111 tūkst. MWh 2023./2024. gada apkures sezonā, bet saražotās siltumenerģijas apjoms attiecīgi no 2502 tūkst. MWh līdz 2426 tūkst. MWh. Proporcionāli samazinās arī centralizētās siltumapgādes sistēmas kopējās aprēķinātās siltuma slodzes.

Augsta pieprasījuma variantā. Labā krasta centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumapgādes zonās realizētās siltumenerģijas apjoms prognozējamajā periodā pieaug no 2151 tūkst. MWh 2012./2013. gada apkures sezonā līdz 2259 tūkst. MWh 2023./2024. gada apkures sezonā, bet saražotās siltumenerģijas apjoms attiecīgi no 2503 tūkst. MWh līdz 2603 tūkst. MWh. Proporcionāli palielinās arī centralizētās siltumapgādes sistēmas kopējās aprēķinātās siltuma slodzes, ja $t_{ārg}$=-20,7 ºC un $t_{ārg}$=-24,6 ºC pieaug attiecīgajā periodā tikai par 5,1 %.

Centralizētās siltumapgādes sistēmas prognozētie galvenie kvantitatīvie rādītāji sniegti turpmāk 4.13. tabulā.

4.13. tabula

SC „Imanta”, SC „Zasulauks” un SC „Ziepniekkalns”, KM „Trijādības 5” siltumapgādes zonu siltumslodžu prognozētie rādītāji

Rādītāji				Apkures sezonas		
				2012./2013.	2018./2019.	2023./2024.
1. Patērētāju aprēķina siltumslodze	$t_{ā.g.}$= -20,7 °C	b.p.	MW_{th}	307	299	296
		a.p.	MW_{th}	307	310	317
	$t_{ā.g.}$= -24,6 °C	b.p.	MW_{th}	335	327	323
		a.p.	MW_{th}	335	339	346
2. CSS kopējā aprēķina siltumslodze	$t_{ā.g.}$= -20,7 °C	b.p.	MW_{th}	325	314	311
		a.p.	MW_{th}	325	330	340
	$t_{ā.g.}$= -24,6 °C	b.p.	MW_{th}	354	343	339
		a.p.	MW_{th}	354	360	371
3. CSS siltumenerģijas ražošanas apjoms gadā		b.p.	tūkst. MW_{th} h/a	863	848	840
		a.p.	tūkst. MW_{th} h/a	863	880	900
4. CSS siltumenerģijas realizācijas apjoms gadā		b.p.	tūkst. MW_{th} h/a	780	769	765
		a.p.	tūkst. MW_{th} h/a	780	798	819

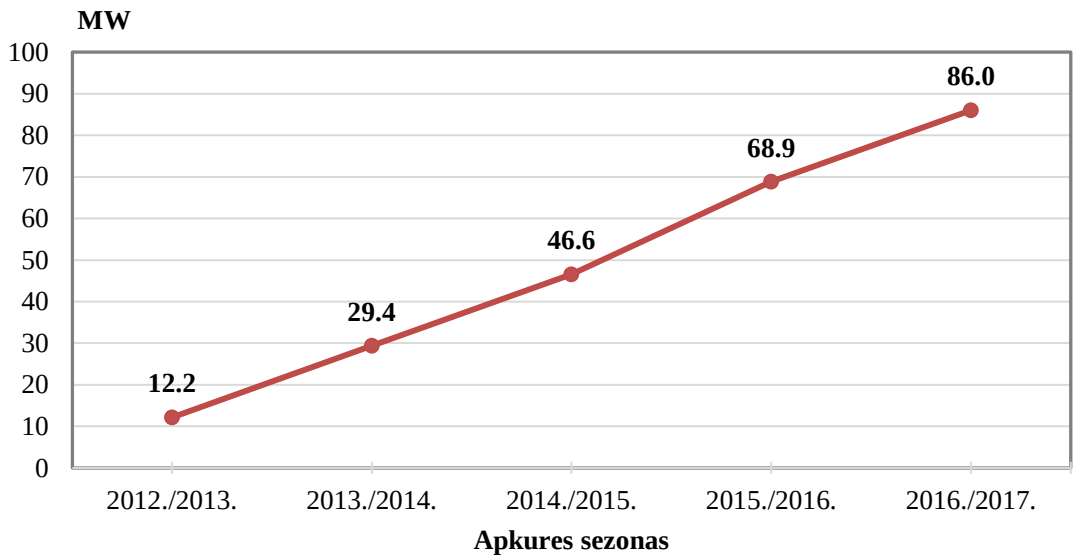
Bāzes pieprasījuma variantā. SC „Imanta”, SC „Zasulauks” un SC „Ziepniekkalns”, KM „Trijādības 5” siltumapgādes zonās realizētās siltumenerģijas apjoms prognozējamajā periodā samazinās no 780 tūkst. MWh 2012./2013. gada apkures sezonā līdz 765 tūkst. MWh 2023./2024. gada apkures sezonā, bet saražotās siltumenerģijas apjoms attiecīgi no 863 tūkst. MWh līdz 840 tūkst. MWh. Proporcionāli samazinās arī centralizētās siltumapgādes sistēmas kopējās aprēķinātās siltuma slodzes.

Augsta pieprasījuma variantā. SC „Imanta”, SC „Zasulauks” un SC „Ziepniekkalns”, KM „Trijādības 5” siltumapgādes zonās realizētās siltumenerģijas apjoms prognozējamajā periodā pieaug no 780 tūkst. MWh 2012./2013. gada apkures sezonā līdz 819 tūkst. MWh 2023./2024. apkures sezonā, bet saražotās siltumenerģijas apjoms attiecīgi no 863 tūkst. MWh līdz 900 tūkst. MWh. Proporcionāli palielinās arī centralizētās siltumapgādes sistēmas kopējās aprēķinātās siltuma slodzes. Tomēr centralizētās siltumapgādes sistēmas kopējās aprēķinātā siltuma slodzes, ja $t_{ārg}$=-20,7 ^{o}C un $t_{ārg}$=-24,6 ^{o}C attiecīgajā periodā pieaug tikai par 4,6 %.

Jauni klienti ir katra uzņēmuma prestiža rādītājs un svarīgi ir ne tikai tas, ka, pieslēdzoties centralizētiem siltumtīkliem un patērējot siltumenerģiju, klienti ļauj palielināt uzņēmuma realizācijas apjomu, bet arī tas, ka vairums jauno klientu izvēlas centralizētās siltumapgādes sistēmas pakalpojumus, tādējādi apliecinot, ka centralizētā siltumapgādes sistēma var konkurēt ar lokālajiem siltuma avotiem. Lai centralizētās siltumapgādes operators saglabātu un uzlabotu savu pozīciju tirgū, uzņēmums rūpējas par esošo klientu saglabāšanu un jaunu klientu piesaisti, kas jau kopš uzņēmuma dibināšanas ir viena no operatora prioritātēm. Lielu uzsvaru liekam uz klienta vajadzību izpratni, nodrošinot augstākā līmeņa servisu.

AS „RĪGAS SILTUMS” Labā krasta siltumtīkli jau gadu no gada izvirzās vadībā, pieslēdzot arvien jaunus objektus centralizētajai siltumapgādes sistēmai. Investori un projektu attīstītāji, veiksmīgi sadarbojoties ar AS „RĪGAS SILTUMS”, centralizētajai siltumapgādes sistēmai pieslēdz jaunās daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkas, kuru platība pārsniedz 1000 m^2, kā arī darījumu centrus. Pēdējo piecu apkures sezonu laikā Labā krasta siltumtīkliem pieslēgti objekti ar kopējo siltumslodzi 108,2 MW. Jauno projektu attīstītāji – SIA „Merks”, SIA „Bonava Latvija”, SIA „Rīgas pilsētbūvnieks”, SIA „YIT Latvija”, SIA „Vastint Latvia’’, SIA „R. Evolution 21”, kā arī jauni sadarbības partneri – SIA „Homeland Būve”, SIA „KBO”, SIA „Property Innovators” – arī turpmāk savas ieceres saista ar AS „RĪGAS SILTUMS”. Ne tikai dzīvojamo ēku attīstītāji, bet arī tirdzniecības centru būvnieki novērtē centralizētās siltumapgādes priekšrocības, piemēram, lielveikalu ķēdes „Rimi” un „Maxima”, kā arī tirdzniecības centri „IKEA”, „Akropole”, „Depo” un jaunais veikalu ķēdes „Lidl” attīstītājs SIA „MMS Property Solutions”.

Jauno siltumenerģijas lietotāju skaits Rīgas centralizētajā siltumapgādes sistēmā ar katru gadu turpina pieaugt. Pēdējo gadu laikā Labā krasta siltumtīkliem ir pieslēgtas daudzas jaunbūves (Grostonas ielā, Antonijas ielā, Ropažu ielā, Jeruzalemes ielā, ēkas pēc pārbūves, kas ilgi bijušas atslēgtas, piemēram, Brīvības gatvē, Anglikāņu ielā, Pasta ielā, Kaļķu ielā). 2016./2017. finanšu gadā būtiski paplašinātas centralizētās siltumapgādes zonas ārpus Rīgas robežām, ir pabeigta siltumtīklu būvniecība, lai nodrošinātu jaunu tirdzniecības centru pieslēgšanu Stopiņu novadā, kā arī plānots turpināt Stopiņu novadā dzīvojamo ēku pieslēgšanu siltumtīkliem 2019. gadā.



4.16. att. Jauno pieslēgto objektu Labajā krastā kumulatīvā siltumslodze (5 gadi) [32]

Ņemot vērā jauno pieslēgto objektu siltumslodžu apjomu, var secināt, ka potenciālie siltumenerģijas lietotāji uzticas Rīgas centralizētās siltumapgādes sistēmas operatora darbībai un ir to novērtējuši kā stabilu biznesa partneri gan tehniskā piedāvājuma ziņā, gan saistībā ar izdevīgiem nosacījumiem siltumtīklu būvniecībā. Veiksmīgas sadarbības rezultātā daudzi jauno projektu attīstītāji, kas savus objektus pieslēguši centralizētajai siltumapgādes sistēmai, arī turpmāk plāno rīkoties tāpat.

SECINĀJUMI

Pamatojoties uz promocijas darbā veiktajiem eksperimentiem par dūmgāzu latentā siltuma izmantošanu ar kondensācijas ekonomaizeri, par pārvades sistēmas turpgaitas un atgaitas temperatūru starpības (ΔT) un āra gaisa temperatūras ($T_{ārg.}$) saikni siltumenerģijas ražošanas avotos Rīgā, kā arī, vērtējot atjaunojamo energoresursu lietojumu, izdarīti šādi secinājumi.

1. Vienlaicīgi ar T2 pazemināšanu par vienu grādu siltumtrasēs atgaitas cauruļvadā par 1 % samazinās siltumenerģijas pārvades zudumi, bet dūmgāzu latentā siltuma utilizācijas iekārtu lietderības koeficients palielinās par 2,5 līdz 2,8 %. Palielinot latentā siltuma izmantošanu, samazinās vajadzīgais primāro energoresursu apjoms.

2. Pirms CSS pārvaldības un kontroles metodoloģijas ieviešanas, izmantojot rūpnieciski izolētās caurules, jābūt pārbūvētiem siltumtīkliem.

3. Tiek rekomendēts izskatīt priekšlikumu par CSS pārvaldības un kontroles metodoloģijas iekļaušanu LR Energoefektivitātes likumā, kura pieņemšanas mērķis ir primāro energoresursu racionāla izmantošana un pārvaldība CSS.

4. Promocijas darbā izstrādātā CSS pārvaldības un kontroles metodoloģija palīdzēs pildīt arī sociālās funkcijas, sniedzot pašvaldībām iespēju samazināt kurināmā patēriņu un ietaupītos līdzekļus novirzīt sociālo funkciju finansēšanai.

5. CSS pārvaldības un kontroles metodoloģijas lietošana ilgtermiņā var radīt iespēju siltumapgādes sistēmas operatoram samazināt siltumenerģijas tarifu un palielināt siltumenerģijas konkurētspēju siltuma tirgū.

6. Lietojot CSS pārvaldības un kontroles metodoloģiju, jāveic socioloģiskie pētījumi, iesaistot siltumenerģijas lietotājus, lai varētu turpinātu pilnveidot šo metodoloģiju un uzlabot komforta apstākļus daudzdzīvokļu namos.

7. Promocijas darbā izstrādātā CSS pārvaldības un kontroles metodoloģija paātrinās CO_2 izmešu daudzuma samazināšanu atbilstīgi Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvām, kuru prasības par energoefektivitātes uzlabošanu un atjaunojamo energoresursu īpatsvaru enerģētikā ir iekļautas Latvijas ilgtspējības stratēģijā līdz 2030. gadam.

8. Uz CSS pārvaldības un kontroles metodoloģijas bāzes ir iespējams veidot viedās siltumtīklu sistēmas attīstības stratēģiju Latvijas pilsētās.

9. Iesniegšanai Rīgas Tehniskās universitātes Intelektuālā īpašuma komisijā tiek gatavots patenta pieteikums „Automātiskās vadības iekārta un metode mikrorajona siltumapgādes sistēmas atgaitas temperatūras regulēšanai”.

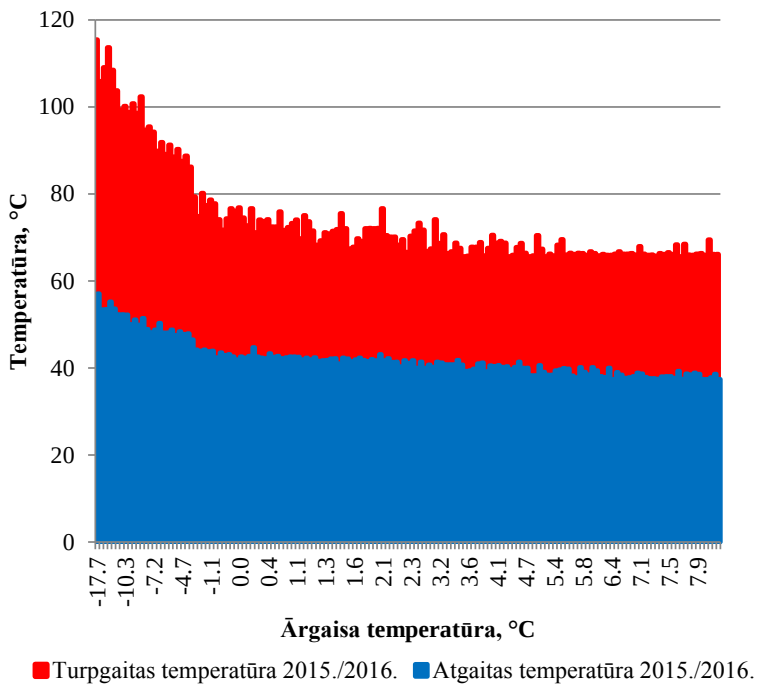
PIELIKUMI

Kondensācijas ekonomaizera darbība

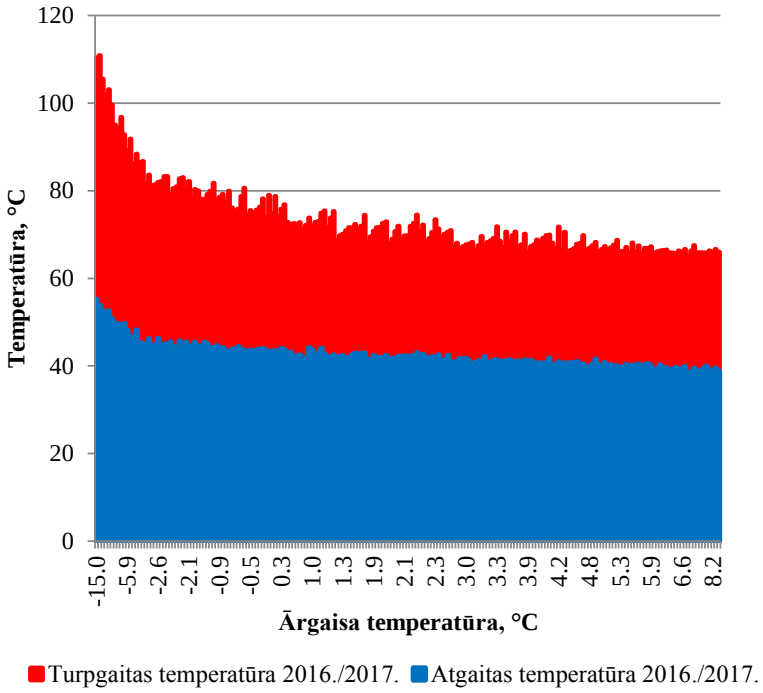
Gads, mēnesis	Atgaitas ūdens temperatūra pirms ekonomaizera, T2	Ārgaisa temperatūra, T_{arg}	Dūmgāzes temperatūra aiz katla, T3	Ekonomaizera saražota siltumenerģija, Q_{eko}	Katla Nr3 saražota siltumenerģija, Q_{katla} x0,1
Mērvienība	^oC	^oC	^oC	MWh	MWh
01.2010	48,0	-10,4	119,7	3750,5	6431,6
02.2010	42,0	-4,2	117,5	4230,6	5456,7
03.2010	39,9	0,4	117,5	4305,2	5167,9
04.2010	37,3	7,0	94,4	3928,4	4208,6
05.2010	39,3	13,6	73,8	1399,0	1801,0
10.2010	38,2	6,0	78,2	1608,3	1932,9
11.2010	38,7	3,3	85,5	2364,0	2994,8
12.2010	44,3	-5,8	116,0	4100,9	5599,5
01.2011	41,8	-2,0	111,2	4404,6	5505,7
02.2011	45,6	-7,0	117,5	3511,1	5144,2
03.2011	39,8	0,8	98,5	3774,7	4500,4
04.2011	37,7	7,8	81,5	2332,9	2691,0
06.2011	34,1	18,5	71,0	412,0	596,6
07.2011	40,4	21,1	68,1	700,5	1072,3
08.2011	40,5	20,2	70,2	862,5	1307,1
09.2011	39,4	14,2	70,6	583,8	745,8
10.2011	36,8	8,8	92,5	2752,2	3127,4
11.2011	37,6	5,1	107,0	3109,1	4587,1
12.2011	39,1	2,6	102,8	2848,4	4693,7

TEC1 turpgaitas un atgaitas temperatūras attiecība pret faktisko āra gaisa temperatūru apkures sezonās 2015/2016 (a) un 2016/2017 (b)

a



b



TEC1 temperatūras dati

2015./2016.g.apkures sezona				2016./2017.g.apkures sezona			
$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT	$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT
-17.7			58.3	-15.0	110.3	55.2	55.1
-13.8	105.8	53.4	52.3	-13.3	110.9	53.8	57.0
-13.6	109.0	53.5	55.5	-12.4	105.5	52.6	53.0
-13.5	113.6	55.2		-11.0	101.9	51.6	50.3
-13.1	108.4	53.6	54.8	-10.5	103.1	52.6	50.5
-12.3	103.7	52.3	51.4	-8.4	99.6	50.8	48.8
-11.2	99.3	52.3	47.0	-7.5	95.0	49.8	45.2
-10.3	100.1	52.2	47.9	-7.4	94.4	49.6	44.8
-10.1	98.7	50.0	48.7	-7.1	96.8	47.6	49.2
-10.0	100.7	51.1	49.7	-6.0	92.8	49.7	43.1
-8.7	98.5	49.9	48.6	-5.9	89.2	48.1	41.1
-8.5	102.3	51.4	51.0	-5.4	91.8	46.3	45.5
-7.9	94.7	48.9	45.8	-5.3	86.2	46.8	39.4
-7.4	95.4	48.2	47.2	-4.7	88.4	48.2	40.2
-7.2	94.2	48.8	45.4	-3.9	86.5	45.4	41.1
-7.0	89.8	50.3	39.6	-3.7	86.7	45.1	41.6
-6.3	91.8	48.1	43.7	-3.4	81.5	44.5	37.0
-5.7	89.1	48.1	41.0	-3.2	83.6	46.2	37.4
-5.6	91.2	48.8	42.4	-3.0	81.2	44.8	36.4
-5.5	88.5	47.5	41.0	-2.9	81.4	44.8	36.7
-5.3	90.2	48.4	41.8	-2.6	81.9	46.3	35.5
-4.7	87.5	47.8	39.6	-2.6	82.1	44.4	37.7
-4.1	88.7	47.9	40.9	-2.6	83.3	45.0	38.3
-3.8	86.2	46.5	39.7	-2.4	83.3	45.0	38.3
-1.7				-2.3	79.1	45.5	33.6
-1.7	74.8	43.9	30.9	-2.3	80.5	44.4	36.0
-1.6				-2.2	80.9	44.1	36.8
-1.1				-2.2	82.7	45.7	37.0
-1.1	78.6	43.9	34.7	-2.2	83.0	45.0	37.9
-0.6	77.7	42.4	35.3	-2.1	80.2	45.4	34.8
-0.6	74.1	43.5	30.7	-2.1	82.1	44.6	37.5
-0.2	71.7	42.9	28.9	-2.0	78.0	44.0	34.0
-0.2	74.3	43.1	31.1	-2.0	80.3	45.4	34.8
-0.1	76.6	42.6	34.0	-1.8	80.0	44.6	35.4
0.0	76.1	41.9	34.2	-1.6	78.1	44.4	33.6
0.0	76.8	42.6	34.2	-1.5	78.1	45.4	32.7
0.0	74.5	42.3	32.2	-1.5	79.2	45.0	34.2
0.0	72.7	42.7	30.0	-1.5	79.9	44.1	35.7
0.2	76.6	44.7	31.9	-1.5	81.7	44.1	37.7
0.2	71.1	42.6	28.6	-1.1	78.0	44.6	33.4
0.3	74.0	42.3	31.7	-0.9	78.6	43.9	34.7
0.4	73.7	42.2	31.4	-0.9	79.2	44.2	35.0
0.4	74.1	43.3	30.8	-0.8	77.4	43.5	33.9
0.4	72.4	42.5	29.9	-0.8	79.9	42.8	37.0
0.5	72.4	42.7	29.7	-0.7	76.1	43.8	32.3
0.6	75.9	42.2	33.7	-0.6	75.3	43.8	31.4
0.6	71.6	42.4	29.1	-0.6	75.8	44.4	31.5
0.8	72.3	42.6	29.6	-0.6	78.7	43.7	35.0
0.9	73.2	42.6	30.6	-0.6	80.6	43.6	37.0
1.1	74.0	42.5	31.5	-0.5	74.5	43.2	31.4
1.1	69.7	41.9	27.8	-0.5	75.5	43.6	31.9
1.2	75.0	42.3	32.7	-0.4	75.0	43.4	31.6
1.2	73.6	41.9	31.6	-0.4	75.6	43.7	31.8
1.2	71.5	42.4	29.1	-0.4	76.3	43.8	32.5
1.2	68.2	41.6	26.6	-0.4	78.2	44.0	34.2
1.2	69.2	41.7	27.5	-0.1	74.0	43.6	30.4
1.3	71.1	41.8	29.3	-0.1	79.0	43.3	35.7
1.4	70.8	42.1	28.7	0.0	74.8	43.3	31.5
1.5	71.4	42.2	29.2	0.0	78.7	43.5	35.2
1.5	71.8	41.0	30.7	0.3	74.3	42.8	31.4
1.6	75.5	42.3	33.1	0.3	75.8	44.0	31.7
1.6	72.0	42.1	29.9	0.3	76.8	43.7	33.1
1.6	67.4	41.5	25.8	0.4	72.8	42.6	30.2
1.6	67.8	41.9	25.9	0.6	72.3	43.2	29.2
1.6	69.7	42.3	27.4	0.6	72.5	41.8	30.7
1.7	69.1	41.8	27.3	0.7	72.4	42.4	30.0

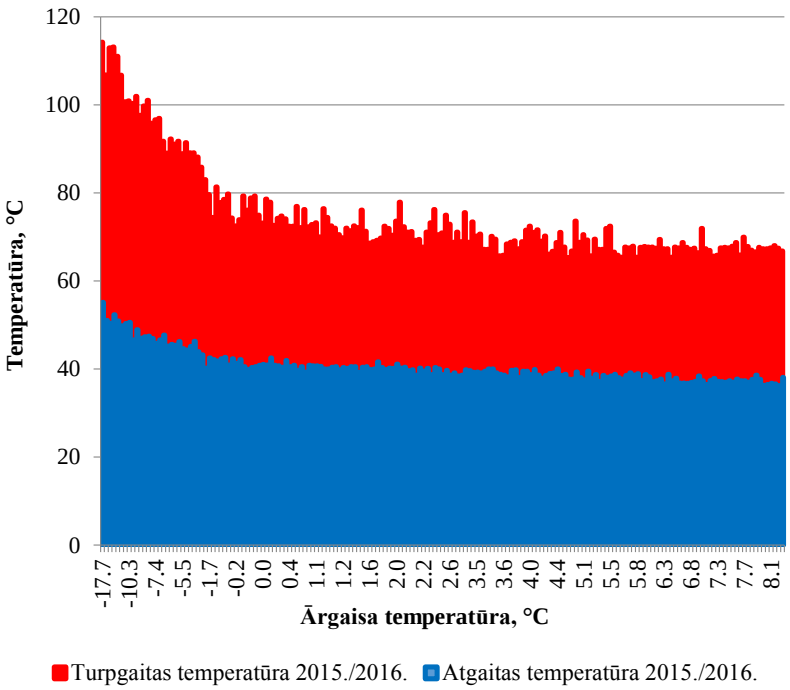
2015./2016.g.apkures sezona				2016./2017.g.apkures sezona			
$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT	$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT
1.8	72.0	41.5	30.5	0.8	72.7	42.5	30.2
1.9	72.1	42.0	30.1	0.9	71.1	42.0	29.1
1.9	72.0	41.7	30.2	0.9	72.1	41.3	30.8
2.0	72.1	43.1	29.0	0.9	73.8	44.1	29.7
2.1				1.0	72.0	43.7	28.4
2.2	70.4	42.2	28.3	1.0	72.8	41.6	31.2
2.2	70.1	41.3	28.9	1.0	73.0	42.9	30.1
2.2	70.1	41.4	28.7	1.0	74.9	44.0	31.0
2.2	68.2	40.3	28.0	1.1	75.4	42.7	32.7
2.2	69.5	41.7	27.7	1.2	71.7	42.0	29.7
2.2	66.6	41.1		1.2	73.8	42.1	31.7
2.3	70.3	41.7	28.7	1.2	75.3	42.5	32.8
2.4	71.5	40.0	31.6	1.3	68.7	41.8	26.9
2.4	73.3	41.4	31.8	1.3	69.8	42.2	27.7
2.6	71.7	40.0	31.6	1.3	70.1	42.3	27.7
2.7	66.8	40.7	26.1	1.3	70.9	41.9	29.0
3.0	67.4	40.2	27.2	1.3	71.6	41.8	29.7
3.2	74.1	41.4	32.7	1.3	71.6	42.6	29.1
3.2	68.6	41.2	27.4	1.5	72.3	42.9	29.4
3.5	70.6	40.8	29.8	1.7	71.4	42.4	29.0
3.5	66.3	40.8	25.5	1.8	71.9	42.9	29.0
3.5	66.7	40.8	25.8	1.8	74.4	42.9	31.5
3.6	68.7	41.8	27.0	1.9	68.3	41.6	26.8
3.6	67.5	40.7	26.8	1.9	69.5	41.0	28.5
3.6	65.6	39.3	26.3	1.9	70.8	42.4	28.3
3.6	65.7	39.4	26.3	1.9	71.6	41.9	29.7
3.7	67.8	39.8	28.0	1.9	71.7	41.9	29.8
3.8	67.8	41.0	26.7	1.9	72.6	41.8	30.8
3.8	68.8	41.2	27.6	1.9	72.9	42.4	30.5
3.8	65.8	39.2	26.6	2.0	68.0	41.4	26.6
4.0	67.5	40.5	26.9	2.0	69.0	41.8	27.1
4.0	70.5	40.4	30.0	2.0	70.7	41.5	29.1
4.1	68.7	40.6	28.1	2.0	71.9	42.2	29.6
4.1	69.1	40.2	28.9	2.1	68.8	42.1	26.7
4.2	68.7	40.3	28.4	2.1	69.7	42.3	27.5
4.2	65.6	39.7		2.1	69.8	41.1	28.7
4.3	65.9	40.2	25.7	2.1	71.9	42.3	29.6
4.4	67.7	41.4		2.1	72.6	42.1	30.5
4.7	68.6	40.0	28.6	2.1	74.5	43.0	31.5
4.7	66.4	40.0	26.3	2.2	70.6	42.5	28.1
4.7	65.6	38.3	27.3	2.2	72.2	42.6	29.6
4.9	65.8	38.3	27.5	2.3	68.5	42.0	26.5
5.0	70.4	40.6	29.8	2.3	69.1	41.6	27.5
5.1	67.3	39.1	28.2	2.3	70.5	42.1	28.5
5.2	65.6	38.4	27.2	2.3	73.4	41.5	31.9
5.4	66.2	38.4	27.8	2.5	71.3	42.5	28.9
5.4		39.4	26.3	2.6	69.4	41.4	28.0
5.5	68.2	39.6	28.6	2.6	70.1	41.4	28.7
5.5	69.5	39.9	29.6	2.8	70.6	42.4	28.3
5.5	66.0		26.2	2.8	70.9	40.9	30.0
5.5	66.4	38.2	28.2	2.9	67.0	40.9	26.1
5.6	66.1	37.8	28.3	2.9	68.0	41.0	27.0
5.7	66.4	40.1	26.3	3.0	66.9	41.7	25.1
5.8	66.3	39.1	27.3	3.0	67.3	41.5	25.8
5.9	65.9	38.5	27.5	3.0	67.7	41.7	26.0
5.9	66.7	40.1	26.6	3.0	67.9	41.2	26.7
5.9			26.9	3.0	68.2	40.4	27.8
6.0		38.1	27.7	3.1	66.5	40.8	25.7
6.1	66.1	37.9	28.2	3.1	67.5	41.2	26.3
6.3				3.1	69.6	41.0	28.6
6.4	65.9	37.4	28.5	3.2	67.5	42.1	25.4
6.6	66.2	39.0		3.2	68.2	40.4	27.9
6.7	66.7	38.4	28.3	3.2	68.6	41.0	27.6
6.7	66.2	37.7	28.4	3.3	69.2	41.4	27.7
6.8	66.2	37.8	28.4	3.3	71.8	41.4	30.4
6.8	66.3	38.1	28.3	3.4	68.5	40.7	27.8
6.9	66.0	38.9	27.1	3.5	67.0	41.2	25.8
7.1	67.9	38.7	29.2	3.5	70.6	41.1	29.5
7.1	66.2	37.9	28.3	3.7	68.5	41.4	27.1
7.1	65.9		28.3	3.7	69.8	41.1	28.7

2015./2016.g.apkures sezona				2016./2017.g.apkures sezona			
$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT	$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT
7.3	66.0	37.6	28.4	3.7	70.6	40.9	29.7
7.3	65.7	37.5	28.2	3.8	67.2	41.2	26.0
7.4	66.3	38.0	28.3	3.8	67.7	40.6	27.1
7.4	66.1	38.1	28.0	3.8	70.1	41.4	28.7
7.5	66.5	38.1	28.5	3.9	66.0	40.4	25.6
7.5	66.1	37.7	28.4	3.9	67.3	41.3	26.0
7.6	68.3	39.3	29.0	3.9	67.7	40.9	26.8
7.6	65.6	37.5	28.1	3.9	68.8	40.2	28.6
7.7	68.4	38.7	29.6	4.0	68.1	40.8	27.3
7.7	66.0	38.5	27.5	4.0	69.2	40.4	28.9
7.7	65.9	38.9	27.0	4.0	69.8	40.8	29.0
7.9	66.2	38.6	27.7	4.0	69.9	41.8	28.1
7.9	66.3	37.4	29.0	4.1	68.0	40.4	27.5
8.0	65.9	37.4	28.5	4.2	66.9	39.7	27.3
8.1		37.8	31.6	4.2	71.7	41.0	30.7
8.2	66.1	38.6	27.5	4.3	66.5	40.0	26.5
8.3	66.1	37.4	28.8	4.3	70.5	40.7	29.8
8.4	66.4	37.6	28.8	4.5	66.0	38.9	27.1
8.5	67.4	37.8	29.6	4.5	66.4	40.8	25.6
8.5	66.7	38.1	28.5	4.5	66.8	40.7	26.2
8.6	66.0	37.2	28.7	4.5	67.8	41.0	26.8
8.7	66.5	37.7	28.9	4.6	68.0	40.5	27.5
8.8	66.1		28.9	4.6	69.8	40.4	29.4
8.9	65.8	38.2	27.5	4.7	66.6	39.7	26.9
8.9	66.1	39.4	26.7	4.8	66.9	39.9	27.0
9.1	66.0	37.5	28.5	4.8	67.5	40.4	27.1
9.1	68.8	39.1	29.7	4.8	68.2	41.6	26.6
9.2	65.9	37.3	28.6	4.9	66.1	40.3	25.8
9.2	69.1	39.3	29.8	4.9	66.6	39.9	26.6
9.3	66.1	37.3	28.8	5.0	67.3	40.8	26.5
9.4	66.1	38.3	27.8	5.1	66.6	39.3	27.2
9.5	66.0	37.7	28.3	5.2	67.0	40.3	26.7
9.5	67.8	37.2	30.6	5.2	67.6	39.8	27.8
9.6	65.8	37.9	27.9	5.2	68.7	40.0	28.7
9.7	66.9	37.9	28.9	5.3	66.1	38.9	27.1
9.9		37.3	28.1	5.3	66.2	39.8	26.4
10.0	66.0		28.9	5.3	67.1	40.3	26.8
10.1	65.5	37.6	27.9	5.4	65.9	39.2	26.7
10.2	66.0	37.3	28.7	5.4	68.1	40.2	28.0
10.3	66.3	37.3	29.0	5.6	66.1	40.1	26.0
10.4	65.8		28.7	5.6	67.4	40.4	26.9
10.4	69.4	37.7		5.7	65.7	39.3	26.5
11.2	68.9	39.3	29.5	5.8	66.9	40.3	26.6
11.9	69.1			5.9	66.8	40.5	26.3
12.2	68.8	40.0		5.9	67.2	40.0	27.2
12.4	69.0	39.7	29.3	6.0	65.8	39.0	26.8
12.6	68.7	38.7	30.0	6.0	66.1	39.3	26.8
12.6	69.1	39.0	30.2	6.0	66.3	40.2	26.2
12.8	68.8	39.3	29.5	6.0	66.4	39.2	27.2
12.9	69.0	37.6	31.4	6.0	66.5	39.6	27.0
13.3	69.1	38.2	30.8	6.1	65.9	39.0	26.9
13.5	68.6	39.6	29.0	6.4	65.8	39.2	26.6
13.8	68.8	38.8	29.9	6.5	65.7	39.6	26.1
13.8	68.7	39.4	29.3	6.5	66.3	38.7	27.6
13.9	69.1	39.4	29.7	6.6	66.0	39.4	26.5
14.2		39.8	29.6	6.6	66.6	39.9	26.6
15.0	68.9	39.8	29.0	6.9	65.1	38.6	26.5
15.1	68.9	39.2	29.6	6.9	66.3	38.6	27.7
15.4	69.1	39.7	29.5	6.9	67.5	39.5	28.0
16.0	68.7	39.6	29.2	7.1	65.9	38.8	27.1
16.1	68.9	39.7	29.3	7.2	65.9	38.8	27.1
17.0	68.7	39.2	29.5	7.4	65.9	39.4	26.6
17.9		39.6	29.0	7.9	65.8	39.9	25.8
18.0	68.8	40.0	28.9	8.0	66.3	38.7	27.6
18.5	68.7	39.9	28.8	8.2	66.0	39.1	26.9
18.9	68.9	39.2	29.7	8.2	66.6	39.5	27.0
19.5	69.0	39.8	29.1	8.7	66.0	38.8	27.3
19.7	68.8	39.9	28.9	8.7	66.3	40.2	26.2
20.9	69.1		28.9	8.9	70.1	42.3	27.8
23.6	69.2	39.6	29.6	9.1	66.2	39.4	26.8

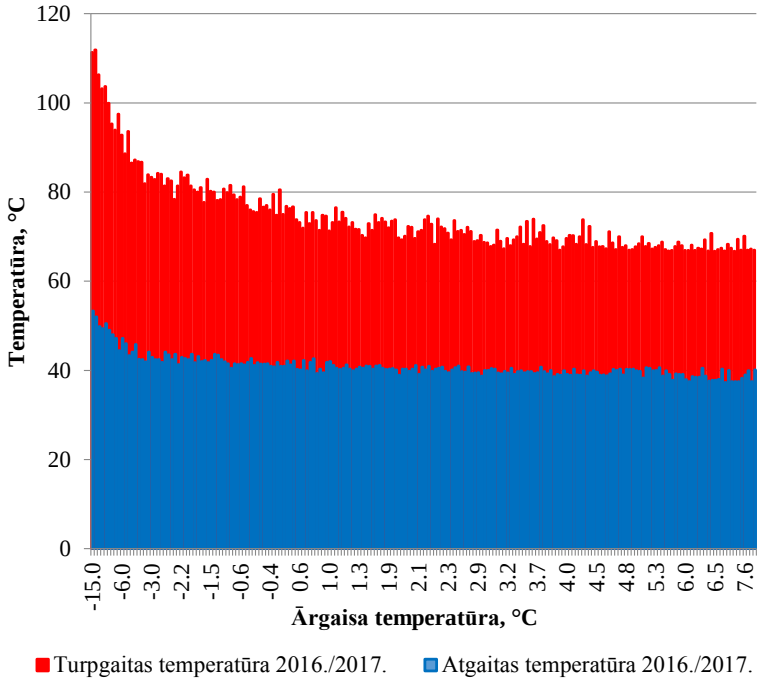
2015./2016.g.apkures sezona				2016./2017.g.apkures sezona			
$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT	$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT
24.3	68.8	39.9	28.9	10.7	65.8	39.4	26.4
				10.8	66.4	39.2	27.2
				10.9	66.8	40.7	26.1
				11.5	64.8	43.7	21.1
				11.7	65.9	39.6	26.2
				11.7	66.0	40.5	25.5
				11.8	66.1	38.3	27.8
				11.8	66.1	40.3	25.7
				12.1	69.9	42.0	27.9
				12.4	69.8	43.2	26.6
				13.5	55.9	44.1	11.9
				14.0	53.9	45.0	8.8
				14.1	70.4	39.6	30.8
				14.2	69.7	43.7	26.0
				14.7	67.5	42.1	25.4
				14.9	69.7	43.7	26.0
				14.9	70.1	43.0	27.1
				15.2	66.1	40.4	25.7
				15.6	69.9	42.2	27.7
				17.2	70.2	43.7	26.6
				17.8	69.6	43.4	26.2
				19.5	69.8	43.3	26.5
				19.8	70.3	43.2	27.1
				20.5	69.5	42.6	26.9

TEC2 turpgaitas un atgaitas temperatūras attiecība pret faktisko āra gaisa temperatūru apkures sezonās 2015./2016. (a) un 2016./2017. (b)

a



b



TEC2 temperatūras dati

2015./2016.g.apkures sezona				2016./2017.g.apkures sezona			
$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT	$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT
-17.7	114.2	55.1	59.1	-15.0	111.3	53.3	58.0
-13.8	106.8	51.0	55.8	-13.3	111.9	52.0	59.9
-13.6	112.9	50.4	62.5	-12.4	106.3	49.8	56.5
-13.5	113.1	52.3	60.8	-11.0	103.2	49.4	53.8
-13.1	111.0	50.9	60.1	-10.5	103.7	50.5	53.2
-12.3	106.7	49.8	56.9	-8.4	99.9	49.0	50.9
-11.2	100.7	50.3	50.4	-7.5	95.3	48.0	47.3
-10.3	100.9	50.6	50.3	-7.4	93.9	47.2	46.7
-10.1	100.3	46.6	53.7	-7.1	97.5	44.4	53.1
-10.0	101.9	48.9	53.0	-6.0	92.8	47.2	45.6
-9.3	97.6	47.0	50.6	-5.9	88.6	46.0	42.6
-8.7	99.7	47.3	52.4	-5.4	93.6	43.3	50.3
-8.5	101.0	47.4	53.6	-5.3	86.5	44.1	42.4
-7.9	95.8	46.9	48.9	-4.7	87.2	45.8	41.4
-7.4	96.6	45.8	50.8	-3.9	86.8	42.5	44.3
-7.2	96.9	46.6	50.3	-3.7	86.7	42.4	44.3
-7.0	91.7	47.7	44.0	-3.4	81.9	41.9	40.0
-6.4	89.0	45.2	43.8	-3.2	83.9	44.1	39.8
-6.3	92.2	45.6	46.6	-3.0	83.3	42.9	40.4
-5.7	91.1	45.4	45.7	-2.9	82.8	42.4	40.4
-5.6	91.7	46.2	45.5	-2.6	84.2	42.4	41.8
-5.5	88.9	44.6	44.3	-2.6	84.0	41.8	42.2
-5.3	91.4	44.3	47.1	-2.6	81.4	44.1	37.3
-4.7	89.1	45.1	44.0	-2.4	83.0	43.5	39.5
-4.1	89.1	46.3	42.8	-2.3	82.5	42.4	40.1
-3.8	88.1	43.9	44.2	-2.3	78.4	43.6	34.8
-2.6	85.8	43.2	42.6	-2.2	81.4	41.3	40.1
-2.2	83.0	40.2	42.8	-2.2	84.5	42.9	41.6
-1.7	79.6	42.5	37.1	-2.2	83.2	42.7	40.5
-1.7	74.4	42.1	32.3	-2.1	83.8	42.4	41.4
-1.6	81.3	41.8	39.5	-2.1	81.4	43.6	37.8
-1.1	77.8	42.3	35.5	-2.0	80.5	41.7	38.8
-1.1	78.5	42.6	35.9	-2.0	80.0	43.1	36.9
-0.6	79.7	40.9	38.8	-1.8	81.0	42.0	39.0
-0.6	74.3	42.3	32.0	-1.6	77.7	42.2	35.5
-0.2	72.5	41.3	31.2	-1.5	82.9	41.7	41.2
-0.2	73.9	42.1	31.8	-1.5	80.2	42.2	38.0
-0.1	79.3	40.5	38.8	-1.5	80.0	43.6	36.4
-0.1	76.1	39.9	36.2	-1.5	78.1	43.4	34.7
0.0	78.8	40.3	38.5	-1.1	78.3	42.4	35.9
0.0	79.3	40.5	38.8	-0.9	80.7	41.9	38.8
0.0	74.9	40.8	34.1	-0.9	79.9	41.5	38.4
0.0	73.1	41.0	32.1	-0.8	81.5	40.5	41.0
0.1	78.6	40.9	37.7	-0.8	79.4	41.5	37.9
0.2	77.9	42.5	35.4	-0.7	78.3	41.3	37.0
0.2	72.6	40.8	31.8	-0.6	78.9	41.5	37.4
0.3	74.2	40.7	33.5	-0.6	81.2	41.2	40.0
0.4	74.7	40.4	34.3	-0.6	77.0	41.8	35.2
0.4	74.1	41.9	32.2	-0.6	76.0	42.7	33.3
0.4	72.4	40.5	31.9	-0.5	75.6	41.1	34.5
0.5	72.4	40.8	31.6	-0.5	75.4	41.7	33.7
0.6	76.9	39.7	37.2	-0.4	78.5	41.4	37.1
0.6	72.1	40.5	31.6	-0.4	76.6	41.4	35.2
0.8	76.2	39.3	36.9	-0.4	77.0	41.5	35.5
0.8	72.3	40.8	31.5	-0.4	76.0	40.9	35.1
0.9	72.8	40.7	32.1	-0.1	79.5	40.8	38.7
1.1	73.2	40.7	32.5	-0.1	74.8	41.8	33.0
1.1	70.0	40.6	29.4	0.0	80.5	40.9	39.6
1.2	76.4	40.0	36.4	0.0	75.0	40.9	34.1
1.2	74.4	40.0	34.4	0.3	76.8	42.1	34.7
1.2	72.5	40.4	32.1	0.3	76.3	41.2	35.1
1.2	72.0	40.5	31.5	0.3	76.7	42.1	34.6
1.2	70.5	39.8	30.7	0.4	73.8	40.2	33.6
1.2	69.8	40.3	29.5	0.6	73.2	40.1	33.1
1.3	72.0	40.1	31.9	0.6	71.9	42.2	29.7
1.4	71.4	40.5	30.9	0.7	75.4	39.9	35.5
1.5	72.5	40.5	32.0	0.8	72.9	41.8	31.1

2015./2016.g.apkures sezona				2016./2017.g.apkures sezona			
$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT	$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT
1.5	72.1	39.2	32.9	0.9	75.4	42.6	32.8
1.6	76.1	40.4	35.7	0.9	73.6	39.3	34.3
1.6	71.3	40.5	30.8	0.9	71.4	40.3	31.1
1.6	68.6	39.9	28.7	1.0	74.8	39.5	35.3
1.6	68.9	40.0	28.9	1.0	74.6	41.8	32.8
1.6	69.2	41.6	27.6	1.0	71.3	42.0	29.3
1.7	69.7	40.3	29.4	1.0	73.2	41.1	32.1
1.8	72.4	39.9	32.5	1.1	76.5	40.5	36.0
1.9	71.9	40.2	31.7	1.2	73.3	40.2	33.1
1.9	70.4	40.1	30.3	1.2	75.5	40.5	35.0
2.0	73.6	41.1	32.5	1.2	74.1	41.2	32.9
2.1	77.9	40.2	37.7	1.3	72.2	40.3	31.9
2.2	72.3	40.4	31.9	1.3	73.2	39.9	33.3
2.2	71.1	39.6	31.5	1.3	71.7	40.3	31.4
2.2	71.2	39.8	31.4	1.3	71.6	40.7	30.9
2.2	69.2	38.6	30.6	1.3	70.3	40.5	29.8
2.2	69.4	40.2	29.2	1.3	69.7	41.0	28.7
2.2	67.7	39.5	28.2	1.5	72.9	40.9	32.0
2.3	71.1	40.1	31.0	1.7	71.4	40.3	31.1
2.4	73.2	38.7	34.5	1.8	74.9	41.0	33.9
2.4	76.2	40.3	35.9	1.8	73.2	41.1	32.1
2.4	70.5	40.0	30.5	1.9	74.1	40.5	33.6
2.5	70.9	38.7	32.2	1.9	73.3	40.2	33.1
2.5	74.9	39.7	35.2	1.9	72.0	40.3	31.7
2.6	72.9	38.6	34.3	1.9	73.5	40.4	33.1
2.7	68.8	39.1	29.7	1.9	73.8	40.1	33.7
3.0	71.1	38.4	32.7	1.9	69.7	38.9	30.8
3.0	68.9	38.6	30.3	1.9	69.3	40.3	29.0
3.2	75.5	39.8	35.7	2.0	70.1	40.3	29.8
3.2	68.8	39.6	29.2	2.0	72.3	39.8	32.5
3.5	73.4	39.2	34.2	2.0	72.1	40.3	31.8
3.5	70.2	39.3	30.9	2.0	69.6	41.1	28.5
3.5	70.6	39.1	31.5	2.1	71.1	39.1	32.0
3.5	67.2	39.5	27.7	2.1	71.4	40.7	30.7
3.5	67.2	40.0	27.2	2.1	73.8	40.1	33.7
3.6	70.1	40.0	30.1	2.1	74.6	40.9	33.7
3.6	69.5	39.1	30.4	2.1	72.8	39.8	33.0
3.6	65.7	38.8	26.9	2.1	68.3	40.3	28.0
3.6	65.8	38.6	27.2	2.2	74.0	40.5	33.5
3.7	68.4	38.2	30.2	2.2	72.2	40.7	31.5
3.8	68.8	39.7	29.1	2.3	71.8	39.8	32.0
3.8	69.1	39.8	29.3	2.3	70.8	39.5	31.3
3.8	67.3	38.1	29.2	2.3	69.3	40.1	29.2
4.0	68.9	39.5	29.4	2.3	73.6	40.6	33.0
4.0	71.5	39.5	32.0	2.5	71.2	41.0	30.2
4.0	72.4	38.7	33.7	2.6	71.4	39.7	31.7
4.1	71.0	39.9	31.1	2.6	70.5	39.6	30.9
4.1	71.6	38.6	33.0	2.8	72.1	40.8	31.3
4.1	69.0	37.9	31.1	2.8	71.2	39.3	31.9
4.2	70.2	38.5	31.7	2.9	68.9	39.4	29.5
4.2	66.1	39.0	27.1	2.9	69.1	39.5	29.6
4.3	66.7	39.1	27.6	3.0	70.3	38.7	31.6
4.4	68.7	40.0	28.7	3.0	68.7	40.0	28.7
4.7	71.0	38.5	32.5	3.0	68.6	40.0	28.6
4.7	67.7	38.8	28.9	3.0	67.8	40.4	27.4
4.7	65.3	37.7	27.6	3.0	68.1	40.3	27.8
4.9	66.8	37.7	29.1	3.1	71.5	39.4	32.1
5.0	73.6	39.3	34.3	3.1	69.0	39.2	29.8
5.1	68.8	38.0	30.8	3.1	67.3	39.8	27.5
5.1	70.5	37.5	33.0	3.2	69.6	39.4	30.2
5.2	69.3	39.5	29.8	3.2	68.0	40.5	27.5
5.2	65.7	37.9	27.8	3.2	69.3	39.1	30.2
5.3	69.5	38.7	30.8	3.3	70.0	39.7	30.3
5.4	67.2	37.2	30.0	3.3	72.2	39.9	32.3
5.4	67.2	38.5	28.7	3.4	68.3	39.5	28.8
5.5	71.9	38.1	33.8	3.5	73.4	39.7	33.7
5.5	72.4	38.4	34.0	3.5	67.8	39.7	28.1
5.5	66.5	38.8	27.7	3.7	73.9	39.3	34.6
5.5	65.8	38.0	27.8	3.7	69.5	39.5	30.0
5.6	65.4	37.7	27.7	3.7	70.9	40.7	30.2

2015./2016.g.apkures sezona				2016./2017.g.apkures sezona			
$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT	$T_{ārg.}$	T1	T2	ΔT
5.7	67.7	38.5	29.2	3.8	72.5	39.7	32.8
5.7	67.5	39.1	28.4	3.8	68.9	39.2	29.7
5.8	67.9	38.6	29.3	3.8	68.2	40.0	28.2
5.8	65.4	38.9	26.5	3.9	69.7	38.6	31.1
5.9	67.6	37.4	30.2	3.9	69.1	39.1	30.0
5.9	67.8	38.7	29.1	3.9	67.0	38.9	28.1
5.9	67.7	38.2	29.5	3.9	67.7	39.9	27.8
6.0	67.7	37.1	30.6	4.0	69.6	39.1	30.5
6.1	67.4	37.3	30.1	4.0	70.3	38.9	31.4
6.2	69.4	37.7	31.7	4.0	70.2	40.3	29.9
6.3	67.3	36.6	30.7	4.0	68.3	39.0	29.3
6.3	67.3	38.8	28.5	4.1	70.0	38.9	31.1
6.4	65.4	37.3	28.1	4.2	73.8	39.9	33.9
6.6	67.7	37.9	29.8	4.2	68.2	38.7	29.5
6.6	67.5	36.8	30.7	4.3	72.3	39.5	32.8
6.7	68.7	36.8	31.9	4.3	67.6	39.9	27.7
6.7	67.6	36.7	30.9	4.5	68.9	39.6	29.3
6.8	67.2	36.9	30.3	4.5	67.7	38.9	28.8
6.8	67.4	37.2	30.2	4.5	67.8	39.0	28.8
6.9	66.4	38.4	28.0	4.5	67.3	38.8	28.5
7.1	71.9	37.3	34.6	4.6	71.1	39.2	31.9
7.1	67.3	36.5	30.8	4.6	68.6	40.2	28.4
7.1	66.9	37.4	29.5	4.7	67.1	40.0	27.1
7.3	65.6	37.8	27.8	4.8	70.0	40.3	29.7
7.3	65.8	37.2	28.6	4.8	67.6	39.0	28.6
7.4	67.5	37.1	30.4	4.8	68.0	40.2	27.8
7.4	67.6	37.0	30.6	4.9	67.0	40.2	26.8
7.5	67.5	37.3	30.2	4.9	67.1	40.3	26.8
7.5	67.9	37.0	30.9	5.0	67.7	39.9	27.8
7.6	68.7	37.7	31.0	5.1	68.4	39.8	28.6
7.6	65.9	37.3	28.6	5.2	70.0	38.3	31.7
7.7	69.9	37.3	32.6	5.2	67.8	40.6	27.2
7.7	67.8	37.0	30.8	5.2	68.5	40.5	28.0
7.7	67.0	37.6	29.4	5.3	67.2	39.9	27.3
7.7	66.6	38.6	28.0	5.3	67.6	40.0	27.6
7.9	67.6	37.6	30.0	5.3	68.0	40.6	27.4
7.9	67.3	36.3	31.0	5.4	68.8	38.7	30.1
8.0	67.3	36.5	30.8	5.4	67.1	39.9	27.2
8.1	67.5	36.7	30.8	5.6	66.8	39.1	27.7
8.2	68.0	36.6	31.4	5.7	66.9	37.8	29.1
8.2	67.4	36.2	31.2	5.8	67.8	39.2	28.6
8.2	66.8	38.1	28.7	5.9	68.8	39.1	29.7
				5.9	68.0	39.1	28.9
				6.0	66.9	37.9	29.0
				6.0	66.9	37.5	29.4
				6.0	68.1	38.6	29.5
				6.0	66.9	38.5	28.4
				6.0	67.4	38.5	28.9
				6.1	67.2	40.5	26.7
				6.3	69.3	38.7	30.6
				6.4	66.8	37.6	29.2
				6.5	70.7	37.8	32.9
				6.5	66.7	37.8	28.9
				6.6	67.1	38.0	29.1
				6.6	67.4	40.3	27.1
				6.9	66.8	37.3	29.5
				6.9	68.3	40.0	28.3
				7.1	67.4	37.5	29.9
				7.2	66.7	37.5	29.2
				7.3	69.4	37.5	31.9
				7.4	67.0	38.2	28.8
				7.6	70.1	39.0	31.1
				7.9	67.0	39.9	27.1
				8.0	67.2	37.5	29.7
				8.2	67.0	40.1	26.9

***Matlab* programmas ekrānšāviņš diagrammas izveidošanai 3.7.att.**

Editor - G:\backup_26.04.2017\RTU\Research\Normunds\Dati_30.09.2017\TEC1\Tec_15_16_reg.m

Tec1_15_16_regresija.m | Tec1_15_16_v.m | Tec_15_16_reg.m

```
clear all, clc
filename='TEC1_2015_16_winter';
A=xlsread(filename);
Y(:,1)=A(:,1);
X1(:,1)=A(:,2);
[p,S]=polyfit(X1,Y,2);
XX=-18:0.1:11;
[Y1,Del]=polyconf(p,XX,S);
plot(XX,Y1,'r',XX,Y1+Del,'b',XX,Y1-Del,'b')
hold on
plot(X1,Y,'o')
xlabel('T_{out}')
ylabel('\Delta T')
x1=5;
y1=70;
txt1=('R^2=0.900')
text(x1,y1,txt1)
```

***Matlab* programmas ekrānšāviņš diagrammas izveidošanai 3.8.att.**

Editor - G:\backup_26.04.2017\RTU\Research\Normunds\Dati_30.09.2017\TEC1\Tec_16_17_reg.m

Tec1_15_16_regresija.m | Tec1_15_16_v.m | Tec_15_16_reg.m | Tec1_16_17_regresija.m | Tec_16_17_reg.m

```
clear all, clc
filename='TEC1_2016_17_winter';
A=xlsread(filename);
Y(:,1)=A(:,1);
X1(:,1)=A(:,2);
[p,S]=polyfit(X1,Y,2);
XX=-15:0.1:13;
[Y1,Del]=polyconf(p,XX,S);
plot(XX,Y1,'r',XX,Y1+Del,'b',XX,Y1-Del,'b')
hold on
plot(X1,Y,'o')
xlabel('T_{out}')
ylabel('\Delta T')
x1=5;
y1=60;
txt1=('R^2=0.902')
text(x1,y1,txt1)
```

***Matlab* programmas ekrānšāviņš diagrammas izveidošanai 3.9.att.**

Editor - G:\backup_26.04.2017\RTU\Research\Normunds\Dati_30.09.2017\TEC1\Tec2_15_16_reg.m

Tec1_15_16_regresija.m | Tec1_15_16_v.m | Tec_15_16_reg.m | Tec1_16_17_regresija.m | Tec_16_17_reg.m

```
clear all, clc
filename='TEC2_2015_2016_winter';
A=xlsread(filename);
Y(:,1)=A(:,1);
X1(:,1)=A(:,2);
[p,S]=polyfit(X1,Y,2);
XX=-18:0.1:13;
[Y1,Del]=polyconf(p,XX,S);
plot(XX,Y1,'r',XX,Y1+Del,'b',XX,Y1-Del,'b')
hold on
plot(X1,Y,'o')
xlabel('T_{out}')
ylabel('\Delta T')
x1=5;
y1=60;
txt1=('R^2=0.870')
text(x1,y1,txt1)
```

***Matlab* programmas ekrānšāviņš diagrammas izveidošanai 3.10.att.**

Editor - G:\backup_26.04.2017\RTU\Research\Normunds\Dati_30.09.2017\TEC1\Tec2_16_17_reg.m

Tec1_15_16_regresija.m | Tec1_15_16_v.m | Tec_15_16_reg.m | Tec1_16_17_regresija.m | Tec_16_17_reg.m

```
clear all, clc
filename='TEC2_2016_2017_winter';
A=xlsread(filename);
Y(:,1)=A(:,1);
X1(:,1)=A(:,2);
[p,S]=polyfit(X1,Y,2);
XX=-18:0.1:13;
[Y1,Del]=polyconf(p,XX,S);
plot(XX,Y1,'r',XX,Y1+Del,'b',XX,Y1-Del,'b')
hold on
plot(X1,Y,'o')
xlabel('T_{out}')
ylabel('\Delta T')
x1=10;
y1=60;
txt1=('R^2=0.779')
text(x1,y1,txt1)
```

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. *Latvija 2018. Galvenie statistikas rādītāji*. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde, 2018. 60 lpp. ISBN 978-9984-06-514-4.
2. *2017.gada publiskais pārskats*. Rīga: Valsts meža dienests, 2018. 30 lpp.
3. *Meža nozare skaitļos un faktos 2018*. Rīga: Biedrība "Zaļās mājas", 2018. 52 lpp.
4. *Faktiskās enerģētiskās koksnes plūsmas apzināšana.* Rīga: RTU VASSI, 2008.
5. *Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrād*e. Rīga: SIA „Vides projekti", 2009.
6. *Latvijas energobilance 2017*. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde, 2018. 8 lpp.
7. Strūbergs, J., Siļķe, K. *Pētījums "Latvijas mazo un vidējo upju hidroenerģētiskā potenciāla vērtējums"*, 2012.
8. *Vēja ātrums 100 m augstumā* [tiešsaiste]. [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: http://www.windenergy.lv/map/ lv/veja-atrums-100-metru- augstuma/.
9. *Geothermal Market in Europe.* [tiešsaiste]. [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: http://egec.info/wp-content/uploads/2011/03/Geothermal-MR-2013-2014-M-2014.pdf.
10. Ameriks, U., Krīgere, I. *Latvija – kūdras lielvalsts* [tiešsaiste]. Rīga: Latvijas Kūdras ražotāju asociācija, 2018 [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: http://www.latvijaskudra.lv/lv/aktualitates/1455-latvija_-_kudras_lielvalsts.html
11. *AS „RĪGAS SILTUMS" Koģenerācijas uzstādīšanas iespējas rajonos ar centralizēto un decentralizēto siltuma apgādi.* Rīga: AS „RĪGAS SILTUMS", 2009. 6 lpp.
12. *Enerģētikas likums* [tiešsaiste]. Rīga: Saeima, 1998. [skatīts 2018.g. 1.martā] Pieejams: https://likumi.lv/doc.php?id=49833
13. Bažbauers, G. *Koģenerācijas attīstības iespējas un šķēršļi*. Rīga: LSUA, 2007. 6 lpp.
14. Андрющенко, А.И., Аминов, Р.З. *Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций*. Москва: Высшая школа, 1983. 256 с.
15. Андрижевский, А.А., Володин, В.И. *Энергосбережение и энергетический менеджмент*. Минск: Вышэйшая школа, 2005. 294 с.
16. EUROSTAT dati [tiešsaiste]. [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: https://ec.europa.eu/eurostat/data/database
17. *Izcirstās koksnes apjomi* [tiešsaiste]. Rīga: Valsts Meža dienests, 2018. [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams http://www.vmd.gov.lv/valsts-meza-dienests/statiskas-lapas/-meza-apsaimniekosana-/koksnes-resursu-ieguve?nid=1682#jump
18. *Mežaaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus*. Salaspils: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava", 2011.
19. *SIA „Rīgas meži" meža apsaimniekošanas plāns.* Rīga: SIA „Rīgas meži", 2014
20. Nagla, J., Saveļjevs, P., Turlajs, D. *Siltumenerģētikas teorētiskie pamati.* Rīga: RTU izdevniecība, 2008. 194 lpp.
21. Шаргут, Я., Петела, Р. *Эксергия*. Москва: Энергия, 1967. 279 с.
22. Лыков, А.В. *Тепломассообмен (Справочник)*, 2-е изд. Москва: Энергия, 1978. 480 с.
23. Жуковский, В.С. *Основы теории теплопередачи*. Москва: Энергия, 1969. 224 с.
24. Лыков, А.В., Михайлов, Ю.А. *Теория тепло - и массопереноса*. Москва: Госэнергоиздат, 1963. 535 с.

25. Яковлев, Б.В., Кузнецов, Л.В., Терещенко, В.В. *Алгоритм расчета температурного графика теплосети*. Известия высших учебных заведений, 1982. с.123-124.
26. Лыков, А.В. *Теория теплопроводности*. Москва: Высшая школа, 1967. 599 с.
27. Пехович, А.И., Жидких, В.М. *Расчеты теплового режима твердых тел*. Москва: Энергия, 1968. 304 с.
28. *Ministru kabineta noteikumi Nr.338 Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-15 "Būvklimatoloģija"* [Tiešsaiste]. Rīga: Ministru kabinets, 2015 [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: https://likumi.lv/ta/id/275013
29. Krasavcevs, I. *Analītisks ziņojums "Kurināmo šķeldu patēriņa un cenu prognozes 2018-2023. gadam"*. Jelgava": SIA "Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts", 2018. 17 lpp.
30. *Latvijas energobilance* [tiešsaiste]. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde. [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/meklet?product_type%5Bpublication%5D=publication
31. *Eiropas parlamenta un padomes direktīva 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu* [tiešsaiste]. Strasbūra: Eiropas parlaments un Eiropas padome, 2009 [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&rid=1.
32. AS „RĪGAS SILTUMS" dati
33. Randlovs, P. *Centralizētās siltumapgādes rokasgrāmata.* Fredericia: Eiropas Centralizētās siltumapgādes cauruļu ražotāju asociācija (EUHP), 1997. 320 lpp. ISBN 87-90488-06-7.
34. SIA "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs" dati
35. Gadd, H., Werner, S. Achieving low return temperatures from district heating substations. *Applied Energy*. 2014, vol.136, pp. 59-67. ISSN: 0306-2619.
36. Guidelines for low-temperature district heating. A deliverable in the project "EUDP 2010-II: full-scale demonstration of low-temperature district heating in existing buildings". 2014. 43 p.
37. *Rīgas teritorijas plānojums 2006.-2018.gadam. Paskaidrojuma raksts*. Rīga: Rīgas dome, 2015. 206 lpp.
38. *Latvijas 2011.gada tautas skaitīšanas rezultāti*. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde, 2015. 230 lpp. ISBN 978-9984-06-482-6
39. *WORLD POPULATION TO 2300*. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs. Population Division, 2004. 240 p.
40. *World Population Prospects. The 2010 Revision. Volume I: Comprehensive Tables*. New York: United Nations, 2011. 481 p.
41. *European social statistics. 2013 edition*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 242 p. ISBN 978-92-79-27034-5
42. Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes. SG020. *Iedzīvotāju skaits un tā izmaiņas statistiskajos reģionos, republikas pilsētās, novadu pilsētās un novados* [Tiešsaiste]. [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: http://data1.csb.gov.lv/pxweb/lv/iedz/iedz__iedzskaits__ikgad/ISG020.px/?rxid=d8284c56-0641-451c-8b70-b6297b58f464
43. Eglīte, P. *Demogrāfiskā situācija un attīstības prognozes (Rīgas attīstības plāna 2006.-2018. gadam apakšprojekts)*. Rīga: Rīgas Dome, 2003. 139 lpp.

44. Eglīte, P., Ivbulis, B., Gņedovska, I. *Demogrāfiskās prognozes Rīgā un Pierīgā*. Rīga: Latvijas Zinātņu akadēmijas Ekonomikas institūts, 2012. 33 lpp.
45. *Latvija. Pārskats par tautas attīstību, 2010/2011. Nacionālā identitāte, mobilitāte un rīcībspēja*. Rīga: Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds, 2011. 153 lpp. ISBN 978-9984-45-414-6
46. *Informatīvais ziņojums par darba tirgus vidēja un ilgtermiņa prognozēm. 2012.* [Tiešsaiste]. Rīga: Ekonomikas ministrija, 2012. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: https://www.em.gov.lv/files/tautsaimniecibas_attistiba/dsp/EMZino_02_260612.pdf
47. *Rīgas pašvaldības dzīvojamā fonda attīstības programma 2014.-2018.gadam.* Rīga: SIA "Baltijas Konsultācijas", 2012. 71 lpp.
48. *Rīgas teritorijas izmantošanas un apbūves noteikumi* [Tiešsaiste]. Rīga: Rīgas Dome, 2005. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: http://www.rdpad.lv/wp-content/uploads/2014/11/RTIAN_aktuala_redakcija.pdf
49. *Katrs piektais mājoklis Latvijā ir bez pastāvīgajiem iedzīvotājiem*. [Tiešsaiste]. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde, 2013. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/iedzivotaji/tautas-skaitisana/meklet-tema/1335-par-majokliem-latvija-saskana-ar-2011gada
50. *Sāksies VID jaunās ēkas kompleksa būvniecība*. Rīga: Dienas Bizness, 2012. [skatīts 2018. g. 1.martā]. Pieejams: http://www.db.lv/ipasums/buve/saksies-vid-jaunas-ekas-kompleksa-buvnieciba-253769
51. *VID jaunā kompleksa celtniecība ir absurda.* [Tiešsaiste]. Rīga: TV NET, 2012. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: http://financenet.tvnet.lv/viedokli/416386vid_jauna_kompleksa_celtnieciba_ir_absurda
52. *Komercplatību tirgus pārskats 2017.* [Tiešsaiste]. Rīga: SIA "Kivi Real Estate", 2017. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: https://www.kivi.lv/tirgus-parskati/komercplatibu-tirgus-parskats-2017-25
53. *Komercplatību tirgus pārskats 2013.gada 1.ceturksnis* [Tiešsaiste]. Rīga: Latio, 2013. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: http://latio.lv/lv/pakalpojumi/tirgus-analize/komercipasumu-tirgus/42/latio-komercplatibu-tirgus-parskats-2013-1-ceturksnis.pdf
54. *Latvijas tirdzniecības centru apskats #2 (01/2007)* [Tiešsaiste]. Rīga: Latio, 2007. [skatīts 2007.g. 25.jūlijā]. Pieejams: http://www.latio.lv/files/latvija_tirdzniecibas_centru_apskats_lv_arlinku_2d113.pdf
55. *European Shoping Centre The Development Story. April 2017.* London: Cushman & Wakefield LLP, 2017. 36 p.
56. *Marketbeat: Shopping centre development report. Europe. May 2013.* London: Cushman & Wakefield LLP, 2013. 3 p.
57. Rīgas enerģētikas aģentūras datu bāze dzīvojamām mājām Rīgā [Tiešsaiste]. Rīga [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: http://www.rea.riga.lv/energoefektivitate/datu-baze-dzivojamam-majam-riga
58. Centrālā statistikas pārvalde [Tiešsaiste]. Pieejams: https://www.csb.gov.lv/lv/statistika
59. *Ministru kabineta noteikumi Nr.339 Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 002-15 "Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika"* [Tiešsaiste]. Rīga: Ministru kabinets, 2015. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: https://likumi.lv/ta/id/275015
60. *Darbības programma "Izaugsme un nodarbinātība"*. Rīga: Finanšu ministrija, 2014. 298 lpp.

61. *Partnerības līgums ES fondu 2014.-2020.gada plānošanas periodam. 2.versija (projekts)*. Rīga: Finanšu ministrija, 2013. 186 lpp.
62. *Eiropas parlamenta un padomes direktīva 2012/27/ES par energoefektivitāti* [Tiešsaiste]. Strasbūra: Eiropas parlaments un Eiropas padome, 2012. [skatīts 2018.g. 1.martā]. Pieejams: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L 0027&from=LV
63. *Rīgas pilsētas centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumenerģijas pieprasījuma un slodžu attīstības prognozes laika posmā no 2014. līdz 2024. gadam*. Rīga: AS "Siltumelektroprojekts", 2014.
64. Dzene, Ilze. *Latvijas reģionu energosistēmu ilgtspējīgas attīstības modelēšana un optimizācija*. Promocijas darbs. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2011. 130 lpp.
65. Ommen, T., Markussen, W.B., Elmegaard, B. Lowering district heating temperatures – Impact to system performance in current and future Danish energy scenarios. *Energy*. 2016, vol.94, pp.273-291. ISSN 0360-5442.
66. Лукьянов, Андрей. *Повышение эффективности использования теплоисточников в системе централизованного теплоснабжения*. Диссертация. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2003. 21 с.
67. Li, H., Wang, S.J. Challenges in Smart Low-Temperature District Heating Development. **In:** *The 6th International Conference on Applied Energy (ICAE2014), May 30 – June 2, 2014, Taipei City, Taiwan*. Energy Procedia. 2014, vol.61, pp.1472–1475 ISSN: 1876-6102.
68. Deniņa, Arta. *Atjaunojamās enerģijas ražošanas atbalsta efektivitāte Latvijā*. Promocijas darbs. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2013. 214 lpp.
69. Averfalk, H., Werner, S. Essential improvements in future district heating systems. **In:** *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling, September 4-7, 2016, Seoul, South Korea.* Energy Procedia. 2017, vol.116, pp.217-225. ISSN: 1876-6102.
70. Cers, Aivars. *Kombinētā cikla gāzes triģenerācija mērena klimata apstākļos*. Promocijas darbs. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2013. 112 lpp.
71. Alessandro, Dalla Rosa. *The Development of a New District Heating Concept: Network Design and Optimization for Integrating Energy Conservation and Renewable Energy Use in Energy Sustainable Communities.* Ph.D. thesis. Lyngby: Technical University of Denmark, 2012. 254 p.
72. Шеин, Илья. *Оптимизация развития систем теплоснабжения городов*. Диссертация. Москва: Московский энергетический институт, 2012. 135 с.
73. Žīgurs, Ā. *Centralizētās siltumapgādes sistēmu efektivitāte.* Promocijas darbs. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2009.
74. Талцис Н., Дубсон М. Повышение эффективности использования систем автоматического считывания данных с коммерческих счетчиков тепловой энергии. *Новости Теплоснабжения*. 2015, №1(173), 46.-51.с. ISSN 1609-4638.
75. Talcis, N., Dzelzītis, E., Līckrastiņa, A. Return Temperature in DH as Key Parameter for Energy Management. *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER).* 2018, vol.8, issue 7, pp.88-92. ISSN: 2249-6645.
76. Lickrastina, A., Talcis, N., Dzelzitis, E. Cogeneration unit with an absorption heat pump for district heating system. *HVAC&R Research.* 2014, pp.404-410. ISSN: 1078-9669.

77. Grasmanis. Dz., Grekis. A., Talcis, N. Heat Consumption Assessment of the Domestic Hot Water Systems in the Apartment Buildings. *Construction Science.* 2013, vol.14, pp.38–43. ISSN 1407-7329.
78. Talcis, N. „Zaļā" koģenerācija Rīgā: atklāta siltumcentrāles „Ziepniekkalns" biokurināmā koģenerācijas stacija. *Enerģija un Pasaule.* 2013, Nr.2, 54.-57.lpp. ISSN 1407-5911
79. Талцис Н., Дубсон М. Реализация программы повышения эффективности систем теплоснабжния г. Риги. *Новости Теплоснабжения*. 2013, №3 (151), 30.-35.с. ISSN 1609-4638.
80. Талцис Н., Дзелзитис Э. Оптимизация источников тепла в системе централизованного теплоснабжения. *Энергосбережение.* 2012, №2, 69.-72.с. ISSN 1609-7505.
81. Талцис Н., Церс А., Плискачев С., Дзелзитис Э. Опыт утилизации низкопотенциального тепла с использованием абсорбционного теплового насоса. *Новости Теплоснабжения.* 2011, №5 (129), 27.-31.с. ISSN 1609-4638.
82. Ziemele, J., Blumberga, D., Talcis, N. Industrial Research of Condensing Unit for Natural Gas Boiler House. *Environmental And Climate Technologies*. 2012, vol.10, pp.34.-38. ISSN 1691-5208.
83. Talcis, N., Dzelzitis, E. Use of biofuel in The District Heating system of Riga. *The REHVA European HVAC Journal*. 2012, vol.49, issue 6, pp.28.-33. ISSN 1307-3729.
84. Dzelzītis, E., Jēgeris, A., Līckrastiņa, A., Talcis, N. Solid Particle Emission Abatement from Biomass-Fired Boilers in District Heating Plants. **In:** *Proceedings of REHVA Annual Conference 2015 „Advanced HVAC and Natural Gas Technologies", May 6-9, 2015, Riga, Latvia.* Riga: RTU Press, 2015, pp.155-161. Available from: doi: 10.7250/rehvaconf.2015.022
85. Brand, Marek. *Heating and Domestic Hot Water Systems in Buildings Supplied by Low-Temperature District Heating.* Ph.D. thesis. Lyngby: Technical University of Denmark, 2014. ISBN 9788778773821
86. Dalla Rosa, A., Li, H., Svendsen, S., Method for optimal design of pipes for low-energy district heating, with focus on heat losses. *Energy*. 2011, vol.36, pp.2407-2418. ISSN 0360-5442.
87. Li, H., Svendsen S., Gudmundsson, O., Kuosa, M., Schimdt, D., Kallert, A. Low temperature district heating technologies for future energy system. **In:** *The 12th REHVA World Congress – Clima 2016, May 22-25, 2016, Aalborg, Denmark*. Energy Procedia. 2017, vol.116, pp.26-38. ISSN: 1876-6102. ISSN 0360-5442.
88. Lund, H. Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J.E., Hvelplund, F., Mathiesen, B. 4th Generation district heating (4GDH) integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy. 2014, vol.68, pp.1-11. ISSN 0360-5442.
89. Dalla Rosa, A., Li, H., Svendsen, S., Werner, S., Persson, U., Ruehling, K., Felsmann, C., Crane, M., Burzynski, R., Bevilacqua, C. *DHC Annex X Final report Toward 4th Generation District Heating: Experience and Potential of Low-Temperature District Heating.* Lyngby: Technical University of Denmark, 2014. 205 p.
90. Kallert, A., Schmidt, D. Simulation and Exergetic Analysis of Renewable Multi-Generation Units for a Building Group. **In:** *The 12th REHVA World Congress – Clima 2016, May 22-25, 2016, Aalborg, Denmark*. Aalborg: Aalborg University. 2016, vol.10. ISBN 87-91606-35-7.

91. Laajalehto, T., Kuosa, M., Mäkilä, T., Lampinen, M., Lahdelma, R. Energy efficiency improvements utilising mass flow control and a ring topology in a district heating network. Applied Thermal Engineering. 2014, vol.69, No.1-2, pp.86-95.
92. Kuosa, M. Study of a district heating system with the ring network technologyand plate heat exchangers in a consumer substation. *Energy and Building.* 2014, vol.80, pp.276-289.
93. Yang, X., Li, H., Svendsen, S. Alternative solutions for inhibiting Legionella in domestic hot water systems based on low-temperature district heating. *Building Services Engineering Research and Technology*. 2015, vol.34, pp.468-478.
94. Yang, X., Li, H., Svendsen, S. Analysis and research on promising solutions of low temperature district heating without risk of legionella. *Proceedings of the 14th International Symposium on District Heating and Cooling*. 2014, p.41-48.
95. Brand, M., Svendsen, S. Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. *Energy*. 2013, vol.62, pp.311-319.
96. Schmidt, D. Development of an Innovative Heat Supply Concept for a New Housing Area. **In:** *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling September 4-7, 2016, Seoul, South Korea*.
97. Pesch, R. Low Temperature District Heating for Future Energy Systems – DHC Technologies **In:** *IEA DHC Annex TS 1 meeting 04.9.2013, Espoo, Finland*
98. Olsen, P.K. A New Low-Temperature District Heating System for Low Energy Buildings. **In:** *The 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 to September 2, 2008, Reykjavik, Iceland*.
99. Paulsen, O. Consumer Unit for Low Energy District Heating Network. **In:** *The 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 to September 2, 2008, Reykjavik, Iceland*.
100. Brand, M. A Direct Heat Exchanger Unit used for Domestic Hot Water supply in a single-family house supplied by Low Energy District Heating. **In:** *The 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5 to September 7, 2010, Tallinn, Estonia.*
101. Klobut, K. Future District Heating Solutions for Residential Districts (TUKALEN). **In:** *IEA DHC Annex TS 1 meeting 4.9.2013, Espoo, Finland*.
102. Thorsen, J.E. Experiences on low-temperature district heating in Lystrup – Denmark. **In:** *International conference on district energy March 20-22, 2011, Slovenia.*
103. Schmidt, D. Successful Implementation of Innovative Energy systems in Communities. *Case study brochure of IEA DHC Annex TS1*. 2015.
104. Talcis, N., Līckrastiņa, A., Dzelzītis, E. The Observation of Targets Achieved during District Heating Development in Riga City. *Modern Enviromental Science and Engineering*. 2017, vol.3, No.4, pp.237-248. ISSN 2333-2581.
105. Fredriksen, S., Werner, S. *District heating and cooling*. Lund: Studentlitteratur AB, 2013. 588 p. ISBN 9144085303.
106. Werner, S. District Heating and Cooling in Sweden. *Energy.* 2017, vol.126, pp.419-429. ISSN 0360-5442.
107. Rama, M., Sipila, K. Transition to Low Temperature Distribution in Exiting Systems. **In:** *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling, September 4-7, 2016, Seoul, South Korea*. Energy Procedia. 2017, vol.116, pp.58-68. ISSN 1876-6102.

108. Ostergaard, D., Svendsen, S. Space Heating with Ultra-Low-Temperature District Heating – a case Study of Four Single – Family Houses from the 1980s. **In:** *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling, September 4-7, 2016, Seoul, South Korea*. Energy Procedia. 2017, vol.116, pp.226-235. ISSN 1876-6102.
109. Ziemele, J., Pakere, I., Talcis, N., Blumberga, D. Multi-criteria Analysis of District Heating systems in Baltic States. *Energy Procedia*. 2014, vol.61, pp.2172-2175. ISSN 1876-6102.
110. Ziemele, J., Pakere, I., Talcis, N., Cimdiņa, G., Vīgants, Ģ., Veidenbergs, I., Blumberga, D. Analysis of wood fuel use development in Riga. *Agronomy Research*. 2014, vol.12, No.2, pp.645-654. ISSN 1406-894X.
111. Ziemele, J.,Pakere, I., Blumberga, D. The Future Competitiveness of the Non-Emissions Trading Scheme District Heating Systems in the Baltic States. *Applied Energy*. 2016, vol.162, pp.1579-1585. ISSN 0306-2619.