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 darba kopsavilkums

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

profesors *Dr. math.*
ANDREJS KOLIŠKINS

RTU Izdevniecība
Rīga 2018

N. Talcis. Centralizētās siltumapgādes sistēmas pārvaldības un kontroles metodoloģija. Promocijas darba kopsavilkums.
Rīga: RTU izdevniecība, 2018. 26 lpp.

ISBN 978-9934-22-198-9 (print)
ISBN 978-9934-22-199-6 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2018. gada 13. decembrī plkst. 12 Rīgas Tehniskās universitātes konferenču zālē, Āzenes ielā 6, 11. stāvā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Namejs Zeltiņš,
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Dr. sc. ing. Gaidis Klāvs,
Fizikālās Enerģētikas institūts, Latvija

Dr. Antons Briņs *(Антон Бринь)*,
Baltkrievijas Nacionālās Zinātņu akadēmijas Enerģētikas institūts
(Иниститут энергетики национальной академии наук Беларуси)

APSTIPRINĀJUMS

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

Normunds Talcis ……. (paraksts)
Datums: ……

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras sarakstu, 57 attēli, 33 tabulas, četri pielikumi, kopā 122 lappuses. Literatūras sarakstā ir 111 nosaukumu.

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 paaugstināšanas nepieciešamība, kas saistīta ar Apvienoto Nāciju Organizācijas konvencijas par klimata pārmaiņām nostādnēm, liekot samazināt klimatam 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 nobīdes no normālā stāvokļa. Tas nozīmē, ka sistēmā ir izmaiņas, kas ir jāidentificē ar praktiskām metodēm, piemēram:

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

Pētījums parāda, ka, izmantojot vēsturiskos datus, 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 tā, samazinās CO_2 izmešu daudzums un primāro energoresursu patēriņš. Katras sistēmas operators, sekojot atgaitas temperatūrai un salīdzinot to ar trenda līniju robežām, var ātri konstatēt nobīdi un operatīvi rīkoties, lai novērstu nepilnības CSS pārvadē. Lai efektīvāk izmantotu izstrādāto sistēmu, jāizveido tehnisko datu pārvaldīšanas sistēma, kas automātiski kontrolē iestatījumu nobīdes un ziņo par tām.

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

Promocijas darbā ir ievads, četras nodaļas, kurās apskatīti centralizētās siltumapgādes sistēmas enerģijas avoti, siltumenerģijas ražošanas efektivitātes palielināšanas iespējas, siltumenerģijas pārvades loma centralizētās siltumapgādes sistēmas attīstībā un siltumenerģijas lietotāju ietekme uz tās attīstību, kā arī eksperimentālā daļa, rezultātu izvērtējumi, secinājumi, izmantotās literatūras saraksts un pielikumi.

Pirmajā nodaļā aprakstīta centralizētās siltumapgādes sistēmās izmantojamo energoresursu – atjaunojamo energoresursu un fosilo energoresursu – pieejamība un

pieprasījums. Novērtēts Latvijā svarīgāko atjaunojamo enerģijas avotu – koksnes biomasas, hidroenerģijas un vēja enerģijas – potenciāls un to izmantošanas iespējas enerģētikā.

Otrajā nodaļā vērtētas kurināmā efektivitātes uzlabošanas iespējas siltumenerģijas ražošanā, izmantojot biokurināmo (šķeldu) Rīgas centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumavotos. Šajā nodaļā tika 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 un absolūto siltumenerģijas zudumu un citu siltumenerģijas zudumu samazināšanas pasākumu analīze.

Nodaļā apkopoti un analizēti eksperimenta rezultāti, kas parādīja saikni starp siltumnesēja temperatūras (T_1 un T_2) starpību un āra gaisa temperatūru siltumenerģijas ražošanas avotos TEC-1 un TEC-2. Veiktie pētījumi parādīja, ka ar izstrādāto metodoloģiju, mainoties temperatūras starpībai pārvades sistēmā, var 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 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 vērtēts ēku energoefektivitātes līmenis, tehniskās iespējas nodrošināt ēku energoefektivitātes uzlabošanu, finansējuma pieejamība un nosacījumi, kā arī 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.

SATURS

IEVADS 7

1. CENTRALIZĒTĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS PRIMĀRIE ENERGORESURSI 10

1.1. Atjaunojamie energoresursi..... 10

2. SILTUMENERĢIJAS RAŽOŠANAS EFEKTIVITĀTES UZLABOŠANAS IESPĒJAS..... 11

2.1. Kombinētā ciklā ražotās siltumenerģijas lietojums CSS..... 11

2.2. Šķeldas izmantošanas ietekme uz siltumenerģijas ražošanu..... 12

2.3. Siltumenerģijas ražošanas avotu modernizācija..... 13

2.3.1. Kondensācijas ekonomaizers dabasgāzes ūdens sildkatlam 13

2.3.2 Dūmgāzu kondensators ūdens sildkatlam 14

3. SILTUMENERĢIJAS PĀRVADES LOMA CSS ATTĪSTĪBĀ 15

3.1. Īpatnējo un absolūto siltumenerģijas zudumu analīze CSS 15

3.2. Dažādu siltumenerģijas zudumu samazināšanas pasākumu pārvadē analīze..... 17

3.2.1. Siltumapgādes pārvades sistēmas kontroles metodoloģija..... 17

4. CENTRĀLĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS SILTUMENERĢIJAS PATĒRĒTĀJI.....22

4.1. Esošo un perspektīvo siltumenerģijas patērētāju ietekme uz CSS attīstību 22

4.2. Siltumenerģijas lietotāju energoefektivitātes paaugstināšanas ietekmes izpēte uz CSS 23

SECINĀJUMI 24

IZMANTOTĀ LITERATŪRA 25

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. Tā ir pirmā vispārējā juridiski saistošā pasaules mēroga vienošanās klimata jomā, lai ierobežotu globālo vidējās temperatūras pieaugumu zem 2 °C atzīmes, salīdzinot ar pirmsindustriālā laikmeta līmeni, un tiekties temperatūras kāpumu iegrožot līdz 1,5 °C, salīdzinot 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, lai vismaz 27 % no enerģijas patēriņa būtu atjaunojamā enerģija un 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 kopā ar pārējām ES dalībvalstīm – līdz 2030. gadam samazinās SEG emisiju ES par vismaz 40 %;
- Latvijas valsts likumi un MK noteikumiem.

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

Darba mērķis

Samazināt CO_2 emisiju, palielinot 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 T_2 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, pētījis *Dr. oec*. J. Kurovs.

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 $T_{ārg.}$, sniedzot visaugstāko determinācijas koeficienta R2 vērtību. Izmantojot otrās pakāpes polinomu, sastādīts regresijas vienādojums un sniegta to grafiskā interpretācija ar 95 % varbūtību.

Pētīta T_2 ietekme uz ražošanas procesu, dūmgāzu kondensatoru un kondensācijas ekonomaizera darbības efektivitāti.

Novitāte

Izstrādāta metodoloģija siltumenerģijas pilnīgai pārnesei no bioenerģijas izmantojošas CSS gala patērētājam, to regulējot pēc atgaitas temperatūras, 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 un elektroenerģijas patēriņu tīkla sūkņiem un siltumapgādes sistēmas enerģijas patēriņu, turklāt siltumenerģiju ražojošās iekārtas darbojas efektīvāk, samazinot CO_2 izmešu daudzumu un ietekmi uz apkārtējo vidi.

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

Publikācijas

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Talcis, N. „Zaļā" koģenerācija Rīgā: atklāta siltumcentrāles „Ziepniekkalns" biokurināmā koģenerācijas stacija. *Enerģija un Pasaule.* 2013, Nr. 2, 54.–57. lpp. ISSN 1407-5911.
5. 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.

6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Талцис Н., Дзелзитис Э. Оптимизация источников тепла в системе централизованного теплоснабжения. *Энергосбережение.* 2012, № 2, 69–72 с. ISSN 1609-7505.
11. Талцис Н., Дубсон М. Реализация программы повышения эффективности систем теплоснабжения г. Риги. *Новости Теплоснабжения*. 2013, № 3 (151), 30–35 с. ISSN 1609-4638.
12. 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.
13. 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
14. 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.

Dalība konferencēs

1. Siltuma avotu optimizācija centralizētajā siltumapgādes sistēmā. RTU 52. starptautiskā konference, 2011. gada 11. oktobris, Rīga, Latvija.
2. Оптимизация источников тепла в системе централизованного теплоснабжения. Москва: проблемы и пути повышения энергоэффективности, 2011. gada 26.–28. oktobris, Maskava, Krievija.
3. Применение коденсаторов дымовых газов в производстве тепловой энергии, повышая эффективность использования биотоплива. Конференция и выставка „Москва – энергоэффективный город", 2012. gada 24.–25. oktobris, Maskava, Krievija.
4. Опыт по повышению эффективности работы системы централизованного теплоснабжения г. Риги. Московский Международный Форум „Современный

мегаполис: ресурсосбережение и энергоэффективность", 2012. gada 3.–4. decembris, Maskava, Krievija.

5. Ziņojums par SC "Ziepniekkalns" biokurināmā koģenerācijas energobloka ar siltumjaudu 22 MW un elektrisko jaudu 4 MW izbūvi. Pasaules Enerģijas padomes Latvijas nacionālās komitejas izbraukuma valdes sēde, 2013. gada 19. marts, Rīga, Latvija.
6. Utilisation of the Latent Heat From Biofuel in the Heat Production Process. CLIMA 2013 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC, 2013. gada 16.–19. jūnijs, Prāga, Čehija.
7. Повышение эффективности производства тела с использованием коденсаторов дымовых газов. Отраслевая Научно-Практическая Конференция „Теплоснабжение Росии: 110 Лет Развития", 2013. gada 11.–12. septembris, Maskava, Krievija.
8. Kurināmā veidu diversifikācija Rīgas centralizētā siltumapgādē. ADVANCED HVAC & NATURAL GAS TEHNOLOGIES, 2015. gada 8.–9. maijs, Rīga, Latvija.

1. CENTRALIZĒTĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS PRIMĀRIE ENERGORESURSI

1.1. Atjaunojamie energoresursi

Ņemot vērā Latvijas klimatiskos apstākļus (apkures sezonas ilgums – aptuveni seši mēneši gadā), enerģijas bilancē primāro vietu ieņem siltumenerģijas ražošana (64 %). Šobrīd siltuma ražošanā koģenerācijas stacijās un centralizētajās siltumapgādes katlumājās dominē gāze, savukārt mājsaimniecībās – koksne.

Pieaugošais pieprasījums pēc enerģijas, ierobežotie fosilā kurināmā krājumi, kā arī vides piesārņojums un globālās klimata pārmaiņas pēdējos gados radījušas pastiprinātu interesi par atjaunojamajiem enerģijas avotiem. Latvijas siltumapgādē vietējā kurināmā (biomasas) potenciāls netiek pienācīgi izmantots, tā lietošanu iespējams palielināt, jo resursu ir pietiekami. Svarīgākie atjaunojamie enerģijas avoti Latvijā ir koksnes biomasa, hidroenerģija un vēja enerģija. Pašlaik tiek pētītas ģeotermālās enerģijas izmantošanas iespējas.

Koksne ir viens no nozīmīgākajiem atjaunojamajiem energoresursiem. Pieprasījums pēc enerģētiskās koksnes pasaulē nemitīgi pieaug, un aktuāls ir jautājums par tās potenciālo pieejamību nākotnē. Pēc Meža valsts reģistra datiem, mežs Latvijā aizņem 3,02 miljonus hektāru lielu platību [1]. 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 [2]. Enerģētiskai koksnei var izmantot kokapstrādes blakusproduktus, koksni no meža, koksni no ārpus meža zemēm, ciršanas atliekas. Līdzšinējos pētījumos ikgadējais potenciālais pieejamais apjoms tiek lēsts apmēram 10 milj. cieš. m^3 gadā.

Koksnes biomasas izmantošanas intensificēšana ir būtisks nosacījums Eiropas Savienības jauno klimata mērķu sasniegšanai – 20 % siltumnīcefekta radītās gāzu emisijas samazināšana, 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 aizsākusies 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 %) [3].

2. SILTUMENERĢIJAS RAŽOŠANAS EFEKTIVITĀTES UZLABOŠANAS IESPĒJAS

2.1. Kombinētā ciklā ražotās siltumenerģijas lietojums CSS

Viens no veidiem, kā visizdevīgāk izmantot primāro enerģiju, 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.

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 MWth), gan 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):

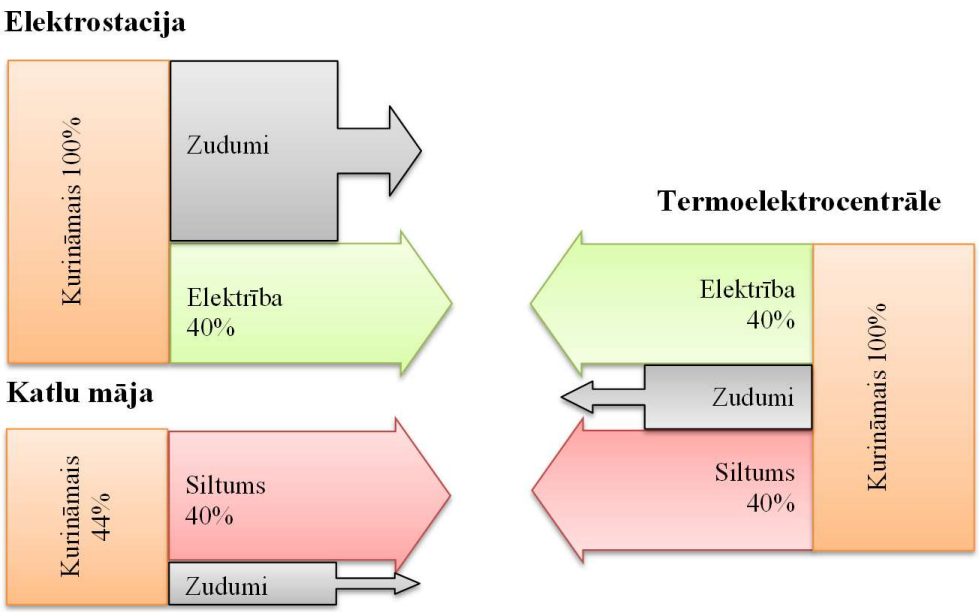
$$\eta_{TEC} = \frac{E_{TEC}+Q_{TEC}}{B_{TEC}}, \qquad (2.1)$$

kur E_{TEC} – koģenerācijas elektroenerģija;

Q_{TEC} – koģenerācijas režīmā saražotā siltumenerģija;

B_{TEC} – kurināmā patēriņš koģenerācijas iekārtās.

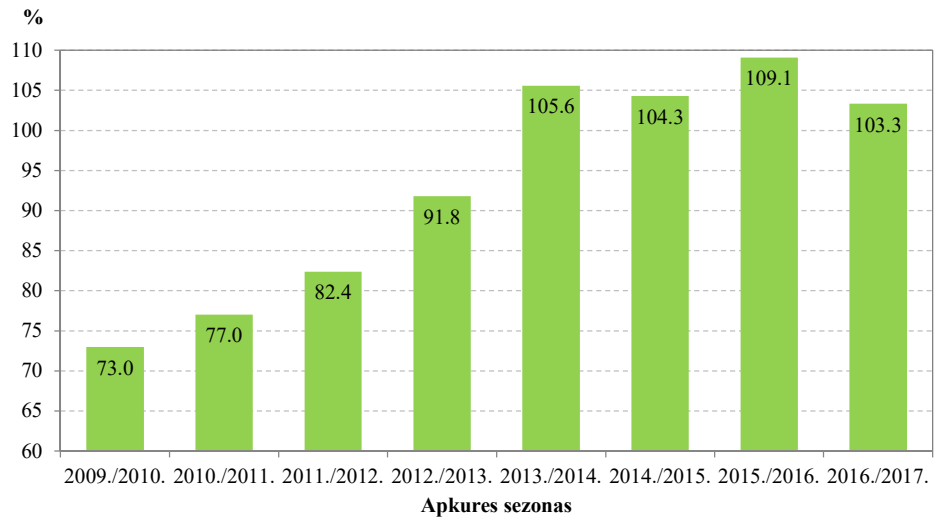
Augstas efektivitātes koģenerācija, salīdzinot ar dalīto ražošanu, ļauj primāros energoresursus ietaupīt par vairāk nekā 10 % (sk. 2.1. attēlu).



2.1. att. Dalītas ražošanas un koģenerācijas salīdzinājums.

2.2. Šķeldas izmantošanas ietekme uz siltumenerģijas ražošanu

Pētot centralizētā siltumapgādes sistēmā uzstādītās siltumenerģiju ražojošās iekārtas, ko darbina ar šķeldu, var secināt, ka, tehnoloģijām attīstoties, šajās iekārtās var sasniegt līdzvērtīgus kurināmā sadedzināšanas efektivitātes rādītājus, kā tas ir ar dabasgāzi darbināmās iekārtās. Pagājušā gadsimta beigās lietderības koeficienti iekārtām, kurās izmantoja šķeldu, bija 80–90 %, savukārt šobrīd jāsecina, ka lietderības koeficienti pārsniedz 100 % un sasniedz pat 110 %, t. i., rēķinot pēc kurināmā zemākās sadegšanas siltuma. Ja lietderības koeficientus aprēķina pēc augstākā kurināmā sadegšanas siltuma, tad tie svārstās 95 % līdz 98 % robežās. Izpētot apskatāmos siltuma avotus un katlu iekārtas, kurās par kurināmo izmanto šķeldu, iegūti dati, kas redzami 9. attēlā, kur uzskatāmi parādīts, kā ir pieaudzis kurināmā izmantošanas lietderības koeficients vai tā sauktā efektivitāte.



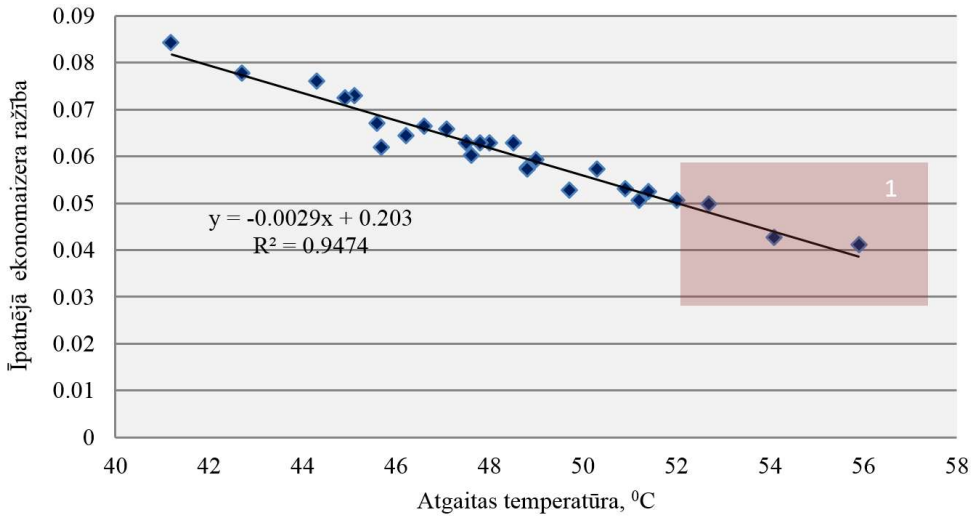
2.2. att. Kurināmā izmantošanas lietderības koeficienti šķeldas katliem (%) [4].

2.3. Siltumenerģijas ražošanas avotu modernizācija

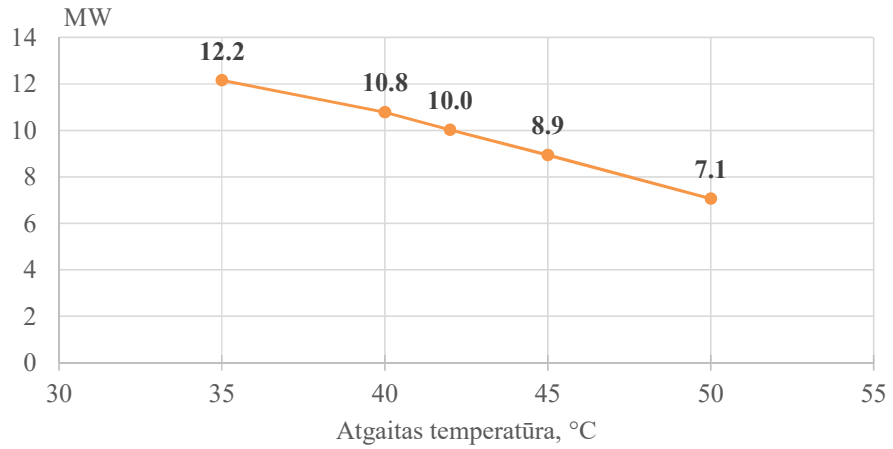
2.3.1. Kondensācijas ekonomaizers dabasgāzes ūdens sildkatlam

Izmantojot siltumenerģijas ražošanā dabasgāzes katlus, viens no nozīmīgākajiem elementiem, lai nodrošinātu iekārtas darbības efektivitāti, ir kondensācijas ekonomaizers, kas ļauj izmantot aizplūstošo dūmgāzu latento siltumu, tā palielinot kopējos katlu iekārtas efektivitātes parametrus par 15–20 %. Promocijas darbā par rūpnieciskā eksperimenta zonu tika izvēlēts siltumcentrālē „Imanta" dabasgāzes ūdens sildkatlam KVGM-100 Nr. 3 uzstādītais kondensācijas ekonomaizers ar jaudu 10 MW.

Divu gadu laikā, veicot rūpniecisko eksperimentu, tika izvērtēta kondensācijas ekonomaizera darbības efektivitāte atkarībā no siltumtīklu atgaitas temperatūras T_2.



2.3. att. Īpatnējā ekonomaizera ražība atkarībā no atgaitas ūdens temperatūras 2010. gada janvārī (eksperimenta zona 1 – kondensācijas process nenotiek).

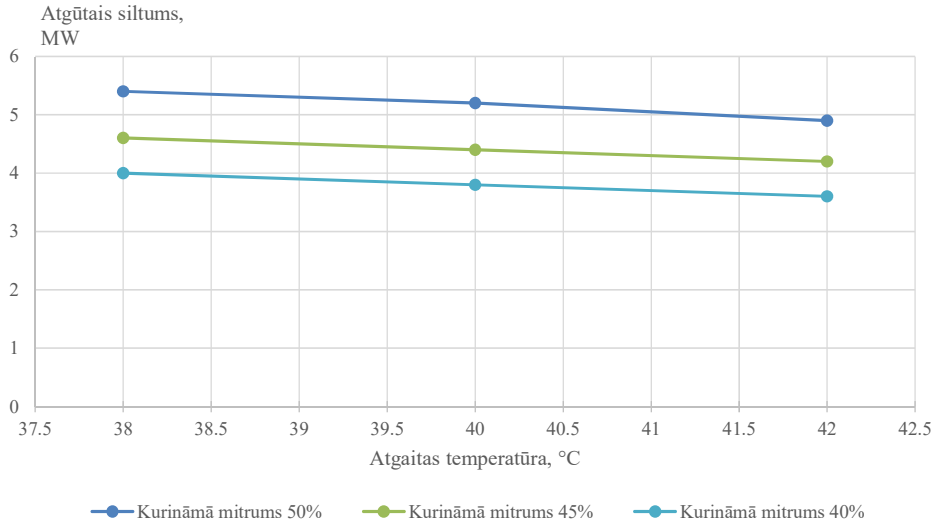


2.4. att. SC „Imanta" ŪSK KVGM-100 Nr. 3 kondensācijas ekonomaizera saražotā siltumenerģija atkarībā no siltumtīklu atgaitas temperatūras maksimālās slodzes gadījumā (116 MW).

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

2.3.2 Dūmgāzu kondensators ūdens sildkatlam

Lai izpētītu, kādi faktori ietekmē dūmgāzu kondensatora darbības efektivitāti, tika veikts rūpniecisks eksperiments, kura laikā analizēta ar šķeldu darbināmā ūdens sildkatla "*Renewa OY*" (Somija) 20 MW ar dūmgāzu kondensatoru 4 MW darbība ar atšķirīga mitruma šķeldu, un noteikts, ka dūmgāzu kondensatora darbību ietekmē T_2. Eksperimenta laikā tika analizēts šķeldas mitruma saturs un T_2, un dati tika sistematizēti.



2.5. att. Siltuma atgūšana.

Analizējot iegūtos datus, var secināt, ka šķeldas mitruma satura apjoms ietekmē dūmgāzu kondensatora darbību, bet šo jautājumu vajadzētu atrisināt ar šķeldas

piegādātājiem. T_2 ir faktors, kura lielums ietekmē dūmgāzu kondensatora darbības efektivitāti, un savukārt to nosaka tas, cik kvalitatīvi sistēmas operators kontrolē CSS darbību.

Atgaitas tīklu ūdens temperatūrai pazeminoties par 1°C, dūmgāzu kondensatora ražība vidēji palielināsies par 0,100 MW, attiecīgi dūmgāzu kondensatora lietderības koeficients pieaugs par 2,5 %.

3. SILTUMENERĢIJAS PĀRVADES LOMA CSS ATTĪSTĪBĀ

3.1. Īpatnējo un absolūto siltumenerģijas zudumu analīze CSS

Siltuma nesējos pārvērstās enerģijas transportēšana notiek pa cauruļvadiem, kas 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, siltuma tīkli un patērētāju siltuma izmantošanas ierīces – siltummaiņi, apsildes radiatori, ūdens sagatavošanas ierīces, regulēšanas automātika un armatūra.

Siltuma tīklos ietilpst cauruļvadu sistēma, pa kuru siltumnesējs – karsts ūdens vai tvaiks – nogādā siltumu no avota līdz patērētājam. 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 saistvadu savienojumiem, lai ārkārtas situācijās panāktu apgādes drošību, izmantojot shēmas slēgumus.

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 visbiežāk 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 konkrētiem apstākļiem tiek izvēlētas konkrētas caurules. Jāņem vērā gruntsūdens esamība vidē, kur tiks ieguldītas konkrētās caurules.

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

$$Q = q_{lin} l = k_{lin} \Delta t l, \tag{3.1}$$

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:

$$k_{lin} = \left(\frac{1}{\alpha_s \pi D_{iekš}} + \frac{1}{2\pi\lambda} ln \frac{D_{ār}}{D_{iekš}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{izol}} ln \frac{D_{izol}}{D_{ār}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{apv}} ln \frac{D_{apv}}{D_{izol}} + \frac{1}{\alpha_{gaiss} \pi D_{apv}}\right)^{-1}, \quad (3.2)$$

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.

$$k_{lin} = R^{-1} = \left(\frac{1}{2\pi\lambda} ln \frac{D_{ār}}{D_{iekš}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{izol}} ln \frac{D_{izol}}{D_{ār}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{apv}} ln \frac{D_{apv}}{D_{izol}}\right)^{-1}. \quad (3.3)$$

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 tie ir 13 %. Šādus zudumus drīkstēja atļauties laikā, kad kurināmā patēriņam varēja nepievērst pietiekamu vērību, jo energoresursu izmaksas bija zemas. Īpaši lieli siltuma zudumi konstatējami tehnoloģiskajos siltuma cauruļvados, kuros valda augstākas temperatūras diferences.

Siltuma zudumu samazināšanai apkārtējā vidē var ieteikt:

- izvēlēties siltuma cauruļvadus ar iespējami efektīvāku siltuma izolāciju;
- samazināt siltuma nesēja padeves temperatūras līmeni tiktāl, ciktāl tas nerada neērtības patērētājiem;
- sadarbojoties ar CSS lietotājiem, tos kontrolējot un lietojot promocijas darbā izstrādāto pārvaldības un kontroles metodoloģiju, samazināt atgaitas temperatūru T2;
- atteikties no tvaika kā siltumnesēja izmantošanas;
- operatīvi likvidēt siltuma nesēja noplūdes;
- izstrādāt un nepārtraukti pilnveidot racionālas sistēmas siltuma sadales un piegādes automatizācijai [5, 6, 7, 8].

Ap rūpnieciski izolētajām caurulēm, kas iebūvētas gruntī, ir heterogēns slānis, kura mitrums var būt dažāds un būt 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.

3.2. Dažādu siltumenerģijas zudumu samazināšanas pasākumu pārvadē analīze

Centralizētās siltumapgādes sistēmas 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).

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

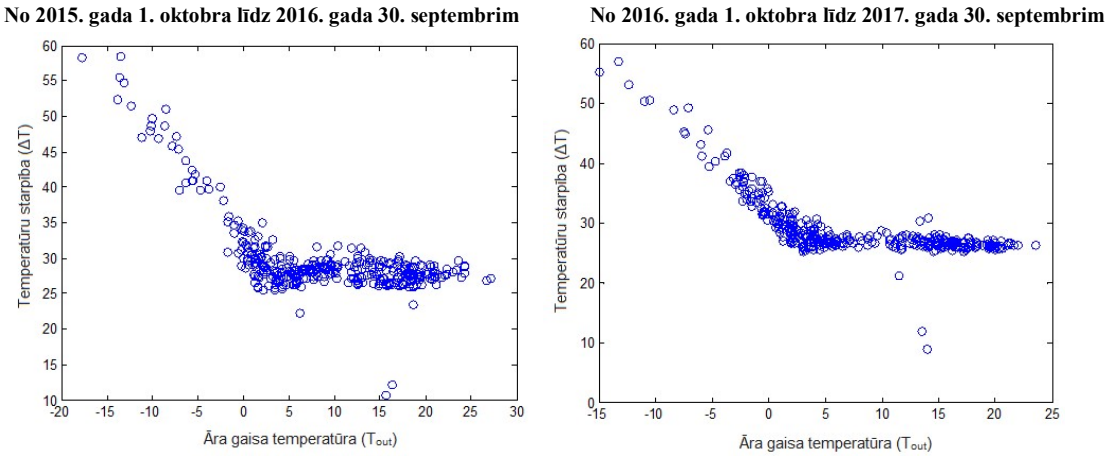
Svarīgākā problēma, samazinot siltuma zudumus, ir visu apzināto zudumu komponentu rakstura un skaitlisko vērtību noskaidrošana, kas ļautu pievērsties optimāliem tehnoloģiskajiem, ekonomiski pieļaujamiem risinājumiem un paaugstināt lietderības koeficientu. Lai varētu pamatot izvēlēto ceļu zudumu samazināšanai, 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. Siltumapgādes sistēmas atšķiras gan ar tīklu ģeogrāfisko izvietojumu, gan atsevišķu posmu garumu un cauruļu diametru, gan arī ar pieslēgto patērētāju raksturu (patērētāju siltumslodžu blīvums), tāpēc izmaiņu aprēķinu metodika mainīgiem lielumiem var izrādīties nepietiekami precīza, 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, konkrēti – $T2$.

3.2.1. Siltumapgādes pārvades sistēmas kontroles metodoloģija

Turpgaitas un atgaitas temperatūrai 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 [9,10] liecina, ka pat relatīvi zemas turpgaitas temperatūras (nedaudz virs 50 °C) var apmierināt patērētāju prasības Centrāleiropas un Ziemeļeiropas valstīs. Ņemot vērā to, ka mūsu valstī centralizētās siltumapgādes sistēmas ir projektētas un būvētas 20. gs. 70. gados, turpgaitas temperatūra ir daudz augstāka 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 pārbūve citam zemākam temperatūras grafikam ir finansiāli liels slogs patērētājiem. Ņemot vērā to, 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 [9] 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 [9]. Ja T_{out} vērtības ir lielākas (no 0 °C līdz 30 °C), dati ir izkliedēti plašā vērtību diapazonā, un pēc $T_{out} > 10$ °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 (TEC-1 un TEC-2), 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 3.1. attēlā.

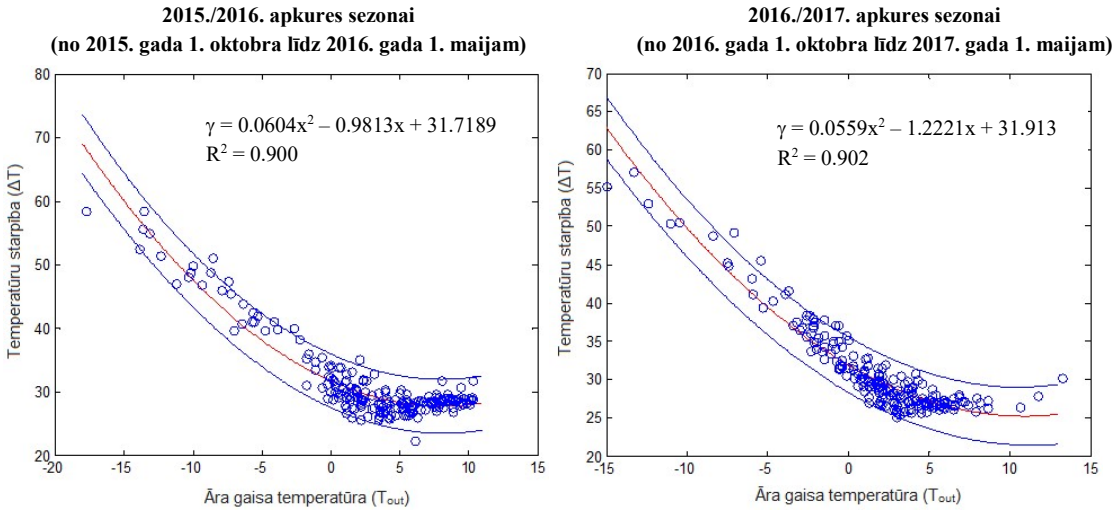


3.1. att. Temperatūru starpība (ΔT) pret āra gaisa temperatūru (T_{out}) siltumapgādes stacijā TEC-1 Rīgā divu gadu laikā.

Atšķirību centralizētās siltumapgādes sistēmas darbībā Latvijā un Dānijā var apskatīt, salīdzinot pētījuma [9] grafiku ar 3.1. attēlu. Kā redzams 3.1. attēlā, korelācija pastāv starp ΔT un T_{out}, diapazonā –20 °C < T_{out} < 10 °C. Pie augstākām āra gaisa temperatūrām ΔT ir praktiski neatkarīga no T_{out}. Kā parādīts [9], $T_{out} > 10$ °C gadījumā temperatūru starpība ΔT ir plaši izkliedēta intervālā (no 0 °C līdz 50 °C).

Korelācija starp ΔT un T_{out} pastāv diapazonā $T_{out} < 10$ °C, tāpēc 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* programatūru. 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). 3.2. attēlā parādīti abi: gan vislabāk piemērotais otrās pakāpes polinoms, gan

atbilstīgo datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC-1 2015./2016. gada apkures sezonā. Līdzīga informācija iekļauta 3.2. attēlā 2016./2017. gada apkures sezonai.



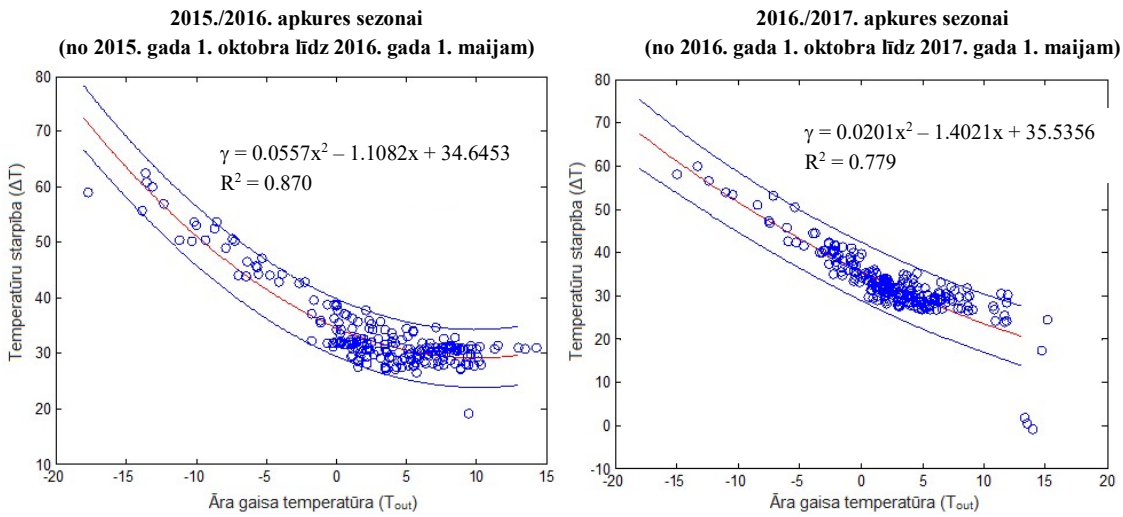
3.2. att. Vislabāk piemērots otrās pakāpes polinoms un datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC-1.

Līknes virs un zem otrās pakāpes polinoma diagrammā 3.2. attēlā atbilst 95 % ticamības intervālam vidējām prognozētajām vērtībām.

Izmantojot klasificētos datus no citas siltumapgādes stacijas Rīgā (TEC-2), ir sastādītas trenda līnijas un noteiktas atgaitas temperatūras nobīdes robežas 2015./2016. un 2016./2017. gada apkures sezonai, attiecīgi tas ir redzams 3.3. attēlā.

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

Dažus vispārīgus secinājumus var izdarīt, analizējot grafikus 3.2.–3.3. 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 3.2.–3.3. attēlā atrodas starp 95 % ticamības intervāla augšējo un apakšējo robežu.



3.3. att. Vislabāk piemērots otrās pakāpes polinoms un datu punkti no parauga siltumapgādes stacijai TEC-2.

Jāņem vērā, ka trenda līnija kopā ar trīs standarta novirzes līnijām ir parādīta pētījuma [9] grafikā. Pētījuma [9] rezultāti liecina, ka tipisks temperatūras starpības (ΔT) diapazons starp +/– trīs standarta novirzēm ir apmēram 25 °C. Kā redzams 3.2.–3.3. attēlā, tipiska starpība starp augšējām un apakšējām uzticamības intervāla robežām ir apmēram 9 °C (tātad 95 % ticamības intervāla vērtējums rada daudz mazāku nenoteiktību nekā vērtējums, kas balstīts 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 (bezkanāla siltumtrašu) kontroles sistēmu monitoringa rezultātu analīze;
- virszemes 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, nepieciešams organizēt automātisku atgaitas temperatūras datu savākšanu un ievadīšanai 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 aprēķināti siltuma zudumi un noteiktas arī ekonomaizera ražības izmaiņas.

Siltuma zudumus aprēķināja Rīgas Labā krasta siltumtīklos TEC-1 siltumapgādes zonai, jo TEC-1 strādā visu gadu, bet TEC-2 – tikai apkures sezonā.

Aprēķini parādīja, ka, pazeminot T_2 par vienu grādu, siltumtīklu atgaitas cauruļvadā par 1 % samazinās siltumenerģijas pārvades zudumi. Vienlaikus ar T_2 pazeminināšanu par vienu grādu dūmgāzu latentā siltuma utilizācijas iekārtu lietderības koeficients palielinās par 2,5 % līdz 2,8 %. Savukārt, palielinot latentā siltuma izmantošanu, samazinās primāro energoresursu patēriņš.

3.1. tabula

Siltuma zudumu aprēķins, 2015./2016. gada apkures sezonā rūpnieciskā eksperimenta apgabalā TEC-1 samazinot atgaitas temperatūru 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, 2016./2017. gada apkures sezonā rūpnieciskā eksperimenta apgabalā TEC-1 samazinot atgaitas temperatūru 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		

4. CENTRĀLĀS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS SILTUMENERĢIJAS PATĒRĒTĀJI

4.1. Esošo un perspektīvo siltumenerģijas patērētāju ietekme uz CSS attīstību

Prognozējot Rīgas siltumslodzes un siltumenerģijas pieprasījumu līdz 2024. gadam, par izejas lielumiem pamatā izmantoti AS „RĪGAS SILTUMS" dati par patērētāju siltumslodzēm, siltumenerģijas patēriņu, kā arī Rīgas attīstības plāna [11] 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 sektoru raksturojošie rādītāji;
d) nedzīvojamā sektora attīstība;
e) energoefektivitātes uzlabošanas iespējas.

Kā vienu no siltumenerģijas pieprasījumu ietekmējošiem faktoriem var minēt ārgaisa temperatūru Rīgā. Apkures sezona sākas, kad ārgaisa vidējā diennakts temperatūra ir +8 °C vai zemāka, parasti apkures sezona sākas oktobrī un beidzas aprīlī. Pēdējo piecu apkures sezonu (2012./2013.–2016./2017. gada) ilgums Rīgā ir svārstījies no 194 līdz 218 dienām. Normatīvais apkures sezonas ilgums Rīgai ir 203 dienas ar vidējo āra gaisa temperatūru 0 °C [12].

Iedzīvotāju skaita izmaiņas lielā mērā ietekmē siltumenerģijas pieprasījumu. Pēc Centrālās statistikas pārvaldes 2011. gada tautas skaitīšanas datiem [13] Latvijas iedzīvotāju skaits 2011. gada 1. martā bija 2 070 371. Kopš iepriekšējās, 2000. gada, tautas skaitīšanas iedzīvotāju skaits valstī ir samazinājies par 307 tūkst. jeb 12,9 %. Tautas skaitīšanas dati liecina, ka iedzīvotāju skaits, salīdzinot ar 2000. gadu, visvairāk ir samazinājies Latgalē (par 21,1 %) un Vidzemē (par 17,5 %), toties Pierīgas reģionā tas pieaudzis par 3,2 %. Pēc Centrālās statistikas pārvaldes publicētās informācijas, iedzīvotāju skaits Latvijā 2017. gadā turpināja samazināties, lai gan samazinājuma temps kļuvis lēnāks, un 2017. gada 1. janvārī pastāvīgo iedzīvotāju skaits bija 1 950 116 [14]. Latvijas iedzīvotāju skaita ievērojamu samazināšanos turpmākajos gados paredz gan Latvijas, gan ārvalstu un starptautisko organizāciju pētījumi.

Rīgas iedzīvotāju skaits kopš sasniegtā maksimuma 1990. gadā, kad tas bija 916 tūkst. cilvēku, ir ievērojami samazinājies, un 2011. gada 1. martā saskaņā ar 2011. gada tautas skaitīšanas datiem Rīgā pastāvīgi dzīvoja 658 640 iedzīvotāji [13]. Savukārt Centrālās statistikas pārvaldes apkopotā informācija par stāvokli 2018. gada 1. janvārī liecina, ka pastāvīgo iedzīvotāju skaits Rīgā ir vairs tikai 637 971 [15].

Pieprasījuma izmaiņas var prognozēt, izmantojot dzīvojamo telpu skaitu uz vienu iedzīvotāju. Rīgā 2012. gadā uz vienu iedzīvotāju bija 1,30 dzīvojamo telpu, bet Eiropas Savienības attīstītajās dalībvalstīs (ES-15) – 1,80. Tātad var pieņemt, ka starpība norāda, ka pastāv pieprasījuma potenciāls jaunu dzīvokļu iegādei. Ņemot vērā sociālekonomiskos

faktorus Latvijā, varam pieņemt, ka šī ir mājokļa komforta līmeņa ilgtermiņa mērķa rādītāja vērtība Rīgai. Pieņemot, ka, vienas istabas vidējā platībai paliekot 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 analizējamajā periodā ir pieprasījums pēc jauniem dzīvokļiem.

Būtisku siltumslodžu pieprasījuma pieaugumu var izraisīt arī jaunu tirdzniecības centru būve. Tomēr jāņem vērā šī sektora attīstības līmenis un iespējamā dinamika analizējamajā laika periodā. Salīdzinot ar Eiropas Savienības valstīm, Latvijā tirdzniecības platības uz vienu iedzīvotāju tirdzniecības centros 2012. gadā pārsniedza vidējos ES-27 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.

4.2. Siltumenerģijas lietotāju energoefektivitātes paaugstināšanas ietekmes izpēte uz CSS

Gan ēku dzīvojamajā, gan nedzīvojamajā sektorā viens no siltumenerģijas patēriņa apjomu noteicošiem faktoriem ir ēku energoefektivitāte, ko raksturo vidējais īpatnējais siltumenerģijas patēriņš gadā, energoefektivitātes līmenis, kā arī mentāli faktori. Šajā pētījumā tika analizēta energoefektivitātes un tās izmaiņu ietekme uz ēku īpatnējo siltumenerģijas patēriņu

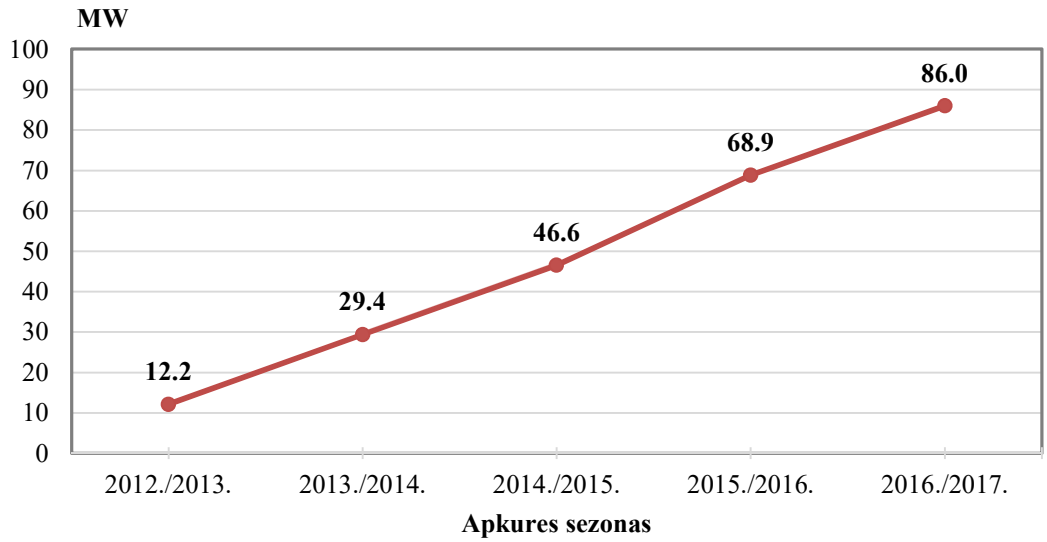
Pēc Centrālās statistikas pārvaldes datiem [16] Rīgas dzīvojamajā sektorā no ārējiem avotiem apkurināmā platība 2014. gadā bija 12,6 milj. m^2. Rīgas enerģētikas aģentūras datubāzē [17] iekļauto daudzdzīvokļu dzīvojamo māju faktiskais vidējais siltumenerģijas īpatnējais patēriņš Rīgā 2014. gadā bija:

- mājās ar centralizēto karstā ūdens apgādi – 177 kWh/m^2/gadā;
- mājās bez centralizētās karstā ūdens apgādes – 136 kWh/m^2/gadā.

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

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 Rīgas pilsētas siltumapgādes operatoru, centralizētajai siltumapgādes sistēmai pieslēdz jaunās daudzdzīvokļu ēkas, kuru platība pārsniedz 1000 m^2, un darījumu centrus. Pēdējo piecu apkures sezonas laikā Labā krasta siltumtīkliem pieslēgti objekti ar kopējo siltumslodzi 86 MW.



4.1. att. Jauno pieslēgto objektu Labā krastā kumulatīvā siltumslodze (pieci gadi) [4].

Ņemot vērā jauno pieslēgto objektu siltumslodžu apjomu, var secināt, ka potenciālie siltumenerģijas lietotāji uzticas centralizētās siltumapgādes sistēmas operatora darbībai un ir to novērtējuši kā stabilu biznesa partneri gan tehniskā piedāvājuma ziņā, gan saistībā ar izdevīgiem nosacījumiem siltumtīklu būvniecībā. Operatoram veicot preventīvus pasākumus siltuma pārvadē un izmantojot izstrādāto centralizētās siltumapgādes sistēmas pārvaldības un kontroles metodoloģiju, rodas iespēja nodrošināt konkurētspējīgu siltumenerģiju siltuma tirgū.

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 ($T_{\text{ārg.}}$) saikni siltumenerģijas ražošanas avotos Rīgā, kā arī vērtējot atjaunojamo energoresursu lietojumu, izdarīti šādi secinājumi.

1. Vienlaikus ar T_2 pazeminināšanu par vienu grādu siltumtrasēs atgaitas cauruļvadā par 1 % samazinās siltumenerģijas pārvades zudumi, savukārt 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”.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. *2017. gada publiskais pārskats*. Rīga: Valsts meža dienests, 2018. 30 lpp.
2. *Meža nozare skaitļos un faktos 2018*. Rīga: Biedrība “Zaļās mājas”, 2018. 52 lpp.
3. *Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrād*e. Rīga: SIA „Vides projekti”, 2009.
4. AS ”RĪGAS SILTUMS” dati.
5. Лыков, А. В. *Тепломассообмен (Справочник)*, 2-е изд. Москва: Энергия, 1978. 480 с.
6. Жуковский, В. С. *Основы теории теплопередачи*. Москва: Энергия, 1969. 224 с.
7. Лыков, А. В., Михайлов, Ю.А. *Теория тепло – и массопереноса*. Москва: Госэнергоиздат, 1963. 535 с.

8. Яковлев, Б. В., Кузнецов, Л. В., Терещенко, В.В. *Алгоритм расчета температурного графика теплосети*. Известия высших учебных заведений, 1982. с. 123–124.
9. Gadd, H., Werner, S. Achieving low return temperatures from district heating substations. *Applied Energy*, 2014, vol. 136, pp. 59–67. ISSN: 0306-2619.
10. 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.
11. *Rīgas teritorijas plānojums 2006.–2018. gadam. Paskaidrojuma raksts*. Rīga: Rīgas dome, 2015. 206 lpp.
12. *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.
13. *Latvijas 2011. gada tautas skaitīšanas rezultāti*. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde, 2015. 230 lpp. ISBN 978-9984-06-482-6.
14. *Latvija 2018. Galvenie statistikas rādītāji*. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde, 2018. 60 lpp. ISBN 978-9984-06-514-4.
15. Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes. SG020. *Iedzīvotāju skaits un tā izmaiņas statistiskajos reģionos, republikas pilsētās, novadu pilsētās un novados* [Tiešsaiste]. Rīga [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.
16. Centrālā statistikas pārvalde [Tiešsaiste]. Rīga [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: https://www.csb.gov.lv/lv/ statistika.
17. Rīgas enerģētikas aģentūras datubāze dzīvojamām mājām Rīgā [Tiešsaiste]. Rīga [skatīts 2018. g. 1. martā]. Pieejams: http://www.rea.riga.lv/energoefektivitate/datu-baze-dzivojamam-majam-riga.