VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Vladislav Šarko

KETVIRTOSIOS KARTOS ŠILUMOS TIEKIMO SISTEMOS DIEGIMO MODERNIZUOTŲ DAUGIABUČIŲ PASTATŲ KVARTALE ANALIZĖ GYVAVIMO CIKLO POŽIŪRIU

LIFE CYCLE ANALYSIS OF THE FOURTH GENERATION HEAT SUPPLY SYSTEM INSTALLATION IN A MODERNIZED APARTMENT BUILDING QUARTER

Baigiamasis magistro darbas

Pastatų energijos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX059
Energijos inžinerijos specializacija
Energijos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)
Artur Rogoža
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Vladislav Šarko

KETVIRTOSIOS KARTOS ŠILUMOS TIEKIMO SISTEMOS DIEGIMO MODERNIZUOTŲ DAUGIABUČIŲ PASTATŲ KVARTALE ANALIZĖ GYVAVIMO CIKLO POŽIŪRIU

LIFE CYCLE ANALYSIS OF THE FOURTH GENERATION HEAT SUPPLY SYSTEM INSTALLATION IN A MODERNIZED APARTMENT BUILDING QUARTER

Baigiamasis magistro darbas

Pastatų energijos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX059

Energijos inžinerijos specializacija

Energijos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas Doc. dr. Artur Rogoža _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas Lekt. dr. Aušra Žemienė _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(parašas)

Artur Rogoža
(vardas, pavardė)

2021 _____mėn. __ d.

Energijos inžinerija studijų kryptis

Pastatų energijos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas ***6211EX059***

Energijos inžinerijos specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS
.....Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei) **Vladislav Šarko**
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema **Ketvirtosios kartos šilumos tiekimo sistemos diegimo modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale analizė gyvavimo ciklo požiūriu**

Patvirtinta *2021-03-04* Dekano įsakymu Nr. *39ap*

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas *2021 m. gegužės mėn. 26 d.*

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Darbo problemos, tikslo ir uždavinių formulavimas. Atliktų mokslinių tyrimų centralizuoto šilumos tiekimo sistemų ir jų vertinimo srityje apžvalga. Tyrimų objekto pasirinkimas ir aprašas. Tyrimų objekto, metodikos ir eigos aprašas. Objekto galimų modernizavimo variantų nustatymas ir modeliavimas. Objekto ir alternatyvių variantų įvertinimas gyvavimo ciklo požiūriu. Variantų palyginimas. Darbo išvados.
Mokslinio straipsnio ir pranešimo konferencijoje parengimas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: ……*dr. A. Žemienė* ..……
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas .... *dr. Artur Rogoža*.....
(parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……..
(parašas)

Vladislav Šarko
(vardas, pavardė)

2020 m. spalio 29 d.
(data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Pastatų energijos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas	**Ketvirtosios kartos šilumos tiekimo sistemos diegimo modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale analizė gyvavimo ciklo požiūriu**
Autorius	**Vladislav Šarko**
Vadovas	**Artur Rogoža**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama modernizuotų daugiabučių pastatų kvartalo šilumos tiekimo sistema. Centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) tinklai yra svarbi šilumos tiekimo sistemos dalis techniniu ir organizaciniu aspektais. Modernizavus CŠT sistemas iki beveik nulinių CO_2 emisijų, galima svariai prisidėti prie klimato kaitos mažinimo. Darbe analizuojamas modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale esantis trečiosios kartos CŠT tinklas. Modernizuotų daugiabučių kvartalą šiluma aprūpinančioje katilinėje deginamas iškastinis kuras – gamtinės dujos. Darbe, taikant gyvavimo ciklo analizės metodą, nagrinėjama esama trečiosios kartos CŠT sistema ir sumodeliuota ketvirtosios kartos CŠT sistema. Lyginant sistemas buvo vertinami projektiniai šilumos nuostolių srautai ir tinklų statybai sunaudotų medžiagų kiekiai. Atliekant gyvavimo ciklo analizę, kiekvienoje fazėje nustatyti išmetamų teršalų kiekiai ir pirminės energijos poreikiai gamybai, eksploatacijai, transportavimui bei sunaikinimui. Išnagrinėjus tyrimų rezultatus, pateiktos baigiamojo darbo išvados ir rekomendacijos.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, tyrimo metodika, tyrimo rezultatai, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 65 p. teksto be priedų, 25 pav., 13 lent., 33 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: centralizuotas šilumos tiekimas, modernizavimas, ketvirtosios kartos CŠT, gyvavimo ciklo analizė, aplinkosauga.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Building Energetics

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Building Energy Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title	**Life Cycle Analysis of the Fourth Generation Heat Supply System Installation in a Modernized Apartment Building Quarter**
Author	**Vladislav Šarko**
Academic supervisor	**Artur Rogoža**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The final master thesis deals with the heat supply system in the quarter of modernized multiapartment buildings. District heating (DH) networks are an important part of the heat supply system in technical and organizational aspects. Upgrading DH systems to near-zero CO2 emissions can make a significant contribution to mitigating climate change. The research analyses the third generation DH network in the district of modernized multiapartment buildings. The boiler house, which supplies heat to the modernized apartment block, burns fossil fuels – natural gas. In the work, using the life cycle analysis method, the existing third generation DH system is analysed and the fourth generation DH system is modelled. When comparing the systems, the design heat loss flows and the amounts of materials used for the construction of the networks were assessed. During the life cycle analysis, the emissions and primary energy needs for production, operation, transportation and destruction were determined in each phase. After examining the results of the research, the conclusions and recommendations of the final work are presented.

Structure: introduction, literature review, research methodology, research conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 65 p. text without appendixes, 25 pictures, 13 tables, 33 bibliographical entries.

Keywords: district heating, modernization, fourth generation DH, life cycle analysis, environmental protection.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vladislav Šarko, 20171331

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Pastatų energijos inžinerija, PEImf-19

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2021 m. gegužės 24 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Ketvirtosios kartos šilumos tiekimo sistemos diegimo modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale analizė gyvavimo ciklo požiūriu“ patvirtintas 2021 m. kovo 04 d. dekano potvarkiu Nr. 39ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas docentas daktaras Artur Rogoža.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas) Vladislav Šarko (Vardas ir pavardė)

SUTIKIMAS DĖL ASMENS DUOMENŲ NAUDOJIMO

2021-05-24
(Data)

Šiuo sutikimu aš, Vladislav Šarko (toliau – Duomenų subjektas) sutinku, kad Vilniaus Gedimino technikos universitetas, juridinio asmens kodas 111950243, adresas Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius (toliau – Duomenų valdytojas), tvarkytų mano asmens duomenis kitų studentų mokymosi tikslu. T. y. tvarkytų (*pažymėkite tinkamą*):

☐ vardą, pavardę, bakalauro baigiamąjį darbą;
☐ bakalauro baigiamąjį darbą, nenurodant vardo, pavardės;
■ vardą, pavardę, magistro baigiamąjį darbą;
☐ magistro baigiamąjį darbą nenurodant vardo, pavardės.

Šiuo tikslu tvarkomų asmens duomenų Duomenų valdytojas neperduos jokiems tretiesiems asmenims, studentams su baigiamaisiais darbais bus leidžiama susipažinti vidinėje informacinėje sistemoje. Duomenų subjekto asmens duomenys šiuo tikslu bus naudojami ne ilgiau nei 5 metai.

Šiuo sutikimu Duomenų subjektas patvirtina, kad yra supažindintas su šiomis teisėmis:

- Susipažinti su savo duomenimis ir kaip jie yra tvarkomi (teisė susipažinti);
- Reikalauti ištaisyti arba, atsižvelgiant į asmens duomenų tvarkymo tikslus papildyti asmens neišsamius asmens duomenis (teisė ištaisyti);
- Savo duomenis sunaikinti arba sustabdyti savo duomenų tvarkymo veiksmus (išskyrus saugojimą) (teisė sunaikinti ir teisė „būti pamirštam“);
- Reikalauti, kad asmens duomenų valdytojas apribotų asmens duomenų tvarkymą (teisė apriboti);
- Teise į duomenų perkėlimą (teisė perkelti);
- Nesutikti, kad būtų tvarkomi asmens duomenys, kai šie duomenys tvarkomi ar ketinami tvarkyti kitais tikslais;
- Pateikti skundą Valstybinei duomenų apsaugos inspekcijai;

Duomenų subjektas turi teisę bet kuriuo metu atšaukti savo sutikimą.

Vladislav Šarko
[Duomenų subjekto vardas, pavardė, parašas]

Duomenų valdytojo rekvizitai:
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Juridinio asmens kodas: 111950243
Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius
Tel. (8 5) 274 5030
Faks. (8 5) 270 0112
El. paštas: vgtu@vgtu.lt
PVM mokėtojo kodas: LT119502413
Duomenų apsaugos pareigūno tel. (8 5) 251 2191, el. paštas: dap@vgtu.lt

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 10

LENTELIŲ SĄRAŠAS 11

SANTRUMPOS 11

ĮVADAS 13

1. LITERATŪROS APŽVALGA 17

1.1. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos 17

1.2. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos kartos 18

1.3. Centralizuotas šilumos tiekimas Europoje 22

1.4. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemų tyrimai 23

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas 28

2. TYRIMO METODIKA 30

2.1. Tyrimo objektas 30

2.2. Tyrimo objekto esami sprendimai 30

2.3. Tyrimo metodai 31

2.3.1. Gyvavimo ciklo analizė 32

2.4. Tyrimo eiga 34

2.4.1. Šilumnešio kiekio nustatymas 36

2.4.2. Šilumos poreikiai 36

2.4.3. CŠT tinklų hidrauliniai skaičiavimai 37

2.4.4. Šilumos nuostoliai 38

3. TYRIMO REZULTATAI 41

3.1. CŠT tinklų pagrindinės dalys ir medžiagos 41

3.2. CŠT tinklų šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai 42

3.3. GCA fazės 46

3.3.1. Gamyba 48

3.3.2. Eksploatavimas 50

3.3.3. Transportavimas 52
3.3.4. Sunaikinimas 54
3.3. Esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT sistemų palyginimas 57
3.4. 4-osios kartos CŠT sistemos diegimo nauda modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale 60
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS 62
LITERATŪROS SĄRAŠAS 63
PRIEDAI 66

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Pagrindiniai centralizuoto šilumos tiekimo sistemos komponentai....17

1.2 pav. Rodikliai, kuriuos reikia įvertinti, vystant 4-osios kartos CŠT sistemą (Ziemele et al., 2018)....25

2.1 pav. Skirstomųjų šilumos tinklų generalinis planas....30

2.2 pav. Šilumos tinklų iš anksto izoliuotas vamzdis....31

3.1 pav. CŠT tinklų analizuojamos pagrindinės dalys....41

3.2 pav. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų projektiniai šilumos nuostolių srautai....44

3.3 pav. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų metiniai šilumos nuostoliai....45

3.4 pav. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų metinių šilumos nuostolių palyginimas....46

3.5 pav. 3-osios ir 4-osios kartų CŠT dalių inventorizacinės analizės medžiagų kiekiai....47

3.6 pav. 3-osios ir 4-osios kartų CŠT inventorizacinės analizės suminis medžiagų kiekis....48

3.7 pav. Esamos 3-iosios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai gamybos fazėje....49

3.8 pav. 4-oisios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai gamybos fazėje....50

3.9 pav. 3-iosios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai eksploatavimo fazėje....51

3.10 pav. 4-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai eksploatavimo fazėje....52

3.11 pav. 3-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai transportavimo fazėje....53

3.12 pav. 4-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai transportavimo fazėje....54

3.13 pav. 3-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai sunaikinimo fazėje....55

3.14 pav. 4-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai sunaikinimo fazėje....56

3.15 pav. Esamos 3-iosios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas gamybos fazėje....57

3.16 pav. Esamos 3-iosios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas eksploatavimo fazėje....58

3.17 pav. Esamos 3-iosios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas transportavimo fazėje....58

3.18 pav. Esamos 3-osios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas sunaikinimo fazėje....59

3.19 pav. Esamos 3 kartos ir sumodeliuotos 4 kartos CŠT gyvavimo ciklo palyginimas....59

3.20 pav. 3-iosios ir 4-osios kartos CŠT sistemų GCA fazių kriterijų palyginimas....60

3.21 pav. 4-osios kartos CŠT sistemos diegimo nauda pagal GCA kriterijų sumažėjimą....61

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Pagrindiniai nagrinėtų centralizuoto šilumos tiekimo sistemų parametrai ir rezultatai (Soltero et al., 2018).....24

2.1 lentelė. 3-osios ir 4-osios kartos CŠT sistemų su B klasės pastatais šilumos kiekiai.....36

3.1 lentelė. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai.....42

3.2 lentelė. Modeliuojamos 4-osios kartos CŠT sistemos šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai.....43

3.3 lentelė. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų metiniai šilumos nuostoliai.....45

3.4 lentelė. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai gamybos fazėje.....48

3.5 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai gamybos fazėje.....49

3.6 lentelė. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai eksploatavimo fazėje.....50

3.7 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai eksploatavimo fazėje.....51

3.8 lentelė. Esamos 3-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai transportavimo fazėje.....52

3.9 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai transportavimo fazėje.....53

3.10 lentelė. Esamos 3-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai sunaikinimo fazėje.....55

3.11 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai sunaikinimo fazėje.....56

SANTRUMPOS

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai.

CO_2 – anglies dioksidas.

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas.

ES – Europos Sąjunga.

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos.

Mtoe – milijonas tonų naftos ekvivalento.

PE – pirminė energija.

SCADA – (Supervisory Control and Data Acquisition) valdymo sistema, kuri naudoja kompiuterius, tinklinius duomenų ryšius ir grafines vartotojo sąsajas techniniams procesams, šiuo atveju CŠT sistemoms.

STR – Statybos techninis reglamentas.

ŠAT – šiluminės akumuliacinės talpos.

ĮVADAS

Nagrinėjama problema

Apie pusę Europos Sąjungos suvartojamos energijos sudaro namų ūkių ir pramonės šildymas bei šaldymas. Šildymo ir aušinimo iš iškastinio kuro vis dar gaunama 84 %, o tik 16 % iš atsinaujinančių šaltinių. Siekiant įgyvendinti ES klimato kaitos ir energetikos tikslus, šildymo ir vėsinimo sektorius turi smarkiai sumažinti energijos suvartojimą ir iškastinio kuro naudojimą (European Commission, 2018b).

Visų ES namų ūkių galutinio energijos suvartojimo vien tik šildymas ir karštas vanduo sudaro 79 proc. (192.5 Mtoe) (European Commission, 2018b). 2016 m. gyvenamųjų namų sektorius sudarė 25,4 % galutinio energijos suvartojimo arba 17,4 % bendro ES vidaus energijos suvartojimo (European Commission, 2018a). Namų ūkiai naudoja energiją įvairiais tikslais: patalpoms ir vandeniui šildyti, patalpoms aušinti, maistui ruošti, patalpoms ir aplinkai apšviesti, elektros prietaisams ir kt.

Europoje CŠT sistemos aprūpina šiluma apie 60 milijonų ES piliečių, o 140 milijonų žmonių gyvena miestuose, kuriuose yra bent viena tokia sistema. Pagal „Heat Roadmap Europe"(Connolly et al., 2014; Euroheat & Power, 2018; Möller et al., 2018) duomenis, jei urbanizacijos tendencija tęsis ir bus įgyvendintos tinkamos investicijos, iki 2050 m. CŠT sistemos galėtų padengti beveik pusę Europos šilumos poreikio. „Heat Road Europe" projekto rezultatai rodo, kad ateityje CŠT sistemos gali keturis kartus padidinti savo dalį visoje Europoje – nuo 13 iki beveik 50 % (Euroheat & Power, 2018).

Kai kurios CŠT sistemos dažnai yra prastai techniškai prižiūrimos. Daugelis CŠT sistemų vis dar gali pagerinti efektyvumą ir sumažinti iškastinio kuro naudojimą. Integravus į CŠT sistemą atsinaujinančią energiją, galima pagerinti bendrą energijos vartojimo efektyvumą. 2016 metais atsinaujinančių energijos šaltinių integracija į CŠT sektorių visame pasaulyje buvo nedidelė, šiuolaikinės atsinaujinančios energijos tiekimas sudaro tik 9 % visos pasaulinės paklausos (REN 21, 2018). Modernizavus CŠT sistemas iki nulinių CO_2 emisijų galima svariai prisidėti prie klimato kaitos mažinimo. CŠT įvaizdis gali būti pagerintas didinant visuomenės pasitikėjimą, kai CŠT sistemos yra veiksmingos, ekonomiškos ir jose integruota atsinaujinanti energija (biomasė, saulės ar geoterminė energija). Pagal ES energijos vartojimo efektyvumo didinimo direktyvą (Direktyva 2012/27/ES), efektyvia CŠT sistema laikoma tokia, kurioje naudojama bent 50 % atsinaujinančios energijos išteklių.

Darbo aktualumas

Šiuolaikinės CŠT sistemos koncepcija, siekiant aprūpinti šiluma vartotojus, yra šilumos tiekimas iš vieno ar kelių šilumos šaltinių vamzdynais, kuriais cirkuliuoja šilumnešis (karštas vanduo arba vandens garas). Pagal Europos Sąjungos (ES) šildymo ir šaldymo strategiją, centralizuotais šilumos tinklais (CŠT) tiekiama šiluma ES sudaro 9 %, kuri daugiausiai yra gaunama iš iškastinio kuro (dujos – 40 %, anglys – 29 %) (European Commission, 2016). Centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) tinklai yra svarbi šilumos tiekimo sistemos dalis techniniu ir organizaciniu aspektais. Siekiant pagerinti bendrą energijos vartojimo efektyvumą, galima integruoti atsinaujinančios energijos technologijas į CŠT sistemas, kurias galima modernizuoti taip, kad jos būtų efektyvios ir jose būtų beveik nulinės CO_2 dujų emisijos, o tai labai aktualu mažinant klimato kaitą. Deja, bet daugelis CŠT sistemų operatorių dar neišnaudojo realių galimybių sumažinti CO_2 dujų emisijas, kurias pasiekė, pavyzdžiui, Islandija, Švedija (Werner, 2017). Siekiant panaudoti atsinaujinačių energijos šaltinių integravimą į CŠT sektorių, reikia gana nemažai senų ir netinkamai prižiūrimų CŠT sistemų technologiškai kompleksiškai modernizuoti ar atnaujinti. Šis procesas apima šilumos vartojimo mažinimą (namų modernizavimas), šilumos paskirstymo nuostolių mažinimą (šilumnešio nuotėkio mažinimas, vamzdyno optimizavimas, temperatūros žeminimas) ir šilumos gamybos optimizavimą (šilumos šaltinių diversifikacija). Be to, esamose CŠT sistemose dažnai reikia tobulinti ir netechnologinius aspektus. Dėl šios priežasties CŠT sistemų efektyvumo didinimo procesas yra kompleksiškas ir sudėtingas. Tam reikia skirti nemažai laiko ir lėšų.

Tyrimo hipotezė

Modernizuotų daugiabučių kvartalą aprūpinanti CŠT sistema veikia neefektyviai ir nesumažinamas iškastinio kuro naudojimas. Tokiu atveju yra siūlomas sprendimas – patobulintas (ketvirtosios kartos) CŠT sistemos įdiegimas.

Tyrimo objektas

Darbo tyrimų objektas – modernizuotų daugiabučių pastatų kvartalo šilumos tiekimo sistema.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – įvertinti ketvirtosios kartos šilumos tiekimo sistemą modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale remiantis gyvavimo ciklo analizės rezultatais.

Darbo uždaviniai

1. Apžvelgti pagrindines taikomas centralizuotos šilumos tiekimo tinklų sistemas ir jų klasifikavimą.
2. Sumodeliuoti kelis trečiosios ir ketvirtosios kartos CŠT sistemos variantus modernizuojamų daugiabučių pastatų kvartale.
3. Išanalizuoti sumodeliuotą ketvirtosios ir esamos trečiosios kartos CŠT sistemų gyvavimo ciklus, bei parinkti optimalią CŠT sistemą.
4. Atlikti gautų rezultatų analizę ir pateikti išvadas.

Vladislav Šarko

Darbo planas:

Tema: **KETVIRTOSIOS KARTOS ŠILUMOS TIEKIMO SISTEMOS DIEGIMO MODERNIZUOTŲ DAUGIABUČIŲ PASTATŲ KVARTALE ANALIZĖ GYVAVIMO CIKLO POŽIŪRIU**	
Problema	Tikslas
Vis dar nemažėja energijos vartojimas ir iškastinio kuro naudojimas. Urbanizacijai augant CŠT tik plėsis. Nemažai CŠT sistemų yra senos ir netinkamai prižiūrimos. Be to, esamose CŠT sistemose dažnai reikia tobulinti ir netechnologinius aspektus.	Įvertinti ketvirtosios kartos šilumos tiekimo sistemą modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale remiantis gyvavimo ciklo analizės rezultatais.

Hipotezė: Patobulinus CŠT sistemą galima pagerinti efektyvumą ir sumažinti iškastinio kuro naudojimą.

LITERATŪROS APŽVALGA	
CENTRALIZUOTO ŠILUMOS TEIKIMO SISTEMŲ KARTOS	SKIRTINGŲ CŠT PALYGINIMAS GYVAVIMO CIKLO ANALIZĖS ATŽVILGIU

UŽDAVINIAI			
PAGRINDINIŲ TAIKOMŲ CŠT SISTEMŲ KLASIFIKAVIMO APŽVALGA	KETVIRTOSIOS KARTOS CŠT PROJEKTAVIMAS	KETVIRTOSIOS IR TREČIOSIOS KARTOS ŠILUMOS TIEKIMO SISTEMŲ GYVAVIMO CIKLAI	GAUTŲ REZULTATŲ ANALIZĖ IR IŠVADOS

TYRIMAS

REZULTATAI

IŠVADOS

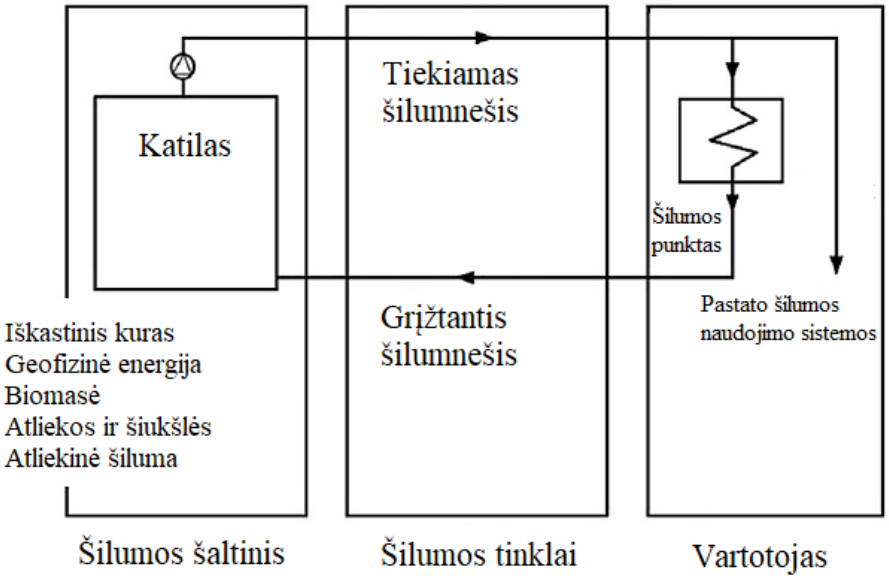
1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos

Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos yra žinomos nuo seno. Bėgant laikui kito technologijos, tačiau šilumos perdavimo principas, įprastai cirkuliuojančiu vandeniu, liko tas pats. Pastaruoju metu CŠT sistemų tobulinimu siekiama išvengti šilumos švaistymo iš centrinių elektrinių, gaminti energiją iš atliekų ar surinkti iš pramonės įmonių ir panaudoti vartotojų poreikiams.

Tradicinės centralizuoto šilumos tiekimo sistema susideda iš keturių pagrindinių elementų (Gudzinskas, Lukoševičius, Martinaitis, Tuomas, 2011) (1.1 pav.):

- Šilumos šaltinis (jame gaminama šiluma, pvz., katilinė);
- Šilumos tiekimo tinklai (jais šilumnešis iš šilumos šaltinio tiekiamas šilumos vartotojams);
- Šilumos punktai (jie įrengiami vartotojų pastatuose ir jie jungia pastato centrinę šildymo sistemą su lauko šilumos tinklais);



1.1 pav. Pagrindiniai centralizuoto šilumos tiekimo sistemos komponentai

Aprūpinimo šiluma sistemų veikimui yra reikalinga pirminė energija, kurią kilmės požiūriu sudaro:

- Iškastinis kuras (nafta, gamtinės dujos, akmens anglys, branduolinis kuras, durpės bei gaminiai iš jų);

- Geofizinė energija (saulės ir vėjo energija);
- Biomasė (įvarios kilmės ir formos mediena, augalininkystės atliekos, specialūs energiniai augalai);
- Atliekos ir šiukšlės (atskyrus organines frakcijas galima tiesiogiai deginti arba gaminti biodujas);
- Atliekinė šiluma (įmonių, pastatų apytakinių vandens aušinimo sistemų, nuotekų sistemų, su degimo produktais šalinama, vėdinimo sistemų šalinamo šilto oro, į katilines garo kondensatu negrąžinama šiluma).

1.2. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos kartos

Visuotinis atšilimas ir klimato kaitos problemos tampa vis aktualesnės, todėl svarbu yra diegti mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančias technologijas. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos (CŠT) gali padidinti pastatų šildymo efektyvumą rajonuose ir savivaldybėse, naudojant efektyvesnes šilumos gamybos ir išmetamųjų teršalų mažinimo technologijas (Soltero et al., 2018). Siekiant patenkinti energijos poreikio augimą, reikia taikyti technologijas, kurios efektyviai paskirstytų energiją. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos yra laikomos vienos efektyviausių priemonių tvariam šiluminės energijos paskirstymui, ypač kai šilumos gamybos įranga yra efektyvi ir mažai teršianti aplinką (taikant išmetamųjų teršalų mažinimo priemones). Tuo tarpu kai šilumai gaminti yra naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai (ypač biomasė, saulės ir geoterminė energija), pastebimai sumažinamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetamas kiekis.

Nuolat ieškoma būdu kaip padidinti CŠT sistemų efektyvumą, sumažinti šilumos paskirstymo nuostolius ir optimizuoti šilumos tiekimo valdymą. Skirtingas CŠT sistemų kartas galima klasifikuoti pagal jų veikimo temperatūrą, kai darbinė temperatūra yra mažinama, siekiant minimizuoti šilumos nuostolius tinkluose (Ziemele et al., 2017, 2016).

Priklausomai nuo CŠT sistemų ir naudojamų technologijų nustatymo laiko galima išskirti 4 skirtingas CŠT sistemų kartas, kaip aprašyta Lund et al., 2014:

Pirmoji karta

Pirmoji karta yra garais grįsta sistema, kurios pagrindinis kuras yra anglis. Ji pirmą kartą buvo pristatyta JAV 1880 m. ir tapo populiari kai kuriose Europos šalyse. Tai buvo naujausias technikos lygis iki 1930 m., kol nebuvo pradėti naudoti betoniniai kanalai, kurie buvo eksploatuojami esant labai aukštai temperatūrai. Šios sistemos nebuvo labai veiksmingos. Taip pat kilo problemų dėl patikimumo ir saugumo dėl karšto garo slėgio vamzdžiuose. Šiandien ši karta yra technologiškai pasenusi. Tačiau kai kurios iš šių sistemų vis dar naudojamos, pavyzdžiui, Niujorke

ar Paryžiuje. Kitos sistemos, pastatytos šiuo veikimo principu, vėliau buvo pakeistos į sekančias kartas (Lund et al., 2014).

Antroji karta

Antroji karta buvo sukurta 1930 m. ir buvo statoma iki aštuntojo dešimtmečio. Šiai kartai būdingas anglies ir naftos deginimas. Šiluma perduodama per suslėgtą karštą vandenį kaip šilumos nešėją. Sistemos paprastai turi tiekti kiek aukštesnę nei 100 °C temperatūrą per vandens vamzdžius betoniniuose kanaluose, kurie būdavo sumontuojami vietoje naudojant sunkiąją techniką. Pagrindinė šių sistemų diegimo priežastis buvo pirminės energijos taupymas, kuris atsirado naudojant kombinuotas šilumos ir elektros jėgaines. Nors ir kitose šalyse šios kartos tipinės sistemos buvo sovietinio stiliaus CŠT sistemos, kurios po Antrojo pasaulinio karo buvo pastatytos keliose Rytų Europos šalyse (Lund et al., 2014) .

Trečioji karta

Trečioji CŠT karta atsirado prėjusio šimtmečio aštuntajame dešimtmetyje (Eric & Vad, 2018). Ši karta dar vadinama „Skandinavijos CŠT technologija", nes daugelis CŠT sistemų komponentų gamintojų yra įsikūrę Skandinavijoje. Trečioji karta naudoja iš anksto izoliuotus vamzdžius, kad būtų juos lengviau įrengti ir sumažinti įrengimo bei keitimo išlaidas. Vamzdžiai yra tiesiogiai užkasti grunte ir gali veikti žemesnėje temperatūroje (paprastai žemiau 100 °C). Pagrindinis šių sistemų kūrimo stimulas buvo tiekimo saugumas gerinant energijos vartojimo efektyvumą po dviejų naftos krizių, dėl kurių buvo sutrikęs naftos tiekimas. Tokios sistemos dažniausiai naudojo anglį, gamtines dujas, biomasę ir buitines atliekas kaip energijos šaltinius. Kai kuriose sistemose energijos išteklių derinyje naudojama ir geoterminė bei saulės energija (Lund et al., 2014). Pavyzdžiui, Paryžius nuo 1970 m. namų šildymui naudoja geoterminę energiją iš 55–70 °C temperatūros šaltinio, esančio 1–2 km gilyje nuo paviršiaus.

Ketvirtoji karta

Ketvirtoji CŠT karta atsirado maždaug XXI a. pradžioje ir šiuo metu yra diegiama, t. y. 2020-2050 m. (Eric & Vad, 2018). Ketvirtoji karta yra nukreipta į kovą su klimato kaita, kai į CŠT sistemą integruojama didelė kintamos atsinaujinančios energijos dalis (Lake et al., 2017), užtikrinant lankstumą elektros energijos sistemai. Pavyzdžiui, Danijoje 2016 m. buvo diegiama 4-oji CŠT sistemų karta (Yang et al., 2016b)

Remiantis Lund et al. (2014) apžvalga, šios kartos sistemos turi atitikti šiuos požymius:

- Galimybė tiekti žemos temperatūros termofikacinį vandenį patalpų šildymui ir karštam vandeniui ruošti, esamiems ir naujiems mažai energijos naudojantiems pastatams.
- Galimybė paskirstyti šilumą tinkluose su minimaliais nuostoliais.

- Galimybė panaudoti šilumą iš žemos temperatūros šaltinių ir integruoti atsinaujinančios šilumos šaltinius, pvz., saulės ir geoterminę šilumą.
- Galimybė integruoti dalį pažangiųjų energijos sistemų (t. y. integruoti pažangūs elektros, dujų, vandens ir šilumos tinklai).
- Galimybė užtikrinti sisteminį planavimą, sąnaudų optimizavimą ir vartotojų bei tiekėjų motyvacines priemones, taip pat strategines investicijas, susijusias su perėjimu į tvarias energetikos sistemas.

Lyginant su ankstesnėmis CŠT sistemų kartomis, 4-osios kartos CŠT sistemų šilumnešio temperatūros yra sumažinamos iki 70 °C ir žemiau, siekiant, kad būtų padidintas sistemos energijos tiekimo efektyvumas. Potencialūs šilumos ištekliai yra atliekinė šiluma, kogeneracinės ir biomasės jėgainės, biomasės jėgainės, geoterminės ir saulės šilumos sistemos, didelės galios šilumos siurbliai, perteklinė šiluma iš vėsinimo (pvz., duomenų centrų aklimatizacija) ir kiti energijos šaltiniai. Šių energijos šaltinių ir šiluminių akumuliacinių talpų (ŠAT), įskaitant sezonines ŠAT, tikslas yra suteikti lankstumo vėjo ir saulės energijos gamybai. Pavyzdžiui, šilumos siurbliai gali būti naudojami šilumos gamybai, kai yra vėjo energijos perteklius. Todėl didelės galios šilumos siurbliai laikomi pagrindine technologija, skirta pažangioms energijos sistemoms, turinčioms didelę atsinaujinančios energijos dalį (iki 100 %). Žemos temperatūros CŠT sistemų iššūkis yra užtikrinti minimalią karšto buitinio vandens temperatūrą, kad būtų išvengta *Legionella* bakterijų atsiradimo (Yang et al., 2016a), galinčių keletą valandų išgyventi esant kiek aukštesnei nei 50 °C temperatūrai.

Atsižvelgiant į karšto vandens talpų dydį ir higienos reikalavimus, gali tekti nuolat arba bent laikinai palaikyti karšto vandens temperatūrą 60 °C. Tai reikalauja šiek tiek didesnės paduodamos temperatūros šilumos šaltinyje. Vis dėl to, yra galimų sprendimų, kad būtų užtikrintas 60 °C temperatūros karšto vandens tiekimas, net jei CŠT tinklo paduodamo srauto temperatūra yra žemesnė.

Penktoji karta

Aukštos temperatūros CŠT sistemose yra dideli šilumos nuostoliai bei didelės įrengimo išlaidos. Vasarą, kai tokios sistemos veikia tik karšto vandens poreikiui patenkti, šilumos nuostoliai gali siekti apie 30 % dėl ilgai trunkančio vandens sulaikymo tinkle. Tradicinės aukšos temperatūros CŠT sistemos ekonominis pelningumas nukrenta, kai modernizavus pastatus sumažėja šilumos poreikis (Prando et al., 2015). Todėl vis aktualesni tampa tyrimai, kuriuose dėmesys yra skiriamas 4-osios arba 5-osios kartos CŠT sistemoms (Jimenez-Navarro et al., 2020). Jose pasiekiamas didelis CŠT sistemos efektyvumas, esant žemos temperatūros rėžimams (Buffa et al., 2019). Nepaisant to, kad Lund et al. (2014) teigia, kad 4-osios kartos CŠT sistemos yra perspektyvios atsinaujinačių energijos išteklių integravimui į CŠT, tačiau 4-osios kartos CŠT sistemos negali tais pačiais

vamzdžiais vienu metu teikti šildymo ir vėsinimo paslaugų skirtingiems pastatams. Tai yra 5-osios kartos CŠT sistemos iššūkis. 5-osios kartos CŠT sistemos yra pradiniame plėtros etape, o kai kuriose Europos šalyse (Vokietija, Šveicarija) jos pradėtos naudoti kaip bandomieji projektai. 5-osios kartos CŠT sistemos leidžia laisvai kisti temperatūrai tinkle ir eksploatuoti beveik neribotus vietinius šilumos šaltinius. Pagrindiniai 5-osios kartos pranašumai, lyginant su 4-osios kartos CŠT sistema, yra: paskirstymo temperatūra yra artima žemės temperatūrai (t. y. neutrali temperatūra šilumos nuostolių požiūriu), galimybė dirbti šildymo ar vėsinimo rėžimu nepriklausomai nuo tinklo temperatūros, dvikryptės ir decentralizuotos energijos srautai (Buffa et al., 2019). Vokietijos miestuose 5-osios kartos CŠT sistemų darbinės temperatūros yra: Fischerbach darbinė temperatūra yra 0–25 °C, Wüstenrot darbinė temperatūra yra 5–15 °C, o Nümbrecht darbinė temperatūra yra -5°–20 °C (Buffa et al., 2019). 5-osios kartos CŠT technologija iš esmės yra išmaniųjų šilumos tinklų koncepcija (Stănişteanu, 2017). To priežastis tai hibridinis sujungimas tarp elektros ir šiluminės energijos sistemų išmanaus sujungimo. Dviejų krypčių žemos temperatūros tinklai yra nauja koncepcija, žadanti efektyvesnį pastatų šildymą ir vėsinimą. Ši nauda remiasi teorinias tyrinėjimais, o bandomieji projektai rodo, kad ši koncepcija suteikia gerų rezultatų, jei šildymo ir vėsinimo poreikiai yra skirtingi. Tačiau kol kas yra neįmanoma kiekybiškai įvertinti naudos, lyginant su kitomis CŠT sistemos kartomis (Bünning et al., 2018). Kadangi 5-osios kartos CŠT sistemos yra nauja ir neištirta technologija, nėra jokių techninių standartų, bei žinių apie šios sistemos valdymą ar optimizavimą.

CŠT sistemos turi stiprų techninį ir ekonominį potencialą ir yra perspektyvios kuriant ateities CŠT (Lund et al., 2018, 2020; Nowak-Ocłoń & Ocłoń, 2020). Taip pat naujausių kartų tinklus lengviau yra integruoti į išmaniąsias energijos sistemas (Ziemele et al., 2016). Diegiant naujiausių kartų tinklus reikia atsižvelgti ir į pastatų energijos poreikius, bei vidaus įrangą (pavyzdžiui, radiatorius), kad vartotojų poreikiai būtų patenkinti. Šiuo metu plačausiai yra įrengtos trečiosios kartos CŠT sistemos. Tikimasi, kad maksimalus 4-osios kartos CŠT sistemos įrengimas vyks 2020–2050 m. Vis aktualesni tampa tyrimai, kuriuose dėmesys yra skiriamas 4-osios arba 5-osios kartos CŠT sistemoms. Dėl sumažėjusios darbinės temperatūros sumažėja šilumos gradientas tarp šilumą perduodančio šilumnešio ir aplinkos, todėl reikia atsižvelgti į izoliacijos reikalavimus. Energijos vartojimo efektyvumo požiūriu žemos temperatūros centralizuoto šilumos tiekimo tinklai kelia vis didesnį susidomėjimą ir skatina šių sistemų mokslinius tyrimus.

1.3. Centralizuotas šilumos tiekimas Europoje

Europos Sąjunga siekia sumažinti iškastinio kuro importą ir naudojimą, ne tik siekiant aplinkosauginių tikslų, tačiau ir siekiant apsisaugoti nuo geopolitinių konfliktų (Buffa et al., 2019). Šiuo metu yra apie 6000 CŠT sistemų Europoje, kurios tenkina apie 9 % Europos šilumos paklausos, todėl CŠT plėtimosi potencialas vis dar yra didelis (Leoni et al., 2020). Pastaraisiais dešimtmečiais į centralizuoto šilumos tiekimo sistemas yra integruojama atsinaujinanti energija: geoterminė energija, saulės energija. Taip yra pakeičiamas įprastinis iškastinio kuro suteikiamos šilumos tiekimas įvairiems vartotojų poreikiams, sumažinant neigiamą poveikį aplinkai. Skirtingos šalys šią įdėja įgyvendina skirtingu lygmeniu: ekonomiškai stipresnėse šalyse ši idėja yra įgyvendinama sparčiau ir platesniais mastais nei ekonomiškai silpnose šalyse (Werner, 2017). Kai kuriose šalyse mažesnis neigiamas poveikis aplinkai ar klimatui yra vertinamas įtraukiant daromos žalos sąnaudas įtraukiant į mokesčius ar rinkliavas. Taigi centralizuoti šilumos tinklai yra įdiegti skirtingomis sąlygomis skirtinguose Europos regionuose.

Šiaurės ir Vidurio Europos šalyse įdiegtos CŠT sistemos yra techniškai panašios. Juose vyrauja 120–80 °C/ 50–40 °C temperatūros. Vystantis technologijoms planuojamas ir plečiamas CŠT veikimas, esant žemos temperatūros rėžimui, pavyzdžiui, 70 °C/ 40 °C arba 60 °C/ 30 °C. CŠT sistemos veikia esant kintančioms temperatūroms ir kintantiems srautams. Mažesnių diametrų vamzdžiams naudojami polietileno vamzdžiai, kurie iš anksto yra izoliuojami. Atsinaujinanti energija iš biomasės, šilumos siurblių, saulės kolektorių yra aktyviai integruojama į CŠT sistemas.Viena iš labiausiai pažengusių šalių pagal CŠT sektoriaus plėtrą yra Danija. Kopenhagoje daugiau kaip 98 % namų ūkių yra šildomi centralizuotai tiekiant šilumą, nes buvo sukurtos ekonomiškai palankios sąlygos namų ūkiams prisijungti prie viešųjų CŠT sistemų. Daug dėmesio yra skiriama energijos vartojimo efektyvumui didinti, vamzdynų tinklų šilumos nuostolių mažinimui, neigiamo poveikio aplinkai mažinimui (Connolly et al., 2016; Østergaard & Svendsen, 2016).

Palyginti su Šiaurės ir Vidurio Europos šalimis, Rytų Europos šalyse CŠT sistemos buvo sukurtos skirtingomis aplinkybėmis. Rytų Europoje CŠT sistemos prarado daug pajamų, kai sunkioji pramonė, naudojanti aukštos temperatūros karštą vandenį buvo uždaryta arba pakeitė veiklą, po istorinių įvykių. Tokios CŠT sistemos galėjo būti projektuojamos esant 150 °C/ 70 °C darbinėms temperatūroms, o dabar CŠT sistemos veikia prie daug žemesnių temperatūrų. Taip pat nemažai problemų galutiniams vartotojams kyla ir su apmokėjimu už šilumą, kai CŠT veikia su terminiu disbalansu, t. y. dalis pastatų yra tinkamai aprūpinami šiluma, o dalis nukenčia dėl per mažos vidaus kambarių temperatūros. Kadangi finansiniai ištekliai yra riboti, šiuolaikinių

technologijų diegimui reikia ilgesnio laiko ir CŠT vystymasis vyksta lėčiau nei Šiaurės ar Vidurio Eurpos šalyse. O kartais tenka susidurti ir su neigiamu požiūriu į modernizavimą, todėl reikia investuoti ir į vartotojų švietimą, diegiamų naujų technologijų tiekiamų privalumų išryškinimui.

2018 metų vasarą LR Seimas patvirtino Nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją, kuriame šilumos ūkio sektoriui keliami tikslai iki 2050 metų iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių pagaminta centralizuotai tiekiama šiluma sudarys iki 100 proc. ir ne mažiau kaip 90 proc. miestuose esančių pastatų bus aprūpinami šiluma iš CŠT sistemų. Šiuo metu centralizuoto šilumos tiekimo sistemomis šiluma aprūpinama apie 53 proc., o miestuose – apie 70–80 proc. visų pastatų (Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija, 2018). Vyriausybė pritarė Energetikos strategijos įgyvendinimo planui iki 2022 m., tarp numatytų priemonių artimiausiais metais planuojama parama atsinaujinančius energijos išteklius (AEI) naudojančioms technologijoms diegti, bei decentralizuotai besišildantys namų ūkiai bus skatinami ne tik keisti neekonomiškus, taršius katilus į modernesnius, bet ir jungtis prie CŠT sistemų.

Lietuvoje 2014–2020 m. ES struktūrinės paramos laikotarpiu šilumos perdavimo sistemų plėtrai ir modernizavimui jau skirta 89,5 mln. Eur lėšų. Šilumos perdavimo sistemos techninį efektyvumą charakterizuoja keli rodikliai. Svarbiausias iš jų – šilumos perdavimo nuostoliai vamzdynų sistemoje. Lietuvoje 2018 m. perduodant šilumą vartotojams prarasta apie 1300 GWh šilumos, tai sudaro 15 proc. į CŠT tinklus patiekto šilumos kiekio arba 100 GWh mažiau nei 2017 m. (Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija, 2018). Investicijos į centralizuoto šilumos tiekimo vamzdynus labai didelės, tačiau būtinos, ypač, kai pereinama į žemesnės temperatūros taupius rėžimus, o šiluma gaminama iš nebrangaus vietinio biokuro. Investicijos į vamzdynų modernizavimą ir plėtrą sukuria didžiulę socialinę-ekonominę netiesioginę naudą dėl oro taršos ir sergamumo sumažėjimo, dėl platesnio atsinaujinančio vietinio kuro naudojimo pakeičiant importuojamą iškastinį kurą, likviduojant taršias individualaus šildymo katilines ir t. t. Kadangi Lietuvos nacionalinis tikslas – iki 2050 m. gaminti šilumą neišmetant CO_2, vadinasi yra būtinas integravimas atsinaujinančių išeklių į CŠT sistemas, o tam reikia investicijų į centralizuoto šilumos tiekimo vamzdynus.

1.4. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemų tyrimai

Siekiant, kad diegiamos CŠT sistemos būtų veiksmingos, ekonomiškos ir jose būtų integruota atsinaujinanti energija reikalingi moksliniai tyrimai. Šiuo metu mokslininkai atlieka CŠT sistemų tyrimus, kuriuose dėmesys yra skiriamas 4-osios arba 5-osios kartos CŠT sistemoms.

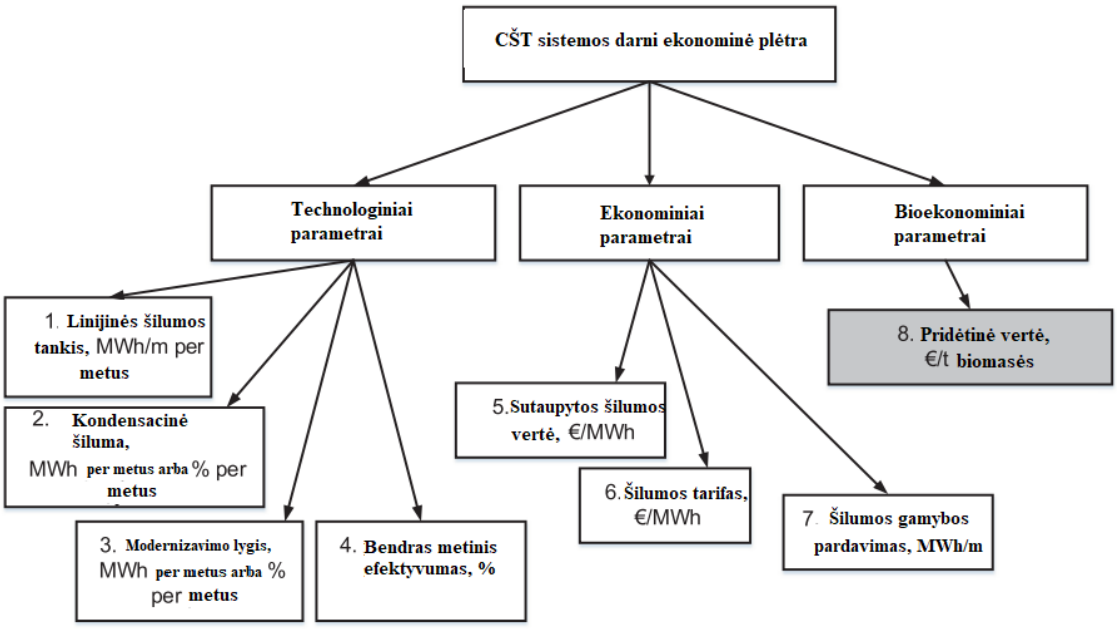
Siekiant sumažinti šilumos gamybą iš iškastinio kuro, vienas iš būdu yra naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius. Mokslininkai Soltero et al. (2018) atliko 4-osios kartos centralizuoto šilumos tiekimo sistemos techninę ir ekonominę analizę. 4-osios kartos centralizuotas šilumos tiekimas naudojant biomasę vyksta kaime. Centralizuotas šilumos tiekimo tinklas yra skirtas aprūpinti šiluma 77 gyvenamuosius namus ir aštuonis viešuosius pastatus, pakeičiant naudojamus individualius dyzelinius katilus ir elektrines šildymo sistemas. Naujos – 4-osios kartos centralizuoto šilumos tiekimo sistemos plėtra kelia iššūkį derinti žemos arba labai žemos temperatūros paskirstymo tinklo vamzdžiuose ir tiekimo temperatūros esamuose pastatuose naudojimą. Soltero et al. (2018) straipsnyje centralizuoto šilumos tiekimo sistemos, pagrįstos trečiosios ir ketvirtosios kartos centralizuoto šilumos tiekimo tinklų kriterijais, yra įvertintos pagal projektavimo sąlygas, veikimo diapazonus, kintančios temperatūros veikimo poveikį, energijos efektyvumą ir investicijas bei eksploatavimo sąnaudas. Skirtingų variantų vidinė grąžos norma svyruoja nuo 6,55 %, kai yra įdiegtas trečiosios kartos CŠT, iki 7,46 %, kai yra įdiegtas ketvirtosios kartos CŠT. Tyrimo rezultatai gauti atlikus modeliavimą su MatLAb programine įranga. Pagrindiniai nagrinėti parametrai ir gauti rezultatai pateikti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Pagrindiniai nagrinėtų centralizuoto šilumos tiekimo sistemų parametrai ir rezultatai (Soltero et al., 2018)

Parametras	3-iosios kartos CŠT sistema – vidutinės temperatūros tinklas	4-osios kartos CŠT sistema – žemos temperatūros tinklas
Tiekimo temperatūra, °C	85	55
Grįžtamoji temperatūra, °C	60	25
Debitas, m^3/h	44,00	36,10
Vidutinis paskirstymo vamzdžių skersmuo, mm	101,27	89,72
Slėgio nuostoliai, bar	7,141	8,699
Bendras šilumos poreikis, MWh	4038	3845
Metiniai šilumos nuostoliai, MWh	355,6	161,9
Metinė biomasės kaina, Eur	121145	115335
Ekvivalentiškos darbo valandos, val.	2115	2014
Metinės eksploatavimo sąnaudos, Eur	136741	13200
Atsipirkimas, metais	15,34	13,16
Vidinė grąžos norma, %	6,55	7,46

3-iosios kartos CŠT sistemos tiekiamo šilumnešio temperatūra buvo 85 °C, o grįžtamo šilumnešio – 60 °C. 4-osios kartos CŠT sistemos darbinės temperatūros yra žemesnės: tiekiamo šilumnešio temperatūra – 55 °C, o grįžtamo šilumnešio – 25 °C. Pastatuose yra šiluma tiekiama per karšto vandens radiatorius. Buvo padaryta prielaida, kad nagrinėjamų CŠT sistemų gyvavimo ciklas trunka 25 metus. Šilumos tiekimo tinklo ilgis 1504 metrai. Kiekvienos kartos CŠT sistemoje buvo gauti skirtingi šilumos nuostolių rezultatai. Minimalūs tinklo šilumos nuostoliai vidutinės temperatūros tinkle (3-iosios kartos) buvo maždaug dvigubai didesni nei žemos temperatūros tinkle (4-osios kartos): atitinkamai 4,74 % ir 2,63 %. Maksimalūs šilumos nuostoliai susidaro, kai šilumos poreikis yra minimalus: 19,52 % vidutinės temperatūros tinkle ir 7,22 % žemos temperatūros tinkle. Šie skirtumai susidaro dėl skirtingų darbinių temperatūrų. Straipsnyje pateikti rezultatai ir analizė rodo susidomėjimą ir iššūkius kitai žemos temperatūros CŠT kartai analizuojamoje kaimo vietovėje.

Mokslininkai Ziemele et al. (2018) analizavo rodiklius, apibūdinančius bendrą centralizuoto šilumos tiekimo sistemos efektyvumą ir vystymo link 4-osios kartos CŠT sistemos apribojimus, remiantis Latvijos pavyzdžiu. Analizės objektas buvo centraliuzoto šilumos tiekimo įmonė Jelgavoje, kuri turi įdegtą modernią biomasės kombinuotą šilumos ir elektros įrenginį „Fortum“. Išanalizuoti centralizuotų šilumos tinklų plėtros scenarijai rodo, kad siekiant visų suinteresuotų šalių teigiamo įvertinimo ir CŠT modernizavimo iki 4-osios CŠT kartos, būtina suderinti visus technologinius, ekonominius, aplinkos ir socialinius klausimus. 1.2 pav. yra pateikiama mokslininkų siūloma metodiką, kuriuos rodiklius reikia įvertinti



1.2 pav. Rodikliai, kuriuos reikia įvertinti, vystant 4-osios kartos CŠT sistemą (Ziemele et al., 2018)

Pagrindinis tyrimo tikslas buvo nustatyti ekonomiškiausią įmanomą sprendimą, esamos CŠT vystymą iki 4-osios kartos CŠT sistemos, derinant atskiras CŠT sistemos dalis: šilumos šaltinus, tinklus ir galutinius vartotojus. Pokyčiai atskirose sistemos dalyse turi įtakos bendram CŠT sistemos vystymui, pavyzdžiui nagrinėjami scenarijai, kai vartotojai modernizuoja savo pastatus, ir bandras šilumos suvartojimas mažėja 10%, 30% ir 50%. Taip pat nustatyta, kad vystatnt 4-osios kartos CŠT sistemą galima integruoti atsinaujinačios energijos išteklius (saulės šilumos, geoterminės šilumos, perteklinės šilumos) ir taip padidinti CŠT sistemos efektyvumą. Vienas iš svarbių ekonominių rodiklių yra šilumos tarifas. Nustatyta, kad šilumos tarifo mažinimas nėra geras sprendimas centralizuoto šilumos tiekimo įmonei, nes ne tik mažėja įmones gaunama nauda, bet ir mažėja investicijų galimybės į pokyčius. Taip pat sumažėjęs šilumos tarifas mažina ir vartotojų norą įnvestuoti į pastatų modernizavimą, todėl ilgėja išlaidų kompensavimo trukmė. Analizuoti galimi šios įmonės plėtros scenarijai, pereinant prie 4-osios kartos CŠT sistemos. Scenarijai lyginti remiantis technologiniais ir ekonominiais rodikliais, darnaus vystymosi kontekste.

Mokslininkai Volkova et al. (2018) analizavo kliūtis, su kuriomis susiduriama modernizuojant CŠT į 4-osios kartos CŠT. 4-osios kartos CŠT sistema yra aktuali tema energetikos srityje, nes pasižymi šilumos tiekimo vartotojams tvarumu ir efektyvumu. Pagrindiniai 4-osios kartos CŠT sistemos privalumai yra maži šilumos paskirstymo nuostoliai, žemas temperatūrinis rėžimas, mažos atsinaujinačios, perdirbtos arba perteklinės energijos sąnaudos, bei aukštas CŠT sistemos efektyvumas. Šilumos gamybos etape kliūčių beveik nėra: tiekiamo šilumnešio temperatūra yra sumažinama, o grįžtamojo šilumnešio temperatūra išlieka arba tokia pati arba šiek tiek sumažinta. Pagrindinės kliūtys atsiranda pas vartotoją. Atlikus pastato modernizavimą, sumažėja šilumos suvartojimas. Vartotojo šildymo prietaisai dažnai suprojektuoti veikti aukštose temperatūrose - 80°C ir šilumos mainų paviršius būna mažo ploto. Todėl sumažinus darbines temperatūras, reikia didinti šilumos mainų plotą, t. y. naudoti didesnio dydžio radiatorius. Kita kliūtis – naudojamos karšto vandens ruošimo sistemos. Taikant žemos temperatūros CŠTsistemą, daugiabučiuose yra rekomenduojama karšto vandens ruošimo sistemą atskirti, pavyzdžiui naudoti momentinius karšto vandens šilumokaičius. Be to temperatūra žemesnė nei 50°C sudaro sąlygas *Legionella* gyvavimui. Taip pat yra pasiūlytas mažo karšto vandens rezervuaro įrengimas, tačiau šis sprendimas reikalauja iš vartotojo papildomų investicijų, todėl įmanomas jeigu vartotojas yra labai motyvuotas. Dar viena svarbi kliūtis 4-osios kartos CŠT vystymui buvo įmonių ir vartotojų finansiniai interesai, todėl reikia nacionalinio lygmens sprendimų, kad būtų pasiektas kompromisas. 4-osios kartos CŠT sistemos diegimo metodikoje nagrinėjami pagrindiniai rodikliai: šilumnešio tiekimo ir grąžinimo vidutinės temperatūros, efektyvaus vidutinio šilumos perdavimo koeficiento reikšmė, metinės atsinaujinačios energijos kiekis šilumos gamybai, CO_2 emisijos. Taikant didelio

masto CŠT sistemą Taline (Estija), atsinaujinačios energijos dalis ir tinklo sąlygos, tiekimo ir grąžinimo temperatūros, parodė didžiausią patobulinimo potencialą ir turėjo didžiausią poveikį CŠT sistemų perėjimui.

Mokslininkai Leoni et al. (2020) kūrė inovatyvius verslo modelius, kurie skirti grįžtančio šilumnešio temperatūros mažinimui centralizuoto šilumos tiekimo sistemose. Temperatūros mažinimas vaidina pagrindinį vaidmenį didinant esamų Europos CŠT sistemų energijos vartojimo efektyvumą, leidžiant labiau ir ekonomiškiau integruoti tvarius žemos temperatūros režimus. Esant žemoms temperatūroms esamose CŠT sistemose pereinama prie 4-osios kartos CŠT sistemų. Ypatingas dėmesys yra skiriamas grįžtančio šilumnešio temperatūros sumažinimui. Pateiktos išvados ir rekomendacijos yra skirtos Austrijos komunalinėms įmonėms, tačiau yra neatmetama, kad jos tiks ir kitų šalių komunalinėms įmonėms. Išskirti šie žemesnės temperatūros privalumai:

- Didesnis šilumos paskirstymo efektyvumas (šilumos nuostoliai dabartiniuose tinkluose siekia 8-15% miestuose ir išauga iki 35% mažai apgyvendintose vietovėse).
- Didesnis energijos gamybos iš termofikacinių kogeneracinių įrenginių efektyvumas.
- Naujos galimybės įvairioms šilumos gamybos apimtims, nes vietinius žemos temperatūros šaltinius (pavyzdžiui, atliekų šilumą, saulės šilumą, geoterminę šilumą) galima integruoti ekonomiškiausiu būdu.
- Padidėjusi talpa šilumos saugyklose (su vandeniu).

  Išskirti žemesnės temperatūros CŠT sistemos trūkumai-kliūtys:
- Techniniai. Tiekiamoji šilumnešio temperatūra turi atitikti pastatų šildymo sistemų reikalavimus (pastatų įrenginiai nėra skirti žemoms temperatūroms). Taip pat trūksta stebėjimo duomenų siekiant efektyviai nustatyti gedimus, kurie padidina grįžtamojo šilumnešio temperatūrą.
- Ekonominiai. Maži finansiniai ištekliai CŠT sistemai optimizuoti.
- Socialiniai. Visuomenės neigiamas požiūris, susijęs su didėsiančiomis šilumos kainomis,skirtomis kompensuoti CŠT sistemos optimizavimo kaštus.
- Teisiniai. Būstų savininkams neleidžiama dalintis optimizavimo išlaidų su nuomininkais.

Įprastai pereinant prie žemesnės temperatūros CŠT sistemų, pastatuose gali būti įrengiami papildomi arba didesni radiatoriai, taip pat įrengiamas grindinis šildymas, karšto vandens ruošimui namuose naudojami momentiniai šilumokaičiai. Būtina atkreipti dėmesį, kad visi pastatai, kurie yra aprūpinami žemesnės temperatūros CŠT sistema, turi būti pritaikyti jai. Jeigu pastatai nėra pritaikyti žemesnės temeratūros CŠT sistemai, šilumos tiekimo tinklo temperatūra negali būti sumažinama.

Sumažinus grįžtančio šilumnešio temperatūrą, sumažinami šilumos nuostoliai vamzdynuose, bei pagerinamas CŠT sistemos efektyvumas. Taip pat kuriami būdai sudominti vartotojus, kad būtų diegiamos žemos temperatūros CŠT: motyvaciniai tarifai, periodiniai pastatų auditai, specialios sutartys, konsultavimo paslaugos, specialistų mokymai. Taigi svarbu yra ne tik techniškai išmanyti techninius perėjimo prie 4-osios kartos CŠT sistemos žingsnius, tačiau ir suprasti, kad sėkmingam įgyvendinimui reikia šilumos vartotojų švietimo, paskatinimo ir abipusio šilumos tiekėjų ir šilumos vartotojų bendradarbiavimo.

Pagrindinis žemesnės paskirstymo temperatūros CŠT sistemose diegimas yra mažesnės šilumos tiekimo išlaidos (dėl žemų temperatūrų). Mokslininkai Averfalk & Werner (2020) įvertino šilumos tiekimo sąnaudas esant skirtingos temperatūros CŠT sistemoms. Nustatyta, kad mažesni šilumos paskirstymo nuostoliai sudaro nedidelę visų išlaidų sumažinimo dalį. Pagrindinė kliūtis esamose CŠT sistemose integruojant atsinaujinančios ar perdirbtos šilumos tiekimą yra aukšta paskirstymo temperatūra. Žemos temperatūros režimas CŠT sistemose ne tik palengvina atsinaujinačių arba perdirbtos šilumos integravimą CŠT sistemose, bet ir padidina tokių sistemų pelningumą.

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Nuolat ieškoma būdų kaip padidinti CŠT sistemų efektyvumą, sumažinti šilumos paskirtsymo nuostolius ir optimizuoti jų valdymą. Modernizuojant pastatus auga jų energinis efektyvumas, mažinamas šilumos vartojimas, tačiau išlieka (nėra sumažinami) šilumos paskirstymo nuostoliai. Siekiant pagerinti bendro energijos vartojimo efektyvumo rezultatus, galima integruoti atsinaujinančią energiją į šilumos tinkus, o tam reikia modernizuoti centralizuotų šilumos tinklų sistemas. Siekiant padidinti CŠT sistemų efektyvumą ir sumažinti iškastinio kuro naudojimą turi būti diegiamos naujesnės kartos (bent 4-osios kartos) CŠT sistemos, kurios klasifikuojamos pagal veikimo temperatūrą. 4-osios kartos CŠT sistemos pasižymi žemomis šilumnešio temperatūromis (iki 70 °C) ir yra ypač efektyvios derinant su pastatų modernizavimu, arba atsinaujinačių energijos išteklių integravimu į CŠT sistemą. 5-osios kartos CŠT sistemos yra pradiniame plėtros etape. Kol kas yra neįmanoma kiekybiškai įvertinti 5-osios kartos CŠT sistemos naudos, palyginti su kitomis CŠT sistemos kartomis. Kadangi 5-osios kartos CŠT sistemos yra nauja ir neištirta technologija, nėra jokių techninių standartų, bei žinių apie šios sistemos valdymą ar optimizavimą. Vis aktualesni tyrimai, kuriuose dėmesys yra skiriamas 4-osios arba 5-osios kartos CŠT sistemoms.

Šiaurės ir Vidurio Europos šalyse naujesnių kartų CŠT sistemų diegimo darbai vyksta sparčiau negu Rytų Europos šalyse, kuriose finansiniai ištekliai yra riboti ir istorinės CŠT sistemų

diegimo aplinkybės skyrėsi nuo Šiaurės ir Vidurio Europos šalių. Lietuvos Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijoje šilumos ūkio sektoriui keliamas tikslas – iki 2050 metų iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių pagaminta centralizuotai tiekiama šiluma turi sudaryti iki 100 proc. ir ne mažiau kaip 90 proc. miestuose esančių pastatų bus aprūpinami šiluma iš CŠT sistemų. Šiuo metu centralizuoto šilumos tiekimo sistemomis šiluma aprūpinama apie 53 proc., o miestuose – apie 70–80 proc. visų pastatų. Investicijos į centralizuoto šilumos tiekimo vamzdynus labai didelės, tačiau būtinos, ypač, kai pereinama į žemesnės temperatūros taupius režimus. Kadangi Lietuvos nacionalinis tikslas – iki 2050 m. gaminti šilumą neišmetant CO_2, vadinasi yra būtinas integravimas atsinaujinančių išeklių į CŠT sistemas, todėl reikia investicijų centralizuoto šilumos tiekimo vamzdynams modernizuoti.

Naujausiuose moksliniuose tyrimuose analizuojamos 4-osios kartos centralizuoto šilumos tiekimo sistemos, jų privalumai, remiantis technologiniais ir ekonominiais aspektais, modeliuojamos ir lyginamos 3-osios kartos CŠT sistemos su 4-osios kartos CŠT sistemomis, vertinamos šilumos tiekimo sąnaudos.

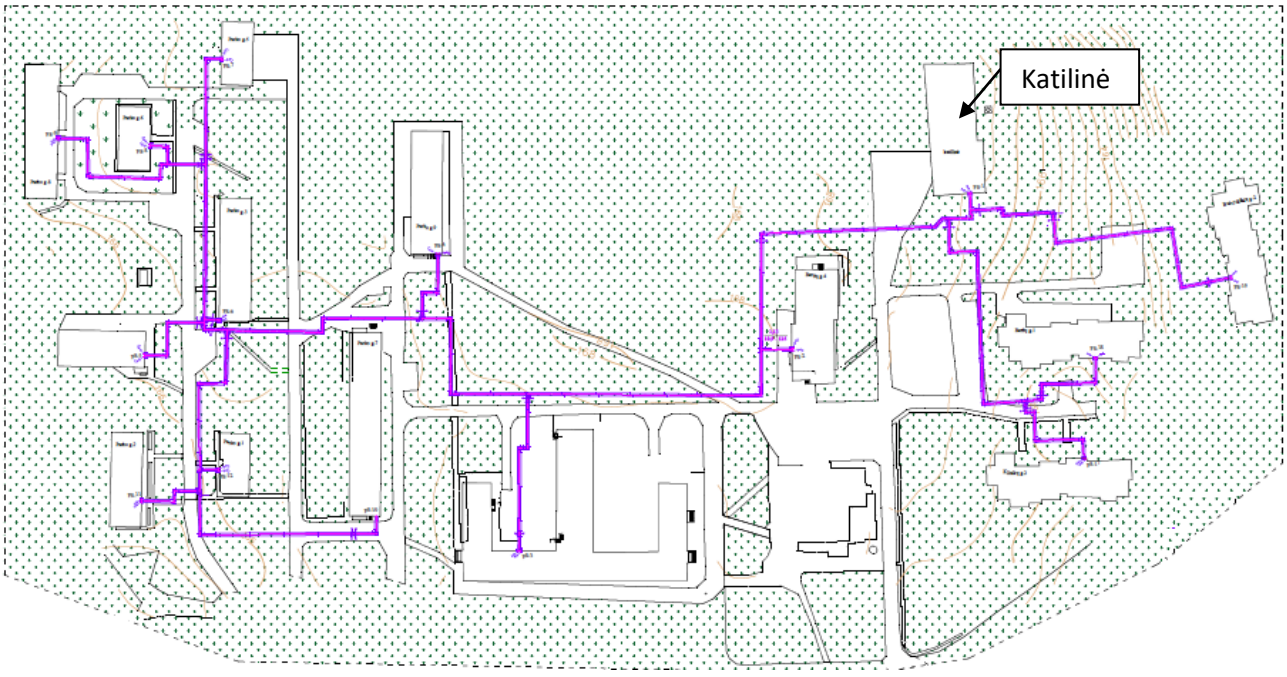
2. TYRIMO METODIKA

2.1. Tyrimo objektas

Magistro darbe analizuojamas modernizuotų daugiabučių pastatų kvartalas, esantis Buivydiškių k., Zujūnų sen., Vilniaus rajone. Modernizuotame daugiabučių pastatų kvartale yra įdiegta trečiosios kartos CŠT sistema. Modernizuotų daugiabučių kvartalą šiluma aprūpinančioje katilinėje deginamas iškastinis kuras – gamtinės dujos.

2.2. Tyrimo objekto esami sprendimai

Tiriamo objekto CŠT tinklo vamzdynų ilgis pagal planą (2.1 pav.) – 1182,9 m, vamzdynų skersmenys (be izoliacinio sluoksnio) magistraliniuose ruožuose svyruoja nuo 50 iki 150 mm, o atšakose nuo 25 iki 80 mm, metinis kvartalo vartotojų šilumos poreikis – 29,100 MWh, tiekiamo šilumnešio temperatūra yra 80 ^{o}C, o grįžtamo – 65 ^{o}C, šilumnešio atitinkamai – 5,0 bar ir 2,5 bar. Katilinėje yra įrengti du dujiniai katilai, kuriems dujos tiekiamos iš miesto dujų skirstymo tinklo. Katilų bendra galia yra 4,86 MW.



2.1 pav. Skirstomųjų šilumos tinklų generalinis planas

Kvartalą sudaro 15 pastatų, kurių bendras šildomas plotas yra 30542 m^2. Pastatų paskitis: daugiabučiai gyvenamieji namai ir mokykla. Šilumos tinklų modernizavimas buvo įvykdytas 2012 m. (antros kartos CŠT tinklai pakeisti į mažiau nuostolių turinčius trečiosios kartos tinklus – pramoniniu būdu izoliuotus vamzdžius (2.2. pav.) paklotus bekanaliu būdu).



2.2 pav. Šilumos tinklų iš anksto izoliuotas vamzdis

Pastatų aukštingumas svyruoja nuo 2 iki 5 aukštų. Pastatų statybos metai 1964–1980 m. Pastatų modernizavimas vyko 2013–2019 m. Pastatų energinis naudingumas pagerintas nuo E iki B klasės.

2.3. Tyrimo metodai

Baigiamojo darbo objekte, modernizuotame daugiabučių pastatų kvartale, įdiegta trečiosios kartos centralizuota šilumos tiekimo sistema yra keičiama į ketvirtosios kartos centralizuotą šilumos tiekimo sistemą. Atliekami sprendimų taikymo tyrimai, remiantis gyvavimo ciklo trukmės kriterijais. Tyrimui naudojamas metodas: gyvavimo ciklo analizė.

Darbo tikslui pasiekti naudojamas kompiuterinio modeliavimo įrankis: „SimaPro 7.3.0“. Reikalingų duomenų surinkimui panaudota specializuotos kompiuterinės programos „SimaPro 7.3.0“ duomenų bazė Ecoinvent. Programos privalumai: palengvina gyvavimo ciklo analizę, nes nereikia atskirai rinkti ir saugoti specifinių duomenų, o rezultatus galima analizuoti pagal keletą kriterijų.

Programoje yra integruota pakankamai didelė duomenų bazė „Ecoinvent unit processes“, kurią sudaro trys dalys:

1. Projekto duomenys. Čia suvedami visi pagrindiniai analizės metu nagrinėjamo objekto duomenys. Duomenų bazėje galima sukurti daugybę projektų.

2. Duomenų bibliotekos. Susideda iš duomenų, reikalingų projektui įgyvendinti.

3. Bendrieji duomenys. Čia kaupiami duomenys apie visas bibliotekas ir projektus. Duomenų bazės išskirstytos pagal skyrius ir poskyrius.

Pagrindiniai skyriai yra šie: medžiagų transportavimas, gaminių apdirbimas, naudojimas, atliekų scenarijuje – atliekų tvarkymas.

Šiame darbe nagrinėjamos visos CŠT tinklo konstrukcinės dalys. Skaičiuojamos visos sudedamosios dalys, t. y. visi elementai ir medžiagos, kurių svoris yra nustatytas pagal gamintojų technines specifikacijas. Nagrinėjamos medžiagų gamybos, eksploatacijos, transportavimo bei sunaikinimo fazės. Gyvavimo fazių nagrinėjimo metu, kiekvienai medžiagai tenkantis išmetamų į aplinką teršalų bei pirminės energijos kiekis imami iš „SimaPro“ programos. Eksploatacijos metu numatomi periodiniai elementų keitimai. Sunaikinimo fazėje vertinama kiekviena medžiaga ir numatoma ką su ja daryti, t. y. kaip sunaikinti ar perdirbti, ir tokiu būdu sutaupyti pirminės energijos poreikį bei sumažinti išmetamų teršalų kiekį.

Darbe nustatomas: sistemos poveikis aplinkai gamybos, eksploatavimo, transportavimo ir sunaikinimo fazėse, atsižvelgiant į šiuos kriterijus:

- pirminės neatsinaujinančios energijos suvartojimas, MJ;
- ozono sluoksnio ardymas, kg CFC-11;
- vandens rūgštėjimas, kg SO_2;
- vandens telkinių eutrofikacija, kg PO_4;
- visuotinis atšilimas; kg CO_2.

2.3.1. Gyvavimo ciklo analizė

Gyvavimo ciklo analizė (GCA) (angl. *life cycle assesment*) – yra labai populiari analizė, skirta įvertinti galimas aplinkos apkrovas ir išteklius, sunaudotus kiekviename produkto ar paslaugos tiekimo grandinės etape. Nors šios analizės naudojimas daugiausiai susijęs su gaminių poveikio aplinkai įvertinimu, tačiau yra įvertinamas visas produkto gyvavimo ciklas – nuo

atsiradimo iki sunaikinimo. Gyvavimo ciko analizės metu yra vertinamos keturios pagrindinės fazės: gamyba, eksploatavimas, transportavimas, sunaikinimas-perdirbimas.

Kadangi atliekant GCA renkami duomenys apie visus procesus, šio metodo taikymas reiškia daug laiko užimantį procesą, reikalaujantį daug įvesties duomenų. GCA pasižymi dideliu tikslumu ir gali pateikti svarbią informaciją asmenims, suinteresuotiems pagerinti aplinkosauginį veiksmingumą. GCA metodika buvo sukurta 1990-taisias metais ir vis dar tobulinama. Motodikos sukūrimas nulėmė, kad Tarptautinė standartizacijos organizacija (ISO) standartizavo ISO-14040 seriją. Šiuose standartuose išskiriami šie žingsniai GCA analizės žingsniai:

1. Tikslo apibrėžimas ir taikymo sritis. Aprašomas, apibūdinamas produktas, procesas ar veikla. Nustatomas kontektas, kuriame atliekamas GCA vertinimas, bei nurodomos ribos (pavyzdžiui, laiko trukmė) ir poveikis aplinkai, kuriuos reikia įvertinti.
2. Inventorizacijos analizė. Identifikuojamas ir kiekybiškai įvertinamas energijos, vandens ir medžiagų sunaudojimas, bei išmetimas į aplinką (pavyzdžiui, atliekų pašalinimas, nuotekų susidarymas ir išleidimas, CO_2 emisijos į orą).
3. Poveikio vertinimas. Nustatomas ir įvertinamas (galimas) poveikis aplinkai, kurį sukelia ankstesniame etape išanalizuoti energijos, vandens, medžiagų naudojimo išmetimai į aplinką.
4. Interpretacija. Aptariami inventorizacijos analizės ir poveikio vertinimo rezultatai, daromos išvados ir pateikiamos rekomendacijos.

Atliekant GCA galima:

- Sukurti sistemingą su konkrečiu produktu susijusių padarinių aplinkai įvertinimą.
- Išanalizuoti aplinkos apsaugos aspektus, susijusius su vienu ar keliais konkrečiais produktais ar procesais, kad suinteresuotieji subjektai (valstybė, bendruomenė ir kt.) galėtų priimti teisingus sprendimus.
- Išanalizuoti kiekybinus išmetimus į aplinką, kiekviename produkto ar proceso gyvavimo etape.
- Įvertinti medžiagų vartojimo, medžiagų išmetimo į aplinką poveikį nustatystose tyrimo ribose (pavyzdžiui, vetovėje, regione, pasaulyje).
- Palyginti du ir daugiau konkurencingus produktus ar procesus, nustatyti jų konkretų poveikį sveikatai ir ekologijai.

GCA yra svarbi priemonė atliekant sprendimų priėmimą. Ji naudojama aplinkosauginiame kontekste siekiant nustatyti alternatyvas, turinčias mažesnį neigiamą poveikį aplinkai. Jos holistinis požiūris, apimantis paslaugos ar produkto gyvavimo ciklą, sumažina riziką, kad bus vykdoma

veikla, daranti didelį neigiamą poveikį aplinkai. Vis dėl to, priimami sprendimai turėtų suderinti GCA teikiamą informaciją apie aplinką su technologiniais, socialiniais ir ekonominiais aspektais.

2.4. Tyrimo eiga

Siekiant, kad būtų padidintas CŠT sistemos energijos tiekimo efektyvumas, lyginant su ankstesnėmis CŠT sistemos kartomis, 4-osios kartos CŠT sistemos šilumnešio temperatūros yra sumažinamos iki 70 °C ir žemiau. Todėl buvo pasirinkta įvertinti 3-iosios kartos CŠT sistemą, sumažinus joje šilumnešio temperatūras ir neinvestuojant daug lėšų į tinklų pakeitimą. Taip pat įvertintas CŠT sistemos tinklų perėjimas iš esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos į 4-osos kartos CŠT sistemą.

CŠT sistemų analizei buvo sukurti tris modeliai:

1. Esama 3-iosios kartos CŠT sistema po pastatų modernizavimo (iki B klasės, T_1 – 80 ^oC, T_2 – 65 ^oC);
2. Esama 3-iosios kartos CŠT sistema po pastatų modernizavimo (iki B klasės, T_1 – 70 ^oC, T_2 – 55 ^oC);
3. Modeliuojama 4-osios kartos CŠT sistema su modernizuotų pastatų kvartalu (B klasė, T_1 – 70 ^oC, T_2 – 55 ^oC).

CŠT sistemų analizei bei modeliavimui buvo priimtos tokios prielaidos:

- Per 30 metų laikotarpį įrenginių parametrai, eksploatavimo ypatumai, sistemų charakteristikos ir klimato sąlygos nekinta;
- Duomenys, kurių gauti nepavyko, buvo pasirinkti racionaliai pagal analogiškų sistemų ir elementų rodiklius arba pagal kitų autorių atliktus tyrimus;
- Nagrinėjamų įrenginių gyvavimo laikotarpis nustatytas 30 metų;
- Gaminant medžiagas nevertinami ko-produktai;
- Transportavimas nagrinėjamas visose fazėse;
- Skaičiuojant transportavimą atstumai apytiksliai nustatomi iki medžiagų tiekimo ir sunaikinimo vietų;
- Sistemų elementai turintys mažiau nei 1 % įrenginio masės nevertinami dėl mažos įtakos.

Pirmo modelio apibūdinimas. Esamas 3-osios kartos CŠT tinklas ir modernizuoti pastatai (iki B klasės). Šilumnešio temperatūra T_1=80 ^oC, T_2=65 ^oC. Tinklus sudaro iš anksto izoliuoti vamzdžiai, pakloti bekanaliu būdu.

1 CŠT sistemos modelį sudaro:

- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai, kurių skersmenys nuo 315 mm iki 110 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuotos alkūnės, kurių skersmenys nuo 250 mm iki 110 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti trišakiai, kurių skersmenys nuo 315 mm iki 125 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti perėjimai, kurių skersmenys nuo 315 mm iki 110 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuotos sklendės, kurių skersmenys nuo 160 mm iki 110 mm.
- Nejudamos atramos prie kiekvieno įvado.

Antro modelio apibūdinimas. Esamas 3-osios kartos CŠT tinklas ir modernizuoti pastatai (iki B klasės). Modeliuojama šilumnešio temperatūra yra T_1=70 ^oC, T_2=55 ^oC. Tinklus sudaro iš anksto izoliuoti vamzdžiai, pakloti bekanaliu būdu.

2 CŠT sistemos modelį sudaro:

- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai, kurių skersmenys nuo 315 mm iki 110 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuotos alkūnės, kurių skersmenys nuo 250 mm iki 110 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti trišakiai, kurių skersmenys nuo 315 mm iki 125 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti perėjimai, kurių skersmenys nuo 315 mm iki 110 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuotos sklendės, kurių skersmenys nuo 160 mm iki 110 mm.
- Nejudamos atramos prie kiekvieno įvado.

Trečio modelio apibūdinimas. Modeliuojamas 4-osios kartos CŠT tinklas ir modernizuotų pastatų (iki B klasės) kvartalas. Esami CŠT tinklai modernizuoti iki 4-tosios kartos CŠT tinklų, atsižvelgiant į modernizuotų pastatų šilumos poreikius. Šilumnešio temperatūra yra T_1=70 ^oC, T_2=55 ^oC. Tinklus sudaro iš anksto izoliuoti mažesnių skersmenų (lyginant su 3-iosios kartos tinklais) vamzdžiai, pakloti bekanaliu būdu. Šilumos šaltinis nekeičiamas.

3 CŠT sistemos modelį sudaro:

- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai, kurių skersmenys nuo 225 mm iki 90 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuotos alkūnės, kurių skersmenys nuo 225 mm iki 90 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti trišakiai, kurių skersmenys nuo 225 mm iki 125 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuoti perėjimai, kurių skersmenys nuo 225 mm iki 90 mm.
- Logstor pramoniniu būdu izoliuotos sklendės, kurių skersmenys nuo 125 mm iki 90 mm.
- Nejudamos atramos prie kiekvieno pastato įvado.

2.4.1. Šilumnešio kiekio nustatymas

Modernizuotų daugiabučių pastatų kvartalo šilumnešio kiekis (kg/s) yra apskaičiuojamas pagal 1 formulę:

$$G^{kv} = \frac{Q_b^{kv}}{c_p(T_1 - T_2)} \qquad (1)$$

Čia:

T_1, T_2- tiekiamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūros:

Esamos 3-iosios kartos CŠT: T_1=80 ^oC, T_2=65 ^oC;

Modeliuojamos 3-iosios kartos CŠT: T_1=70 ^oC, T_2=55 ^oC.

Modeliuojamos 4-osios kartos CŠT: T_1=70 ^oC, T_2=55 ^oC.

c_p - vandens specifinė šiluma prie vidutinės šilumnešio temperatūros T = 80 °C, c_p = 4,196 kJ/kgK.

2.4.2. Šilumos poreikiai

Modernizuotų daugiabučių pastatų kvartalo šilumos poreikiai yra pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. 3-osios ir 4-osios kartos CŠT sistemų su B klasės pastatais šilumos kiekiai

Pastato Nr.	Aukštingumas	Vieno aukšto plotas, m^2	Viso pastato plotas	Šilumos poreikis Qšg, kW	3-iosios kartos CŠT sistemos G, kg/s	4-osios kartos CŠT sistemos G, kg/s
					80/65 ^oC	70/55 ^oC
1	2	3	4	5	6	7
1	5	509,35	2546,75	109,09	1,73	1,74
2	3	497,42	1492,26	63,92	1,02	1,02
3	5	245,95	1229,75	52,68	0,84	0,84
4	5	390,31	1951,55	83,59	1,33	1,33
5	5	367,32	1836,60	78,67	1,25	1,25
6	3	248,24	744,72	31,90	0,51	0,51
7	3	478,77	1436,31	61,52	0,98	0,98
8	5	718,16	3590,80	153,81	2,44	2,45
9	5	478,00	2390,00	102,37	1,63	1,63
10	2	1852,59	3705,18	158,71	2,52	2,53
11	2	592,22	1184,44	50,74	0,81	0,81
12	2	590,76	1181,52	50,61	0,80	0,81
13	3	677,35	2032,05	87,04	1,38	1,39
14	3	677,35	2032,05	87,04	1,38	1,39
15	5	677,35	3386,75	145,07	2,30	2,31
		9004,14	30744,73	1321,76	20,92	20,97

2.4.3. CŠT tinklų hidrauliniai skaičiavimai

CŠT tinklams atliekami hidrauliniai skaičiavimai, siekiant parinkti vamzdžių skersmenis (modeliuojamiems 4-osios kartos CŠT tinklams) ruožuose bei nustatyti jų ir bendrus tinklo slėgio nuostolius. Armatūra sudedama kiekvieno ruožo pradžioje. Vamzdžių parinkimui naudojama „Logstor“ kompiuterinė programa. Įvedus ruožo faktinį ilgį, šilumnešio debitą ir maksimalius leistinus slėgio nuostolius vamzdynuose (magistralės ruožuose iki 80 Pa/m, skirstomuosiuose – iki 300 Pa/m), programa parenka tinkamus vamzdžio skersmenis, paskaičiuoja šilumnešio greitį ir slėgio nuostolius ruože. Šilumnešio greitis tinkle negali viršyti 3,5 m/s.

Hidrauliniuose skaičiavimuose įvertintų vietinių kliūčių koeficientai:

- Diametro susiaurėjimas: $\zeta = 0,5$:
- Alkūnė: $\zeta = 0,6$;
- Trišakis, dalijantis srautui tos pačios krypties atšakoje: $\zeta = 1,0$;
- Trišakis, dalijantis srautui atšakoje: $\zeta = 1,5$;
- Trišakis, dalijantis srautams atšakose į priešingas puses: $\zeta = 2,0$;
- Sklendė: $\zeta = 0,5$.

Ekvivalentinis ruožo ilgis (m) yra apskaičiuojamas pagal 2 formulę:

$$l_{ekv} = \Sigma\zeta \frac{9,09 \cdot d_v^{1,25}}{k_e^{0,25}} \qquad (2)$$

Čia:

$\Sigma\zeta$ – ruožo vietinių kliūčių koeficientų suma;

d_v – vamzdžio vidinis skersmuo, m;

k_e – vamzdžio vidinio paviršiaus šiurkštumo koeficientas, plienui priimamas $k_e = 0,0005$.

Skaičiuotinas ruožo ilgis (m) yra apskaičiuojamas pagal 3 formulę:

$$l_{sk} = l_f + l_{ekv} \qquad (3)$$

Čia:

l_f – faktinis ruožo ilgis, m;

l_{ekv} – ekvivalentinis ruožo ilgis, m.

Slėgio nuostoliai ruože (kPa) yra apskaičiuojami pagal 4 formulę:

$$\Delta p = \frac{R \cdot l_{sk}}{1000} \qquad (4)$$

Čia:

R – lyginamieji slėgio nuostoliai, Pa/m;

l_{sk} – skaičiuotinas ruožo ilgis, m.

2.4.4. Šilumos nuostoliai

Šilumos nuostolių skaičiavimai atliekami tik skirstomajam tinklui.

Tiekiamo vamzdyno šilumos nuostolių srautas (W/m) yra apskaičiuojamas pagal 5 formulę:

$$Q_1 = \frac{(T_1 - t_{gr}) \cdot R_2 - (T_2 - t_{gr}) \cdot R_0}{R_1 \cdot R_2 - R_0^2} \qquad (5)$$

Grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolių srautas (W/m) yra apskaičiuojamas pagal 6 formulę:

$$Q_2 = \frac{(T_2 - t_{gr}) \cdot R_1 - (T_1 - t_{gr}) \cdot R_0}{R_1 \cdot R_2 - R_0^2} \qquad (6)$$

Čia:

T_1 – tiekiamo šilumnešio temperatūra esamos 3-iosios kartos CŠT, T_1 = 80 °C;

T_2 – grįžtančio šilumnešio temperatūra esamos 3-iosios kartos CŠT, T_2 = 65 °C;

T_1 – tiekiamo šilumnešio temperatūra modeliuojamos 3-osios kartos CŠT, T_1 = 70 °C;

T_2 – grįžtančio šilumnešio temperatūra modeliuojamos 3-osios kartos CŠT, T_2 = 55 °C;

T_1 – tiekiamo šilumnešio temperatūra modeliuojamos 4-osios kartos CŠT, T_1 = 70 °C;

T_2 – grįžtančio šilumnešio temperatūra modeliuojamos 4-osios kartos CŠT, T_2 = 55 °C.

t_{gr} – grunto temperatūra, priimama t_{gr} = 5 °C;

R_1, R_2 – tiekiamo ir grįžtamo vamzdyno šiluminės varžos, mK/W;

R_0 – šiluminė varža, įvertinanti vamzdžių tarpusavio sąlygą, mK/W.

Šiluminė varža, įvertinanti vamzdžių tarpusavio sąlygą (mK/W), yra apskaičiuojama pagal 7 formulę:

$$R_0 = \frac{\ln\left(1+\left(\frac{2h}{b}\right)^2\right)}{2\pi \cdot \lambda_{gr}} \quad (7)$$

Čia:

h – vamzdžio įgilinimas nuo žemės paviršiaus iki vamzdžio ašies, m;

b – horizontalus atstumas tarp vamzdžių ašių, m;

λ_{gr} – grunto šilumos laidumo koeficientas, priimama λ_{gr} = 1,5 W/mK.

Tiekiamo ir grįžtamo vamzdyno šiluminės varžos (mK/W) yra apskaičiuojamos pagal 8 formulę:

$$R_1 = R_2 = R_{iz} + R_{gr} \quad (8)$$

Čia:

R_{iz} – vamzdyno izoliacijos šiluminė varža, mK/W;

R_{gr} – grunto šiluminė varža, mK/W.

Vamzdyno izoliacijos šiluminė varža (mK/W) yra apskaičiuojama pagal 9 formulę:

$$R_{iz} = \frac{\ln\left(\frac{d_{iz}}{d_{iš.v}}\right)}{2\pi \cdot \lambda_{iz}} \quad (9)$$

Grunto šiluminė varža (mK/W) yra apskaičiuojama pagal 10 formulę:

$$R_{gr} = \frac{\ln\left(\frac{4h}{d_{iz}}\right)}{2\pi \cdot \lambda_{gr}} \quad (10)$$

Čia:

d_{iz} – vamzdžio su izoliacija skersmuo, m;

$d_{iš}$ – vamzdžio išorinis skersmuo, m;

λ_{iz} – izoliacijos šilumos laidumo koeficientas, priimama - 0,02 W/mK.

Šilumos nuostoliai ruože (W) yra apskaičiuojami pagal 11 formulę:

$$Q_n = (Q_1 + Q_2) \cdot l_f \cdot 1{,}15 \qquad (11)$$

Čia:

l_f – faktinis ruožo ilgis, m.

Metiniai šilumos nuostoliai (MWh) yra apskaičiuojami pagal 12 formulę:

$$Q_{met} = \sum Q_{men} \qquad (12)$$

Čia:

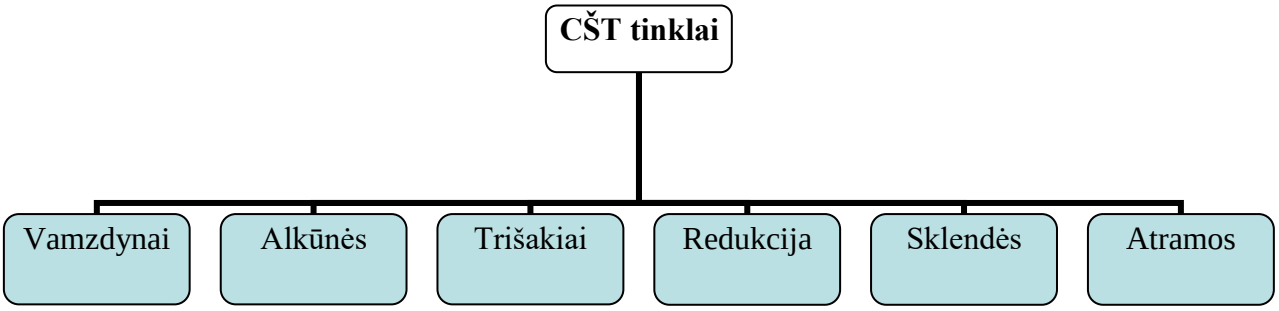
$Q_{mėn}$ – šildymo sezono mėnesiniai šilumos nuostoliai, MWh.

Mėnesiniai šilumos nuostoliai skaičiuojami pagal 2019-2020 metų šildymo sezono mėnesių vidutines šilumnešio ir aplinkos temperatūras. Mėnesinių šilumos nuostolių suma sudaro metinius šilumos nuostolius.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. CŠT tinklų pagrindinės dalys ir medžiagos

Šiame darbe analizuojamos CŠT tinklų pagrindinės dalys pateikiamos 3.1 pav.



3.1 pav. CŠT tinklų analizuojamos pagrindinės dalys

CŠT tinkluose naudojamos šios medžiagos:

Plienas (steel, low-alloyed, at plant/kg/RER).

Gamybos technologija mišri. Įskaičiuojami procesai – skirtingo plieno maišymas ir karštas valcavimas. Duomenys apie plieno gamybai naudojamas žaliavas ir gamybos atliekas yra surinkti iš įvairių ES gamyklų ir atitinka Europos vidurkį.

Poliuretano putos PUR

Poliuretanai (trumpinami kaip PUR arba PU) – tai grupė sintetinių polimerų, turinčių makromolekulėje uretaninių grupių.

Plastikas PE

Polietilenas - baltas chemiškai inertiškas plastikas. Polietileną sudaro eteno monomerai. Duomenys apie šio tipo plastiką paimti iš Europos plastikų ekologinio profilių pramonėje (Plastics Europe). Neįtraukiami procesai: atliekų perdirbamas, oro kiekio / N_2 / O_2 suvartotas.

Žalvaris

Žalvaris pagamintas iš 70 % vario (Cu) ir 30 % cinko (Zn). Visi duomenys yra apskaičiuoti remiantis prielaidomis ir teoriniais modeliais. Gamybos duomenys yra paskaičiuoti teoriškai ir atitinka Europos vidurkį. Žaliavų transportavimo duomenys susieti su Šveicarijos vartojimu.

Guma [polibutadienas] (Polybutadiene, at plant/RER U)

Duomenys apie polibutadieną paimti iš 2007 metais publikuotos GCA literatūros. Konkreti duomenų kilmės šalis nenurodoma, tačiau procesas siejamas su Eco-profilių gamyba Europinėje gumos industrijoje. Įvertinamas pilnas gumos pagaminamas nuo pirminių žaliavų iki galutinio produkto.

Betonas (Concrete, normal, at plant/CH S).

Betonas – tai dirbtinis akmuo, kuris gaunamas, sukietėjus mišiniui iš rišamosios medžiagos (dažniausiai cemento), užpildų, vandens ir priedų. Skaičiuotėje įvertinamas visas gamybos procesas iki paruoštos naudojimui būsenos.

3.2. CŠT tinklų šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai

CŠT tinklams buvo atlikti šilumos nuostolių skaičiavimai. Rezultatai yra pateikti 3.1 ir 3.2 lentelėse.

Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos po kvartalo pastatų modernizavimo (B klasė) ir esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos su sumodeliuotomis temperatūromis vamzdyno parametrai yra tokie patys, todėl hidrauliniai skaičiavimai šių sistemų sutampa. Modeliuojamos 4-oios kartos CŠT sistemos pasikeičia vamzdyno parametrai (diametrai yra mažesni).

3.1 lentelė. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai

Ruožo NR	G, kg/s	ds, mm	diš, mm	dsien, mm	diz, mm	b, mm	h, mm	lf, m	Q (80/ 65), W	Q (70/ 55), W
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PS-1-M1	15,12	200	219,1	4,5	315	0,45	1,2	6,1	323,7	286,3
M1-PS-19	1,73	50	60,3	3,2	125	0,35	1,2	122,3	4595,8	4065,5
M1-M2	13,39	150	168,3	4,5	250	0,45	1,2	10,8	573,1	506,9
M2-M21	4,38	80	88,9	3,2	160	0,4	1,2	90,2	2950,0	2609,6
M21-PS-18	1,04	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	39,3	961,6	850,7
M21-PS-17	3,35	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	41	1003,2	887,5
M2-M3	9,00	150	168,3	4	250	0,45	1,2	107,7	5137,1	4544,4
M3-PS-2	1,95	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	10,9	266,7	235,9
M3-M4	7,05	125	139,7	4	225	0,45	1,2	97,8	4664,9	4126,7
M4-M5	7,05	125	139,7	4	225	0,45	1,2	23,7	1130,5	1000,0
M5-PS-3	1,90	80	88,9	3,2	160	0,4	1,2	58	1702,2	1505,8

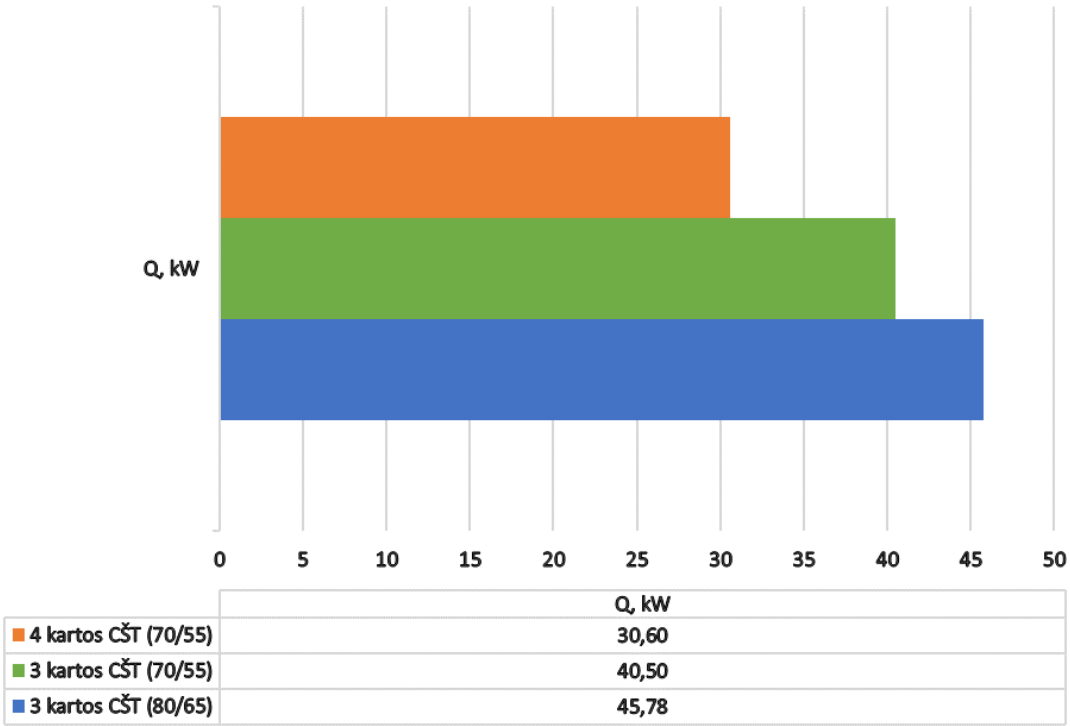
M5-M6	5,16	100	114,3	4	200	0,42	1,2	63,8	3627,0	3208,5
M6-PS-4	1,22	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	28	866,3	766,3
M6-M7	3,94	100	114,3	3,6	200	0,42	1,2	73,8	3020,8	2672,2
M7-M13	3,16	65	76,1	3,2	140	0,35	1,2	58,8	1926,5	1704,2
M13-PS-12	0,38	32	42,4	2,6	110	0,3	1,2	6,6	155,9	137,9
M13-M12	2,78	65	76,1	3,2	140	0,35	1,2	7,2	270,6	239,3
M12-PS-11	0,94	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	24,3	645,2	570,8
M12-PS-10	1,84	50	60,3	3,2	125	0,35	1,2	84	3156,6	2792,3
M7-M8	0,78	80	88,9	3,6	160	0,4	1,2	10,4	488,5	432,1
M8-PS-5	1,00	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	32,6	865,6	765,7
M8-M9	0,22	80	88,9	3,6	160	0,4	1,2	1	47,0	41,5
M9-PS-6	0,73	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	5,2	138,1	122,1
M9-M10	0,95	65	76,1	3,2	140	0,35	1,2	54,4	3129,9	2768,7
M10-PS-7	0,63	32	42,4	2,9	110	0,3	1,2	42,6	1246,3	1102,5
M10-M11	1,58	50	60,3	3,6	125	0,35	1,2	13,4	503,5	445,4
M11-PS-9	1,30	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	56,6	1944,1	1719,8
M11-PS-8	0,76	32	42,4	2,9	110	0,3	1,2	12,4	425,9	376,8
								Viso:	45784	40503

3.2 lentelė. Modeliuojamos 4-osios kartos CŠT sistemos šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai

Ruožo Nr.	G kg/s	ds mm	diš mm	dsien mm	diz mm	b mm	h mm	lf, m	Q, W
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PS-1-M1	15,12	125	139,7	3,6	225	0,45	1,2	6,1	249,68
M1-PS-19	1,73	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	122,3	3247,41
M1-M2	13,39	125	139,7	3,6	225	0,45	1,2	10,8	442,06
M2-M21	2,08	50	60,3	3,6	125	0,4	1,2	90,2	2391,58
M21-PS-18	1,04	40	48,3	2,6	110	0,35	1,2	39,3	928,40
M21-PS-17	1,04	40	48,3	2,6	110	0,35	1,2	41	968,56
M2-M3	11,31	125	139,7	3,6	225	0,45	1,2	107,7	4408,34
M3-PS-2	0,61	25	33,7	2,6	90	0,35	1,2	10,9	216,14
M3-M4	10,70	100	114,3	3,6	200	0,45	1,2	97,8	3481,16
M4-M5	10,70	100	114,3	3,6	200	0,45	1,2	23,7	843,59
M5-PS-3	1,90	50	60,3	2,9	125	0,4	1,2	58	1540,06
M5-M6	8,81	100	114,3	3,6	200	0,42	1,2	63,8	2270,94
M6-PS-4	1,22	40	48,3	2,6	110	0,35	1,2	28	661,46
M6-M7	7,59	100	114,3	3,6	200	0,42	1,2	73,8	2626,88

M7-M13	3,16	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	58,8	1561,31
M13-PS-12	0,38	25	33,7	2,6	90	0,3	1,2	6,6	130,87
M13-M12	2,78	65	76,1	2,9	140	0,35	1,2	7,2	222,76
M12-PS-11	0,94	25	33,7	2,6	90	0,35	1,2	24,3	481,85
M12-PS-10	1,84	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	84	2230,44
M7-M8	4,43	65	76,1	2,9	140	0,4	1,2	10,4	321,77
M8-PS-5	1,00	40	48,3	2,6	110	0,35	1,2	32,6	770,12
M8-M9	3,43	65	76,1	2,9	140	0,4	1,2	1	30,94
M9-PS-6	0,73	25	33,7	2,6	90	0,35	1,2	5,2	103,11
M9-M10	2,70	65	76,1	2,9	140	0,35	1,2	54,4	1683,11
M10-PS-7	0,63	25	33,7	2,6	90	0,3	1,2	42,6	844,73
M10-M11	2,07	50	60,3	2,9	125	0,35	1,2	13,4	355,81
M11-PS-9	1,30	40	48,3	2,6	110	0,35	1,2	56,6	1337,09
M11-PS-8	0,76	25	33,7	2,6	90	0,3	1,2	12,4	245,88
								Viso:	30600

Skirstomųjų CŠT tinklų suminiai šilumos nuostoliai ruožuose pateikti 3.2 ir 3.3 pav.



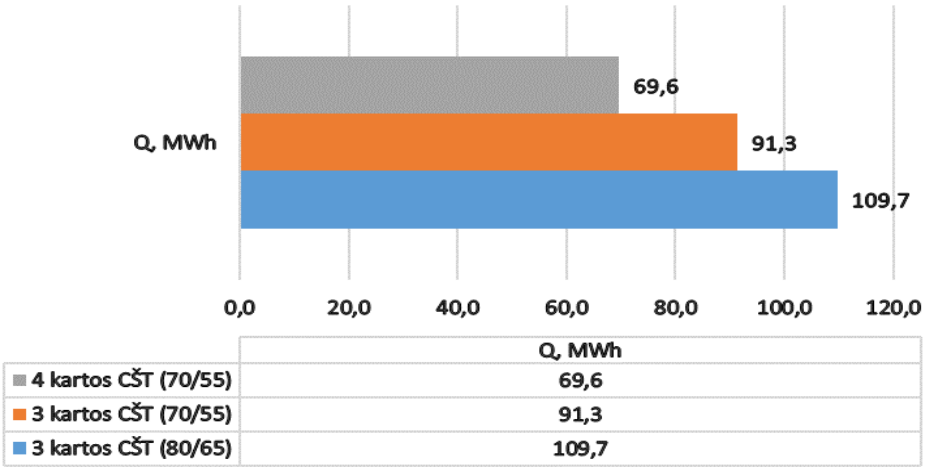
3.2 pav. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų projektiniai šilumos nuostolių srautai

Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų metiniai šilumos nuostoliai yra pateikti 3.3 lentelėje ir 3.3 pav.

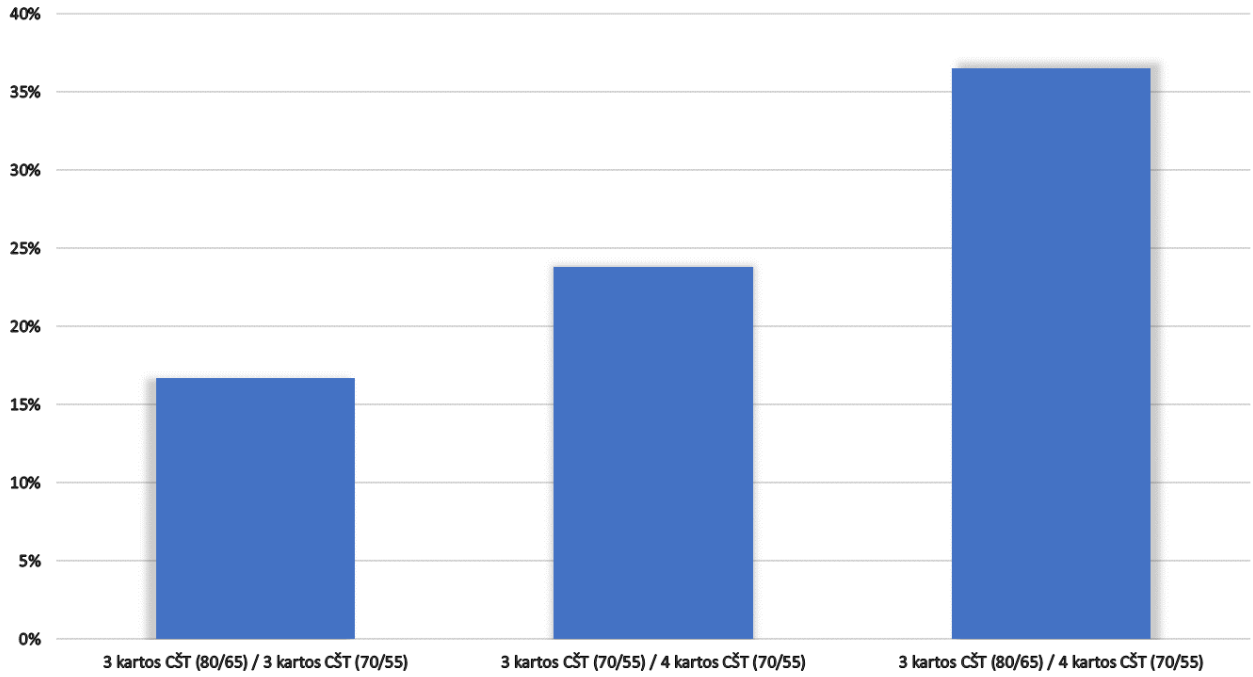
3.3 lentelė. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų metiniai šilumos nuostoliai

Metai	Mėnuo	Šildymo dienos per mėnesį	Lauko oro temperatūra tiš, °C	Vidutinės šilumnešio temperatūros, °C	3 kartos CŠT (80 °C/ 65 °C)		3 kartos CŠT (70 °C/ 55 °C)		4 kartos CŠT (70 °C/ 55 °C)	
					Šilumos nuostoliai, (kW)	Šilumos nuostoliai, (MWh)	Šilumos nuostoliai, (kW)	Šilumos nuostoliai, (MWh)	Šilumos nuostoliai, (kW)	Šilumos nuostoliai, (MWh)
2019	Spalis	31	9,04	37,25	19,689	14,649	16,099	11,977	12,280	9,136
2019	Lapkritis	30	4,53	36,90	21,309	15,342	17,718	12,757	13,504	9,723
2019	Gruodis	31	2,02	40,05	22,210	16,524	18,619	13,853	14,185	10,554
2020	Sausis	31	1,71	40,50	22,321	16,607	18,731	13,936	14,269	10,616
2020	Vasaris	29	1,65	40,55	22,343	15,551	18,752	13,052	14,285	9,943
2020	Kovas	31	3,24	38,50	21,772	16,198	18,181	13,527	13,854	10,307
2020	Balandis	30	6,61	36,95	20,562	14,805	16,971	12,219	12,939	9,316
2020	Gegužė									
2020	Birželis									
2020	Liepa									
2020	Rugpjūtis									
2020	Rugsėjis									
	Viso:	213			150,206	109,676	125,071	91,320	95,316	69,595

Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT sistemose karštas vanduo nėra ruošiamas. Vilniaus rajono savivaldybės nutarimu gyventojams buvo kompensuotas vandens šildytuvų įsigijimas karštam vandeniui ruošti.



3.3 pav. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų metiniai šilumos nuostoliai



3.4 pav. Esamos 3-iosios kartos ir modeliuojamų 3-osios ir 4-osios kartos CŠT tinklų metinių šilumos nuostolių palyginimas

3.4 pav. yra parodyti analizuojamų modelių metinių šilumos nuostolių palyginimas tarpusavyje. Esamos 3-osios kartos CŠT sistemos tinkluose sumažinus šilumnešio temperatūras šilumos nuostoliai sumažinami nežymiai – 16,7 %. Labiausiai šilumos nuostoliai yra sumažinami pereinant iš 3-iosios kartos CŠT tinklų prie 4-osios kartos CŠT tinklų. Nustatyta, kad pereinant iš 3-iosios kartos CŠT tinklų prie 4-osios kartos CŠT tinklų, metiniai šilumos nuostoliai šilumos tinkluose sumažėja 36,5 %. Mokslininkų Soltero et al. (2018) atliktame tyrime metiniai šilumos nuostoliai 3-iosios kartos CŠT sistemoje (vidutinės temperatūros tinklas – 85 °C / 60 °C) buvo 355,6 MWh, o 4-iosios kartos CŠT sistemoje (žemos temperatūros tinklas – 55 °C / 25 °C) buvo 161,9 MWh. Metinių šilumos nuostolių tarp 3-iosios kartos CŠT sistemos ir 4-osios kartos CŠT sistemos skirtumas – 54,47 %. Magistro darbo tyrime šis metinių šilumos nuostolių skirtumas yra mažesnis, kadangi šilumnešio temperatūros buvo mažinamos nedideliu skirtumu nuo esamos CŠT sistemos.

3.3. GCA fazės

Tiriamajame darbe atliktos esamos trečiosios, modeliuojamos trečiosios ir ketvirtosios CŠT sistemos gyvavimo ciklo analizės. Gyvavimo ciko analizėje yra išskiriamos keturios pagrindinės fazės:

1. Gamyba
2. Eksploatavimas

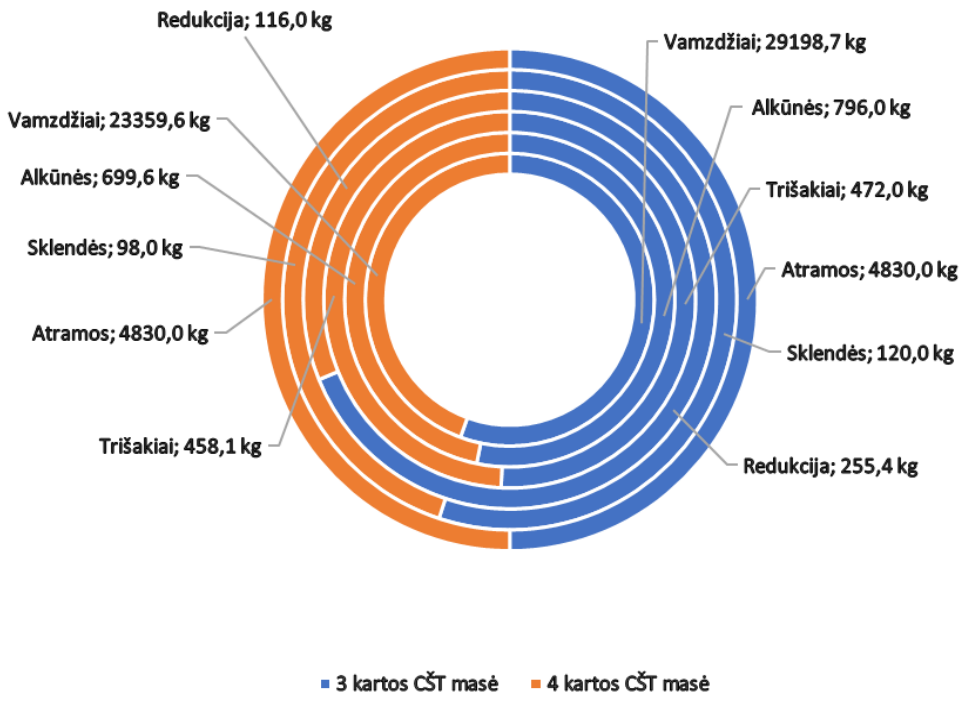
3. Transportavimas
4. Sunaikinimas–perdirbimas

Kiekvienoje fazėje nustatytas sistemos poveikis atsižvelgiant į šiuos kriterijus:

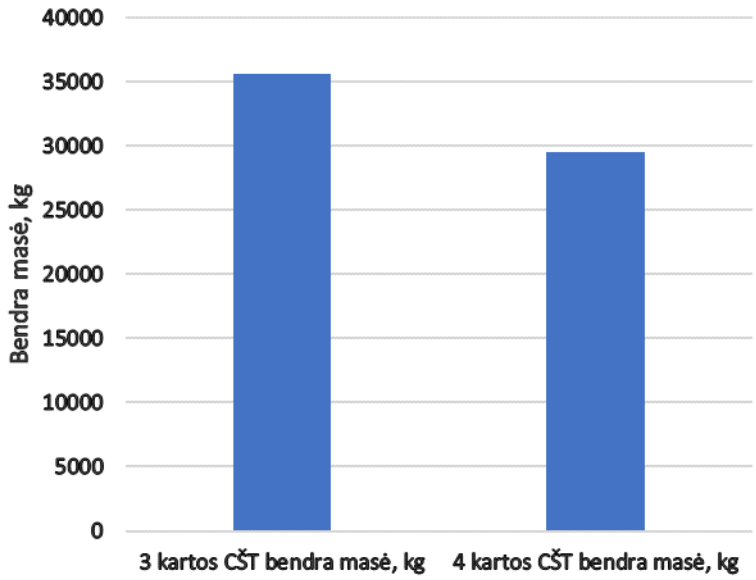
- pirminės neatsinaujinančios energijos suvartojimas, MJ;
- ozono sluoksnio ardymas, kg CFC-11;
- vandens rūgštėjimas, kg SO_2;
- vandens telkinių eutrofikacija, kg PO_4;
- visuotinis atšilimas; kg CO_2.

Tyrimai atlikti naudojantis „Sima Pro“ programa.

Atliekant inventorizacinę analizę, CŠT sistema buvo suskaidyta į elementus, kurie susmulkinti į medžiagas, nustatant jų svorius gamybos metu. Inventorizacinės analizės rezultatai pateikti 3.5 pav. ir 3.6 pav.



3.5 pav. 3-osios ir 4-osios kartų CŠT dalių inventorizacinės analizės medžiagų kiekiai



3.6 pav. 3-osios ir 4-osios kartų CŠT inventorizacinės analizės suminis medžiagų kiekis

Iš gautų inventorinės analizės rezultatų nustatyta, kad didžiausią visos CŠT sistemos svorio dalį sudaro vamzdynai, t. y. 3-osios kartos CŠT tinklų – 29,2 tonų, o 4-osios kartos CŠT tinklų – 23,4 tonų. Lyginant su kitais CŠT sistemos elementais, vamzdynai yra 6 kartus sunkesni. Pereinant prie 4-osios kartos CŠT tinklų suminis medžiagų kiekis sumažėja 17%.

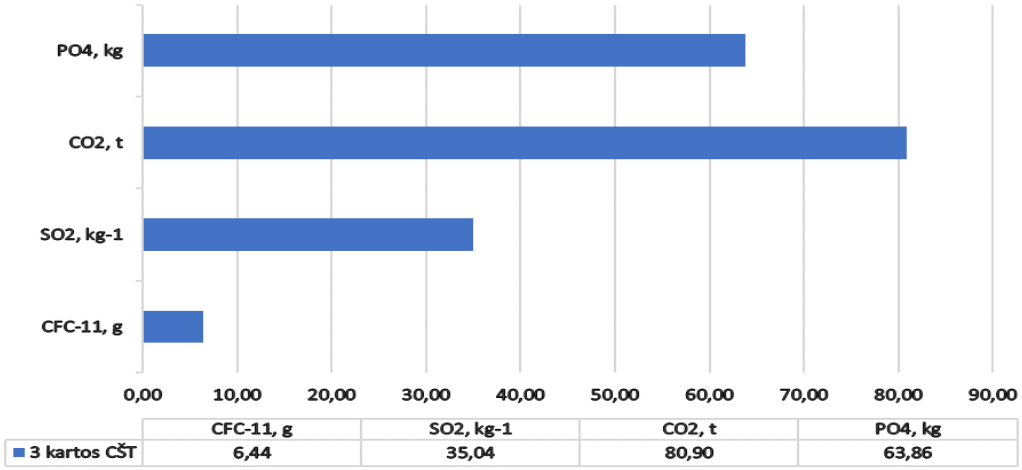
3.3.1. Gamyba

Gamybos fazėje visos CŠT tinklų dalys yra suskirstytos į jas sudarančius elementus, o šie į juos sudarančias medžiagas, kurios yra aprašytos (žr. 3.1. skyrių). Taip pat yra apskaičiuoti šių medžiagų kiekiai (3.4 lentelė, 3.5 lentelė).

3.4 lentelė. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai gamybos fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, kg	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Vamzdžiai	29198,7	6,08	327,09	76,15	54,44	1,572
2	Alkūnės	796,0	0,17	11,74	2,26	7,52	0,048
3	Trišakiai	472,0	0,10	5,80	1,34	0,90	0,028
4	Redukcija	255,4	0,05	3,15	0,73	0,49	0,015
5	Sklendės	120,0	0,03	2,05	0,35	0,50	0,007
6	Atramos	4830,0	0,01	0,60	0,07	0,01	0,002
	Suma	**35672,1**	**6,44**	**350,42**	**80,90**	**63,86**	**1,7**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.4 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas gamybos fazėje. Bendra elementų masė gamybos fazėje sudaro 35,6 tonų, o pirminės energijos medžiagų gamybai buvo sunaudota 1,7 TJ.



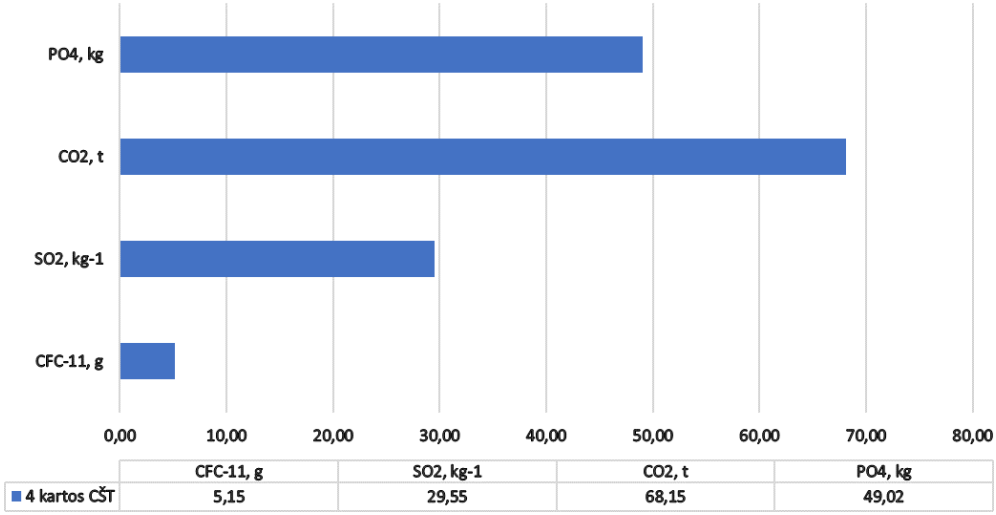
3.7 pav. Esamos 3-iosios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai gamybos fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.6 pav.) matyti, kad gamybos fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 81 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 350,4 (kg) įtakojantis teršalai, gamybos fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 6,44 (g).

3.5 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai gamybos fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, kg	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Vamzdžiai	23359,6	4,87	275,49	64,01	44,22	1,333
2	Alkūnės	699,6	0,12	9,24	2,17	2,39	0,048
3	Trišakiai	458,1	0,10	5,57	1,29	0,87	0,027
4	Redukcija	116,0	0,02	1,46	0,34	0,28	0,007
5	Sklendės	98,0	0,02	3,16	0,26	1,24	0,005
6	Atramos	4830,0	0,01	0,60	0,07	0,01	0,002
	Suma	**29561,3**	**5,15**	**295,51**	**68,15**	**49,02**	**1,42**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.5 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas gamybos fazėje. Bendra elementų masė gamybos fazėje sudaro 29,6 tonų, o pirminės energijos medžiagų gamybai buvo sunaudota 1,4 TJ.



3.8 pav. 4-oisios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai gamybos fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.8 pav.) matyti, kad gamybos fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 68 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 295,5 (kg) įtakojantis teršalai, gamybos fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 5,15 (g).

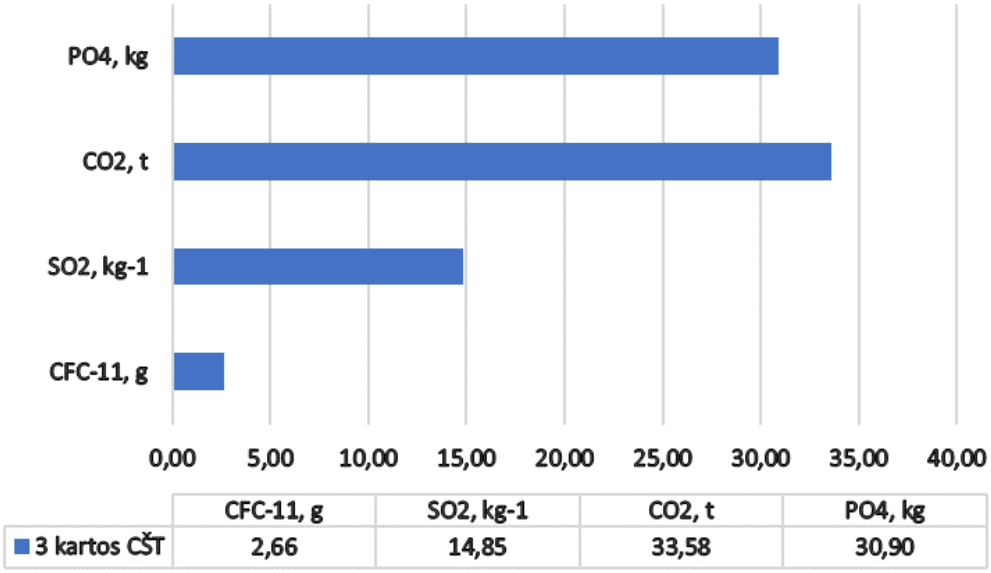
3.3.2. Eksploatavimas

Eksploatavimo fazėje įvertinamas kiekvieno CŠT sistemos elemento gyvavimo laikotarpis, kuris priimamas pagal gamintojo pateiktus duomenis, t. y. nurodoma, kiek kartų per 30 metų elementas bus pakeistas. Įvertinama kiek dar papildomai energijos bus suvartota juos pagaminti ir kiek bus papildomų teršalų į aplinką bei kiek papildomai reikės pirminės energijos.

3.6 lentelė. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai eksploatavimo fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, kg	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Vamzdžiai	11679,5	2,43	130,84	30,46	21,775	0,6287
2	Alkūnės	318,4	0,07	5,90	0,91	6,609	0,0191
3	Trišakiai	188,8	0,04	2,32	0,54	0,361	0,0114
4	Redukcija	102,2	0,02	1,26	0,29	0,195	0,0062
5	Sklendės	467,6	0,10	7,99	1,35	1,957	0,0289
6	Atramos	1932,0	0,01	0,24	0,03	0,004	0,0006
	Suma	**14688,4**	**2,66**	**148,54**	**33,58**	**30,90**	**0,7**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.6 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas eksploatavimo fazėje. Bendra elementų masė eksploatavimo fazėje sudaro 14,7 tonų, o pirminės energijos medžiagų eksploatavimui buvo sunaudota 0,7 TJ.



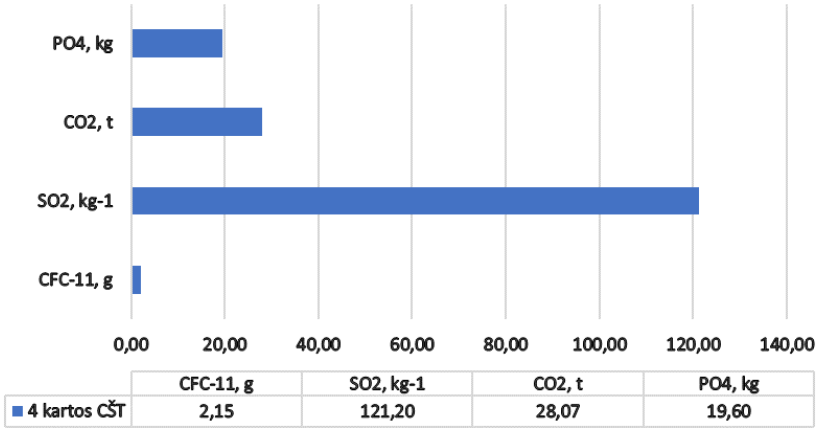
3.9 pav. 3-iosios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai eksploatavimo fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.9 pav.) matyti, kad eksploatavimo fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 33,58 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 148,5 (kg) įtakojantis teršalai, eksploatavimo fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 2,66 (g).

3.7 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai eksploatavimo fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, kg	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Vamzdžiai	9343,8	1,96	113,29	26,31	17,832	0,553
2	Alkūnės	279,8	0,07	2,88	0,70	0,519	0,015
3	Trišakiai	183,2	0,04	1,88	0,46	0,340	0,010
4	Redukcija	42,6	0,01	0,44	0,11	0,079	0,002
5	Sklendės	137,2	0,07	2,48	0,45	0,829	0,010
6	Atramos	1932,0	0,01	0,24	0,03	0,004	0,001
	Suma	**11918,8**	**2,15**	**121,20**	**28,07**	**19,60**	**0,59**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.7 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas eksploatavimo fazėje. Bendra elementų masė eksploatavimo fazėje sudaro 11,9 tonų, o pirminės energijos medžiagų eksplotavimui buvo sunaudota 0,6 TJ.



3.10 pav. 4-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai eksploatavimo fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.10 pav.) matyti, kad eksploatavimo fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 28,1 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 121,2 (kg) įtakojantis teršalai, eksploatavimo fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 2,15 (g).

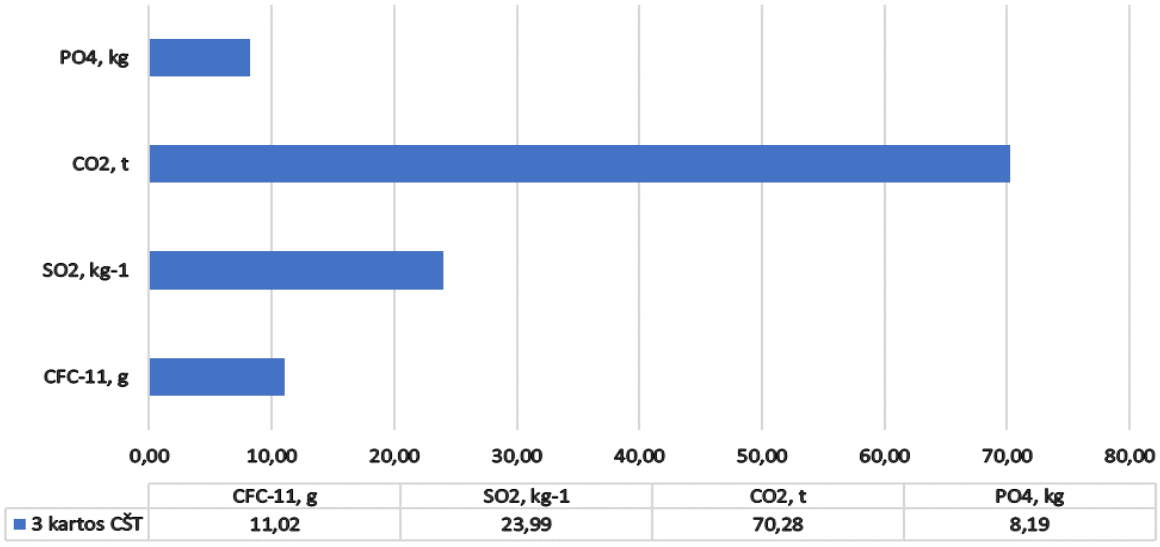
3.3.3. Transportavimas

Transportavimo fazėje yra įvertinami visi atstumai, kurios reikia įveikti transportuojant medžiagas gamybos, naudojimo bei sunaikinimo fazėse.

3.8 lentelė. Esamos 3-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai transportavimo fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, t	Atstumas, km	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Vamzdžiai	81,8	1759,0	10,33	224,80	65,86	7,675	1,1414
2	Alkūnės	2,2	1759,0	0,28	6,13	1,80	0,209	0,0311
3	Trišakiai	1,3	1759,0	0,17	3,63	1,06	0,124	0,0185
4	Redukcija	0,7	1759,0	0,09	1,97	0,58	0,067	0,0100
5	Sklendės	1,2	1759,0	0,15	3,23	0,95	0,110	0,0164
6	Atramos	9,4	8,0	0,01	0,1174	0,03	0,004	0,0006
	Suma	**96,6**		**11,02**	**239,88**	**70,28**	**8,19**	**1,2**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.8 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas transportavimo fazėje. Bendra elementų masė eksploatavimo fazėje sudaro 96,6 tonų, o pirminės energijos medžiagų transportavimui buvo sunaudota 1,2 TJ. Vamzdynai bei kiti elementai atvežti iš Danijos, atstumas 1759 km., o betonas nejudamoms atramoms naudojamas vietinio gamintojo.



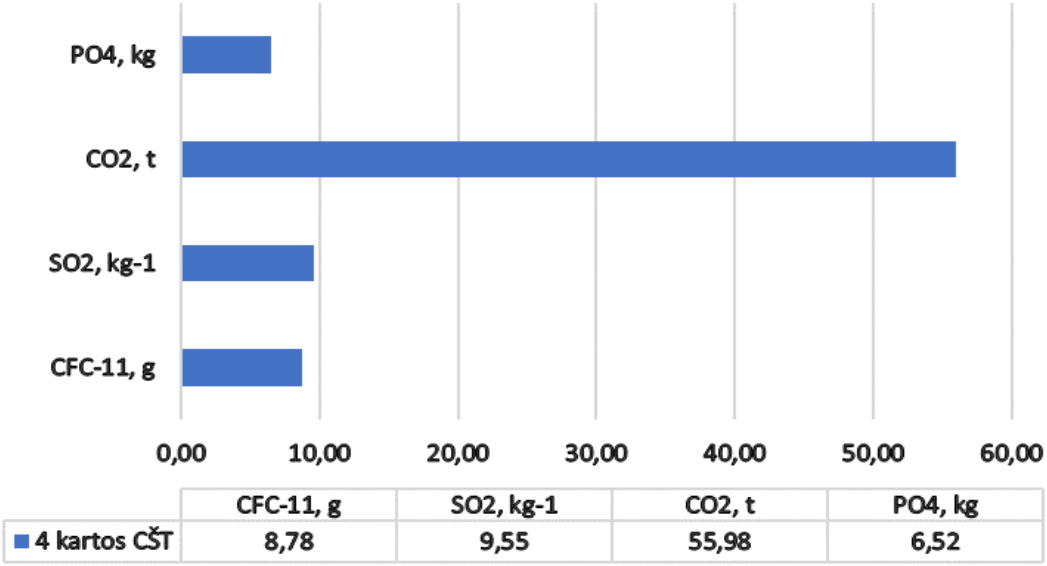
3.11 pav. 3-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai transportavimo fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.11 pav.) matyti, kad transportavimo fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 70,3 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 239,9 (kg) įtakojantis teršalai, transportavimo fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 11,02 (g).

3.9 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai transportavimo fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, t	Atstumas, km	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Vamzdžiai	65,4	31662,0	8,266	89,92	52,69	6,14	0,783
2	Alkūnės	2,0	31662,0	0,248	2,69	1,58	0,18	0,023
3	Trišakiai	1,3	31662,0	0,162	1,76	1,03	0,12	0,015
4	Redukcija	0,3	31662,0	0,039	0,41	0,25	0,03	0,004
5	Sklendės	0,5	17702,0	0,059	0,65	0,38	0,04	0,005
6	Atramos	13,5	32,0	0,008	0,08	0,05	0,01	0,001
	Suma	**82,95**		**8,78**	**95,52**	**55,98**	**6,52**	**0,83**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.9 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas transportavimo fazėje. Bendra elementų masė eksploatavimo fazėje sudaro 83 tonas, o pirminės energijos medžiagų transportavimui buvo sunaudota 0,8 TJ. Vamzdynai bei kiti elementai atvežti iš Danijos, atstumas 1759 km., o betonas nejudamoms atramoms naudojamas vietinio gamintojo.



3.12 pav. 4-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai transportavimo fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.12 pav.) matyti, kad transportavimo fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 56 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 95,5 (kg) įtakojantis teršalai, transportavimo fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 8,8 (g).

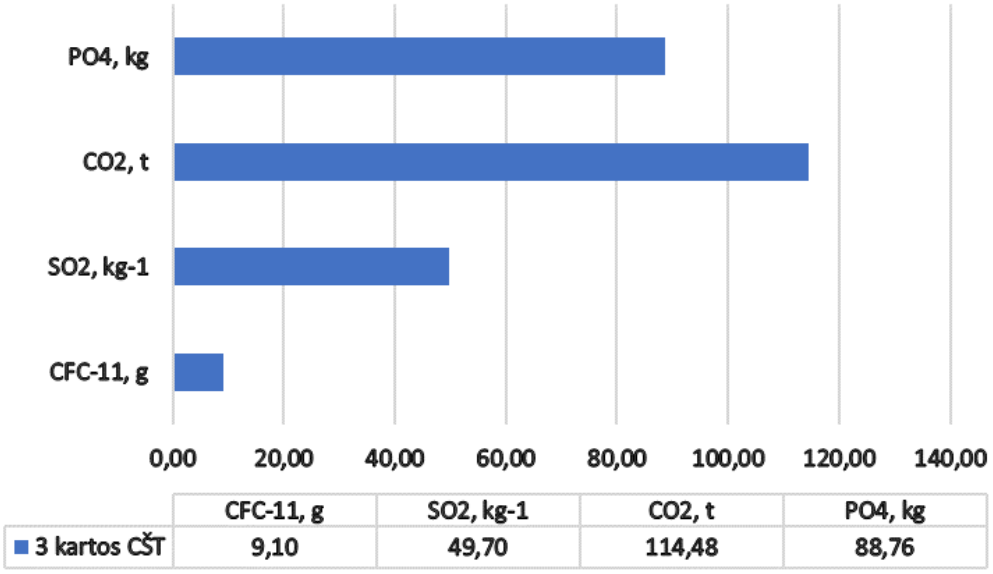
3.3.4. Sunaikinimas

Sunaikinimo fazėje vertinama pirminė energija, kuri reikalinga visiems CŠT pagrindiniams elementams sunaikinti, bei naikinimo metu išsiskiriančių teršalų kiekiai, kurie lemia visuotinį atšilimą (kg CO_2), daro įtaką vandens rūgštingumui (kg SO_2) ir ozono sluoksnio ardymui (kg CFC-11 (freono atitikmuo)) bei lemia vandens telkinių eutrofikaciją (kg PO_4).

3.10 lentelė. Esamos 3-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai sunaikinimo fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, kg	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Vamzdžiai	40878,1	8,51	457,93	106,61	76,21	2,200
2	Alkūnės	1114,4	0,23	15,64	3,17	8,13	0,067
3	Trišakiai	660,8	0,14	8,12	1,88	1,26	0,040
4	Redukcija	357,6	0,07	4,41	1,02	0,68	0,022
5	Sklendės	587,6	0,13	10,04	1,70	2,46	0,036
6	Atramos	6762,0	0,02	0,83	0,10	0,01	0,002
	Suma	**50360,5**	**9,10**	**496,96**	**114,48**	**88,76**	**2,37**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.10 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas sunaikinimo fazėje. Bendra elementų masė sunaikinimo fazėje sudaro 50,3 tonų, o pirminės energijos medžiagų sunaikinimui buvo sunaudota 2,4 TJ.



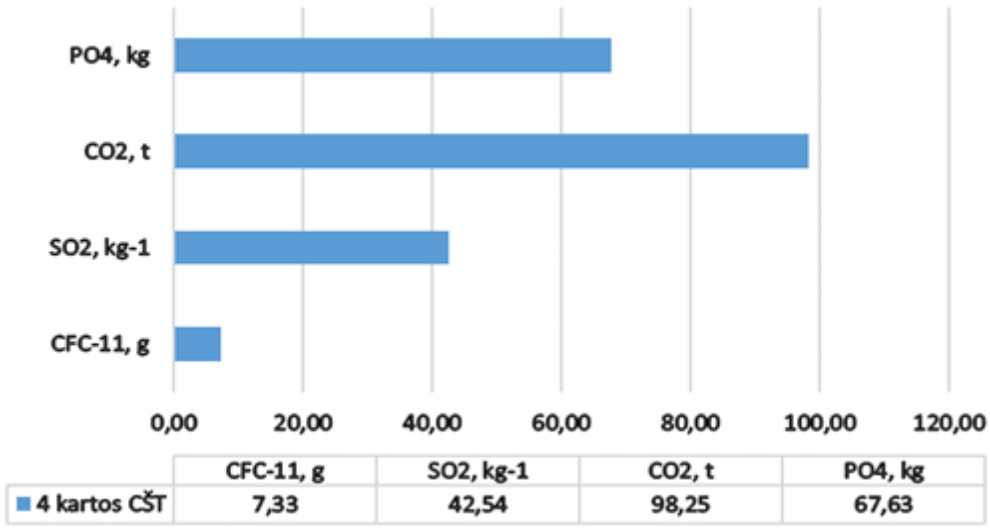
3.13 pav. 3-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai sunaikinimo fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.13 pav.) matyti, kad sunaikinimo fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 114,5 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 497,0 (kg) įtakojantis teršalai, sunaikinimo fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 9,1 (g).

3.11 lentelė. 4-osios kartos CŠT sistemos medžiagų kiekiai sunaikinimo fazėje

Eilės nr.	Elementas	Bendra masė, kg	CFC-11, g	SO_2, kg	CO_2, t	PO_4, kg	Pirminė energija, TJ
1	2	3	5	6	7	8	9
1	Vamzdžiai	32703,4	6,82	397,87	92,30	62,45	1,939
2	Alkūnės	979,4	0,20	11,92	2,76	1,87	0,058
3	Trišakiai	641,3	0,13	7,80	1,81	1,22	0,038
4	Redukcija	158,6	0,03	1,93	0,45	0,30	0,009
5	Sklendės	235,2	0,12	5,05	0,83	1,77	0,019
6	Atramos	6762,0	0,02	0,83	0,10	0,01	0,002
	Suma	**41480,0**	**7,33**	**425,40**	**98,25**	**67,63**	**2,07**

Gauti tokie rezultatai (žr. 3.11 lentelę): elementų masės pasiskirstymas, teršalų kiekių išsiskyrimas bei pirminės energijos sunaudojimas sunaikinimo fazėje. Bendra elementų masė sunaikinimo fazėje sudaro 41,5 tonų, o pirminės energijos medžiagų sunaikinimui buvo sunaudota 2,1 TJ.

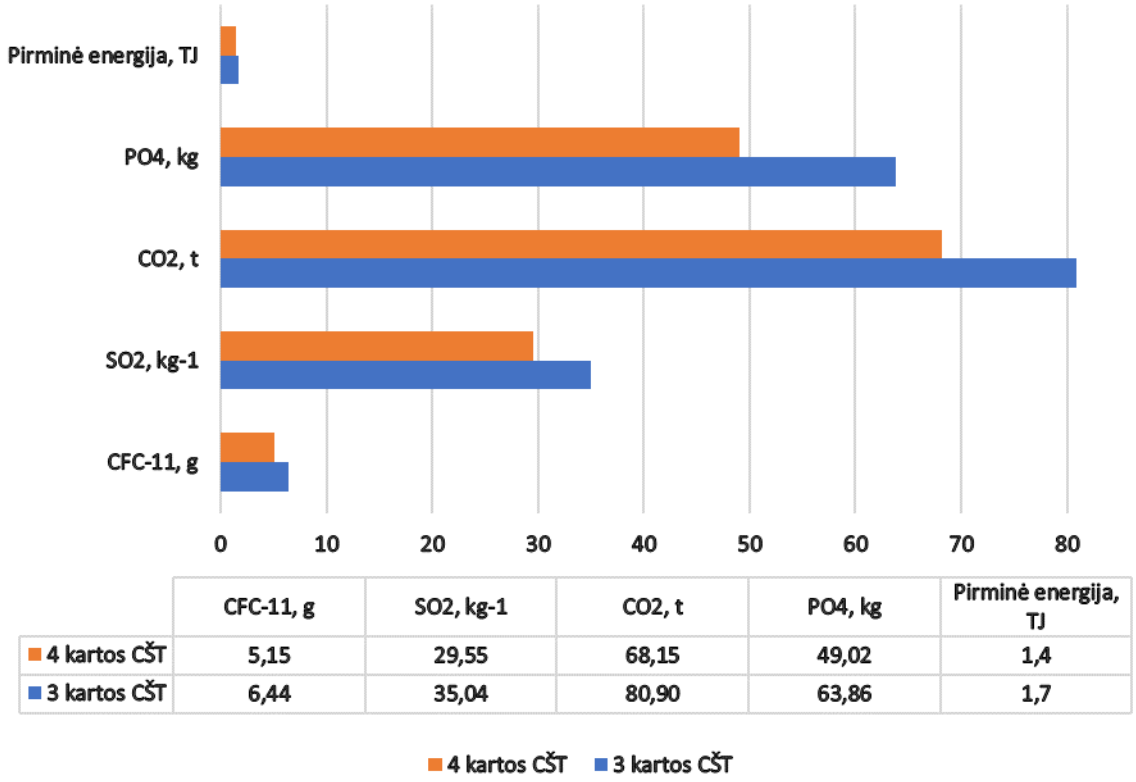


3.14 pav. 4-osios kartos CŠT elementų teršalų kiekiai sunaikinimo fazėje

Iš tyrimo rezultatų (žr. 3.14 pav.) matyti, kad sunaikinimo fazėje daugiausiai išskiriama šių teršalų: CO_2 (lemia visuotinį atšilimą) – 98,3 (t) ir SO_2 (daro įtaką vandens rūgštingumui) – 425,4 (kg) įtakojantis teršalai, sunaikinimo fazėje. Mažiausiai iskiriama CFC-11 (daro įtaką ozono sluoksnio ardymui) – 7,3 (g).

3.3. Esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT sistemų palyginimas

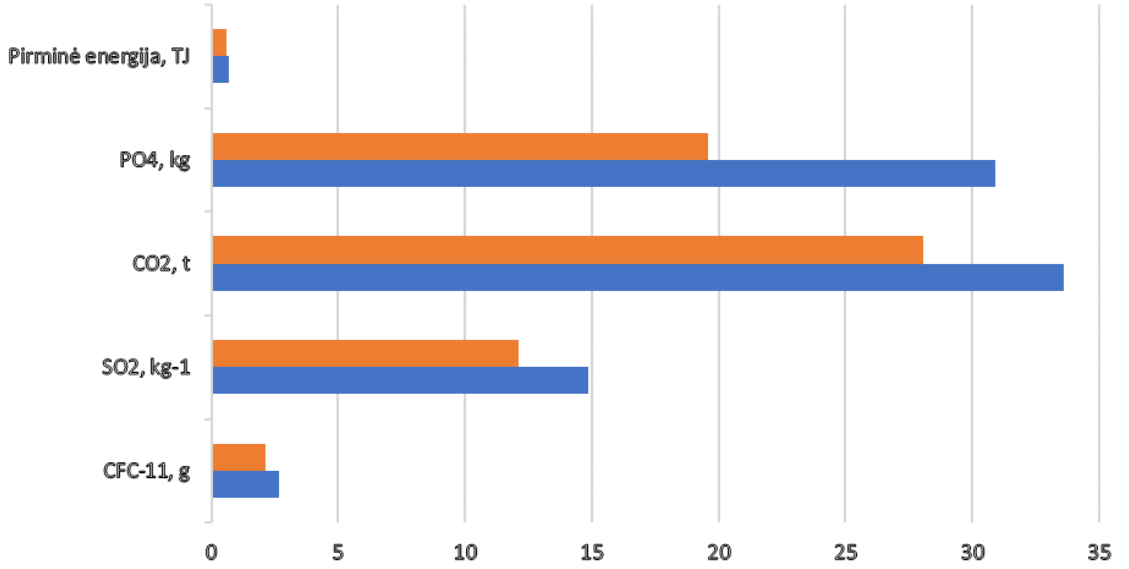
Tiriamajame darbe atliktos esamos trečiosios ir modeliuojamos ketvirtosios CŠT sistemos gyvavimo ciklo analizės. Kiekvienoje gyvavimo ciklo analizės fazėje buvo analizuojamos ir lyginamos esamos trečiosios ir sumodeliuotos ketvirtosios CŠT sistemos.



	CFC-11, g	SO2, kg-1	CO2, t	PO4, kg	Pirminė energija, TJ
4 kartos CŠT	5,15	29,55	68,15	49,02	1,4
3 kartos CŠT	6,44	35,04	80,90	63,86	1,7

3.15 pav. Esamos 3-iosios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas gamybos fazėje

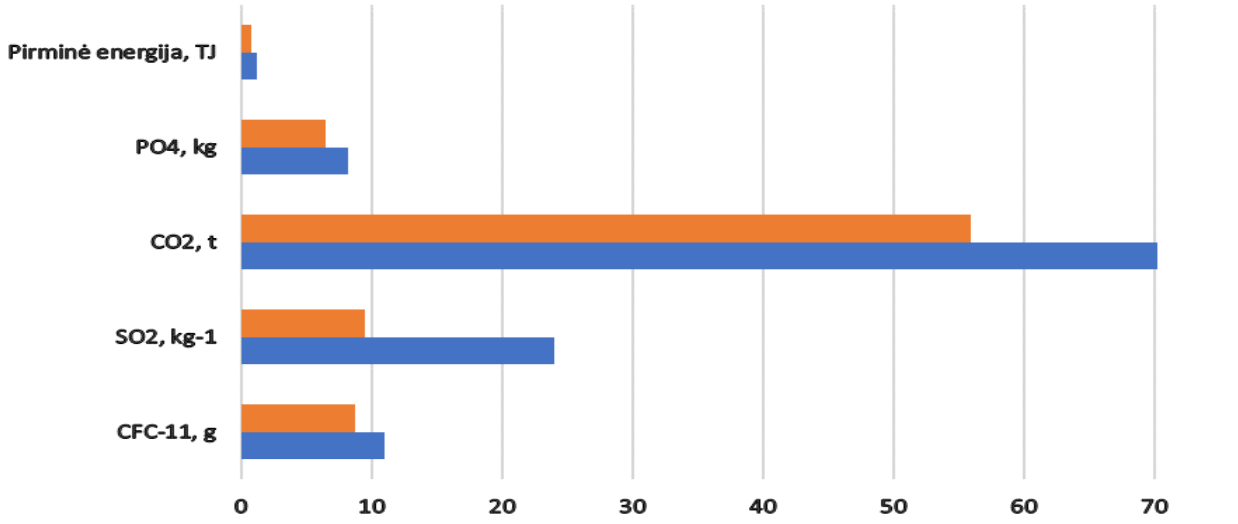
3.15 pav. yra pateiktas esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT tinklų palyginimas gamybos fazėje. Esamų 3-iosios kartos CŠT tinklų gamybai sunaudota 21 % daugiau pirminės energijos negu sumodeliuotų 4-osios kartos CŠT tinklų gamybai.



	CFC-11, g	SO2, kg-1	CO2, t	PO4, kg	Pirminė energija, TJ
4 kartos CŠT	2,15	12,12	28,07	19,60	0,59
3 kartos CŠT	2,66	14,85	33,58	30,90	0,69

3.16 pav. Esamos 3-iosios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas eksploatavimo fazėje

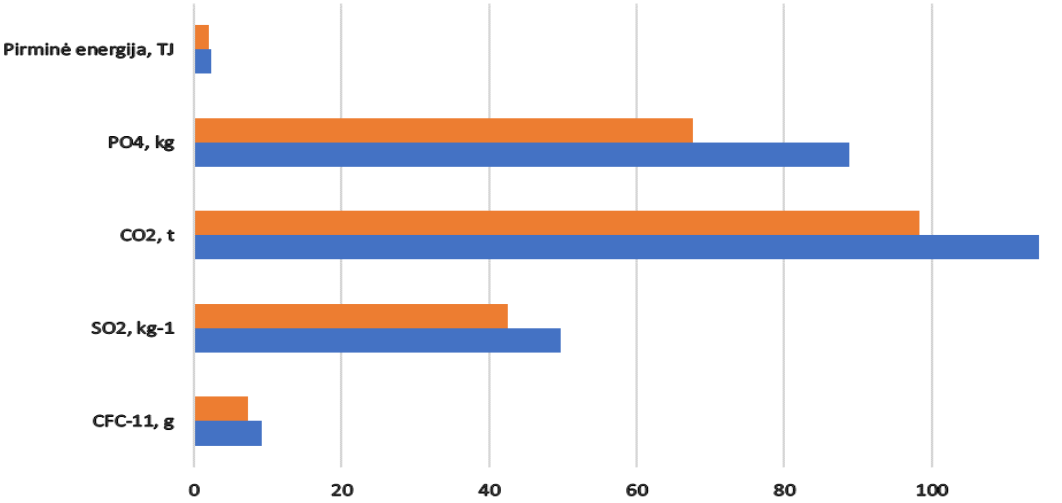
3.16 pav. yra pateiktas esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT tinklų palyginimas eksploatavimo fazėje. Esamų 3-iosios kartos CŠT tinklų eksploatavimui sunaudota 17 % daugiau pirminės energijos negu sumodeliuotų 4-osios kartos CŠT tinklų eksploatavimui.



	CFC-11, g	SO2, kg-1	CO2, t	PO4, kg	Pirminė energija, TJ
4 kartos CŠT	8,78	9,55	55,98	6,52	0,83
3 kartos CŠT	11,02	23,99	70,28	8,19	1,22

3.17 pav. Esamos 3-iosios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas transportavimo fazėje

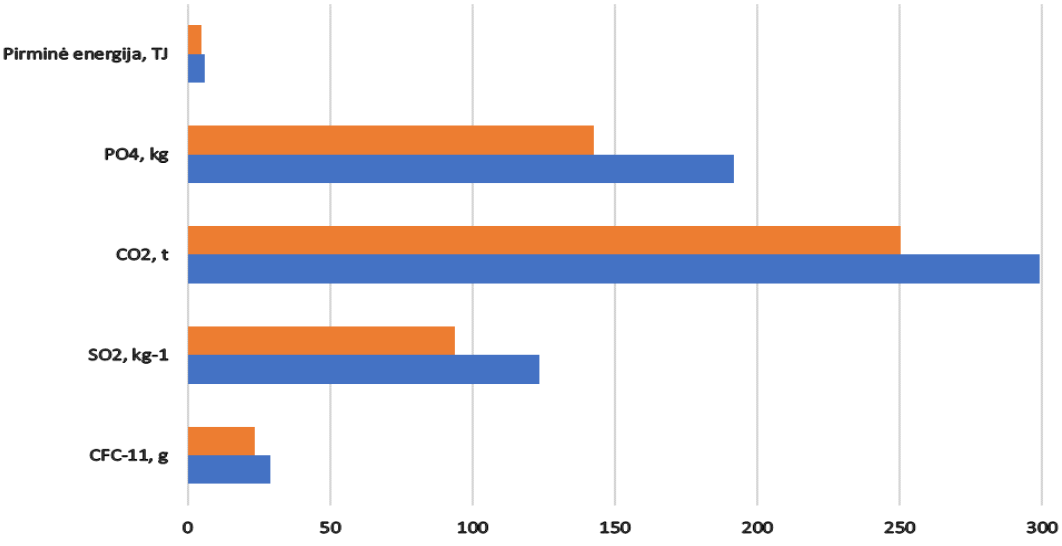
3.17 pav. yra pateiktas esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT tinklų palyginimas transportavimo fazėje. Esamų 3-iosios kartos CŠT tinklų transortavimui sunaudota 47 % daugiau pirminės energijos negu sumodeliuotų 4-osios kartos CŠT tinklų transportavimui.



	CFC-11, g	SO2, kg-1	CO2, t	PO4, kg	Pirminė energija, TJ
4 kartos CŠT	7,33	42,54	98,25	67,63	2,07
3 kartos CŠT	9,10	49,70	114,48	88,76	2,37

3.18 pav. Esamos 3-osios kartos ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT palyginimas sunaikinimo fazėje

3.18 pav. yra pateiktas esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT tinklų palyginimas sunaikinimo fazėje. Esamų 3-iosios kartos CŠT tinklų sunaikinimui sunaudota 15 % daugiau pirminės energijos negu sumodeliuotų 4-oisos kartos CŠT tinklų sunaikinimui.



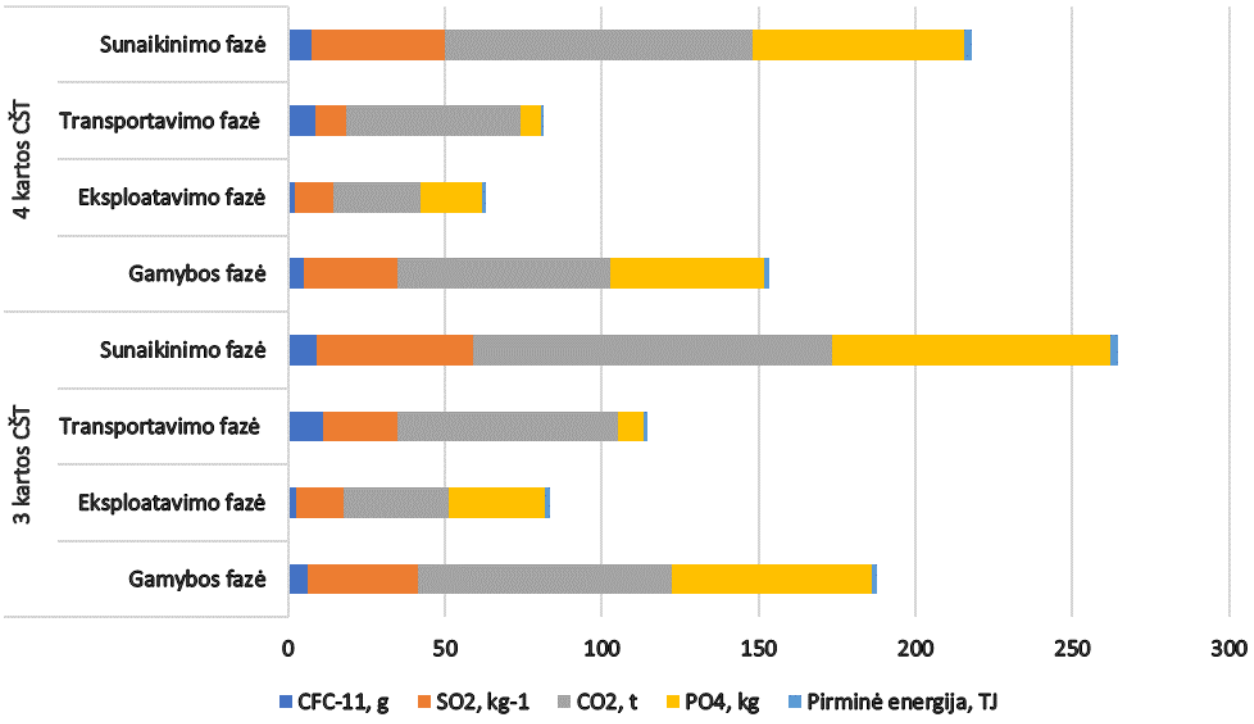
	CFC-11, g	SO2, kg-1	CO2, t	PO4, kg	Pirminė energija, TJ
4 kartos CŠT	23,41	93,76	250,45	142,78	4,91
3 kartos CŠT	29,23	123,58	299,24	191,71	5,95

3.19 pav. Esamos 3 kartos ir sumodeliuotos 4 kartos CŠT gyvavimo ciklo palyginimas

3.19 pav. yra pateiktas esamos 3-osios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osiso kartos CŠT tinklų gyvavimo ciklo palyginimas. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemai sunaudota 21 % daugiau pirminės energijos negu sumodeliuotai 4-osios kartos CŠT sistemai. Esamai 3-iosios kartos CŠT sistemai pirminės energijos visuose fazėse sunaudota 5,9 TJ, o sumodeliuotai 4 kartos CŠT sistemai 4,9 TJ.

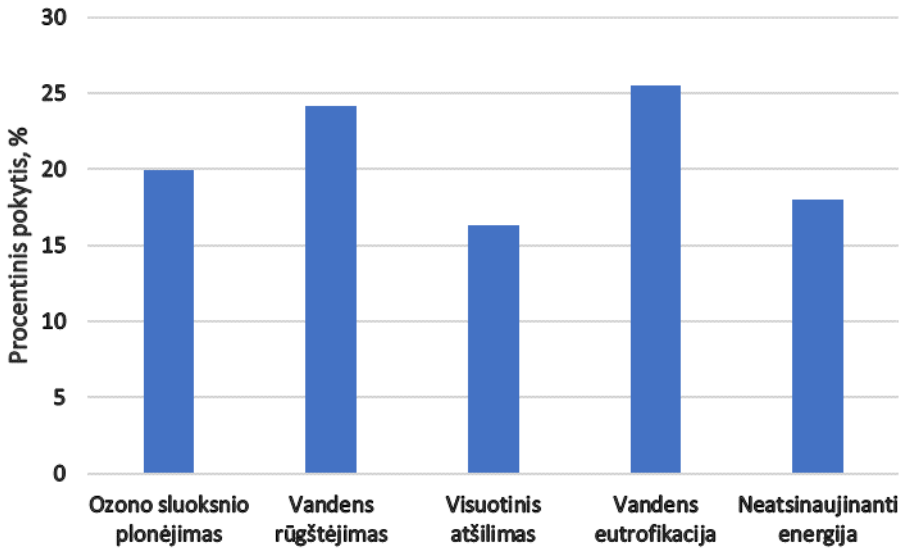
3.4. 4-osios kartos CŠT sistemos diegimo nauda modernizuotų daugiabučių pastatų kvartale

3-iosios ir 4-osios CŠT sistemų analizei buvo pasirinktas 30 metų laikotarpis. Per šį laikotarpį 3-iosios kartos CŠT sistemos šilumos nuostoliai – 3290 MWh, 3-iosios kartos CŠT sistemos su sumažintomis šilumnešio temperatūromis – 2740 MWh, o 4-osios kartos CŠT sistemos – 2088 MWh. Per 30 metų pakeitus 3-iosios kartos CŠT sistemą į 4-osios kartos CŠT sistemą šilumos nuostoliai sumažėtų 36,5 %. 3.20 pav. yra pateiktas 3-iosios ir 4-osios CŠT sistemų GCA fazėse įvertintų kriterijų palyginimas.



3.20 pav. 3-iosios ir 4-osios kartos CŠT sistemų GCA fazių kriterijų palyginimas

Šilumos nuostoliai buvo pridėti prie GCA eksploatavimo fazės. 3.21 pav. yra pateiktas GCA kriterijų sumažėjimas pakeitus 3-iosios kartos CŠT sistemą į 4-osios kartos CŠT sistemą.



3.21 pav. 4-osios kartos CŠT sistemos diegimo nauda pagal GCA kriterijų sumažėjimą

Išnagrinėjus esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT sistemų palyginimą, taikant gyvavimo ciklo analizės metodą, nustatyta, kad 3-iosios kartos CŠT variante sunaudojamas suminis pirminės energijos kiekis 18 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Taip pat 3-iosios kartos CŠT variante išskiriamų teršalų, darančių įtaką ozono sluoksnio ardymui, kiekis yra 20 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Be to 3-iosios kartos CŠT variante išskiriamų teršalų, darančių įtaką vandens rūgštėjimui, kiekis yra 24 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Taip pat 3-iosios kartos CŠT variante išskiriamų teršalų, lemiančių vandens telkinių eutrofikacija, kiekis yra 26 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Be to, 3-osios kartos CŠT variante visuotinį atšilimą skaitinančių CO_2 išskiriamas kiekis 16 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Išnagrinėjus pagrindines taikomas centralizuotos šilumos tiekimo tinklų sistemas ir jų klasifikavimą, nustatyta, kad siekiant gaminti šilumą, neišmetant CO_2, bei integruoti atsinaujinančius energijos išteklius į centralizuoto šilumos tiekimo sistemą, reikia modernizuoti centralizuoto šilumos tiekimo tinklus bent iki ketvirtosios kartos.
2. Esamos 3-iosios kartos CŠT sistemos tinkluose sumažinus šilumnešio temperatūras šilumos nuostoliai sumažinami nežymiai – 16,7 %. Nustatyta, kad labiausiai šilumos nuostoliai yra sumažinami pereinant iš 3-iosios kartos CŠT tinklų prie 4-osios kartos CŠT tinklų: metiniai šilumos nuostoliai šilumos tinkluose sumažėja 36,5 %.
3. Išnagrinėjus esamos 3-iosios kartos CŠT ir sumodeliuotos 4-osios kartos CŠT sistemų palyginimą, taikant gyvavimo ciklo analizės metodą, nustatyta, kad 3-iosios kartos CŠT variante sunaudojamas suminis pirminės energijos kiekis 18 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Taip pat 3-iosios kartos CŠT variante išskiriamų teršalų, darančių įtaką ozono sluoksnio ardymui, kiekis yra 20 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Be to 3-iosios kartos CŠT variante išskiriamų teršalų, darančių įtaką vandens rūgštėjimui, kiekis yra 24 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Taip pat 3-iosios kartos CŠT variante išskiriamų teršalų, lemiančių vandens telkinių eutrofikaciją, kiekis yra 26 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante. Be to, 3-osios kartos CŠT variante visuotinį atšilimą skaitinančių CO_2 išskiriamas kiekis 16 % didesnis, negu 4-osios kartos CŠT variante.
4. Siekiant sumažinti šilumos nuostolius ir iškastinio kuro naudojimą, bei prisidėti prie aplinkosaugos problemų (pvz., visuotinis atšilimas, klimato kaita) sprendimo, rekomenduojama modernizuotų daugiabučių kvartale įdiegti 4-osios kartos CŠT sistemą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Averfalk, H., & Werner, S. (2020). Economic benefits of fourth generation district heating. *Energy*, *193*, 116727. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116727

Buffa, S., Cozzini, M., D'Antoni, M., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 104, pp. 504–522). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059

Bünning, F., Wetter, M., Fuchs, M., & Müller, D. (2018). Bidirectional low temperature district energy systems with agent-based control: Performance comparison and operation optimization. *Applied Energy*, *209*, 502–515. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.072

Connolly, D., Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2016). Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 60, pp. 1634–1653). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.025

Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. V., Werner, S., Möller, B., Persson, U., Boermans, T., Trier, D., Østergaard, P. A., & Nielsen, S. (2014). Heat roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system. *Energy Policy*, *65*, 475–489. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.035

Direktyva 2012/27/ES 2012 m. spalio 25 d. dėl energijos vartojimo efektyvumo, kuria iš dalies keičiamos direktyvos 2009/125/EB ir 2010/30/ES bei kuria panaikinamos direktyvos 2004/8/EB ir 2006/32/EB

Eric, J., & Vad, B. (2018). *"Progression of District Heating-1st to 4th generation."* www.4dh.dk

Euroheat & Power. (2018). *European heating sector well positioned for renewables integration*. https://www.euroheat.org/news/european-heating-sector-well-positioned-renewables-integration/

European Commission. (2016). *An EU Strategy on Heating and Cooling*. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf

European Commission. (2018a). *Energy consumption in households - Statistics Explained*. https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Energy_consumption_in_households

European Commission. (2018b). *Heating and cooling*. https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling

Gudzinskas J., Lukoševičius V., Martinaitis V., Tuomas E. (2011). *Šilumos vartotojo vadovas*.

Jimenez-Navarro, J. P., Kavvadias, K., Filippidou, F., Pavičević, M., & Quoilin, S. (2020). Coupling the heating and power sectors: The role of centralised combined heat and power plants and district heat in a European decarbonised power system. *Applied Energy*, *270*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115134

Lake, A., Rezaie, B., & Beyerlein, S. (2017). Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 67, pp. 417–425). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.061

Leoni, P., Geyer, R., & Schmidt, R. R. (2020). Developing innovative business models for reducing return temperatures in district heating systems: Approach and first results. *Energy*, *195*, 116963. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116963

Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. (2018). *LIETUVOS CENTRALIZUOTO ŠILUMOS TIEKIMO*

SEKTORIAUS 2018 METŲ APŽVALGA.

Lund, H., Duic, N., Østergaard, P. A., & Mathiesen, B. V. (2018). Future district heating systems and technologies: On the role of smart energy systems and 4th generation district heating. *Energy*, *165*, 614–619. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.115

Lund, H., Duic, N., Østergaard, P. A., & Mathiesen, B. V. (2020). Perspectives on Smart Energy Systems from the SES4DH 2018 conference. In *Energy* (Vol. 190). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116318

Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. In *Energy* (Vol. 68, pp. 1–11). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089

Möller, B., Wiechers, E., Persson, U., Grundahl, L., & Connolly, D. (2018). Heat Roadmap Europe: Identifying local heat demand and supply areas with a European thermal atlas. *Energy*, *158*, 281–292. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.025

Nowak-Ocłoń, M., & Ocłoń, P. (2020). Thermal and economic analysis of preinsulated and twin-pipe heat network operation. *Energy*, *193*. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116619

Østergaard, D. S., & Svendsen, S. (2016). Theoretical overview of heating power and necessary heating supply temperatures in typical Danish single-family houses from the 1900s. *Energy and Buildings*, *126*, 375–383. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.034

Prando, D., Prada, A., Ochs, F., Gasparella, A., & Baratieri, M. (2015). Analysis of the energy and economic impact of cost-optimal buildings refurbishment on district heating systems. *Science and Technology for the Built Environment*, *21*(6), 876–891. https://doi.org/10.1080/23744731.2015.1040343

REN 21. (2018). *RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT*. http://www.ren21.net/gsr-2018/

Soltero, V. M., Chacartegui, R., Ortiz, C., & Quirosa, G. (2018). Techno-economic analysis of rural 4th generation biomass district heating. *Energies*, *11*(12). https://doi.org/10.3390/en11123287

Stănişteanu, C. (2017). Smart Thermal Grids – A Review. *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*, *0*(0). https://doi.org/10.1515/sbeef-2016-0030

Volkova, A., Mašatin, V., & Siirde, A. (2018). Methodology for evaluating the transition process dynamics towards 4th generation district heating networks. *Energy*, *150*, 253–261. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.123

Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. In *Energy* (Vol. 137, pp. 617–631). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045

Yang, X., Li, H., & Svendsen, S. (2016a). Modelling and multi-scenario analysis for electric heat tracing system combined with low temperature district heating for domestic hot water supply. *Building Simulation*, *9*(2), 141–151. https://doi.org/10.1007/s12273-015-0261-4

Yang, X., Li, H., & Svendsen, S. (2016b). Energy, economy and exergy evaluations of the solutions for supplying domestic hot water from low-temperature district heating in Denmark. *Energy Conversion and Management*, *122*, 142–152. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.057

Ziemele, J., Cilinskis, E., & Blumberga, D. (2018). Pathway and restriction in district heating systems development towards 4th generation district heating. *Energy*, *152*, 108–118. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.122

Ziemele, J., Gravelsins, A., Blumberga, A., & Blumberga, D. (2017). Combining energy efficiency at source and at consumer to reach 4th generation district heating: Economic and system

dynamics analysis. *Energy*, *137*, 595–606. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.123

Ziemele, J., Gravelsins, A., Blumberga, A., & Blumberga, D. (2016). The Effect of Energy Efficiency Improvements on the Development of 4th Generation District Heating. *Energy Procedia*, *95*, 522–527. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.079

PRIEDAI

Autoriaus publikacijos:

2021 m. gegužės 11 d. 24–ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų koferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminėje konferencijoje „Pastatų energetika“ buvo pristatytas darbas tema „Trečios ir ketvirtos kartos šilumos tiekimo tinklų analizė gyvavimo ciklo požiūriu“. Straipsnis tema „Trečios ir ketvirtos kartos šilumos tiekimo tinklų analizė gyvavimo ciklo požiūriu“ yra pateiktas į 24–osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos „Pastatų energetika“ straipsnių rinkinį.