



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Žilvinas Uldinskas

**VISAGINO MIESTO CENTRALIZUOTO ŠILUMOS TIEKIMO
TINKLO DARBO ANALIZĖ IR OPTIMIZAVIMO GALIMYBIŲ
STUDIJA**

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas
Doc. dr. Juozas Gudzinskas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
ŠILUMOS IR ATOMO ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
(parašas) Doc. dr. Egidijus Puida
(data)

**VISAGINO MIESTO CENTRALIZUOTO ŠILUMOS TIEKIMO
TINKLO DARBO ANALIZĖ IR OPTIMIZAVIMO GALIMYBIŲ
STUDIJA**

Baigiamasis bakalauro projektas
Šilumos energetika ir technologijos (kodas 612E30001)

Vadovas
(parašas) Doc. dr. Juozas Gudzinaskas
(data)

Recenzentas
(parašas) Doc.dr. Arvydas Adomavičius
(data)

Projektą atliko
(parašas) Žilvinas Uldinskas
(data)

KAUNAS, 2015

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu:

Šilumos ir atomo energetikos
katedros vedėjas

(parašas, data)

Doc. E. Puida

(vardas, pavardė)

**PAGRINDINIŲ UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa ŠILUMOS ENERGETIKA IR TECHNOLOGIJOS**

Universitetinių pagrindinių studijų, kurias baigus įgyjamas bakalauro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra taikomojo arba tiriamojo pobūdžio projektas. Jam atlikti ir apginti skiriama 12 kreditų. Šiuo projektu studentas parodo, kad yra sukaupęs pakankamai žinių, turi pakankamai gebėjimų ir nemažą pasirinktos studijų krypties analitinio ar projektavimo darbo patirtį. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, išmano socialinės ir komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir jų analizės, projektavimo ir inžinerinės analizės, informacinių technologijų naudojimo ir rašytinio bendravimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, giliai suvokia nagrinėjamą temą, geba tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: **Visagino miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklo darbo analizė ir optimizavimo galimybių studija;**

Analysis and study of optimization possibilities of district heating system in Visaginas.

Patvirtinta 2015 m. Gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr.ST17-F-11-1

2. Darbo tikslas - įvertinti Visagino miesto CŠT tinklų darbo parametrus ir pateikti pasiūlymus jų darbui optimizuoti, mažinant šilumos nuostolius bei mažinant kitas eksploatacines sąnaudas.

3. Darbo struktūra: Visagino miesto centralizuoto šilumos tiekimo sistemos analizė; šilumos tiekimo tinklo darbo analizė bei optimizavimo galimybių studija.

4. Reikalavimai ir sąlygos - laikytis baigiamiesiems darbams keliamų reikalavimų bei prisilaikyti norminių dokumentų reikalavimų.

5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2015 m. gegužės mėn. 29 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentui Žilvinui Uldinskui

Užduotį gavau Žilvinas Uldinskas 2014.02.02
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas doc. Juozas Gudzinskas 2014.02.02
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Žilvinas Uldinskas

(Studento vardas, pavardė)

Šilumos energetika ir technologijos (kodas 612E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“
AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 _____ Gegužės 29d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Žilvino Uldinsko** baigiamasis projektas tema „Visagino miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklo darbo analizė ir optimizavimo galimybių studija“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Uldinskas, Ž. Analysis and study of optimization possibilities of district heating system in Visaginas. Project of the bachelor degree/ Supervisor assoc. prof., dr. Juozas Gudzinaskas; Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical engineering and design, Department of thermal and nuclear energy.

Kaunas, 2015. 45 pages.

SUMMARY

District heating systems are undeniably the best and safest resources of distributing heat from power plants to consumers, mainly eliminating wide variety of threats (explosions, fires) as well as pollution. Thus there is a sense in constant modernisation, optimization and maintenance of heat distribution systems. Having stated this, I look upon Lithuanian city Visaginas situation regarding district heating systems, which are considerably old. Therefore the possibilities of system optimization must be evaluated.

In this thesis, known hydraulic, heat transfer and mathematical models were used in order to find out current Visaginas district heating system situation including consumers' demands, pipeline characteristics, heat losses and so on, to find out if there is room to apply any changes.

Firstly, consumers' demands are taken into considerations which were used to calculate maximum rates of heat demand throughout the whole system. After that, demands were derived into flow rates which then let us calculate pressure losses and create piezo metric graphs.

Secondly known flow temperatures (supply line 130°C, return line 70 (real 50)°C) were used to determine how the flow temperatures were to be managed according to outside temperature variations (from 10°C to -27°C). Regarding temperature adjustments, we were able to evaluate heat loss and flow rate demand alterations.

Using district heating system recommendations provided by the Euroheat & Power association and using results from the primary analysis, we were able to determine that certain measures could be introduced to Visaginas district heating system.

The results showed that through 3 year period there was constant decrease in demand of heating energy because of the ongoing modernizations and house renovations. That made it clear that less energy had to be produced and distributed. Thus the following measures were introduced: supply temperature was decreased according to recommendations up to 100°C (110°C in project conditions). That resulted in decreasing of pressure differential (20 mH₂O) that is almost twice bigger than that of recommendations. Reduced temperatures not only let us decrease pressures, but also to lessen the heat loss by 40%, and better optimize the workload of the pumps. However, because pressure difference was still greater than possible, there is a possibility to install frequency converters to pumps which would lead to even better workload optimization.

TURINYS

1	ĮVADAS.....	9
2	VISAGINO MIESTO CENTRALIZUOTO ŠILUMOS TIEKIMO SISTEMA.....	10
2.1	Centralizuoto šilumos tiekimo tinklo charakteristikos	11
2.2	Visagino miesto šilumos vartotojai	13
2.3	Darbo tikslai ir uždaviniai	16
3	ŠILUMOS TIEKIMO TINKLO DARBO ANALIZĖ	17
3.1	Skaiciavimo modelio ruošimas.....	17
3.2	Pjezometrinio grafiko sudarymas	21
3.3	Tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros reguliavimas.....	22
3.3.1	Temperatūros reguliavimo grafikų sudarymas.....	23
3.3.2	Temperatūros reguliavimo įtaka šilumnešio srautui	27
3.3.3	Šilumos nuostoliai vamzdyne.....	28
3.4	CŠT sistemos analizės apibendrinimas.....	30
4	CŠT TINKLO OPTIMIZAVIMO GALIMYBĖS.....	31
4.1	Temperatūros grafiko optimizavimas.....	31
4.2	Šilumos tiekimo tinklo slėgio ir temperatūros koreliacijos optimizavimo eigoje	36
4.3	Šilumos nuostolių palyginimas.....	38
5	IŠVADOS.....	40
6	LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	41
7	PRIEDAI	42
7.1	A PRIEDAS. Lentelės pjezometriniam grafikui sudaryti.	42
7.1.1	A1. Tiekimo linijos suvestinė.....	42
7.1.2	A2. Grąžinamo vandens linijos suvestinė	43
7.1.3	A3. Šilumos punktų ir vartotojų aukštis virš jūros lygio kartu su slėgiu.	44
7.2	B PRIEDAS. Galutinis pjezometrinis grafikas.....	45
7.2.1	Pjezometrinis grafikas optimizuotam tinklui.	45

LENTELĖS

2.1 lentelė. Pilnų šildymo sezonų mėnesių bei metų temperatūros.....	14
3.1 lentelė. Visų ruožų skaičiavimų rezultatai.	20
3.2 lentelė. Reikiamos šilumos kiekio priklausomybės nuo aplinkos temperatūros.....	24
3.3 lentelė. Vamzdžių skersmenys (tipai), jų ilgis bei temperatūros režimas.	29
3.4 lentelė. Šilumos nuostolių skaičiavimo rezultatai vamzdyne šildymo sezono metu.....	29
4.1 lentelė. EHP rekomendacijos	31
4.2 lentelė. Temperatūrinio režimo bei slėgių skirtumo priklausomybės palyginimas.....	32
4.3 lentelė. Reikalingos šilumos poreikis tinklui dirbant 100-50°C režimu.	34
4.4 lentelė. Visų režimų slėgių skirtumų palyginimas.	37
4.5 lentelė. Naujo režimo įtaka šilumos nuostolių dydžiui šildymo sezono metu.	38
4.6 lentelė. Modernizuoto CŠT tinklo įtaka šilumos nuostoliams šildymo sezono metu.	38
4.7 lentelė. Šilumos nuostolių palyginimas visais atvejais.	39
7.1 lentelė. Tiekimo linijos skaičiavimų rezultatai.	42
7.2 lentelė. Grąžinamo vandens linijos skaičiavimų rezultatai	43
7.3 lentelė. Pagal aukštį nustatytos slėgio reikšmės.....	44

PAVEIKSLAI

2.1 pav. Visagino miesto CŠT tinklo schema su išskirtomis magistralėmis (pažymėta raudona spalva), srautų tekėjimo kryptimis (geltonos rodyklės) bei žiedinių atkarpų susijungimais (žalios linijos).....	12
2.2 pav. Vartojamos gyvenamųjų pastatų šilumos palyginimas.	15
3.1 pav. Išskirtas analizei naudojamas ruožas.....	21
3.2 pav. Pjezometrinis analizuojamo ruožo grafikas.....	22
3.3 pav. Tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros kitimas	25
3.4 pav. Temperatūros reguliavimo grafikas esant pastoviam srautui (kokybinio reguliavimo metu).....	26
3.5 pav. Temperatūros reguliavimo grafikas esant kintančiam srautui (kiekybinis reguliavimas pasiekus lūžio tašką).....	27
3.6 pav. Termofikacinio vandens srauto kitimo grafikas	28
4.1 pav. Pjezometrinis grafikas esamai situacijai.....	32
4.2 pav. Slėgio kitimo grafikas prie naujo temperatūrinio režimo.	33
4.3 pav. Temperatūros reguliavimo grafikas prie naujojo režimo.	34
4.4 pav. Termofikacinio vandens srautas esant 100-50°C režimui.	35
4.5 pav. Realus ir teorinis srautų kitimų palyginimas.....	36
4.6 pav. Pjezometrinių grafikų palyginimas modeliuojant skirtingus režimus.	37
7.1 pav. Pjezometrinis grafikas optimizavus bei modernizavus CŠT tiekimo sistemą.....	45

Senstant centralizuoto šilumos tiekimo sistemoms, dėvintis vamzdynams, tačiau tuo pat metu stebint šilumos tiekimo sistemos vartotojų renovacijas, šilumos punktų modernizacijas ir vis atsirandant naujoms šilumos generavimo galimybėms (arba keičiantis šilumos gamintojams), iškyla klausimas ar seniai įrengti, neatnaujinti (arba atnaujinti nežymiai) šilumos tiekimo tinklai užtikrina optimalų bei efektyvų šilumos tiekimą ir skirstymą, reikalingą šilumos vartotojams.

Šio baigiamojo projekto darbo objektas yra Visagino centralizuoto šilumos tiekimo tinklas. Šis tinklas pasirenkamas dėl didelio jo amžiaus, nedidelio vamzdynų atnaujinimo, vartotojų pastatų renovacijos, taip pat dėl jo darbo aukštų temperatūros parametrų režimu bei uždarius Ignalinos atominę elektrinę, pasikeitusio šilumos gamintojo.

Darbo eigoje analizuojama esanti šilumos tinklų situacija, atsakoma į šilumos tiekimo tinklo modernizavimo klausimą, ieškoma tinklo optimizavimo galimybių bei pateikiami siūlymai optimizavimui bei modernizavimui pasiekti.

Iš visų šilumos energijos gamybos bei tiekimo sistemų, centralizuotas šilumos tiekimas, yra optimaliausias bei veiksmingiausias šilumos gamybos bei užtikrinimo būdas dėl kelių priežasčių. Visų pirma tai saugumo klausimas - turint centrinį šilumos gamintoją, eliminuojamas gaisrų pavojus šilumos vartotojų patalpose (dėl netvarkingos technikos, nesaugaus kuro, dujų sprogo pavojaus). Taip pat vartotojams nereikia rūpintis kuru, šildymo įrenginiais, sutaupomas naudingas patalpų plotas gyventojams. Nereikia pamiršti ir to, kad esant vienam, prižiūrimam šilumos šaltiniui, beveik garantuojama gera kuro kokybė, bei geresnė taršos kontrolė lyginant su pačių gyventojų deginamu kuru.

Lietuvoje, CŠT ūkio pradžia laikoma 1947 m. kuomet Kaune iš Petrašiūnų šiluminės elektrinės buvo tiekiamas garas popieriaus fabrikui (vėliau buvo pradėtas tiekti ir karštas vanduo). Kiek vėliau šiluminės elektrinės pradėjo tiekti termofikacinį vandenį ir kituose Lietuvos miestuose. Taip centralizuoto šilumos tiekimo ūkis buvo plėtojamas kelis dešimtmečius, o to pabaiga galima laikyti 1990 metus, kuomet buvo pasiektas dabartinis lygis.

Turint tai galvoje, galima spręsti, jog dauguma šilumos tinklų greičiausiai dirba senais, neoptimaliais režimais, kadangi nekomerciniu principu įrengti CŠT tinklai nėra orientuoti nei kuro, nei šilumos taupymui, nei efektyvumui užtikrinti. O priešingai, tiekia aukštesnių parametrų vandenį didesniu slėgiu, kas lemia didelius nuostolius.

Nepamirštant sparčiai vykdomos daugiabučių namų, šilumos punktų, vamzdynų renovavimo politikos, galima teigti, kad šilumos poreikiai taip pat turėtų mažėti, kas taip pat lemtų ir mažesnę šilumos generavimą.

Analizei naudojamas Visagino miestas yra įsikūręs Lietuvos šiaurės rytuose. Tai miestas, kuris buvo skirtas Ignalinos atominės elektrinės (IAE) personalui, o jo įkūrimo pradžia laikomi 1975 metai, kuomet pradėta statyti ir atominė jėgainė.

Nuo pat miesto įkūrimo, šilumą jam tiekė Ignalinos atominė elektrinė. Tačiau vykdant jos uždarymo darbus, buvo reikalingos alternatyvos. Egzistavo tik viena rezervinė katilinė, kuri esant reikalui (remontuojant IAE įrenginius), galėdavo tiekti šilumą miestui. IAE uždarius visiškai, rezervinės katilinės galingumas bei įranga nepakankami, norint užtikrinti patikimą šilumos tiekimą, kurio reikia ne tik miestui, bet ir uždaromai atominei elektrinei. Todėl buvo įgyvendintas naujos katilinės statybų projektas. Visagino miesto katilinė yra ne pačiame mieste, tačiau greta esančiame Karlų kaime (apytikriai esančiame 2,5 km atstumu nuo miestelio).

Atsižvelgiant į IAE poreikį, suprojektuotos naujos katilinės galia yra 160 MW, kurios pagrindinis kuras yra dujos, o rezervinis- mazutas. Negana to, yra įdiegtas ir 8 MW galios biokuro katilas, kartu su 5 MW galios ekonomizeriu. Tuo nuosekliai siekiama sumažinti dujinio naudojimą, nes šiuo metu 90 % šilumos yra generuojama dujiniu kuru.

Nauja katilinė, tiekti šilumai į miestą naudoja senus vamzdynus, kurie tiekė ir termofikacinį vandenį iš IAE.

Pasikeitusi situacija (uždarius IAE, atliekant pastatų renovaciją bei senstant vamzdynams) kartu su neįprastai dideliu aukštų parametrų režimu (kuomet tiekiamas vanduo yra 130°C temperatūros, lyginant Kaune (Šilainiuose) toks pats tiekiamas vanduo yra 105°C temperatūros), skatina pažvelgti giliau į esamą situaciją bei išsiaiškinti ar galima koreguoti šilumos tinklų darbo sąlygas Visagine.

2.1 Centralizuoto šilumos tiekimo tinklo charakteristikos

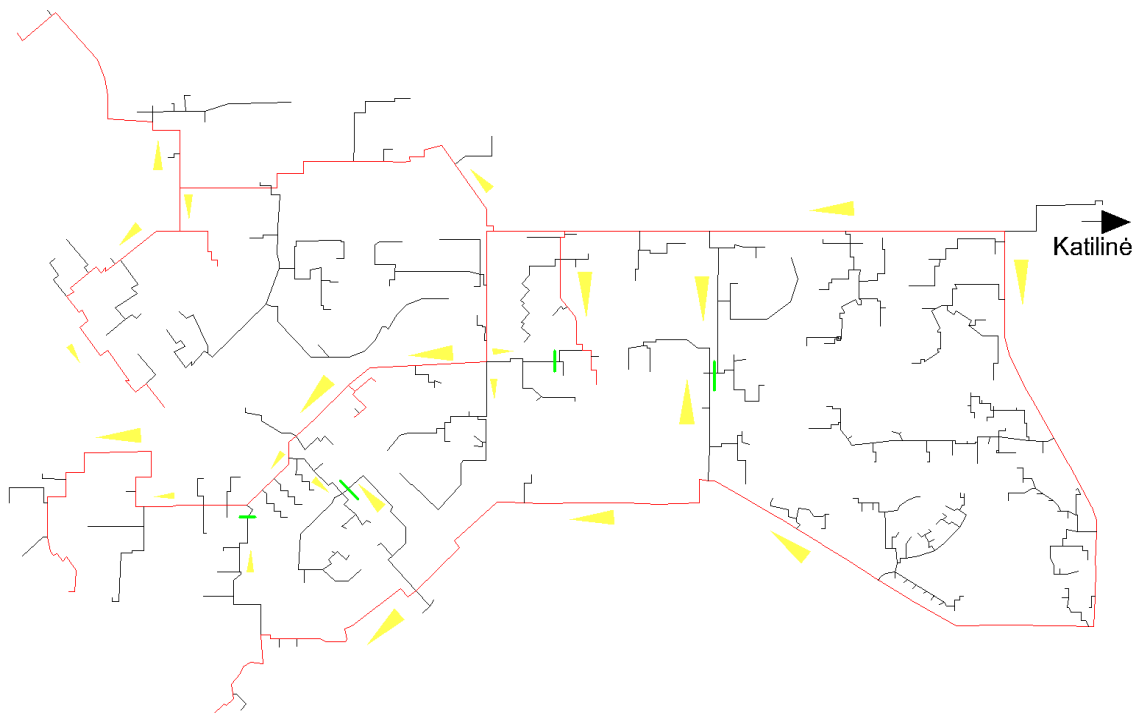
CŠT tinklo sistemą apibūdina tokie elementai kaip šilumos šaltinis (katilinė), vamzdynai, šilumos punktai, pastatuose naudojamos šilumą naudojančios sistemos (radiatoriai, vent. kameros, karšto vandens ruošimo šildytuvai). Nuo šios elementų visumos priklauso šilumos tiekimo sistemos efektyvumas.

Šilumos vartotojų poreikiams užtikrinti, svarbiausia dedamoji yra vamzdynai jungiantys vartotojų šilumos punktus bei šilumos šaltinį. Erdvių šildymui naudojama pašildyto termofikacinio vandens energija (pvz. radiatoriuose), kuris atiteka iš katilinės tiekiamąja linija. Vanduo su išnaudotu potencialu (žemesne temperatūra) grąžinamas šilumos šaltiniui atskiru vamzdžiu. Todėl CŠT sistemose bene dažniausiai pasitaikantis atvejis yra du lygiagrečiai sumontuoti vamzdžiai (dvivamzdė sistema). Palyginimui, rečiau naudojamos yra trivamzdės (kai vartotojui reikalingas nekintančios temperatūros vanduo), keturvamzdės (kuomet tiekiamas tiek termofikacinis vanduo, tiek karštas vanduo buitiniam naudojimui).

Analizės metu, nekreipiamė dėmesio į šilumos tiekimą už pastatuose esančių šilumos punktų, t.y. nesigiliname į šilumos vartojimo būdą (nepriklausomai ar tai radiatoriai, ar oro ruošimo kameros ir pan.). O savo ruožtu vartotojams prilyginami pačių pastatų šiluminės galios kiekiai. Todėl analizei svarbiausi elementai yra tik vamzdynai, bei jų savybės.

Visagino miesto CŠT tinklas yra mišrios konfigūracijos, t.y. vamzdynas šakotinis su keliais žiedais. Toks būdas yra optimaliausias miestams, kadangi yra užtikrinamas patikimas bei saugus šilumos tiekimas. Avarijos atveju galima be didesnių nuostolių uždaryti vieną vamzdyno atkarpą, izoliuojant avarijos vietą, bei termofikacinio vandens srautui leidžiant tekėti aplink.

Visagino miestą sudaro trys mikrorajonai, kurie ir yra apsupti žiedais, kuriuose dalinamas termofikacinio vandens srautas. Be minėtų žiedų, šilumos tiekimo tinklus, sudaro magistraliniai ir skirstomieji tinklai bei įvada. Skirstomaisiais tinklais vanduo teka iš magistralinio tinklo, o magistraliniais tinklais šilumnešis teka nuo katilinės iki šilumos vartotojų grupių. Analizuojamu atveju visas CŠT sistemos tinklas bei magistralinių vamzdynų išsidėstymas yra pavaizduojamas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Visagino miesto CŠT tinklo schema su išskirtomis magistralėmis (pažymėta raudona spalva), srautų tekėjimo kryptimis (geltonos rodyklės) bei žiedinių atkarpų susijungimais (žalios linijos).

Paveikslėlyje raudonomis linijomis paryškinti vamzdynai yra magistraliniai tinklai, kurių vamzdynais teka didžiausi srautai. Iš jų, skirstomaisiais vamzdynais tekanys srautai padalinami vartotojams, brėžinyje šios linijos pažymimos juoda spalva. Brėžinyje taip pat matoma, jog skirstomieji tinklai sujungia dalis tarp magistralių, sudarydami žiedus, šie susijungimai pažymimi žalios spalvos linijomis. Remiantis srauto tekėjimo kryptimis bei žinant kur susijungia vamzdynai, matoma kaip pasiskirsto termofikacinio vandens srautas žieduose.

2.1 paveiksle pažymėtoms magistralėms darbe taikoma hidraulinė analizė. Magistraliniai ruožai tęsiasi nuo pat šilumos šaltinio, iki tolimiausių šilumos vartotojų. Juos yra būdinga skirti ir tuomet, kai vartotojų aukštis žymiai skiriasi nuo vidutinio sistemos aukščio nuo jūros lygio.

Visagino miesto šilumos tinklus sudaro dvivamzdė centralizuoto šilumos tiekimo sistema. Tokioje sistemoje šilumos gamintojas vienu vamzdžiu tiekia aukštesnių parametrų termofikacinį vandenį vartotojams, o antruoju vamzdžiu vanduo grįžta iš vartotojų su jau išnaudotu potencialu žemesniais parametrais. Visagino miesto šilumos tiekimo tinkle nustatytos 130°C ir 70°C tiekiamo vandens temperatūros ribos.

Šiluma CŠT sistemoje gali būti tiekama dviejų tipų sistemomis – uždara arba atvira. Uždaroje sistemoje vanduo cirkuliuoja uždaru kontūru nuo šilumos šaltinio iki vartotojo, tuo tarpu atviros sistemos skiriasi tuo, kad termofikacinis vanduo taip pat naudojamas kaip karštas vanduo buitiniams reikmėms vandentiekio sistemose, ši sistema dar vadinama elevatorine šildymo sistema. Būtent tokia sistema įrengta ir Visagino mieste, tačiau ji yra neefektyvi, tad

stengiantis kaip įmanoma labiau mažinti šilumos suvartojimą, tokia sistema palaipsniui keičiama į uždara įrengiant šilumokaičius, todėl remiantis tuo, analizės metu laikoma, jog sistema yra uždara.

Vidutinis CŠT tinklo dvivamzdės sistemos amžius yra apie 33 metus. Tai reiškia, kad nuo pat paklojimo buvo atnaujinta tik nedidelė vamzdyno dalis (turint omenyje kad statybos vyko nuo 1975 metų, esamas vidutinis vamzdynų amžius šiek tiek mažesnis). Bendras šių šilumos tiekimo sistemos vamzdynų ilgis 55,5 km.

Šilumos tiekimui naudojami įvairaus tipo vamzdžių skersmenys. Debitui esant didžiausiam (kol tiekiamas visas paruoštas termofikacinis vanduo), vamzdžių skersmuo taip pat didžiausias. Toliau nuo termofikacinio vandens padavimo vietos ir prisijungiant vis daugiau šilumos vartotojų, termofikacinio vandens srautas tolimesnių vamzdynų atšakose mažėja, dėl šios priežasties siekiant užtikrinti pakankamą slėgį, vamzdžių skersmuo yra mažinamas. Taip visame tinkle vamzdžių standartiniai skersmenys kinta nuo DN 500 (prie pat katilinės) iki DN 50 (atšakose prie tolimiausių vartotojų).

Tiekiant vandenį vamzdžiais, jo tekėjimo charakteristikos priklauso ne tik nuo skersmenų, tačiau ir nuo jų šiurkštumo. Šiuo atveju šiurkštumas sudaro kliūtis tekančiam srautui, tad kuo jos didesnės (esant didesniam šiurkštumui) tuo didesni trinties nuostoliai, kurie mažina srauto greitį bei didina slėgio nuostolius.

Visagino miesto CŠT tinkle yra dviejų tipų vamzdžiai, kurių šiurkštumas skiriasi. Yra seno klojimo vamzdynų, kurie nėra buvę keisti per visą eksploatavimo laikotarpį, bei nedidelė dalis naujai paklotų vamzdžių. Analizės metu naudotų vamzdžių šiurkštumas seniems vamzdžiams yra 0,9 mm, o naujų vamzdžių 0,5 mm.

2.2 Visagino miesto šilumos vartotojai

Visagino miestui pagrindinis šilumos tiekėjas yra VĮ „Visagino energija“, įmonė, kuri miestui teikia 99,99% centralizuotai tiekiamų energijos išteklių. Visi vartotojai, tiek gyvenamieji daugiabučiai namai, tiek visuomeninės paskirties pastatai (mokyklos, darželiai, viešbučiai, parduotuvės ir kt.), tiek pramonės įmonės yra prijungti prie centralizuoto šilumos tiekimo tinklo. Didžiausią dalį visos pagamintos šilumos kiekį suvartoja Daugiabučiai, kurių iš viso yra 319 pastatų, tai yra sudaro 75% visų vartotojų kiekio.

Didžiausias šilumos poreikis yra Visagino miesto gyvenamųjų daugiabučių pastatų šildymui. Jų šilumos poreikis gautas naudojantis VĮ „Visagino energija“ pateiktos apskaitos duomenimis. Naudoti 2012, 2013 bei 2014 metų šildymo sezonų duomenys, kuriuose yra pateikiamas šildymo sezonų metu suvartotos šilumos kiekis.

Įvertinant didžiausius šilumos vartotojų poreikius, kuriais remiamasi detaliai analizuojamas šilumos tiekimo tinklas, apytiksliai apskaičiuojamas remiantis suteiktos šilumos

kiekiais trijų metų šildymo sezonais bei tuo metu buvusiomis aplinkos temperatūromis Visagine. Skaičiavimo tikslumui užtikrinti, iš viso šildymo sezono išrenkami mėnesiai, kurių metu šiluma buvo tiekama nuo pirmos iki paskutinės mėnesio dienos (tai lapkričio, gruodžio, sausio vasario bei kovo mėnesiai). Šio laikotarpio temperatūros pateikiamos pagal VI „Visagino energija“ duomenis.

2.1 lentelė. Pilnų šildymo sezonų mėnesių bei metų temperatūros.

Mėn	Temperatūros			Vid. Temp
	2012 m.	2013 m.	2014 m.	
	°C			
Lapkritis	3.8	4	1.3	3.03
Gruodis	-5.5	0.7	-2.4	-2.40
Sausis	-4.8	-7.9	-7.3	-6.67
Vasaris	-10.6	-2.9	-0.6	-4.70
Kovas	0.4	-6	4	-0.53

Pavyzdžiui, ieškant vieno Visagino pastato, esančio Visagine Draugystės g. 1 didžiausio galimo šilumos poreikio, imama suminė 2012 metų šildymo sezono metu suvartota šiluma – 229783 kWh, naudojama turima informacija apie tuo metu buvusias mėnesių temperatūras. Tokiu būdu taikant (2.1) formulę, randamas didžiausias apytikrė vieno pastato šilumos poreikis 2012 metų šildymo sezonui.

$$Q_{\text{š}}^{\text{max}} = Q_{\text{š}} \cdot \frac{(t_v - t_{\text{vid}})}{(t_v - t_{\text{iš}}) \cdot n \cdot h}, \quad (2.1)$$

čia $Q_{\text{š}}^{\text{max}}$ - didžiausias pastato šilumos poreikis (kW), t_v - norminė patalpų vidaus temperatūra remiantis HN 42: 2009 higienos norma (18°C), $t_{\text{iš}}$ - minimali temperatūra Visagino mieste (-27°C), t_{vid} - vidutinė šildymo sezono temperatūra (-3,29°C), n – skaičiuojamų mėnesių šildymo sezono dienų skaičius (152), h – paros valandų skaičius (24).

$$Q_{\text{š}}^{\text{max}} = 2297823 \cdot \frac{(18 - (-27))}{(18 - (-3,29)) \cdot 152 \cdot 24} = 133,128 \text{ kW}.$$

Naudojant tą patį skaičiavimą, analogišku būdu randami ir šilumos poreikiai 2013 bei 2014 metams, kurių rezultatai yra:

- 2012 m. 133,1 kW,
- 2013 m. 128,2 kW,
- 2014 m. 119,3 kW.

Šilumos poreikio kitimas, gali priklausyti nuo gyvenamųjų patalpų renovacijos apšiltinant šilumines atitvaras, keičiant langus bei nuo vidutinės šildymo sezono temperatūros. Šiuo atveju 2014 metų šildymo sezono temperatūra buvo aukščiausia.

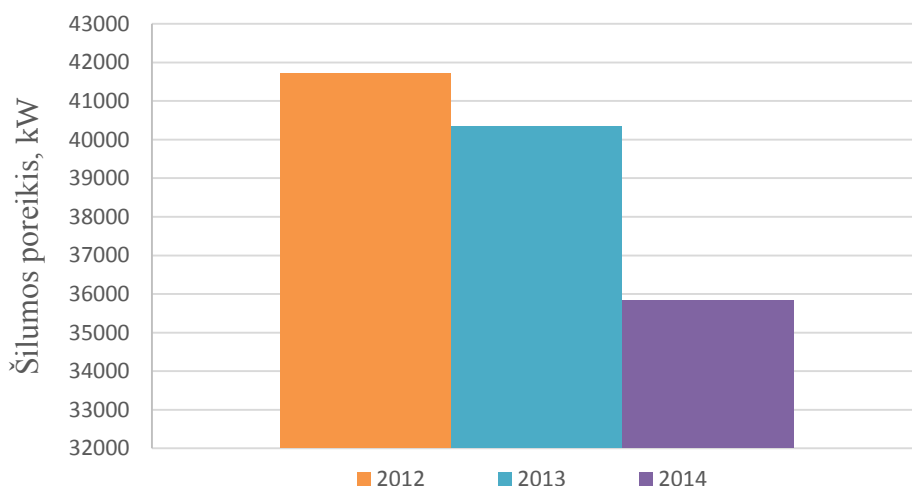
Išvertinant nepastovų šilumos poreikį esant šildymo sezonų vidutinių temperatūrų fluktuacijoms, tolimesnei analizei priimtas vidutinis pastatų poreikis šildymui.

$$Q_{vid} = \frac{\sum Q_s^{max}}{3}, \quad (2.2)$$

čia $\sum Q_s^{max}$ - viso skaičiavimo laikotarpio didžiausių pastatų šilumos poreikių suma (kW).

$$Q_{vid} = \frac{133,128 + 128,192 + 119,270}{3} = 126,9 \text{ kW}$$

Analogiški skaičiavimai atliekami visiems gyvenamiesiems pastatams naudojant Excel skaičiuoklę, kurių rezultatai apibendrinami grafiniu būdu.



2.2 pav. Vartojamos gyvenamųjų pastatų šilumos palyginimas.

2.2 paveiksle stebimas nuolat mažėjantis šiluminės energijos poreikis trijų šildymo sezonų laikotarpiu. Kaip jau minėta, to priežastis gali būti sparčiai vykdoma renovacija gyvenamuosiuose pastatuose, modernizuojant šilumos punktus bei pasitaikęs šiltesnis metų periodas. Kadangi tai aktualu šildymo sistemai, šilumos tiekimo tinklui skaičiuoti su atsarga naudojamas vidutinis pastatų šilumos poreikis.

Kitą dalį šilumos vartotojų Visagino mieste sudaro pramonės įmonės, įmonės, bei visuomeniniai pastatai (sveikatos centrai, bibliotekos, mokyklos darželiai ir kt.).

Šis kiekis sudaro likusius 25% visų šilumos vartotojų. 2012 metų duomenimis, bendras jų skaičius buvo 119 pastatų. Analizėje priimama, kad įmonių bei kitų visuomeninių pastatų šilumos poreikis nesumažėjo arba sumažėjo nežymiai nuo 2012 metų.

Gautas vidutinis šiluminės energijos poreikis daugiabučiams 39 MW, o likusių vartotojų poreikis yra apie 16 MW, tad sumoje gaunamas 55 MW bendras poreikis. Kadangi anksčiau aprašytos Visagino miesto katilinės šiluminė galia yra 173 MW, tad vartotojų poreikiui pilnai išpildyti, to visiškai pakanka.

2.3 Darbo tikslai ir uždaviniai

Įvertinus Visagino CŠT sistemos charakteristiką, būklę ir vartojimo dinamiką darbe keliamas pagrindinis tikslas – magistralinio CŠT tinklo detalios hidraulinės analizės pagrindu nustatyti tinklo optimizavimo galimybes. Norint šį tikslą pasiekti, darbe sprendžiami tokie uždaviniai:

1. Paruošti magistralinio centralizuoto šilumos tiekimo tinklo analizės modelį, kuriame įvertinti esamą tinklo būseną bei numatyti reikiamų parametrų keitimo galimybes;
2. Panaudojant sudarytą modelį ištirti Visagino CTŠ veikimą ir labiausiai apkrautą magistralės ruožą, kuriame ir nagrinėti optimizavimo galimybes;
3. Optimizavimo galimybes įvertinti keičiant specifinius tinklo parametrus modelyje, ieškant optimalių reguliavimo būsenų;
4. Parengti rekomendacijas Visagino CŠT tinklo optimizavimui.

Analizei bei kuriamam šilumos tinklų skaičiavimo modeliui svarbiausios dedamosios yra vartotojų poreikis šildymui, tinklo konfigūracija bei magistralių konfigūracija. Modeliavimo metu įvertinamos vamzdynų charakteristikos (skersmenys, šiurkštumas), termofikacinio vandens tiekama bei grąžinama temperatūros, taip pat slėgiai esantys sistemoje. Modelyje numatoma galimybė visų išvardintų dedamųjų keitimui. Skaičiuojamojo modelio rezultatas yra pjezometrinis centralizuoto šilumos tiekimo sistemos magistralės grafikas.

3.1 Skaičiavimo modelio ruošimas

Įvertinant parametrus, kurie nulemia srauto greitį, tekėjimo režimą, bei slėgio nuostolius vamzdyne yra taikoma detali analizė, kurios metu sudaromas skaičiavimo modelis. Modelio aprašymui imamas viena magistralės atkarpa tarp dviejų šilumos punktų.

Pirmiausia, apskaičiuotas visų pastatų vidutinis didžiausias šiluminės energijos poreikis (2.2 skyrius) iš kW verčiamas srauto matavimo vienetais m^3/h , taip apibrėžiant vartotojui reikalingo vandens srauto kiekį, kuris patenkinta jo šilumos poreikį bei kuriuo ir paremtas hidraulinio skaičiavimo modelis. Kadangi į magistralinį tinklą įsijungia ne pavieniai vartotojai, o jų grupės, naudojamas visas šilumos poreikis iki magistralės atsišakojimo.

Pavyzdžiui, analizuojamos magistralės atšakoje (iki pirmojo atsišakojimo) reikalingas šilumos poreikis vartotojams yra 33 MW, pagal jį remiantis (3.1) formule randamas srautas.

$$V = \frac{Q \cdot 3600}{c_p \cdot \Delta t \cdot \rho}, \quad (3.1)$$

čia Q – šilumos poreikis (kW), c_p specifinė vandens šiluma (laikoma 4,183 kJ/kg), Δt – temperatūrų skirtumas tiekimo ir grąžinimo linijose (130-70°C), ρ – vandens tankis esant vidutinei tiekiamo ir grąžinamo vandens temperatūrai (kg/m^3).

Tuomet remiantis (3.1) formule:

$$V = \frac{33000 \cdot 3600}{4,183 \cdot (130 - 70) \cdot 985,05} = 37,99 \, m^3/h$$

Pagal gauto srauto kiekį, randamas vandens tekėjimo greitis:

$$w = \frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (3.2)$$

čia V – srauto kiekis (m^3/h), d – vamzdžio vidinis skersmuo (m).

Kadangi ruožo atkarpa yra magistralės pradžioje ir pro ją teka didžiausias srautas, naudojamas vamzdis yra DN 500, kurio vidinis skersmuo yra 517,4 mm.

Pagal (3.2) formulę randamas srauto greitis:

$$w = \frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 37,99}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,5174^2} = 0,63 \text{ m/s.}$$

Toliau apskaičiavus Reinoldso kriterijų (pagal greitį) randamas tekėjimo režimas:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (3.3)$$

čia ν - skysčio kinematinė klampa, priklausanti nuo vidutinės (tiekiama bei grąžinamo srautų) temperatūros, šiuo atveju $\nu = 0,29 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$.

Iš čia Reinoldso skaičius pagal (3.3) formulę

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0,63 \cdot 0,5174}{0,29 \cdot 10^{-6}} = 1155721.$$

Srauto tėkmė priklauso nuo skysčio trinties į vamzdžio sienelę, kurią nusako trinties koeficientas λ . Šis dydis priklauso nuo vamzdžio šiurkštumo bei Reinoldso skaičiaus. Kadangi šiuo atveju $Re > 4000$, tai reiškia jog tekėjimas turbulentinis, o šio tekėjimo režimo trinties nuostolių koeficientui apibūdinti naudojama tokia formulė:

$$\lambda = 0,11 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re}}, \quad (3.4)$$

čia Δ - vamzdžio šiurkštumas mm, seniems vamzdžiams 0,9, naujiems 0,5. Šiuo atveju žinoma jog, skaičiuojamoji ruožo atkarpos dalis yra atnaujinta, todėl šiurkštumas 0,5 mm.

Įsistačius į (3.4) formulę prieš tai gautus jai reikalingus narius, gaunamas rezultatas:

$$\lambda = 0,11 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,005}{0,5174} + \frac{68}{1155721}} = 0,019.$$

Sekantis žingsnis, trinties nuostolių skaičiavimas pagal formulę:

$$\Delta h = \sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}, \quad (3.5)$$

čia $\sum \zeta$ - trinties nuostoliai dėl vietinių kliūčių. Šia apskaičiuojami labai kebliai, tad vietoje to skaičiuojant yra įvedamas koeficientas, kuris randamas atliekant hidraulinius bandymus.

Nagrinėjamu atveju tas koeficientas lygus 1,25. l - ruožo atkarpos ilgis m. g - laisvo kritimo pagreitis ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Remiantis (3.5) formule trinties nuostoliai lygūs:

$$\Delta h = 1,25 \cdot 0,019 \frac{426}{0,5174} \cdot \frac{0,630^2}{2 \cdot 9,81} = 3848,8 \text{ (Pa)}$$

Gaunami trinties nuostoliai matuojami Paskaliais. Tam, kad rezultatus būtų galima vertinti paprasčiau, gautas atsakymas verčiamas kitais matavimo vienetais, metrais vandens stulpo ($m.v.st$), pagal (3.5) formulę:

$$h = \frac{\Delta h}{\rho g}, \quad (3.6)$$

čia ρ - vandens tankis tiekiamo vandens temperatūrai esant 130°C , $\rho=958,42 \text{ kg/m}^3$.

$$h = \frac{3848,8}{958,42 \cdot 9,81} = 0,410 \text{ (m. v. st.)}.$$

Šiuo algoritmu, kuris naudojamas modelyje, apskaičiuojami slėgio nuostoliai esantys tarp dviejų šilumos tinklo punktų magistralės atkarpoje. Kadangi šilumos punktų yra daug, priklausomai nuo vartotojų grupių šilumos poreikio bei srauto atsišakojimo, sekančioms ruožo atkarpoms taikomas tas pats aprašytas algoritmas. Slėgio nuostoliai dėl trinties taip skaičiuojami išilgai visos magistralės, iš naujo įvertinant šilumos poreikio nuolatinį mažėjimą, vamzdžių skersmenis, ilgį bei šiurkštumą.

Grižtančio termofikacinio vandens linijos hidraulinė analizė yra analogiška, kadangi, kaip jau buvo paminėta 2.1 skyriuje, analizuojamas tik uždaros sistemos atvejis. Tai reiškia, jog visas termofikacinis vanduo, iš tiekimo linijos praėjęs pro vartotojų šildymo sistemas, grįžta kitu vamzdžiu (tačiau vamzdžio skersmenys nesiskiria nuo tiekiamos linijos vamzdžių skersmų) tik jau būdamas žemesnių parametrų (mažesne temperatūra). Dėl šios temperatūros yra iš naujo įvertinami parametrai, tiesiogiai priklausantys nuo temperatūros. Tai reiškia, kad keičiasi vandens kinematinė klampa (ν) bei vandens tankis (ρ). Dėl šios priežasties trinties nuostoliai, nors ir nežymiai, skiriasi.

Žinoma, kad slėgis tiekimo linijos pradiniam taške yra 69,8 m.v.st (p_1) bei grąžinamo vandens linijoje tame pačiame taške 42,6 m.v.st (p_2), Pasinaudojus gautomis trinties nuostolių reikšmėmis bei pradiniais slėgiais, randamas ruožo gale esantis slėgių skirtumas (tarp tiekiamos ir grįžtančios linijos).

Slėgių skirtumui apskaičiuoti remiamasi tuo, kad išilgai ruožo susidarantys trinties nuostoliai nuosekliai mažina pradinį slėgį, todėl yra ieškomas jų skirtumas, gaunamo dydžio žymėjimas suteikiamas p'_1 :

$$p'_1 = p_1 - \Delta h_1. \quad (3.7)$$

Pagal šią formulę gaunamas slėgio skirtumas tarp pradinio ir galinio taško nagrinėjamoje magistralėje:

$$p'_1 = 69,8 - 2,45 = 67,3 \text{ (m. v. st.)}.$$

Analogiškai, termofikacinio vandens grįžimo linijoje esantis galinis slėgis (nors ruožo pradžioje, tačiau kadangi srautas teka atgal, jis darbe laikomas galiniu) p_2 jau yra po trinties nuostolių įtakos. Todėl norint sužinoti slėgį vartotojo įvade, galinis slėgis yra sumuojamas su nuostoliais (pokytis žymimas p'_2):

$$p'_2 = p_2 + \Delta h_2. \quad (3.8)$$

Naudojantis aprašyta (3.8) formule, gaunamas slėgis prieš nuostolius grįžtančio vandens linijoje pradžioje bei pabaigoje:

$$p'_2 = 42,6 + 2,47 = 45,07 \text{ (m. v. st.)}.$$

Pagal tai kokios gautos slėgio reikšmės, galima apskaičiuoti slėgių skirtumą esantį šilumos vartotojo įvade:

$$\Delta p = p'_1 - p'_2, \quad (3.9)$$

$$\Delta p = 67,35 - 45,07 = 22,28 \text{ (m. v. st.)}.$$

Remiantis aprašytu algoritmu, pasinaudojant MS Excel skaičiuoklės aplinka, yra sukuriamas algoritmas, kuriuo naudojantis galima parengti detalią Visagino miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklo analizę, rezultatuose pateikiami trinties nuostoliai bei slėgių skirtumas įvaduose.

Naudojantis skaičiuojamuoju modeliu, analogiškai įvertinant kitų magistralių ruožų ilgius kartu su vamzdinių skersmenimis, gauti rezultatai suvedami į 3.1 lentelę.

3.1 lentelė. Visų ruožų skaičiavimų rezultatai.

Nr.	Ruožas	Trinties nuostolių suma padavimo linijoje	Trinties nuostolių suma grįžtamoje linijoje	Slėgių skirtumas tolimiausio vartotojo įvade
		$\Delta h_1, \text{ m.v.st}$	$\Delta h_2, \text{ m.v.st}$	$\Delta p, \text{ m.v.st}$
1	ŠK 1/III – Festivalio g.9	2,447	2,470	22,28
2	ŠK 1/III – Taikos pr. 1	1,657	1,502	24,05
3	ŠK 1/III – Kosmoso g. 12	1,739	1,575	23,88
4	ŠK 1/III – Tarybų g. 3	1,042	0,946	25,21
5	ŠK 1/III – Parko g. 2	0,972	0,882	25,34
6	ŠK 1/III – Vilties g. 16	1,561	1,371	24,27
7	ŠK 1/III – Visagino g. 10	1,633	1,477	24,09
8	ŠK 1/III – Taikos pr. 6	1,506	1,304	24,39

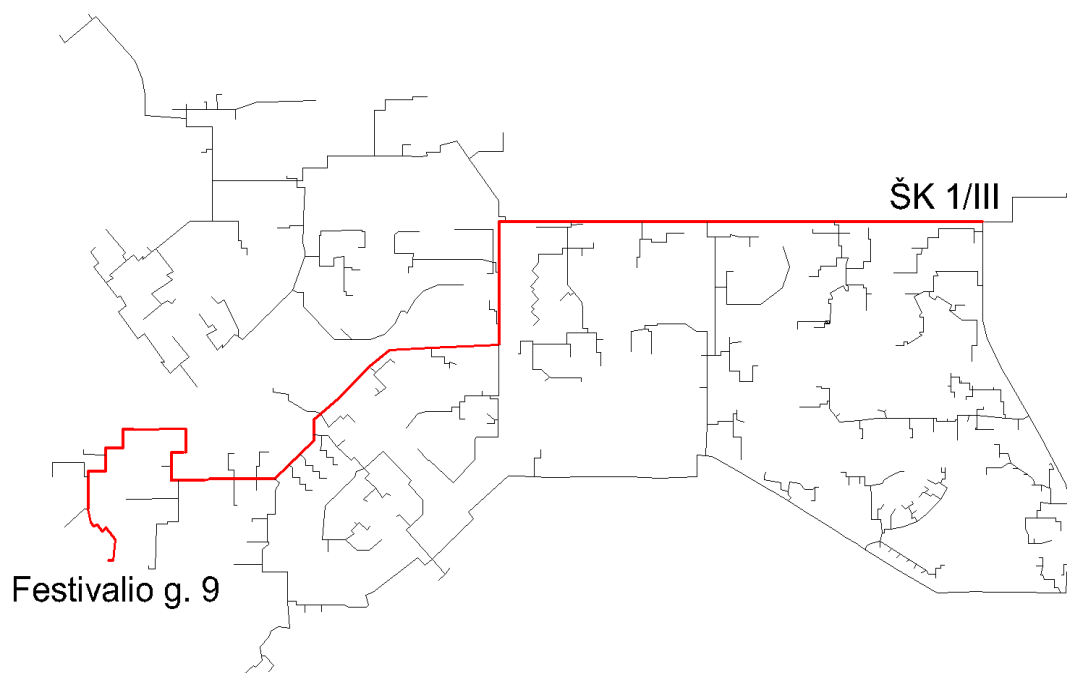
3.1 lentelėje matome, kaip slėgių skirtumas priklauso nuo to, kokie trinties nuostoliai yra ruože. Kuo jie didesni, tuo daugiau nukrenta ir slėgis įvaduose.

Šiuo atveju, matome, jog yra vienas ruožas, kuriame slėgis nukrenta labiausiai - ruožas nr. 1 (ŠK 1/III – Festivalio g. 9). Ši magistralė ilgiausia (3,5 km), be to, prie šios magistralės prisijungę daugiausiai vartotojų - 42 tinklo kameros (palyginimui antrame pagal slėgio skirtumą ruože- ŠK 1/III – Kosmoso g. 12, yra 34 tinklo kameros), tai taip pat matosi ir 3.1 paveiksle, kad ši magistralė turi daugiausia atsišakojimų tad ir slėgis krenta labiausiai.

Tuo remiantis, darome išvadą, kad šis ruožas dirba labiausiai apkrautu režimu, todėl tolesnės analizės metu naudojama būtent ši magistralė. Galima teigti, jog sprendimai, kurie būtų taikomi šio ruožo optimizavimui, tinkami ir visam Visagino šilumos tiekimo tinklui.

3.2 Pjezometrinio grafiko sudarymas

Praėjusiame skyrelyje panaudojus hidraulinio skaičiavimo modelį išsiaiškinta kuris Visagino miesto CŠT tinklo magistralinis ruožas yra svarbiausias analizei. Jo geografinė padėtis išryškinta sekančiame 3.1 paveikslėlyje raudona spalva.



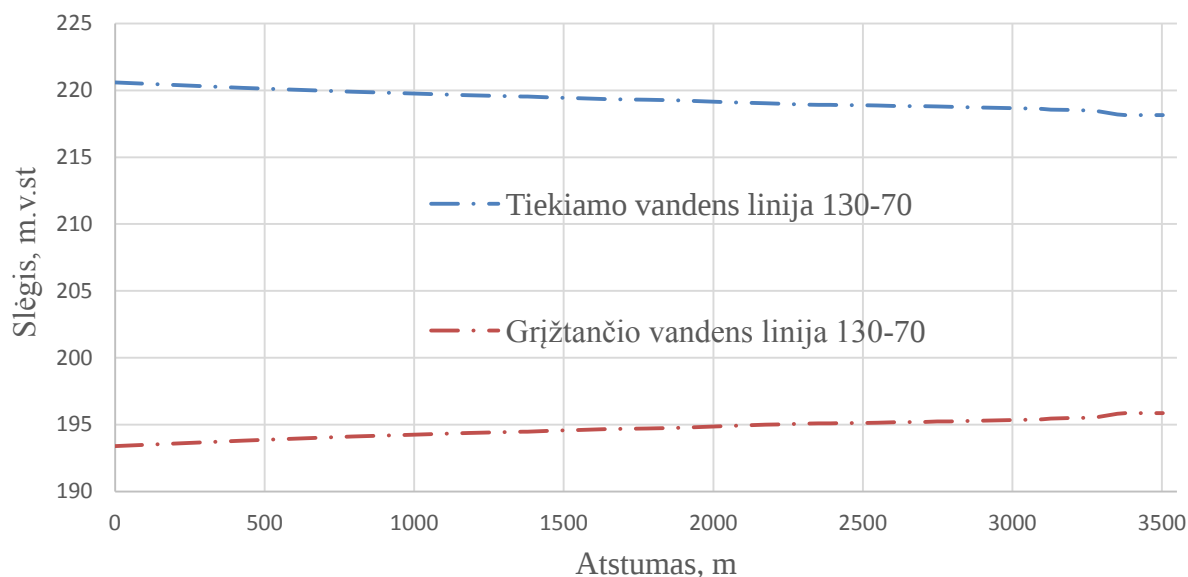
3.1 pav. Išskirtas analizei naudojamas ruožas.

Naudojant 3.1 skyrelyje išdėstytą algoritmą, bei žinant kiekvienos tinklo kameros srauto paskirstymą, modeliavimo metu sudaromos lentelės, kurių pagalba matomas slėgio kritimo intensyvumas bei jomis naudojantis, sudaromas slėgių kitimo (pjezometrinis grafikas). Lentelės pateikiamos A priede (A1 7.1 bei A2 7.2 lentelės).

Pagal jų tiekiamo ir grąžinamo vandens vamzdyno skaičiavimo rezultatus matome, kiek nukrenta slėgis per visą ruožo ilgį, remiantis trinties nuostolių įtaka. Taip remiantis rezultatais, sudedami šilumos punktų bei šilumos vartotojų taškai, atsižvelgiant į jų nuotolį nuo katilinės, kartu įvertinant slėgio pokytį.

Būtina paminėti, jog žymint slėgį, įvertinamas ir punktų bei vartotojų aukštis nuo jūros lygio. Tam pasinaudojama internetu prieinama programa „Google maps find altitude“. Žemėlapių bei programos pagalba, apytikriai surandamos tiek šilumos tiekimo tinklo punktų, tiek vartotojų altitudės. Slėgio bei aukščio sumų rezultatai pateikiami A3 priede 7.3 lentelėje.

Atlikus aptartus veiksmus, grafike gaunamos dvi veidrodinio tipo nuolydžios linijos, kurios grafiškai parodo kaip kinta slėgis išilgai ruožo (3.2 pav.).



3.2 pav. Pjezometrinis analizuojamo ruožo grafikas.

3.1 skyriuje aprašyto modelio skaičiavimais bei pasinaudojus grafiku matoma, kad slėgių skirtumas vartotojo įvade yra 22,28 m.v.st. Taip pat, galima teigti, jog sukurtas modelis skaičiavimus atlieka teisingai, analizuojama tinklo atkarpa dirba stabiliai, kadangi nėra matomi slėgio kitimo šuoliai. Naudojantis sugeneruotu modeliu bei keičiant aprašytus parametrus galima įvertinti šilumos tiekimo tinklo optimizavimo galimybes.

3.3 Tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros reguliavimas

Prieš atliekant tinklo optimizavimo studiją, reikia nustatyti koks yra aplinkos temperatūros poveikis tiekiamo bei grąžinamo termofikacinio vandens temperatūrai. T.y. kaip reguliuojama temperatūra priklausomai nuo to ar aplinka šyla, ar šąla.

Galimi dviejų tipų šildymo reguliavimo būdai:

- Kokybinis reguliavimas (pastovaus srauto režimas),
- Kiekybinis reguliavimas (pastovios temperatūros režimas).

Kokybinio reguliavimo atveju, vandens srautas išlaikomas visada pastovus, tačiau šilumos poreikiui kintant, keičiama jo temperatūra. Antru atveju reguliuojama atvirkščiai - aplinkos temperatūrai keičiantis, reguliuojama ne termofikacinio vandens temperatūra, o jo srautas.

Lietuvoje plačiausiai naudojamas kokybinis reguliavimas. Mūsų klimatinėje zonoje nebūdingos ilgai trunkančios ypatingai žemos aplinkos temperatūros, todėl nėra tikslo nuolat laikyti aukštą tiekiamo vandens temperatūrą lydimą didelių šilumos nuostolių tinkluose, be to pakilus aplinkos temperatūrai dalis tiekiamos šilumos paprasčiausiai nebūtų vartojama – išaugtų

grįžtančio vandens temperatūra. Be to esant kokybiniam reguliavimui, nekinta hidraulinis režimas, slėgis sistemoje išlieka vienodas bei sumažėja reguliavimo poreikis vartotojo pusėje.

Visagino miesto CŠT tinklo analize darbe pasirinktas kokybinis reguliavimo metodas. Remiantis sekančiu skyreliu aiškinamasi, koks temperatūros reguliavimo pobūdis, kuomet didžiausia tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra yra 130°C bei žinoma, jog realioje situacijoje iš vartotojų grįžtančio srauto didžiausia temperatūra yra ne 70°C (kaip yra teoriniu atveju), o 50°C.

3.3.1 Temperatūros reguliavimo grafikų sudarymas

Pirmas žingsnis rasti šilumos poreikio kitimą paskirsčius temperatūrų intervalą nuo -27°C iki 10°C, t.y. rasti kaip kinta poreikis priklausomai nuo to kokios temperatūros oras yra aplinkoje. Skaičiuojama naudojant galios daugiklį N_d , kuris apibūdina kokia dalis maksimalaus šilumos poreikio būtų reikalinga. Daugiklis randamas pagal sekančią formulę:

$$N_d = \frac{t_{18} - t_{sk}}{t_{18} - t_{min}}, \quad (3.10)$$

čia, N_d - skaičiuojamas daugiklis, t_{18} - rekomenduojama patalpų temperatūra (18°C), t_{sk} - skaičiuotina aplinkos temperatūra (°C), t_{min} - minimali aplinkos temperatūra (-27°C Visagino mieste).

$$N = N_d \cdot Q_{max}, \quad (3.11)$$

čia N_{max} - didžiausia suvartota galia prie mažiausios (-27°C) temperatūros, N - reali galia esant skaičiuojamai temperatūrai.

Praėjusiame skyrelyje minima, jog esamu metu šilumos vartotojai sugrąžina ne 70°C termofikacinį vandenį, o tik 50°C. Todėl būtina patikrinti tokios situacijos tinklo šilumos poreikį. Tam įgyvendinti, 3.1 skyriuje aprašytą modelį atvirkštiniu būdu pritaikome šiam atvejui, apskaičiuodami šilumos vartotojų grupių didžiausią poreikį kuomet grąžinama 50°C temperatūra bei surasdami vartotojams reikalingus srauto kiekius, kuriuos susumavus gaunamas bendras šilumnešio srauto poreikis visai magistralei (perskaičiuoto srauto reikšmė 355 m³/h). Atitinkamai, pagal srautą randamas ir šilumos poreikis MW (jį išsireiškiant iš 3.1 formulės).

$$Q = \frac{V \cdot c_p \cdot \Delta t}{3600}, \quad (3.12)$$

čia $\Delta t = 130 - 50 = 80^\circ\text{C}$, $V = 355 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$Q_{max} = \frac{355 \cdot 4,2 \cdot 80}{3600} = 33 \text{ MW}$$

Tuomet, naudojantis (3.11) bei (3.12) formulėmis randamas poreikis, esantis prie -25°C aplinkos oro temperatūros:

$$N_d = \frac{18 - (-25)}{18 - (-27)} = 0,95,$$

$$N = 0,95 \cdot 33 = 31,3 \text{ MW}.$$

Visas galių kitimas, esant skirtingoms aplinkos temperatūros vaizduojamas 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Reikiamos šilumos kiekio priklausomybės nuo aplinkos temperatūros.

Aplinkos temperatūra	Daugiklis (N_d)	Šilumos poreikis
°C	-	MW
-27	-	33
-25	0,95	31,3
-20	0,84	27,9
-15	0,7	24,2
-10	0,6	20,6
-5	0,5	18,3
0	0,4	16,9
5	0,3	9,5
10	0,18	5,9

Į tokį kitimą reaguoja ir šilumos vartotojai, ir šilumos šaltinis. Remiantis šia lentele, galima nuspėti, jog tiekiamos bei grąžinamos temperatūros mažėja, mažėjant šilumos poreikiui. Tačiau tikslus temperatūros reguliavimo dėsnis matomas tik atlikus išsamesnę analizę.

Apytikriai yra žinoma kokių dėsniu kinta iš vartotojų grąžinamos šilumos kiekis šylant aplinkai. Pasirenkama 50°C temperatūra kurią grąžina vartotojai esant žemiausiai temperatūrai (-27°C) bei 40°C esant 0°C aplinkos temperatūrai. Remiantis tuo, apskaičiuojami srautų debitų pasikeitimai.

Reikia pažymėti, kad nežinome kaip kinta temperatūra aplinkai šylant nuo 0°C iki 10°C (šildymo sezono ribinės temperatūros). Todėl į kitimą už 0°C taško kol kas nekreipiamas dėmesys.

Apsibrėžus grįžtančio vandens srauto temperatūros ribas, lengvai randamas ir tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros reguliavimo kitimas.

Skaičiavimai temperatūriniam grafikui atliekami, esant pastoviam vandens debitui (kokybinio temperatūros reguliavimo metu). Jo kiekis apibrėžiamas:

$$N = G \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2), \quad (3.13)$$

čia G - skaičiuojamas vandens debitas vamzdyne (kg/s), t_1 - tiekiamo vandens temperatūra (°C), t_2 - grąžinamo vandens temperatūra (°C).

Debitas išsireiškiamas iš (3.13) formulės:

$$G = \frac{N}{c_p \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (3.14)$$

$$G = \frac{33 \cdot 10^6}{4183 \cdot (130 - 50)} = 97,7 \text{ kg/s.}$$

Turint debitą, sekantiems taškams randama temperatūra t_1 , kuri taip pat išsireiškia remiantis (3.13) formule:

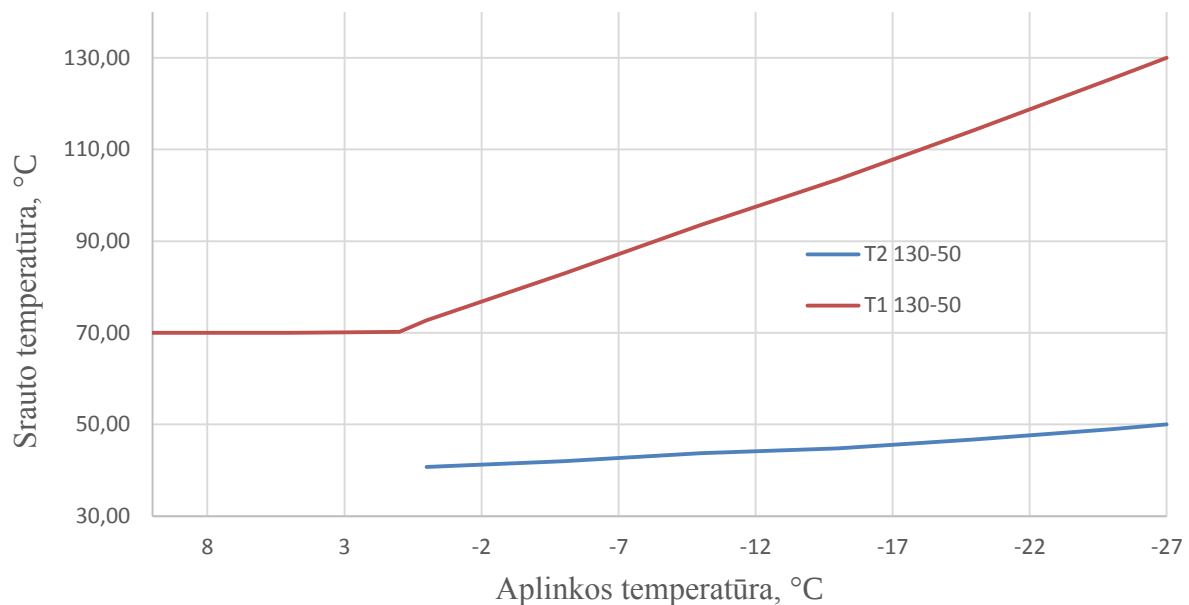
$$t_1 = \frac{N + G \cdot c_p \cdot t_2}{G \cdot c_p}. \quad (3.15)$$

Tuomet:

$$t_1 = \frac{31,28 \cdot 10^6 + 97,7 \cdot 49}{97,7 \cdot 49} = 126,29^\circ\text{C.}$$

Žinomos apytikrės t_2 reikšmės iki lūžio taško, taip pat žinomas šilumos poreikis kintant aplinkos temperatūrai, tad t_1 temperatūrą galime rasti kiekvienam taškui, kartojant skaičiavimą, kol pasiekama ribinė 70°C reikšmė (lūžio taškas). Vėliau ji laikoma pastovi, kadangi norint palaikyti stabilų karšto vandens ruošimą tokia temperatūros žemiausia riba yra būtina.

Gauti skaičiavimų rezultatai apibendrinami ir sudaromas tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros reguliavimo grafikas.



3.3 pav. Tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros kitimas

Nežinomas iš vartotojų grįžtančio srauto temperatūros kitimo dėsnis nuo lūžio taško. Tam nusakyti galima taikyti dvi sąlygas:

1. Srautas ir toliau išlieka pastovus;
2. Srautas keičiamas atsižvelgiant į grįžtančio temperatūros poreikį.

Analizuojami abu variantai, kuomet srautas už lūžio taško laikomas pastovus bei kuomet jis keičiamas pagal poreikius.

Abiem atvejais skaičiavimo metodikos esmė nesikeičia, kinta tik nežinomieji. T.y. pirmu atveju išlaikoma debito vertė ir skaičiuojamas t_2 , antru atveju pasirenkama t_2 temperatūra, kuri tenkintų grąžinamo vandens temperatūros poreikius (ekonomaizerio potencialo išnaudojimui) ir pagal tai perskaičiuojami termifikacinio vandens debitai. Abiem atvejais nežinomieji išsireiškiami iš (3.13) formulės.

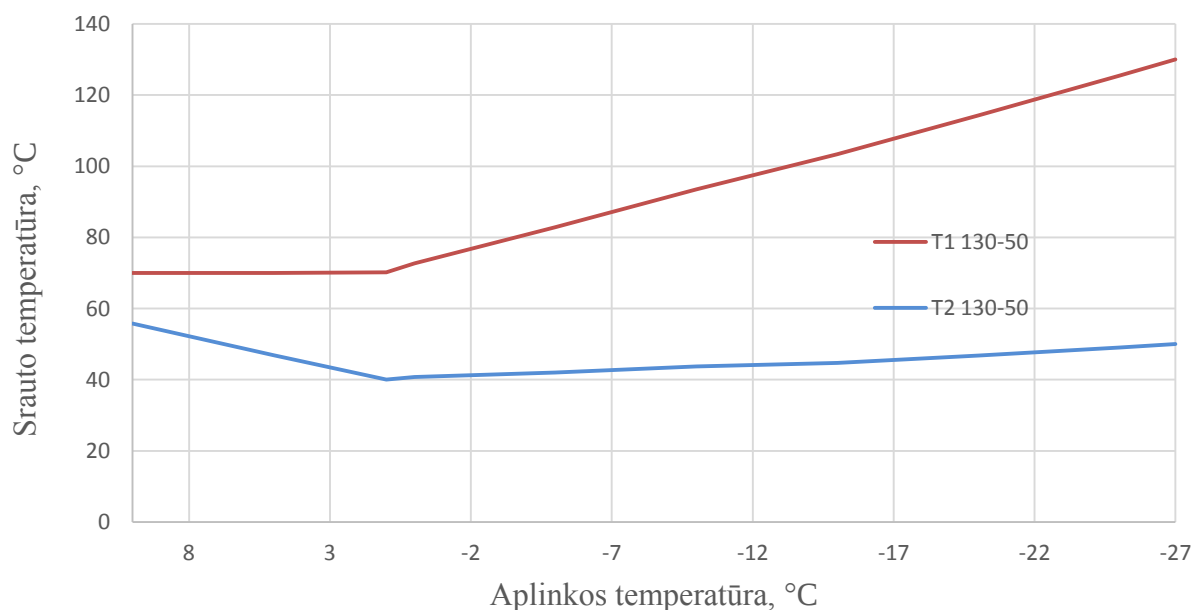
Taigi pirmu atveju:

$$t_2 = \frac{(G \cdot c_p \cdot t_1) - N}{G \cdot c_p}. \quad (3.16)$$

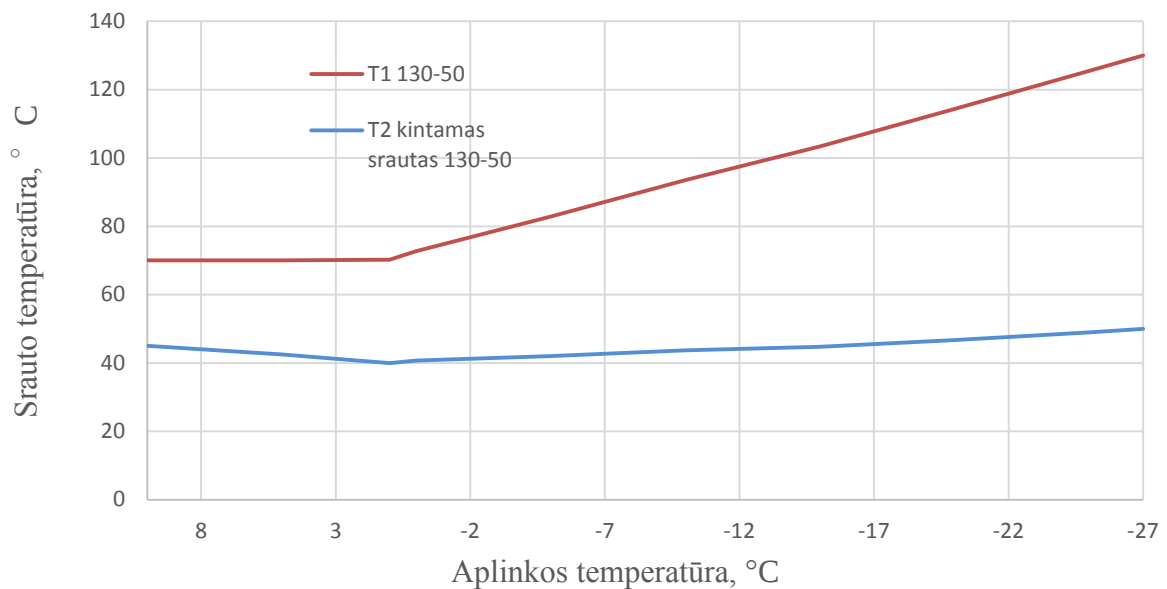
Pavyzdžiui, galutinio taško temperatūra, aplinkos temperatūrai esant apie 10°C, reikiamas šilumos poreikis - 5,92 MW (žr 3.2 lentelėje), paduodamo srauto pastovi temperatūra 70°C (srautui esant pastoviam), pagal (3.16) formulę gauname:

$$t_2 = \frac{(97,7 \cdot 4183 \cdot 70) - 5,9}{97,7 \cdot 4183} = 55,62 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Apskaičiuotas temperatūros kitimas visame aplinkos temperatūrų intervale matomas sekančiame 3.4 paveiksle.



3.4 pav. Temperatūros reguliavimo grafikas esant pastoviam srautui (kokybinio reguliavimo metu).



3.5 pav. Temperatūros reguliavimo grafikas esant kintančiam srautui (kiekybinis reguliavimas pasiekus lūžio tašką).

3.4 paveiksle matoma, jog esant šilčiausiai aplinkai, temperatūrų skirtumas labai mažas, tad išnaudoti ekonomizerio potencialą yra labai sudėtinga. Tokiu atveju, reikia mažinti grąžinamo srauto temperatūrą, pasitelkus srauto mažinimo galimybę.

Todėl, pasirinkus grąžinamo srauto temperatūrą lygią 45°C, ir priimant, kad temperatūra kinta tiesiniu būdu, gaunamos priklausomybės pavaizduotos 3.5 paveiksle.

3.3.2 Temperatūros reguliavimo įtaka šilumnešio srautui

Ankstesniame poskyryje aptartas temperatūros reguliavimas turi įtakos srauto kiekio pokyčiui. Skirtingi darbo režimai daro įtaką ir šilumnešio srauto tiekimo reguliavimui. Kokia tai įtaka, išsiaiškinsime apskaičiavę reikalingą srauto kiekį, kuomet keičiasi šilumos kiekio poreikis vartojimui.

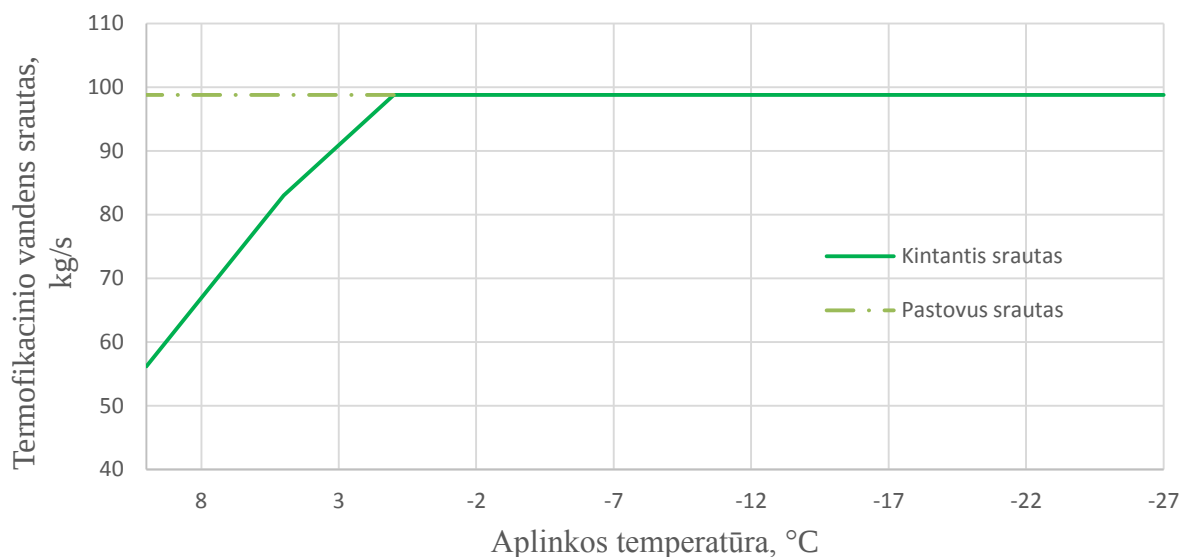
Pirmu temperatūros reguliavimo atveju termofikacinio vandens srautas išlaikomas toks pats nepaisant to, kokia yra aplinkos temperatūra. Šiuo atveju jis apskaičiuotas ankstesniame skyrelyje, ir lygus 97,7 kg/s.

Antru atveju esant temperatūros mažinimo poreikiui, apskaičiuojamos debitų reikšmės atsižvelgiant į grąžinamos temperatūros pokytį už lūžio taško (t.y. kuomet tiekiamos temperatūros reikšmė 70°C). Tam tikslui naudojamosi (3.14) formule.

Kuomet aplinka šilčiausia (10°C), o tiekiamo vandens temperatūra $t_1=70^\circ\text{C}$, o reikiama grįžtančio vandens temperatūra $t_2=45^\circ\text{C}$, gaunama:

$$G = \frac{5,9 \cdot 10^6}{4183 \cdot (70 - 45)} = 56,2 \text{ kg/s}$$

Pritaikius tai ir esančioms kitoms temperatūroms gaunamas ir šilumnešio srauto reguliavimo grafikas (3.7 pav.).



3.6 pav. Termofikacinio vandens srauto kitimo grafikas

3.6 paveiksle matoma, kad reguliuojant srautą ir siekiant padidinti temperatūrų skirtumą reikalingas srauto debitas mažėja iki lūžio taško, nuo kurio sistema apkraunama pilnai ir dirba nominaliu režimu.

3.3.3 Šilumos nuostoliai vamzdyne

Atsižvelgiant į darbo režimą, svarbu išsiaiškinti kiek energijos prarandama srautui tekant trasoje iš šilumos gamintojo iki vartotojo. Efektyvumo palyginimas reikalingas tolimesnėms išvadoms.

Kadangi, nėra žinoma kokio tipo ir su kokia izoliacija pakloti vamzdžiai trasose, negalime remtis paprastais šilumos nuostolių skaičiavimo metodais.

Skaičiavimai atliekami valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos parengta skaičiuokle, kuria naudojantis, reikia žinoti vidutines temperatūras šildymo sezone, vamzdžių paklojimo metus, skersmenis, ilgus bei šilumos tiekimo tinklo darbo režimą.

Šiuo atveju tikrinami kokie šilumos nuostoliai egzistuoja esamoje situacijoje. Visos sąlygos, reikalingos dabartinei analizei, pateiktos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Vamzdžių skersmenys (tipai), jų ilgis bei temperatūros režimas.

DN	Ilgis	Tiek.	Tgrąž.
	m	°C	
N500	1379	130	50
P400	503		
P350	358		
P300	325		
P250	130		
P200	495		
P150	222		
P100	91		
Σ	3503		

Čia standartiniai vamzdžių skersmenys sužymėti D(skaičius) bei P(skaičius). Toks žymėjimas nurodo kada kloti vamzdžiai, ar iki 2000m. ar po 2000m.

Vamzdžiai kloti iki 2000 metų, pasižymi prastesne šilumine izoliacija bei kloti nepraeiname kanale, tuo tarpu vėliau kloti vamzdynai turi geresnę šiluminę izoliaciją, bei kloti bekanaliu būdu.

Atlikti skaičiavimus, reikalingos kiekvieno mėnesio temperatūros skaičiuojamaisiais šildymo sezonais. 2012, 2013 bei 2014 metais buvusių temperatūrų reikšmės imamos iš 2.1 lentelės. Nuostolių įvertinimui naudojamos viso skaičiuojamojo laikotarpio mėnesių gautos vidutinės temperatūros, pagal kurias gaunami vidutiniai šilumos nuostoliai Visagino miesto CŠT tinkle.

Pasinaudojus turima skaičiuokle, rezultatai pateikiami lentelėje 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Šilumos nuostolių skaičiavimo rezultatai vamzdyne šildymo sezono metu.

Eil. Nr.	Paklojimo būdas	Termifikaciniai tinklai							
		Tinklų ilgis,	Sąlyginis tinklų ilg.,	Tinklų tūris,	Nuost. dėl nutek.,	Nuost. dėl nutek.,	Nuost. per izol.,	Term. nuost.,	Viduti nis diamet r.,
		m	m	m ³	m ³	MWh	MWh	MWh	mm
1	Nepr. kanale	2124.0	5979.0	294.2	2137.4	209.5	1078.7	1288.3	281.5
2	Orinė linija	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Bekanal.būdu	1379.0	6895.0	541.3	0.0	0.0	743.3	743.3	500.0
4	Techn.k.ir kolekt.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	iš viso:	3503.0	12874.0	835.5	2137.4	209.5	1822.1	2031.6	367.5

Remiantis skaičiavimų rezultatais, šilumos nuostoliai vamzdyne siekia 2031,6 MWh arba, apie 560,6 kW. Remiantis kainų komisijos nustatyta 1 megavatvalandės nuostolių kaina (apie 180Lt), gaunama, jog nuostoliai šildymo sezono šiai atkarpai, atsieitų 365683 Lt arba 105909 €.

3.4 CŠT sistemos analizės apibendrinimas

Išanalizavus labiausiai apkrautą sistemos ruožą, duomenis panaudojus pjezometrinio grafiko sudarymui bei temperatūros ir srauto reguliavimui apibūdinti, galime apibendrinti rezultatus.

Slėgių pokytis sistemoje tarp šilumos tiekėjo bei vartotojų, yra sąlyginai mažas, kadangi trinties nuostoliai nėra labai žymūs. Padavimo bei grįžtamoje linijose slėgis nukrenta tik apie 2 metrus vandens stulpo, o galutiniame taške pas vartotoją, slėgių skirtumas tarp paduodamos ir grįžtančios linijų (labiausiai apkrautoje magistralėje) yra 22,3 m.v.st. Slėgio fluktuacijų nėra, tad pažymima, jog tinklo magistralė dirba stabiliu režimu.

Šilumos nuostolių skaičiavimas leido pažvelgti į tai, kiek prarandama šilumos vienoje atkarpoje per šildymo sezoną. Šiuo atveju šilumos nuostolių dydis šiek tiek viršija du tūkstančius megavatvalandžių. Turint galvoje tai, kad visų ruožų atkarpų ilgis yra 7 kartus didesnis, galima teigti, kad ir nuostoliai šoktelėja tiek pat kartų iki 741 tūkst. €/metus.

Rengiant temperatūros reguliavimo grafiką, buvo matyti, jog esamas temperatūrinis režimas daro įtaką dideliame temperatūrų skirtumui, ir remiantis tomis pačiomis rekomendacijomis 130-50°C tinklo darbo režimas yra per didelis.

Išvada, kad Visagino miesto CŠT tinklą reikia optimizuoti ir naujinti.

Sugeneravus Visagino miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklo skaičiavimo modelį bei įvertinus esamą situaciją, sekantis žingsnis - modelyje keičiant nustatytus parametrus patikrinti kaip kinta slėgių skirtumas vartotojų įvaduose, jį palyginti su rekomenduojamomis sąlygomis. Taip pat įvertinti galimų režimų temperatūros reguliavimo pakitimus bei nuo to priklausantį srautų reguliavimo pobūdį. Galiausiai, pasinaudojus šilumos nuostolių skaičiavimo metodika, panaudoti optimizuojamo varianto duomenis ir palyginti šilumos nuostolių pokyčius.

4.1 Temperatūros grafiko optimizavimas

Pirmiausia, apibrėžiamos kraštinės sąlygos, pasinaudojant Euroheat & Power rekomendacijomis, kurios yra pateiktos 4.1 lentelėje. Aukštų parametrų tinkle tiekiamo srauto temperatūros aukščiausią ribą rekomenduojama taikyti 100°C. Palyginimui, šiuo metu nustatoma tinklo tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros riba yra 130°C šalčiausiu metu.

4.1 lentelė. EHP rekomendacijos

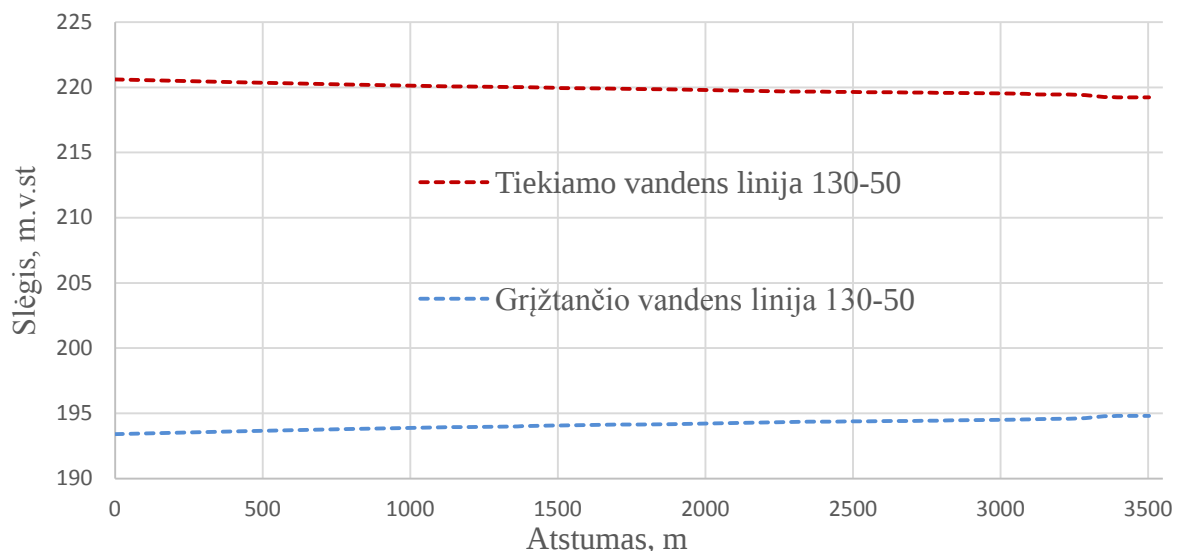
CŠT tinklo darbo režimas	Darbo sąlygos	Projektavimo sąlygos
Aukštų parametrų tinklas	100°C, slėgių skirtumas 8-10 m.v.st	110°C
Žemų parametrų tinklas	85°C, slėgių skirtumas 3-3,5 m.v.st	90°C

Darbe analizuojamas aukštų parametrų tinklas. Žinant, koks slėgio kritimas rekomenduojamas aukštų parametrų tinklui tolimesnio vartotojo įvade (šiuo atveju tai 8-10 m.v.st.) Reikia įvertinti, kad tai yra taikoma naujai klojamoms sistemoms. Šiuo atveju, Visagine esanti CŠT sistema projektuota prieš daugiau nei 30 m. (vidutinis vamzdinių amžius 33 metai), sistema yra sena, todėl vertinant šį tinklą atsargiai, priimama kad mažiausias leistinas slėgių skirtumas turėtų būti 12 m.v.st tolimesnio vartotojo įvade.

Parametrų keitimui, naudojama metodika, aprašyta ankstesniuose skyreliuose, kurios rezultatas – sugeneruoti pjezometriniai ir temperatūrų bei srautų reguliavimo grafikai, pakeitus tiekiamo vandens temperatūrą į 100°C bei nusistačius grįžtančio srauto temperatūros kitimo ribas (didžiausia 50°C, mažiausia 40°C).

Apibrėžiant esamos šilumos tiekimo tinklo darbą bei lyginant rekomenduojamus parametrus, įvertinama tikroji tinklo padėtis pakeičiant išbandytame modelyje naudotus temperatūrų režimus. Įvykdyta modelio korekcija pakeičiant grąžinamą vartotojų vandens temperatūros ribą iš 70 į 50°C, tačiau paliekant tiekiamo termofikacinio vandens aukščiausią ribą 130°C.

Naudojant modelyje gautus rezultatus, sugeneruojamas pjezometrinis grafikas pakeistam šilumos tiekimo tinklo darbo režimui.



4.1 pav. Pjezometrinis grafikas esamai situacijai.

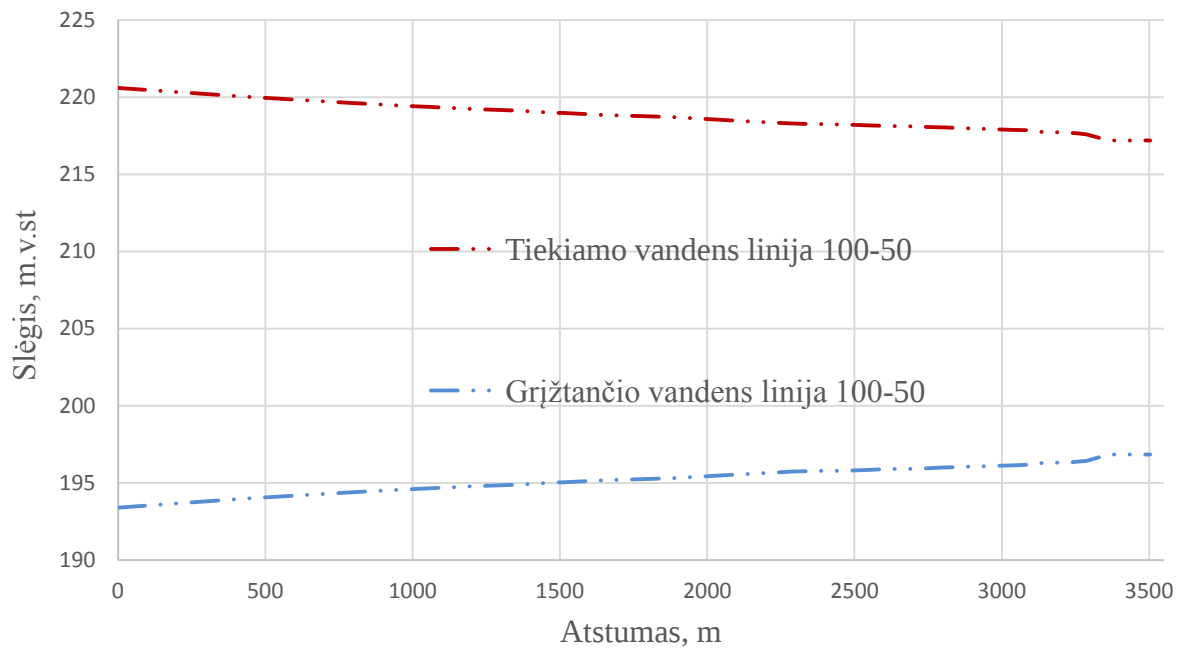
4.1 paveiksle pavaizduotas darbo režimas tenkina hidraulinius dėsnius (slėgis nuosekliai mažėja), taip pat matoma, jog nėra didelių slėgio kitimo šuolių tad teigiama, kad tokio temperatūros režimo metu šilumnešio srautas tiekiamas stabiliai. 4.1 lentelė palyginamas slėgių skirtumas lyginant pirmiausiai sugeneruoto modelio rezultatus su tikruoju režimu.

4.2 lentelė. Temperatūrinio režimo bei slėgių skirtumo priklausomybės palyginimas.

Temperatūrinis režimas (°C)	130-70	130-50
Slėgių skirtumas (m.v.st)	22,28	24,44

Duomenų lyginimo metu (4.2 lentelė) matomas pagrindinis dėsnis, jog mažesnis temperatūrų skirtumas lemia slėgių skirtumo sumažėjimą, būtent optimizavimo metu to yra siekiama. Tačiau matoma, jog esamoje situacijoje 24,4 m.v.st yra 12 metrų vandens stulpo didesnis nei pasirinkta riba, tad mažinti temperatūrų skirtumą tarp tiekiamo bei grįžtančio vandens yra būtina.

Naudojantis Euroheat & Power asociacijos rekomendacijomis, kurios yra pateiktos 4.1 lentelėje, aukštų parametrų tinkle tiekiamo srauto temperatūrą galime mažinti nuo 130 iki 100°C, tuo tarpu grįžtančio srauto temperatūra išliktų 50°C. Tokiu atveju sugeneruotas pjezometrinis grafikas pavaizduojamas 4.2 paveiksle.



4.2 pav. Slėgio kitimo grafikas prie naujo temperatūrinio režimo.

4.2 paveiksle vaizduojamas grafikas parodo, jog darbo režimas taip pat tenkina hidrodinamikos sąlygas (mažėjantis slėgis), tekėjimo režimas taip pat užtikrinamas stabilus, kadangi nepastebimos didelės slėgio fluktuacijos, nors vizualiai matomos slėgių kitimo linijos yra nuožulnesnės. Slėgių skirtumas tolimiausio vartotojo įvade išlieka didesnis nei užsibrėžta riba, tačiau daugiau mažinti tiekiamos temperatūros ribos nerekomenduojama. Visų modeliutų režimų slėgių skirtumai matomi toliau esančiame palyginime (4.2 skyriuje).

Pasiekus temperatūros mažinimo ribas bei naudojant sugeneruotą modelį, aiškinamasi kaip pakis temperatūros bei srautų reguliavimo režimai įvertinus naujus temperatūros parametrus.

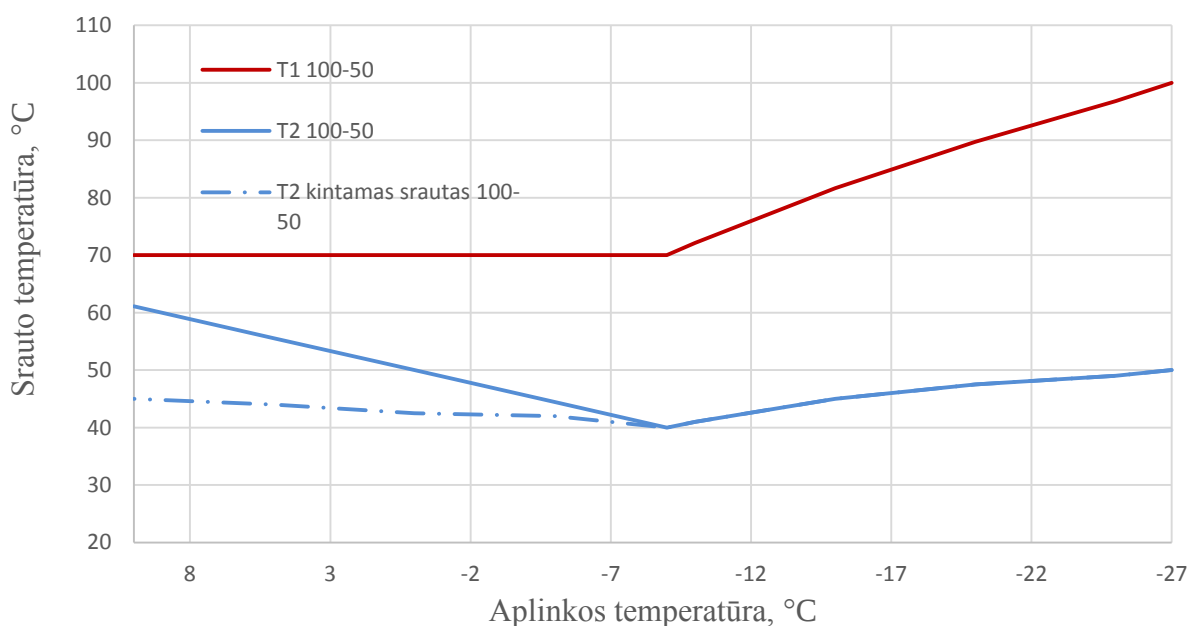
Dėl temperatūros pasikeitimo, pirmiausia įvertinamas teorinis šilumos poreikio pasikeitimas pagal aplinkos temperatūros kitimo intervalą. Teorinis kitimas apibrėžiamas naudojantis 3.3.1 skyrelyje išdėstyta metodika, pagal kurią poreikio kitimas pateikiamas 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Reikalingos šilumos poreikis tinklui dirbant 100-50°C režimu.

Aplinkos temperatūra	Šilumos poreikis
°C	MW
-27	32,7
-25	31,3
-20	27,6
-15	24
-10	20,4
-5	16,7
0	13,1
5	9,4
10	5,8

Lyginant su rezultatais pateiktais 3.2 lentelėje, teoriškai poreikis nukristų apie 2%. Tai leidžia teigti, kad temperatūros reguliavimo pobūdis pakistų taip pat.

Temperatūros reguliavimo grafikas esant optimizuojamam režimui pateikiamas žemiau (4.3 pav.).



4.3 pav. Temperatūros reguliavimo grafikas prie naujojo režimo.

Lyginant turimus temperatūrinius grafikus, pastebimas optimizuoto reguliavimo rezultatas – stabilesnis kitimas (pastovi tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra ilgiau išliktų vienoda (70°C temperatūros riba)), lūžio taškas būtų pasiekiamas tik ties -9°C aplinkos temperatūra. Disponuojamas temperatūrų skirtumas nebūtų didesnis nei 50°C.

Pasikeitus temperatūros režimui bei esant mažesniems vartotojų poreikiams šildymui, srauto reguliavimas remiantis 3.3.1 bei 3.3.2 skyriuose išdėstyta metodika. Pagal ją gaunamas srauto reguliavimo grafikas vaizduojamas 4.4 paveiksle.

Debito išskaičiuojamas pagal (6.14) formulę, keičiant temperatūros bei šilumos poreikio dydžius.

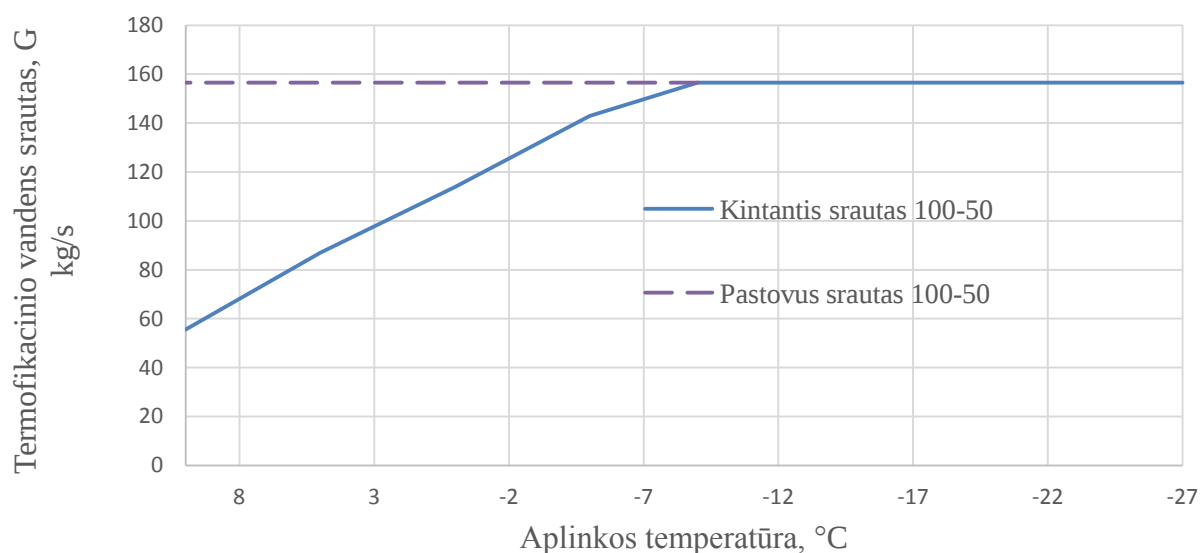
$$G = \frac{32,7 \cdot 10^6}{4183 \cdot (100 - 50)} = 156,3 \text{ kg/s},$$

čia gaunamas didžiausias reikiamas debitas.

$$G = \frac{5,8 \cdot 10^6}{4183 \cdot (70 - 45)} = 55,4 \text{ kg/s},$$

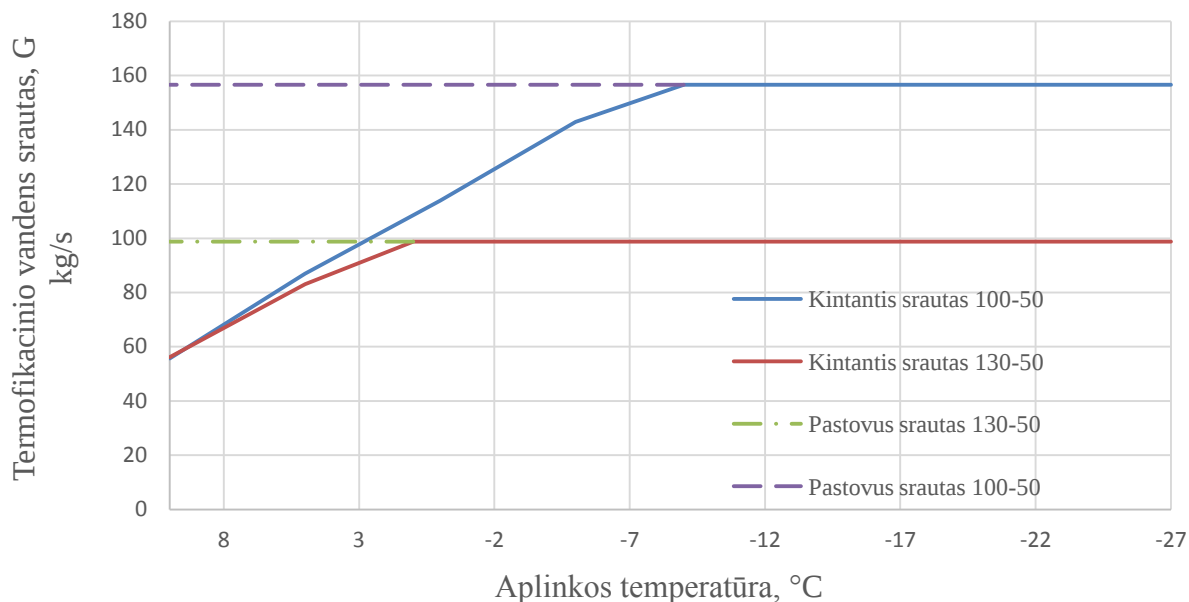
čia gaunamas mažiausias reikiamas debitas.

Gretinant temperatūros kitimą matomas ir lūžio taškas, nuo kurio turi būti keičiamas reguliavimo režimas iš kokybinio į mišrų (apie -9°C), kuomet pasiekiamas tas lūžio taškas, mažiausias srauto kiekis padidėja šimtu kilogramų per sekundę srautu.



4.4 pav. Termofikacinio vandens srautas esant $100-50^\circ\text{C}$ režimui.

Palyginimui sugretinamos abi apskaičiuotos realaus bei teorinio srautų priklausomybės nuo aplinkos temperatūros.



4.5 pav. Realus ir teorinio srautų kitimų palyginimas.

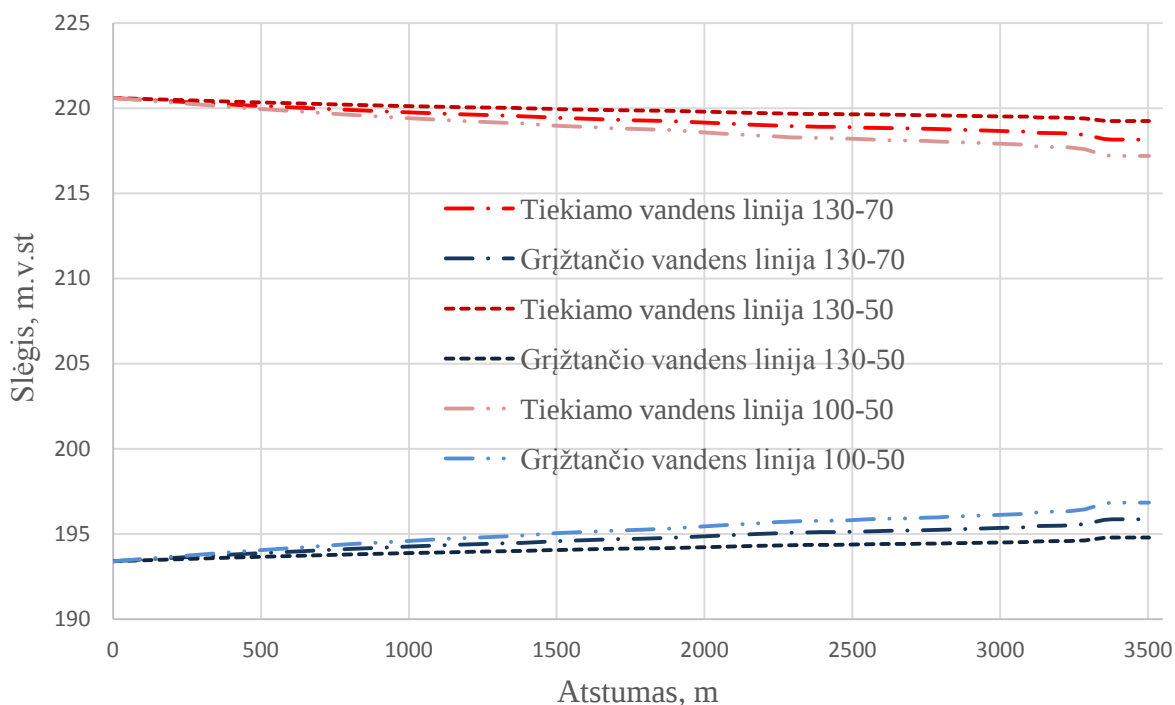
Sugretinus 4.4 bei 4.5 paveiksluose pateiktus srautų reguliavimo grafikus bei vertinant optimizuoto tinklo temperatūrų kitimo grafiką pastebima, jog optimizuoto srauto temperatūros reguliavimas stabilesnis, žemiausia 70°C tiekiamos temperatūros riba išlaikoma ilgiau, taip pat nepakyla aukščiau nustatytos 100°C ribos. Susiejant tai su srautų reguliavimu, nors temperatūrų skirtumas mažesnis, debito poreikis išauga du kartus. O pasiekus kokybinio srautų reguliavimo režimą, optimizuotu atveju termofikacinio vandens debito poreikis padidėja daugiau nei penkiasdešimčia kilogramų per sekundę.

4.2 Šilumos tiekimo tinklo slėgio ir temperatūros koreliacijos optimizavimo eigoje

Šiame skyriuje išsiaiškinsime kokią srauto temperatūros kitimas turi įtaką slėgių kitimui ruože. Lyginami trys variantai: tinklo režimui esant 130-70°C, tinklo režimui esant 130-50°C, bei tinklo režimui esant 100-50°C.

Skaičiavimai atlikti visiems trimis variantams: kuomet režimas projektinis (130-70°C modelio kūrimo metu), kuomet režimas realus (130-50°C) bei optimizuoto temperatūros režimo metu 100-50°C. Atitinkamai modeliavimo metu sugeneruoti pjezometriniai grafikai pavaizduojami 3.2, 4.1 bei 4.2 paveiksluose.

Sugretinus visus pjezometrinis grafikus vienoje sistemoje išreiškiamas vizualus slėgių kitimų skirtumas:



4.6 pav. Pjezometrinų grafikų palyginimas modeliuojant skirtingus režimus.

4.6 paveiksle matomas grafinis slėgių kitimo palyginimas, kuriuo remiantis galima teigti, jog tinklui dirbant prie mažesnio temperatūrų skirtumo- slėgių skirtumas mažėja (skaitinės reikšmės apibendrinamos 4.4 lentelėje).

4.4 lentelė. Visų režimų slėgių skirtumų palyginimas.

Temperatūrinis režimas (°C)	130-70	130-50	100-50
Slėgių skirtumas (m.v.st)	22,28	24,44	20,34

Pakeičiant darbo režimą, nuo realaus iki rekomenduojamo slėgis nukrenta apie 4 metrus vandens stulpo. Tačiau, tuo dar nėra išnaudojamos visos galimybės, kadangi yra potencialo slėgio mažinimui dar 8 m.v.st.

Siūloma mažinti ne vien tiekiamą temperatūrą, bet ir koreguoti vandens siurblių darbo režimą. Esant mažesnio slėgio poreikiui, nėra reikalo eksploatuoti didelio našumo siurblius.

Esamoje situacijoje, siurblių pradinis slėgis tiekimo linijoje yra 69,8 m.v.st (6,8 bar), o grąžinamo termofikacinio vandens linijoje 42,6 m.v.st (4,2 bar).

Tokį darbo režimą galima keisti į mažiau našų pasinaudojant dviem problemos sprendimo variantais: siurblius keičiant mažiau našiais arba naudojamiems siurbliams įdiegti dažnio keitiklius.

Pasinaudojus anksčiau aprašytais hidraulinių skaičiavimų metodais bei turint pjezometrinis grafikus, keisdami slėgio reikšmę tiekimo linijoje, vizualiai gautume norimą 12

m.v.st slėgių skirtumą paskutinio vartotojo taške. Tokiu atveju mums reikalingas slėgis tiekiamo termofikacinio vandens linijoje siektų 61,5 m.v.st (6 bar). T.y reikėtų sumažinti slėgį 0,8 baro.

Atlikus šilumos tiekimo tinklo temperatūrinio darbo režimo bei cirkuliacinių siurblių režimo korekcijas (tiekiamo vandens temperatūra 100°C, grąžinamo 50°C, sumažintas slėgis tiekimo linijoje iki 6 barų) šilumos tiekimo tinklo darbo pjezometrinis grafikas pateikiamas B priede, 7.1 paveiksle.

4.3 Šilumos nuostolių palyginimas

3.3.3 skyrelyje apžvelgti šilumos nuostoliai bei nustatyta jų finansinė reikšmė šilumos tiekimo tinklo eksploatacijai. Naudojantis tuo pačiu įrankiu (skaičiuokle) bei remiantis analogiškomis sąlygomis, pakeičiamas tik šilumos tinklo darbo režimas, kuris po optimizacijos teoriškai sumažėja iki 100-50°C.

Gauti rezultatai šiuo atveju pavaizduojami 4.5 lentelėje.

4.5 lentelė. Naujo režimo įtaka šilumos nuostolių dydžiui šildymo sezono metu.

Eil. Nr.		Termofikaciniai tinklai							
		Tinklų ilgis,	Sąlyginis tinklų ilg.,	Tinklų tūris,	Nuost. dėl nutek.,	Nuost. dėl nutek.,	Nuost. per izol.,	Term. nuost.,	Vidutinis diametr.,
		m	m	m ³	m ³	MWh	MWh	MWh	mm
1	iš viso:	3503.0	12874.0	835.5	2137.4	172.2	1513.4	1685.6	367.5

Lyginant su šilumos nuostolių skaičiavimu 3.3.3 skyrelyje, sumažinus termofikacinio vandens temperatūrą tiekimo linijoje, šilumos nuostoliai sumažėja iki 1685,6 MWh, apie 465 kW.

Tobulinti tinklą galima ir toliau, siūlant pakloti naujus (N tipo) vamzdžius, turinčius geresnę izoliaciją, bekanaliu būdu. Norint išsiaiškinti kaip pakis šilumos nuostoliai tokiu atveju, vertinami tie patys vamzdžių skersmenys, tik prilyginami juos N tipui, kartu laikant, kad jie kloti nuo 2000 m. bekanaliu būdu. Gauti rezultatai pateikiami 4.6 lentelėje.

4.6 lentelė. Modernizuoto CŠT tinklo įtaka šilumos nuostoliams šildymo sezono metu.

Eil. Nr.		Termofikaciniai tinklai							
		Tinklų ilgis,	Sąlyginis tinklų ilg.,	Tinklų tūris,	Nuost. dėl nutek.,	Nuost. dėl nutek.,	Nuost. per izol.,	Term. nuost.,	Vidutinis diametr.,
		m	m	m ³	m ³	MWh	MWh	MWh	mm
5	iš viso:	3503.0	12874.0	835.5	0.0	0.0	1219.7	1219.7	367.5

Visų atvejų palyginimui gauti šilumos nuostoliai (kartu su finansiniais nuostoliais) suvedami 4.7 lentelėje.

4.7 lentelė. Šilumos nuostolių palyginimas visais atvejais.

Darbo režimas	Klojimo būdas	Nuostoliai	Kaina
°C		kW	Lt/€ per metus
130-50	Iki 2000m. Nepereinami kanalai	560,6	365683 / 105909
100-50	Iki 2000m. Nepereinami kanalai	465	303410 / 87873,6
100-50	Nuo 2000m. Bekanalis	336,6	219545 / 63584,6

4.7 lentelėje pastebima, jog optimizuojant bei modernizuojant šilumos tiekimo tinklą, išlaidos dėl šilumos nuostolių nukristų nuo 105909 €/metus iki 87873,6 €/metus - 17% (tik pakeičiant darbo režimą) bei 63584,6 €/metus net 39,9% jeigu pakeistume darbo režimą kartu modernizuodami tinklą.

Skaiciavimai atlikti tik vienai atkarpai, nors bendras vamzdynų ilgis bent 7 kartais didesnis, todėl pilnai įvertinamų išlaidos, optimizavus bei modernizavus tinklą, galėtų sumažėti nuo 741 tūkst. € iki 615 tūkst. € (tik koreguojant temperatūras) arba 445 tūkst. € (koreguojant temperatūras bei keičiant vamzdžius). Tai reiškia, jog dėl šilumos nuostolių sumažinimo, išlaidos sumažėtų 126 tūkst. € arba 296 tūkst. € kasmet.

Darbe atliktoje detalioje analizėje:

1. Paruoštas magistralinio centralizuoto šilumos tiekimo tinklo analizės modelis, kuriuo naudojantis, įvertinta esama tinklo būseną bei numatytos reikiamų parametrų keitimo galimybės.
2. Panaudojant sudarytą modelį ištirtas Visagino CŠT veikimas ir labiausiai apkrautas magistralės ruožas, kuriame nagrinėtos optimizavimo galimybės.
3. Optimizavimo galimybes įvertintos ieškant optimalaus paduodamo vandens temperatūros bei kokybinio bei kiekybinio reguliavimo derinio

Pagal atliktą analizę siūloma optimizuoti tinklą šiais būdais:

- Sumažinant tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros aukščiausią ribą nuo 130°C iki 100°C.
- Naudoti mišrų termofikacinio vandens reguliavimo pobūdį, palaikant stabilų temperatūros kitimą bei išnaudojant grįžtančio iš vartotojų termofikacinio vandens žemą temperatūrą kondensaciniame ekonomaizeryje.
- Sumažinti slėgį šilumos tiekimo tinkle, įrengiant dažnių keitiklius cirkuliaciniams siurbliams.
- Modernizuojant bei atnaujinant šilumos tiekimo tinklo magistralės klojant vamzdynus su geresne šilumine izoliacija.

1. .CŠT raida <http://www.lsta.lt/lt/pages/cstistorija> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-18)
2. VĮ Visagino energija. www.visaginoenergija.lt (paskutinį kartą žiūrėta 2015 03 14)
3. VĮ „Visagino energija“ šilumos tiekimo tinklų modernizavimas
<http://sc.bns.lt/view/item.php?id=163644> (paskutinį kartą žiūrėta 2015 03 25)
4. Šiluminė technika. / G.Gimbutis, K.Kajutis, V.Krukonis, A.Pranckūnas,
P.Švenčianas. Vilnius: „Mokslas“, 1993. – p.304-311, 319.
5. Euroheat & Power, Guidelines for District Heating Substations. October 2008.
<http://euroheat.org/Technical-guidelines-28.aspx?PID=52&M=NewsV2&Action=1&NewsId=70> (paskutinį kartą žiūrėta 2015 04 13)
6. Šilumos vartotojo vadovas. / J.Gudzinskas, V.Lukoševičius, V.Martinaitis,
E.Tuomas. Vilnius: Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija, 2011. –p. 121-156.
7. Šiluminės katilinės statyba. <http://www.iae.lt/lt/b52/> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-26)
8. Šilumos punkto rekonstrukcija. <http://www.vilniaus-energija.lt/content/silumos-punkto-rekonstrukcija> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-25)
9. Google maps find altitude. Priemonė ieškomoms altitudėms.
<http://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-15).

7.1 A PRIEDAS. Lentelės pjezometriniam grafikui sudaryti.

7.1.1 A1. Tiekimo linijos suvestinė

7.1 lentelė. Tiekimo linijos skaičiavimų rezultatai.

Mazgas	DN iki mazgo	Vamzdžio vidinis skersmuo iki mazgo, D vid, mm	Srautas iki mazgo, tekant pirmyn, m ³ /h	Iš mazgo vartotojams paduodamas debitas iš tiekiamo vamzdžio tik šildymui, m ³ /h	Greitis iki mazgo, m/s	Re kriterijus padavimo vamzdyje	Siurkstumas, mm	Trinties nuostolių koeficientas padavimo vamzdyje	Vamzdžio ruožo (iki mazgo) ilgis, m	Trinties nuostoliai tarpe tarp mazgų (tarp duoto ir prieš tai buvusio), Pa	Trinties nuostoliai tarpe tarp mazgų (tarp duoto ir prieš tai buvusio), m.v.st	Slėgis mazge P1, įvertinant trinties nuostolius prieš tai buvusiam ruožui, m.v.st
ŠK-1/III									0			69,8
ŠK-2/III	N500	517,4	476.9011	37.99	0.630381	1427768	0.5	0.01962917	426	3752.255	0.409169	69.39083
ŠK-3/II	N500	517,4	438.9111	33.56	0.580165	1314032	0.5	0.01964909	367	2740.854	0.298879	69.09195
ŠK-4/II	N500	517,4	405.3511	14.77	0.535804	1213558	0.5	0.01966973	184	1173.284	0.127942	68.96401
ŠK-5/23	N500	517,4	390.5811	0	0.516281	1169339	0.5	0.01967991	168	995.1283	0.108515	68.85549
ŠK-5/II	N500	517,4	390.5811	41.21	0.516281	1169339	0.5	0.01967991	38	225.0886	0.024545	68.83095
ŠK-6	N500	517,4	349.3691	0	0.461806	1045957	0.5	0.01971277	180	854.5027	0.09318	68.73777
ŠK-7	N500	517,4	349.3691	149.885	0.461806	1045957	0.5	0.01971277	16	75.9558	0.008283	68.72949
ŠK-7A	P400	393,8	199.4841	30.274	0.455182	784672.3	0.9	0.02427589	108	805.9229	0.087883	68.6416
ŠK-8	P400	393,8	169.2101	0	0.386103	665589.3	0.9	0.02431547	21	112.936	0.012315	68.62929
ŠK-9	P400	393,8	169.2101	1.18	0.386103	665589.3	0.9	0.02431547	131	704.5056	0.076824	68.55246
ŠK-10/1	P400	393,8	168.0301	26.11	0.38341	660947.8	0.9	0.02431729	62	328.8206	0.035857	68.51661
ŠK-10	P400	393,8	141.9201	0	0.323832	558243.9	0.9	0.02436533	77	291.8965	0.03183	68.48478
ŠK-11	P400	393,8	141.9201	3.6	0.323832	558243.9	0.9	0.02436533	104	394.2498	0.042991	68.44179
ŠK-12	P350	344,4	138.3201	8.5	0.412655	622125.4	0.9	0.02512675	172	1248.465	0.13614	68.30565
ŠK-13	P350	344,4	129.8201	0	0.387297	583894.8	0.9	0.02514325	121	774.1614	0.084419	68.22123
ŠK-14	P350	344,4	129.8201	28.276	0.387297	583894.8	0.9	0.02514325	65	415.8718	0.045349	68.17588
ŠK-15	P300	312,7	101.5441	36.2087	0.367474	503017	0.9	0.0257724	53	344.6333	0.037581	68.1383
ŠK-16	P300	312,7	65.33543	3.59	0.23644	323650.7	0.9	0.02593111	59	159.804	0.017426	68.12087
ŠK-17	P300	312,7	61.74543	3.65	0.223448	305867	0.9	0.02595672	39	94.43674	0.010298	68.11057
ŠK-18	P300	312,7	58.09543	0	0.210239	287786.1	0.9	0.0259859	46	98.71805	0.010765	68.09981
ŠK-19	P300	312,7	58.09543	2.85	0.210239	287786.1	0.9	0.0259859	55	118.0324	0.012871	68.08694
ŠK-20	P250	263	55.24543	2.89	0.282626	325384.1	0.9	0.02700227	58	277.9065	0.030305	68.05663
ŠK-21	P250	263	52.35543	0	0.267842	308362.6	0.9	0.0270237	72	310.0832	0.033813	68.02282
ŠK-22	P300	312,7	52.35543	23.394	0.189467	259352	0.9	0.02603977	73	127.4971	0.013903	68.00892
ŠK-23	P200	210,1	28.96143	0	0.232164	213525.4	0.9	0.02865053	54	231.8955	0.025287	67.98363
ŠK-24	P200	210,1	28.96143	0	0.232164	213525.4	0.9	0.02865053	41	176.0688	0.0192	67.96443
ŠK-25	P200	210,1	28.96143	0	0.232164	213525.4	0.9	0.02865053	35	150.3027	0.01639	67.94804
ŠK-26	P200	210,1	28.96143	0	0.232164	213525.4	0.9	0.02865053	208	893.2272	0.097403	67.85064
Festivalio 10A	P200	210,1	28.96143	1.08	0.232164	213525.4	0.9	0.02865053	55	236.1899	0.025756	67.82488
ŠK-26A	P150	160,3	27.88143	0	0.383951	269424.5	0.9	0.03044347	16	261.7176	0.028539	67.79634
Festivalio 10	P150	160,3	27.88143	2.419	0.383951	269424.5	0.9	0.03044347	25	408.9337	0.044593	67.75175
ŠK-27	P200	210,1	25.46243	1.66517783	0.204115	187728.2	0.9	0.02871839	75	249.544	0.027212	67.72454
Festivalio 8A	P200	210,1	23.79725	0	0.190767	175451.2	0.9	0.02875748	27	78.57679	0.008568	67.71597
ŠK-28	P150	160,3	23.79725	0	0.327708	229958.2	0.9	0.03049951	28	334.2667	0.03645	67.67952
Festivalio 8	P150	160,3	23.79725	9.63102409	0.327708	229958.2	0.9	0.03049951	28	334.2667	0.03645	67.64307
ŠK-29	P100	107,1	14.16622	5.392701	0.437022	204889.8	0.9	0.03362881	64	2242.378	0.244523	67.39854
Festivalio 6A	P100	107,1	8.773523	1.04702766	0.270659	126893.8	0.9	0.03382345	27	364.9545	0.039797	67.35875
ŠK-31	P150	160,3	7.726496	0	0.1064	74662.88	0.9	0.0312638	17	21.9303	0.002391	67.35636
Festivalio 6	P150	160,3	7.726496	6.85895853	0.1064	74662.88	0.9	0.0312638	23	29.6704	0.003235	67.35312
ŠK-32	P150	160,3	0.867537	0	0.011947	8383.209	0.9	0.03765114	44	0.861779	9.4E-05	67.35303
Festivalio 9	P150	160,3	0.867537	0.8675372	0.011947	8383.209	0.9	0.03765114	41	0.803021	8.76E-05	67.35294

7.1.2

A2. Gražinamo vandens linijos suvestinė

7.2 lentelė. Gražinamo vandens linijos skaičiavimų rezultatai

Mazgas	DN iki mazgo	Vamzdžio vidinis skersmuo iki mazgo, D vid, mm	Srautas iki mazgo, tekant pirmyn, m ³ /h	Iš mazgo vartotojams paduodamas debitas iš tiekiamo vamzdžio tik šildymui, m ³ /h	Greitis iki mazgo, m/s	Re kriterijus grįžimo vamzdyje	Siurkštumas, mm	Trinties nuostolių koeficientas grįžimo vamzdyje	Vamzdžio ruožo (iki mazgo) ilgis, m	Trinties nuostoliai tarpe tarp mazgų (tarp duoto ir prieš tai buvusio), Pa	Trinties nuostoliai tarpe tarp mazgų (tarp duoto ir prieš tai buvusio), m.v.st	Slėgis mazge P2, įvertinant trinties nuostolius prieš tai buvusiam ruožui, m.v.st
ŠK-1/III									0			42,6
ŠK-2/III	N500	517.4	476.9011	37.99	0.630381	779794.4	0.5	0.01981795	426	3962.798	0.413104	43.0131
ŠK-3/II	N500	517.4	438.9111	33.56	0.580165	717675.9	0.5	0.01985335	367	2896.876	0.301987	43.31509
ŠK-4/II	N500	517.4	405.3511	14.77	0.535804	662801	0.5	0.01988994	184	1241.055	0.129374	43.44447
ŠK-5/23	N500	517.4	390.5811	0	0.516281	638650.1	0.5	0.01990797	168	1053.017	0.109772	43.55424
ŠK-5/II	N500	517.4	390.5811	41.21	0.516281	638650.1	0.5	0.01990797	38	238.1825	0.024829	43.57907
ŠK-6	N500	517.4	349.3691	0	0.461806	571263.3	0.5	0.01996598	180	905.3344	0.094377	43.67344
ŠK-7	N500	517.4	349.3691	149.885	0.461806	571263.3	0.5	0.01996598	16	80.47416	0.008389	43.68183
ŠK-7A	P400	393.8	199.4841	30.274	0.455182	428559.2	0.9	0.02445807	108	849.3624	0.088542	43.77038
ŠK-8	P400	393.8	169.2101	0	0.386103	363520.5	0.9	0.02452879	21	119.1732	0.012423	43.7828
ŠK-9	P400	393.8	169.2101	1.18	0.386103	363520.5	0.9	0.02452879	131	743.4135	0.077498	43.8603
ŠK-10/1	P400	393.8	168.0301	26.11	0.38341	360985.4	0.9	0.02453204	62	347.0005	0.036173	43.89647
ŠK-10	P400	393.8	141.9201	0	0.323832	304892.3	0.9	0.02461751	77	308.4987	0.03216	43.92863
ŠK-11	P400	393.8	141.9201	3.6	0.323832	304892.3	0.9	0.02461751	104	416.6735	0.043436	43.97207
ŠK-12	P350	344.4	138.3201	8.5	0.412655	339782.1	0.9	0.02533374	172	1316.715	0.137262	44.10933
ŠK-13	P350	344.4	129.8201	0	0.387297	318901.9	0.9	0.02536319	121	816.8955	0.085158	44.19449
ŠK-14	P350	344.4	129.8201	28.276	0.387297	318901.9	0.9	0.02536319	65	438.8282	0.045746	44.24023
ŠK-15	P300	312.7	101.5441	36.2087	0.367474	274729.4	0.9	0.0260093	53	363.8176	0.037926	44.27816
ŠK-16	P300	312.7	65.33543	3.59	0.23644	176766.1	0.9	0.02629008	59	169.477	0.017667	44.29582
ŠK-17	P300	312.7	61.74543	3.65	0.223448	167053.3	0.9	0.02633502	39	100.2253	0.010448	44.30627
ŠK-18	P300	312.7	58.09543	0	0.210239	157178.2	0.9	0.02638612	46	104.8544	0.010931	44.3172
ŠK-19	P300	312.7	58.09543	2.85	0.210239	157178.2	0.9	0.02638612	55	125.3694	0.013069	44.33027
ŠK-20	P250	263	55.24543	2.89	0.282626	177712.8	0.9	0.02731949	58	294.1193	0.030661	44.36093
ŠK-21	P250	263	52.35543	0	0.267842	168416.3	0.9	0.02735733	72	328.3672	0.034231	44.39516
ŠK-22	P300	312.7	52.35543	23.394	0.189467	141648.5	0.9	0.02648012	73	135.6238	0.014138	44.4093
ŠK-23	P200	210.1	28.96143	0	0.232164	116619.8	0.9	0.02905379	54	245.9887	0.025643	44.43495
ŠK-24	P200	210.1	28.96143	0	0.232164	116619.8	0.9	0.02905379	41	186.7692	0.01947	44.45442
ŠK-25	P200	210.1	28.96143	0	0.232164	116619.8	0.9	0.02905379	35	159.4371	0.016621	44.47104
ŠK-26	P200	210.1	28.96143	0	0.232164	116619.8	0.9	0.02905379	208	947.512	0.098774	44.56981
Festivalio 10A	P200	210.1	28.96143	1.08	0.232164	116619.8	0.9	0.02905379	55	250.544	0.026118	44.59593
ŠK-26A	P150	160.3	27.88143	0	0.383951	147149.8	0.9	0.03071197	16	276.1843	0.028791	44.62472
Festivalio 10	P150	160.3	27.88143	2.419	0.383951	147149.8	0.9	0.03071197	25	431.5379	0.044986	44.66971
ŠK-27	P200	210.1	25.46243	1.66517783	0.204115	102530.2	0.9	0.02917265	75	265.1645	0.027642	44.69735
Festivalio 8A	P200	210.1	23.79725	0	0.190767	95825.02	0.9	0.02924083	27	83.57677	0.008713	44.70606
ŠK-28	P150	160.3	23.79725	0	0.327708	125594.7	0.9	0.03081169	28	353.2388	0.036824	44.74288
Festivalio 8	P150	160.3	23.79725	9.63102409	0.327708	125594.7	0.9	0.03081169	28	353.2388	0.036824	44.77971
ŠK-29	P100	107.1	14.16622	5.392701	0.437022	111903.3	0.9	0.03389115	64	2363.938	0.24643	45.02614
Festivalio 6A	P100	107.1	8.773523	1.04702766	0.270659	69304.72	0.9	0.03423701	27	386.4287	0.040283	45.06642
ŠK-31	P150	160.3	7.726496	0	0.1064	40778.13	0.9	0.03213334	17	23.57823	0.002458	45.06888
Festivalio 6	P150	160.3	7.726496	6.85895853	0.1064	40778.13	0.9	0.03213334	23	31.89996	0.003325	45.0722
ŠK-32	P150	160.3	0.867537	0	0.011947	4578.601	0.9	0.0416056	44	0.996144	0.000104	45.07231
Festivalio 9	P150	160.3	0.867537	0.8675372	0.011947	4578.601	0.9	0.0416056	41	0.928225	9.68E-05	45.0724

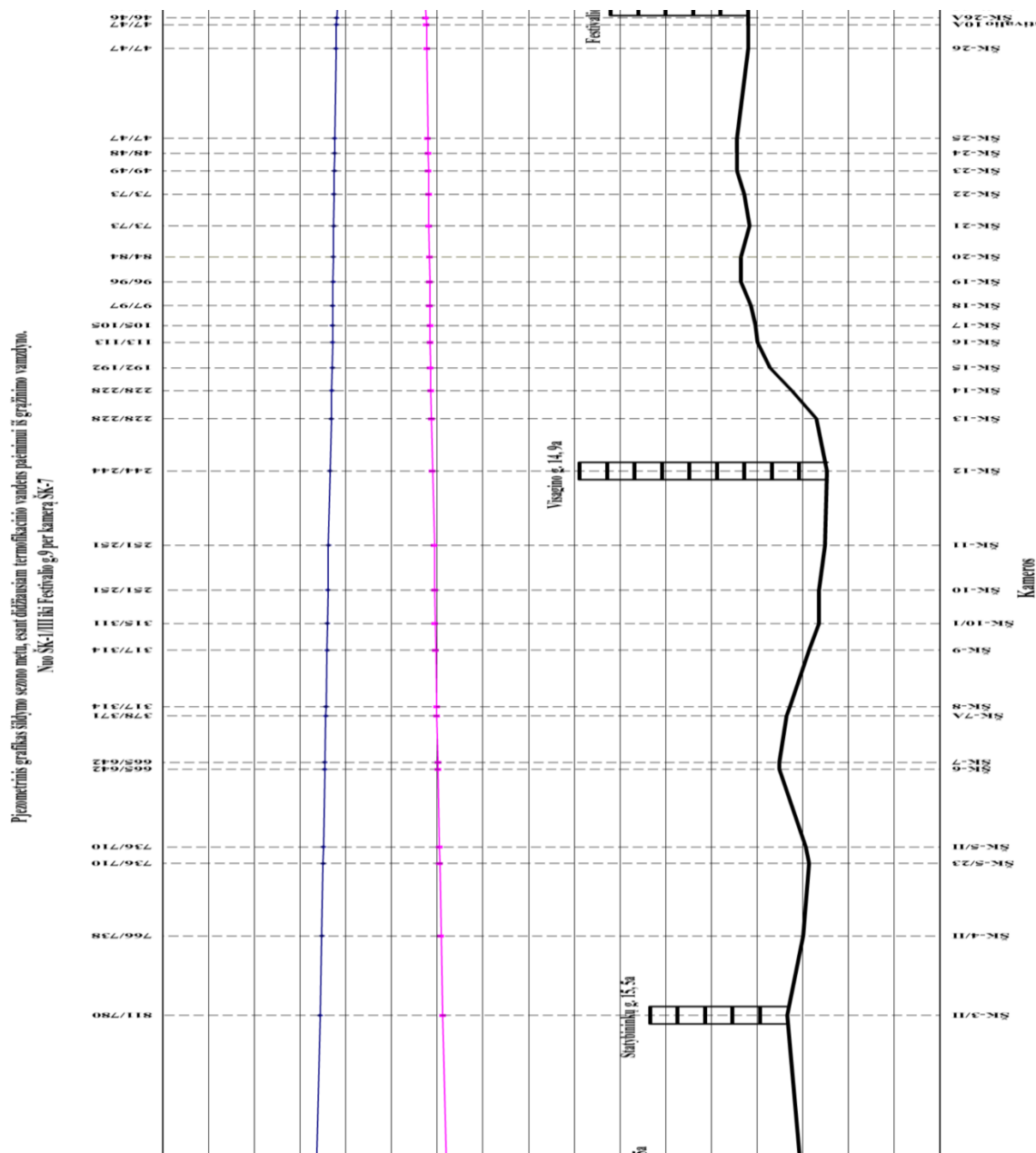
7.1.3 A3. Šilumos punktų ir vartotojų aukštis virš jūros lygio kartu su slėgiu.

7.3 lentelė. Pagal aukštį nustatytos slėgio reikšmės.

Mazgas	Aukštis, m	Tiekiamas slėgis, m.v.st	Grąžinamas slėgis, m.v.st
ŠK-1/III	150,8	220,6	193,4
ŠK-2/III	155,2	220,4	193,6
ŠK-3/II	156,7	220,2	193,8
ŠK-4/II	155	220,1	193,9
ŠK-5/23	154,3	220,1	193,9
ŠK-5/II	154,7	220,1	194,0
ŠK-6	157,6	220,0	194,0
ŠK-7	157,6	220,0	194,0
ŠK-7A	156,8	220,0	194,1
ŠK-8	156,4	219,9	194,1
ŠK-9	154,3	219,9	194,1
ŠK-10/1	153,2	219,9	194,1
ŠK-10	153,2	219,9	194,1
ŠK-11	152,6	219,8	194,2
ŠK-12	152,4	219,8	194,3
ŠK-13	153,5	219,7	194,3
ŠK-14	156,2	219,7	194,3
ŠK-15	158,6	219,7	194,3
ŠK-16	160	219,7	194,4
ŠK-17	160,2	219,7	194,4
ŠK-18	160,7	219,7	194,4
ŠK-19	161,8	219,6	194,4
ŠK-20	161,8	219,6	194,4
ŠK-21	160,8	219,6	194,4
ŠK-22	161,4	219,6	194,4
ŠK-23	162,2	219,6	194,4
ŠK-24	162,2	219,6	194,4
ŠK-25	162,2	219,6	194,5
ŠK-26	161	219,5	194,5
Festivalio 10A	161	219,5	194,5
ŠK-26A	161	219,5	194,5
Festivalio 10	161	219,5	194,6
ŠK-27	161	219,4	194,6
Festivalio 8A	160,1	219,4	194,6
ŠK-28	160,8	219,4	194,6
Festivalio 8	160,1	219,4	194,6
ŠK-29	160,1	219,3	194,8
Festivalio 6A	160,1	219,2	194,8
ŠK-31	160,1	219,2	194,8
Festivalio 6	160,1	219,2	194,8
ŠK-32	158,6	219,2	194,8
Festivalio 9	158,8	219,2	194,8

7.2 B PRIEDAS. Galutinis pjezometrinis grafikas

7.2.1 Pjezometrinis grafikas optimizuotam tinklui.



7.1 pav. Pjezometrinis grafikas optimizavus bei modernizavus CŠT tiekimo sistemą.