



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

Mantas Penkauskas

ŠILUMINĖS TRASOS ŠILUMOS PERDAVIMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Jonas Valickas

PANEVĖŽYS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

ŠILUMINĖS TRASOS ŠILUMOS PERDAVIMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Statyba (621J80001)

Vadovas

Doc. dr. Jonas Valickas

Recenzentas

Prof. Žilvinas Bazaras

Projektą atliko

Mantas Penkauskas

PANEVĖŽYS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Mantas Penkauskas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Baigiamojo projekto pavadinimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. Sausio 09 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Manto Penkausko**, baigiamasis projektas tema „Šiluminės trasos šilumos perdavimo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Mantui Penkauskui* Grupė *PMS-5*

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: *Šiluminės trasos šilumos perdavimo tyrimas*

Anglų kalba: *Thermal heat transfer tracks test*

Patvirtinta 2016 m. Lapkričio mėn. 11 d. dekanų potvarkiu Nr.V25-13-27

2. Darbo tikslas:

Ištirti įvairių šiluminių trasų šilumos perdavimo efektyvumą įvairiomis lauko sąlygomis ir įvertinti naudojamas izoliacines medžiagas bei paklojimo technologijas.

3. Reikalavimai

ir sąlygos:

Ištirti šilumines trasas, kurių skersmuo 219,1mm, ilgis ne mažesnis kaip 1000m, šiluminė trasa paklota Visagino mieste trimis skirtingais atvejais.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

- *Literatūros apie šilumines trasas analizė;*
- *Šiluminių trasų izoliuojančių medžiagų bei technologijų analizė;*
- *Nuostolių šiluminėse trasose tyrimo metodų analizė;*
- *Šilumos nuostolių trasose matavimo duomenų analizė;*
- *Nuostolių įvertinimas įvairiais būdais paklotose trasose;*

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

(data)

Užduotį gavau: *Mantas Penkauskas*

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: *Doc. dr. Jonas Valickas*

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Penkauskas Mantas. Šiluminės tramos šilumos perdavimo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Jonas Valickas; Kauno technologijos universitetas Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra. Projektą sudaro 3 skyriai, kuriuose yra 15 paveikslėlių, 7 lentelės ir 22 formulės. Literatūros sąrašas yra 33 šaltiniai. Baigiamąjį projektą sudaro 46 lapai.

Reikšminiai žodžiai: *Šilumnešis, vamzdynas, šiluminė trasa, šilumos nuostoliai.*

Panevėžys, 2017.

SANTRAUKA

Šio projekto tikslas - ištirti kuriuo būdu paklota šiluminė trasa gelžbetoniniame kanale, atvirame ore ar įrengta bekanaliu būdu patirs mažiausiai šilumos nuostolių. Baigiamąjį projektą sudaro 3 skyriai. Pirmajame skyriuje pateikta literatūros apžvalga. Apžvelgti straipsniai, kuriuose aprašoma, dėl kokių priežasčių didėja globalinis klimato atšilimas ir kas tam turi įtakos. Kituose straipsniuose apžvelgta yra vamzdynų izoliacinės medžiagos ir jų sudėtys. Antrajame skyriuje nagrinėjama teorinė dalis apie šiluminių trasų paklojimo būdą, jų montavimą, aptarnavimą ir eksploatavimą. Trečiajame skyriuje nagrinėjamos šiluminės tramos. Pateiktos 3 skaičiavimo schemas, t.y. kai šiluminė trasa paklota gelžbetoniniame kanale ir izoliuota akmens vatos dembliais, kai šiluminė trasa paklota atvirame ore ir izoliuota akmens vatos dembliais, ir trečiuoju atveju šiluminė trasa paklota bekanaliu būdu o vamzdynai izoliuoti poliuretano putomis pramoniniu būdu. Atlikta trimis atvejais paduodame vamzdyne ir grįžtamame vamzdyne šilumnešių temperatūrų matavimas, taip pat oro temperatūrų matavimas. Gauta, kad šiluminė trasa paklota bekanaliu būdu ir izoliuota poliuretano putomis pramoniniu būdu ekonomiškiausia įrengti ir eksploatuoti ir tokiu būdu paklota trasa patiria mažiausiai šilumos nuostolių.

Penkauskas Mantas. *Thermal heat transfer test tracks Master's thesis / supervisor doc.* dr. Jonas Valickas. Kaunas University of Technology, Panevėžys faculty of technologies and business, *Department of Technologies*. The project consists of 3 sections containing 15 pictures, 7 tables and 22 formulas. The list of references is 33 source. The final project consists of 46 pages.

Key words: Coolant, piping, heating network, the heat loss

Panevėžys, 2017.

SUMMARY

The aim of the project is to explore the manner laid thermal track a reinforced concrete channel, in the open air or trail equipped with un-ducted by the least heat loss. The final project consists of 3 sections. The first chapter of the literature review. Overview of articles, which describes the reasons for increasing global warming, and who has the influence. Other articles are reviewed pipe insulation materials and configurations. The second chapter deals with the theoretical part of the heat slope in laying the way to their installation, maintenance and operation. The third chapter is analyzed heating network. Presented is a 3-counting schemes, e.g. the thermal track laid in a reinforced concrete channel and isolated rock wool mats of thermal track laid in the open air and isolated rock wool mats, and a third case where the thermal trail laid by un-ducted and pipes insulated with polyurethane foam industry. Done in three cases filed in the pipeline and return piping heat transfer medium temperature measurement as well as the air temperature measurement. Try the thermal route laid in form of un-ducted and insulated with polyurethane foam industrial scale is economical to install and operate, and thus laying a trail, a minimum heat loss.

TURINYS

ĮVADAS.....	9
1. ŠILIMINIŲ NUOSTOLIŲ TRASOSE MAŽINIMO AKTUALUMAS.....	10
2. ŠILUMINĖS PERDAVIMO TRASOS.....	10
2.1 Vamzdynai klojami po žeme.....	12
2.2 Vamzdynai klojami atvirame ore.....	13
2.3 Vamzdynai klojami bekanaliu būdu.....	14
3. ŠILUMĄ IZOLIUOJANČIOS MEDŽIAGOS.....	15
3.1 Bekanalių vamzdynų montavimas ir aptarnavimas.....	19
3.2 Vamzdynų gedimai eksploatacijos metu.....	19
3.3 Vamzdynų hidrauliniai ir šiluminiai bandymai.....	20
3.4 Teisės aktai.....	21
4. SKAIČIAVIMO METODŲ ANALIZĖ.....	22
4.1 Šilumos nuostolių įvertinimo metodika, kai vamzdynai pakloti požeminiuose kanaluose....	22
4.2 Šilumos nuostolių įvertinimo metodika, kai vamzdynai pakloti atvirame ore.....	25
4.3 Šilumos nuostolių įvertinimo metodika, kai vamzdynai pakloti bekanaliu būdu.....	27
5. TIRIAMOJI DALIS	29
5.1 Nuostolių skaičiavimas, kai šiluminė trasa paklota požeminiame kanale.....	32
5.2 Nuostolių skaičiavimas, kai šiluminė trasa paklota atvirame ore.....	35
5.3 Nuostolių skaičiavimas, kai šiluminė trasa paklota bekanaliu būdu.....	38
IŠVADOS.....	43
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	44

ĮVADAS

Daug metų rašoma apie globalinį atšilimą ir jo galimas pasekmes. Per pastaruosius dešimt metų globalinis atšilimas ypač suaktyvėjo. Jungtinių Tautų Tarpvyriausybinė klimato kaitos komisija [2] apibendrina ir pasaulio mokslinius tyrimus globalinio klimato srityje. Mokslininkai sutaria, klimato kaitą labiausiai lemia žmogaus ūkinė veikla, ypač iškastinio kuro naudojimas energijos poreikiams.

Siekiant sumažinti šilumos praradimus šilumos tiekimo trasose nuo 30 % iki 10 % reikia atnaujinti šilumos tiekimo trasas vamzdžiais, kurie patiria mažiausius šilumos nuostolius, nes kuo mažesni šilumos nuostoliai tuo mažiau skatiname klimato atšilimą. Darbe pateikiamas moksliniais metodais ir matematiniais skaičiavimais paremtas šiluminių trasų šilumos nuostolių nustatymas.

Darbo tikslas: naudojantis moksliniais metodais, matematiniais skaičiavimais ir literatūros analize įvertinti šiluminių trasų šilumos nuostolių priklausomybę nuo šiluminės izoliacinės medžiagos, paklojimo būdo, oro temperatūros ir kitų aspektų.

Projekto uždaviniai:

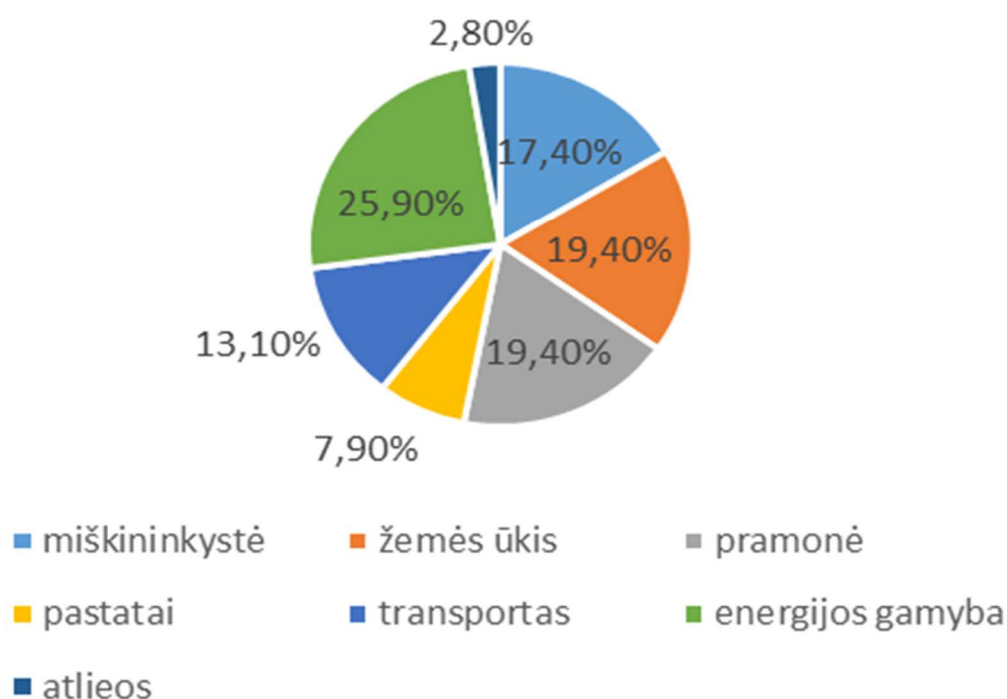
- Kokiomis sąlygomis naudojamos šiluminės trasos efektyviausios.
- Nustatyti, kuriems vamzdžiams kokia tinkamiausia šiluminė izoliacija.
- Atlikti modeliavimo metodų analizę.

Aprobavimas: Darbe naudojami analizės, statistinio vertinimo metodai. Darbo tematika mokslinėje konferencijoje 2016 m. balandžio mėn. paskelbtas straipsnis „Šiluminės trasos nuostolių tyrimas naudojant pramoniniu būdu izoliuotus vamzdžius“.

1. ŠILUMINIŲ NUOSTOLIŲ TRASOSE MAŽINIMO AKTUALUMAS

Smarkiai didėjant globalinio atšilimo poveikiams verta susimastyti, kas mūsų laukia ateityje. Kyla grėsmė, jog žmogaus įsikišimas natūralaus klimato pokyčius suaktyvins ir paspartins tiek, kad su globalinio klimato atšilimu susiję klausimai gali tapti nevaldomi, o žmonija išstiks jos pačios paskatinta katastrofa [3]. Ekspertai įspėja, kad su klimato kaita susiję klausimai tampa XX-ojo amžiaus saugumo grėsme.

Visi žmonijos pasiekimai - didelės dirbtinės energijos vartojimo pasekmė. Žmonija netausodama naudoja iškastinį kurą (gamtines dujas, naftą, anglis). Pagrindinės priežastys kurios lemia atmosferos kitimą ir globalinio klimato atšilimą yra, CO₂ dujų didėjimas, pramonės vystymasis energijos gavybos, ir t.t.



1 Pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltiniai [2]

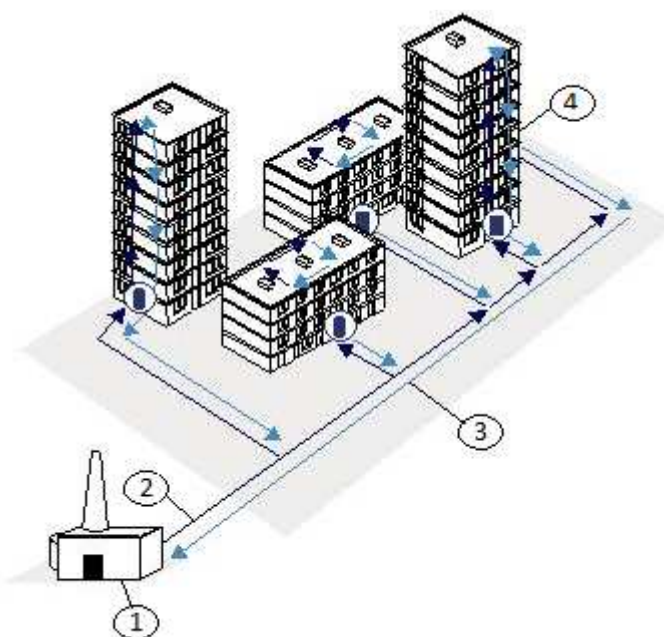
Šilumos praradimas tai ne tik padidėjusios sąnaudos vartotojams bet ir neigiamas poveikis gamtai, žinant, kad energija dažniausiai šiandien gaminama naudojant iškastinį kurą, kurį deginant gausiai išsiskiria šiltnamio dujos labai įtakojančios globalinio klimato kaitai.

2. ŠILUMOS PERDAVIMO TRASOS

Tiekiant šilumą gyvenamiesiems pastatams centralizuotu būdu, praktiškai visuomet dalis energijos prarandama dėl šilumą pernešančio vandens vamzdžių šiluminės izoliacijos ribotumo bei kitų technologinių problemų [7]. Siekiant mažinti šilumos nuostolius, rekomenduojama atnaujinti senas šilumos tiekimo trasas naujais pramoniniu būdu izoliuotais vamzdžiais. Siekiant didinti atnaujinamų šilumos tiekimo vamzdžių

ekonominį bei energetinį efektyvumą siūloma vertinti vamzdžių tarnavimo laiką, ilgį, diametrą bei kitus instaliavimo technologinius aspektus. Šilumos perdavimo vamzdynai parenkami, kad būtų galima patogiai aptarnauti, greitai likviduoti avarijas, sudaryti saugias darbo sąlygas personalui, tiekti šilumą vartotojams.

Gyvenamuose rajonuose technologiniai šilumos tinklai klojami tinklams skirtose juostose šalia gatvių bei kelių, tai reglamentuoja „Šilumos tiekimo tinklų ir šilumos punktų įrengimo taisyklės“ [6]. Tiekiant šilumą šilumos tiekimo tinklais, vartotojas naudoja ne termofikacinį vandenį, o šilumos energiją, kurią į pastatą šilumos tiekimo tinklais atneša atitekėjęs termofikacinis vanduo. Atvėsus termofikacinis vanduo gražinamas atgal į katilinę.



2 Pav. Šilumos tiekimo tinklų kvartalo schema

1 – šilumos gamybos taškas, 2 – paduodamas vamzdynas, 3 – grįžtamas vamzdynas, 4 – gyvenamieji namai.

Tiekiant šilumą šilumos tiekimo tinklais, reikalingi du pakloti vamzdynai. Vienu vamzdynu iš katilinės karštas termofikacinis vanduo tiekiamas vartotojui, kitu atvėsus termofikacinis vanduo iš vartotojo gražinamas katilinę. Tačiau tiekiant termofikacinį vandenį neįmanoma išvengti šilumos energijos nuostolių.

Aptarsime šilumos nuostolių skaičiavimo metodiką, kai šiluminė trasa įrengta trimis būdais, parengtą pagal literatūrą [7] ir pagal projektavimo žinyną [10]. Šilumos nuostoliai skaičiuojami nustatant vamzdyno atiduodamą šilumos srautą (W) nuo 1 m ilgio cilindro – vamzdyno, kuriuo teka šilumnešis paviršiaus. Šilumnešis – tai skystis, naudojamas šilumą pernešti iš karštesnės vietos į šaltesnę. Dažniausiai naudojamas vanduo, bet gali būti naudojamas ir hidrolis, bet jis yra brangus ir šiluminėse trasose nenaudojamas.

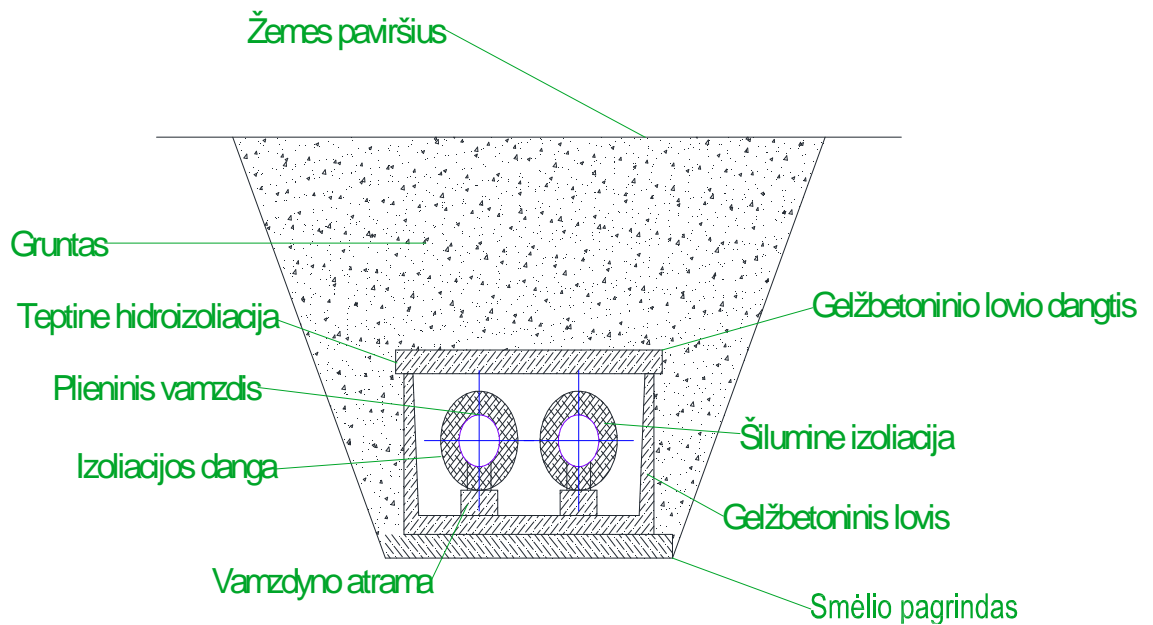
2.1 Vamzdynai klojami po žeme

Daugelis šilumos tiekimo vamzdynų yra paklota nepereinamuose, kurie įrengti po žeme, kanaluose 3 pav. ir 4 pav. Konstrukcijų gabaritai priklauso nuo kanalo konstrukcijos ir vamzdynų skersmens. Nepereinami kanalai susideda iš gelžbetonio elementų. Atstumas tarp vamzdžių imamas taip, kad būtų galima atlikti vamzdyno remonto darbus. Šilumos perdavimo vamzdynai gelžbetoniuose kanaluose montuojami tokia seka: pirmiausia iškasama tranšėja 2 metrais platesnė negu gelžbetoninis elementas. Tada įrengiamas pagrindas iš smėlio, kaip matome iš 4 paveikslėlio, tada montuojamas lovinis gelžbetoninis elementas, kurio plotis priklauso nuo klojamų vamzdynų skersmens ir skaičiaus. Pakloto gelžbetoninio elemento viduje montuojamos vamzdyno atramos. Tada ant paruoštų ir išlygintų atramų montuojami numatyto skersmens vamzdynai. Sumontavus vamzdyną jų sandūros suvirinamos. Suvirinus sandūras atliekamas hidraulinis bandymas, tam kad įsitikinti jog sandūros kokybiškai suvirintos. Bandymas atliekamas slėgiu, lygiu 1,25 eksploatacinio slėgio. Slėgis vamzdyne laikomas 5 min., po to sumažinamas iki eksploatacinio slėgio. Sumažinus slėgį iki eksploatacinio, vamzdynas atidžiai apžiūrimas. Bandymo rezultatai tenkinami, jeigu bandymo metu vandens prasiskverbimai per vamzdžių sieneles nepastebėta, nerasta įtrūkimų, slėgis nesumažėjo. Jei hidraulinio bandymo rezultatai teigiami, tada galima ant vamzdynų dėti šiluminę izoliaciją ir izoliacijos dangą. Atlikus visus šiuos veiksmus galima ant gelžbetoninio lovio uždėti dangtį. Uždėjus dangtį reikia dangtį kartu su loviu nutepti teptine hidroizoliacija, kad apsaugoti nuo gruntinio vandens. Tik užtepus hidroizoliaciją ir jai išdžiūvus galima tranšėją užpilti gruntu.



3 Pav. Kanalas iš lovinių elementų

Beabejo, vamzdyno avarijos atveju reikia nustatyti gedimo vietą, nukasti žemę, nuimti gelžbetoninį dangtį ir tik tada galima pradėti vamzdyno remonto darbus. Tai – daug laiko ir darbo sąnaudų reikalaujantis darbas. Kaip rodo statistika, gelžbetoniniuose kanaluose įrengtų vamzdynų dažniausiai pasitaikantis gedimas būna elementų hidroizoliacijos pažeidimai ir tai sąlygoja vamzdynų paviršių koroziją.



4 Pav. Vamzdynų paklotų požeminiame kanale pjūvis

2.2 Vamzdynai klojami atvirame ore

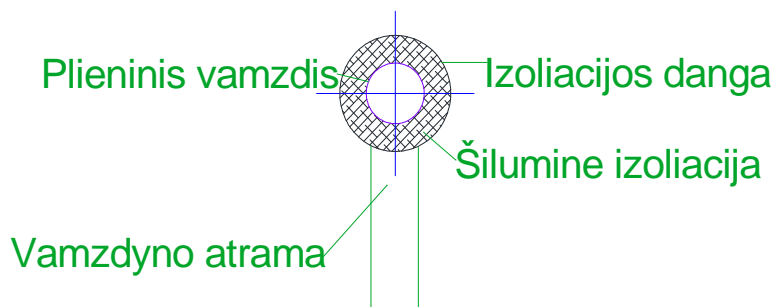
Antžeminiai tinklai įrengiami rajonuose, kur aukštas vandens lygis, pramonės teritorijose, taip pat ten kur sudėtingas vietovės reljefas. Antžeminiu būdu įrengiami vamzdynai ant gelžbetoninių ar metalinių atramų. Šis vamzdynų įrengimo būdas turi privalumų: vamzdynų neardo gruntinis vanduo; lygesnis vamzdynų profilis; patogų aptarnauti tinklus.



5 Pav. Šilumos trasa paklota atvirame ore

Antžeminiai vandens tiekimo tinklai tarnauja ilgiau ir juos įrengti pigiau nei gelžbetoniniuose kanaluose įrengti tinklai, tačiau taip įrengti tinklai sukelia nepatogumų šalia gyvenantiems žmonėms, o taip pat gadina aplinkos vaizdą. Remonto atveju jeigu tinklai aukštai pakloti sukels daug sąnaudų juos

suremontuoti, nes reikės papildomos įrangos juos pasiekti. Jeigu klojami nauji keliai ar statomi nauji statiniai, tai tada šiluminės trasas reiks iškelti ar pakloti po žeme.

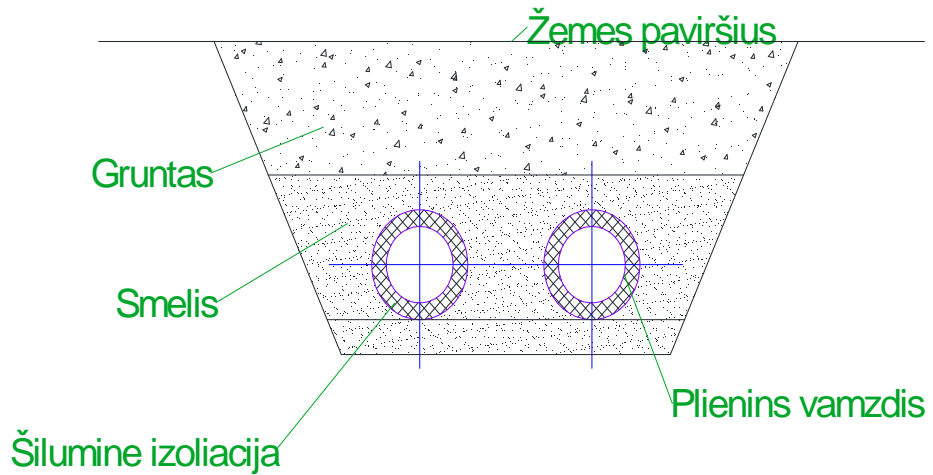


6 Pav. Vamzdyno pakloto atvirame ore pjūvis.

2.3 Vamzdynai klojami bekanaliu būdu

Dabartiniu metu šilumos tiekimo tinklai įrengiami bekanaliu būdu, kaip ir parodyta 7 pav. Taip įrengiamiems šilumos tiekimo tinklams naudojami iš anksto pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai, kurie pasižymi gera šiluminės izoliacija ir nedideliais šilumos nuostoliais. Taip įrengiamų vamzdynų išlaidos ir darbo sąnaudos mažesnės negu vamzdynų įrengtų nepereinamuose kanaluose, ir jų patikimumas bei ilgaamžiškumas neprastesnis negu pastarųjų, jeigu tik tinkamai atlikti vamzdynų įrengimo darbai ir eksploatuojami patikimai. Eksploatacijos metu turi būti parenkama tam tikra šilumnešio temperatūra, priklausomai nuo oro sąlygų, kuo oro temperatūra žemesnė tuo šilumnešio temperatūrą aukštesnė. Būtent dėl šių savybių iš anksto pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių įrengimas paplito labiausiai, ir šiuo metu, įrengiant naujas šilumos tiekimo trasas arba renovuojant senas, visada naudojami bekanalis klojimo būdas su pramoniniu būdu izoliuotais vamzdžiais.

Bekaneliu būdu įrengiant trasas naudojami plieniniai vamzdžiai, kurių matmenys būna įvairiausi nuo DN20 skersmens iki DN1200 mm skersmens. Taigi bet kokiems vartotojų poreikiams, galima parinkti tinkamo skersmens vamzdį. Tinkamo skersmens vamzdis parenkamas priklausomai nuo tiekiamos šilumos atstumo, t.y. koku atstumu yra vartotojas ir priklausomai nuo jų skaičiaus. Kuo toliau vartotojas ir jų daugiau, tuo vamzdžio skersmuo didesnis. 7 Pav. Bekanelio vamzdyno įrengimo schema



7 Pav. Vamzdyno pakloto bekanaliu būdu pjūvis.

3. ŠILUMĄ IZOLIUOJANČIOS MEDŽIAGOS

Šilumos izoliacinės medžiagos naudojamos šilumos tiekimo tinklų vamzdynų, karšties paviršiams padengti. Jos turi didelę reikšmę šilumos tiekimo tinklų sistemų ekonomiškumui. Šilumos tiekimo tinklų vamzdynų šiluminių izoliacijų reikalavimai numatyti šilumos izoliacijos įrengimo taisyklėse [13].

Izoliavus vamzdynų paviršius, temperatūra izoliacijos paviršiuje sumažėja, todėl šiuos paviršius supančio oro temperatūra šilumos punktuose, apžiūros kameroje, kanaluose taip pat sumažėja, o darbo sąlygos aptarnaujantiems personalui tampa saugesnės.

Pagrindinės šilumą izoliuojančios medžiagos jų savybės pateiktos 1 lentelėje [13].

1lentelė.

Pagrindinės šilumą izoliuojančios medžiagos ir jų charakteristikos

Medžiagos pavadinimas	Tankis, kg/m ³	Šilumos laidumo koeficientas, kai temperatūra 50°C, W/(m·K)	Leistina temperatūra °C
Armuoti stiklo vatos dembliai	40-50	0,038	500
Stiklo vatos kevalai	40-120	0,036	500
Stiklo vatos plokštės	40-60	0,039	250
Cilindrai ir kevalai iš akmens vatos	70-160	0,037	750
Akmens vatos dembliai	20-105	0,039	750

Poliuretano (PUR) putos, dengtos polietileno vamzdžiu	60	$\leq 0,029$	120
---	----	--------------	-----

Izoliacinės medžiagos, nustatyta tvarka išdėstomos ir pritvirtinamos prie vamzdžių, kuriuos norima apsaugoti nuo šilumos mainų – tai šilumos izoliacijos konstrukcija. Dažniausiai ją sudaro antikorozinė metalinių paviršių danga, pagrindinis izoliacinis sluoksnis, izoliacijos danga.

Izoliacinėmis medžiagomis padengiami sumontuoti šilumos tiekimo tinklų vamzdžiai. Šios medžiagos parenkamos, pagal klojimo būdą, pagal gruntinio vandens lygį, šilumos tiekimo tinklų hidraulinio režimą, šilumnešio temperatūros ir t.t. Gera darbų kokybė ir medžiagų parinkimas garantuoja mažus šilumos nuostolius ir izoliacijos ilgaamžiškumą. Vamzdynų izoliacinės medžiagos turi būti nebrangios, atsparios, išlaikyti fizines savybes per naudojimo laiką, ir turėti šiluminę varžą. Antžeminiams vamzdynams įrengti naudojama iš anksto pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai.

Izoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficientas būna $0,033 - 0,039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Šioms medžiagoms sudrėkus, koeficientas padidėja kelis kartus. To pasekoje suprastėja izoliacinių medžiagų savybės. Ypač svarbu, kad vamzdynų izoliacinės medžiagos būtų apsaugotos nuo vandens poveikio, ir jos blogai sugertų drėgmę. Šilumos tiekimo tinklų vamzdynų izoliacinių medžiagų sluoksnis yra dengiamas medžiagomis, kurios apsaugo izoliacinį sluoksnį nuo pažeidimų.

Šiais laikais šilumos tiekimo tinklų vamzdynai įrengiami iš pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių, kurie padengti poliuretano (PUR) putos. Iš 1 lentelės matome, kad poliuretano putų šilumos laidumas yra $\lambda \leq 0,029 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – ir jos yra geresnės už kitų izoliacinių medžiagų savybes. Kitos izoliacinės medžiagos šilumos tiekimo tinklų vamzdynų izoliavimui naudojamos retai, nes netinkamos jų savybės (gerai sugeria drėgmę, neatsparios aukštomis temperatūroms, ir kt.).

Pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių izoliacijos storis parenkamas atsižvelgiant į technines sąlygas. Kuo geresnę izoliaciją įrengsime, tuo mažesnius šilumos nuostolius turėsime. Bet branginsime vamzdynų kainą. Gali nutikti, kad investicijos naujų šilumos tiekimo tinklų atsipirkimo laikas bus ilgas ir per eksploatacijos laikotarpį neatsipirks. Vertindami temperatūrų lygį, prarastos šilumos kaštus, montavimo kainą, šilumos nuostolius tarp šilumos gamybos ir vartojimo vietų, nustatomas poliuretano izoliacijos storis. Keletas gamintojų siūlo skirtingų izoliacijos storus. Klientas rinkasi ne tik plieninių vamzdžių sienelės storį bet ir izoliacijos storį. Vieni jų gaminami su storesnėmis sienelėmis kiti pagal EN reikalavimus su mažesnio storio sienelėmis. Jeigu šilumos tiekimo tinkluose užtikrinami reikalavimai, rekomenduojama naudoti pramoniniu būdu izoliuotus vamzdžius su plonesnėmis sienelėmis. Sistemose, kuriose galima korozija, dėl įvairių priežasčių sunku užtikrinti tinkamą vandens kokybę, rekomenduojama naudoti vamzdžius storesnėmis sienelėmis.

2 lentelė.

Pagal EN 253 standarto reikalavimus pagamintų pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių matmenys.

Plieninis vamzdis				Polietileninis apvalkalas				Izoliacijos storis		1 m svoris
DN, mm	d, mm	s, mm	L,	D, mm	S, mm	Dp, mm	Sp, mm	l	lp	kg
20	26,9	2	6	90	3	110	3	28,6	38,6	2,5
25	33,7	2,3	6	90	3	110	3	25,2	35,2	3,1
32	42,4	2,6	6/12	110	3	125	3	30,8	38,3	4,3
40	48,3	2,6	6/12	110	3	125	3	27,9	35,4	4,6
50	60,3	2,9	12	125	3	140	3	29,4	36,9	6,1
65	76,1	2,9	12	140	3	160	3	29,0	39,0	7,4
80	88,9	3,2	12	160	3	180	3	32,6	42,6	9,4
100	114,3	3,6	12	200	3,2	225	3,4	39,7	52,0	13,6
125	139,7	3,6	12	225	3,4	250	3,6	39,3	51,6	16,6
150	168,3	4	12	250	3,6	315	4,1	37,3	69,3	21,5
200	219,1	4,5	12	315	4,1	355	4,5	43,9	63,5	31,9
250	273	5	12	400	4,8	450	5,2	58,7	83,3	46,3
300	323,9	5,6	12	450	5,2	500	5,6	57,9	82,5	60
350	355,6	5,6	12	500	5,6	560	6	66,6	96,2	68,3

3 lentelė.

Pagal ГOCT reikalavimus pagamintų pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių matmenys.

Plieninis vamzdis				Polietileninis apvalkalas				Izoliacijos storis		1 m svoris
DN, mm	d, mm	s, mm	L,	D, mm	S, mm	Dp, mm	Sp, mm	l	lp	kg
20	25	3	6	90	3	110	3	29,5	39,5	2,5
25	32	3	6	90	3	110	3	26	36	3,7

32	42	3	6/11	110	3	125	3,5	31	38	4,5
40	48	3	6/11	110	3	125	3,5	28	35	4,7
50	57	3,5	6/11	125	3,5	140	3,5	30,5	38	7,2
65	76	4	11	140	3,5	160	4	28,5	38	8,1
80	89	4	11	160	3,5	180	4	32	41,5	9,5
90	108	4,5	11	180	4	200	5	32	41	12,8
100	114	4,5	11	200	5	225	4,5	38	51	15,6
125	133	5	11	225	4,5	250	4,5	41,5	54	22,4
150	159	6	11	250	4,5	315	5,5	41	72,5	29
200	219	7	11	315	5,5	400	7,5	42,5	83	46,2
250	273	7	11	400	7,5	450	7,5	56	81	62,7
300	325	8	11	450	7,5	500	10	55	77,5	92,2
350	377	8	11	500	10	560	9	51,5	82,5	106,8

Šiose lentelėse: Sp – polietileninio apvaskalo sienelės storis, kai PUR izoliacijos sluoksnio storis didesnis; d – plieninio vamzdžio išorinis skersmuo, mm; s – plieninio vamzdžio sienelių storis, mm; D – polietileninio apvaskalo išorinis skersmuo, kai standartinis PUR izoliacinis sluoksnis, mm; Dp – polietileninio apvaskalo išorinis skersmuo, kai padidintas PUR izoliacinis sluoksnis, mm; DN - plieninio vamzdžio nominalus skersmuo, mm; S – polietileninio apvaskalo sienelių storis, mm; mm; L – pramoniniu būdu izoliuoto vamzdžio ilgis, m; l – standartinis PUR izoliacijos sluoksnio storis, mm; lp – padidinto izoliacijos sluoksnio storis, mm.

Pagrindinis elementas parodantis šiluminės izoliacinės savybės tai šilumos laidumo koeficientas. Nuo šilumos laidumo koeficiento priklauso vamzdinių izoliacijos kokybė. Šiluminės izoliacijos šilumos laidumas priklauso nuo poringumo, eksploatacijos laiko, medžiagos tankio, izoliacinės medžiagos temperatūros, storio. Poliuretano putos yra purėtos struktūros, jos poros yra užpildytos ciklopentano dujomis ir ją sudaro kieta vientisa medžiaga [13].

4 lentelė.

Skirtingų medžiagų šilumos laidumo koeficientas

Medžiaga	Šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K)
Ciklopentanas	0,0130
Anglies dioksidas	0,0162
Sausas oras	0,0259
Vanduo	0,6080
Vanduo (garo būsenos)	0,0176

Izoliuojančių medžiagų savybės priklauso nuo šilumos laidumo koeficiento, ir izoliacijos storio. Norint, kad būtų mažesni šilumos nuostoliai reikia didinti izoliuojančiu medžiagų sluoksnį.

Remiantis galiojančiais šilumos tiekimo tinklų šilumos izoliacijos įrengimo teises aktais, būtina atsižvelgti į :

- Izolijuojamosios medžiagos šilumos laidumo koeficiento priklausomybę nuo izoliacijos sluoksnio vidutinės temperatūros;
- Izoliacijos storį priklausomai nuo vamzdžio skersmens;
- Šilumos tiekimo tinklų paklojimo būdą;
- Termofikacinio vandens projekcinę temperatūrą;
- Aplinkos, kurioje įrengiami izoliuoti vamzdynai, projekcinę temperatūrą;
- Padidėjusius šilumos nuostolius per šilumos tiekimo tinklų atramas, flanšus ir armatūrą.

3.1 Bekanalių vamzdynų montavimas ir aptarnavimas

Pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai šilumos tiekimo tinklams gaminami 30 – 50 metų laikotarpiui. Eksploatacijos laikas pasiekiamas, jeigu šilumos tiekimo tinklų įrengimas atliktas kokybiškai. Įrengiant šilumos tiekimo tinklų vamzdžius darbai skirstomi į keletą etapų:

- Tranšėjos nužymėjimas;
- Kasimas;
- Vamzdžių išdėstymas ir jų paruošimas;
- Vamzdžių ir elementų suvirinimas;
- Suvirinimo siūlių patikrinimas;
- Gedimų kontrolės sistemos montavimas;
- Smėlio sluoksnio užpylimas, atramų montavimas, smėlio pagalvių įrengimas;
- Tranšėjos užpylimas žemės paviršiaus atstatymas;
- Eksploatacijos pradžia.

Šilumos tiekimo tinklų įrengimas priklauso nuo darbų kokybės. Šilumos tiekimo tinklų įrengimo gylis priklauso nuo apkrovų. Tiekimo tinklai kur ribojasi su kelio danga gylis yra 0,6 – 0,7 m. Tranšėjos gylis ir plotis priklauso nuo vamzdžio skersmens. Ši priklausomybė pateikta [15] 5 priede.

Šilumos tiekimo tinklų vamzdynų įrengimas – atsakingas darbas. Įrengtas vamzdynas turi tarnauti 30 – 50 metų.

3.2 Vamzdynų gedimai eksploatacijos metu

Šilumos tiekimo tinklų vamzdynų gedimai yra šie:

- Vandens prasiskverbimas po blogai atlikto vamzdyno suvirinimo ;

- Įrengimų gedimai, ko pasekoje nutrūksta šilumos tiekimas;
- Gedimai, dėl kurių prarandamas šilumos tiekimas;
- Šilumos tiekimo sutrikimas.

Pasekmės būna įvairios: šilumos tiekimo sutrikimas šalčio metu, šildymo sistemų gedimai. Ypač svarbu kuo greičiau nustatyti gedimų vietą.

Iš anksto pramoniniu būdu izoliuotuose vamzdžiuose įrengta gedimų kontrolės sistema. Vamzdyno izoliaciniame sluoksnyje tarp apvalkalo ir vamzdžio įrengti variniai laidai, kaip parodyta 8 paveiksle. Šios sistemos pagalba galima aptikti gedimo vietą. Iš anksto diagnozavus priežastį galima apsaugoti nuo pažeidimo išplitimo.



8 Pav. Pramoniniu būdu izoliuotas vamzdis

Šita sistema veikia remdamasi elektrinių savybių (varžos, talpumo,) matavimu tarp signalinių laidų izoliacijoje. Nutekėjimo metu padidėjusi drėgmė sukelia elektrinių savybių pokytį. Šios sistemos pagalba nustatoma pažeidimo vieta. Termografinė kontrolė atliekama senų šilumos tiekimo tinklų vamzdynų renovacijai, pakeičiant pramoniniu būdu izoliuotais vamzdžiais. Taip užtikrinama, kad pirmiausiai bus pakeisti prasčiausi vamzdynai.

3.3 Vamzdynų hidrauliniai ir šiluminiai bandymai

Po kiekvieno šildymo sezono norint išsiaiškinti šilumos tiekimo tinklų pažeidimus, atliekami bandymai, remiantis taisyklėse [15] nurodytų reikalavimų. Hidraulinio bandymo metu nustatomos pažeistos vamzdyno vietos ir jos remontuojamos. Kartais pažeistų vamzdyno vietų paieška užtrunka, todėl šiluma vartotojams netiekama. Šilumos tiekėjas, taip sutvarkydamas pažeistas vietas, pasiruošia šildymo sezonui. Naujai sumontuotiems vamzdynams hidraulinis bandymas atliekamas:

- Po 10 metų nuo eksploatacijos pradžios;

- Kai įvyksta vamzdyno trūkimas, nuo to laiko hidraulinis bandymas atliekamas kas metai, po šildymo sezono.

Hidraulinio bandymo metu šilumos punktai ir šildymo sistemos turi būti patikimai atjungiami nuo bandomojo ruožo. To nepadarius, galima pažeisti šildymo sistemos įrangą.

Remiantis šilumos tiekimo tinklų priežiūros taisyklėmis [15], šilumos tiekimo tinklai turi būti ne rečiau kaip kartą per 5 metus bandomi:

- Šilumos nuostoliams nustatyti
- Faktiniams hidrauliniams nuostoliams nustatyti.

Įrengus naujus vamzdynus atliekamas sandarumo bandymas. Sandarumo bandymo tikslas surasti prasiskverbimo mikroangas. Tokios mikrobangos gali likti suvirinimo vietose.

Vamzdynų bandymams, kontrolei, priežiūrai, reikia skirti daug dėmesio. Nes šilumos tiekimo tinklų sistemos patikimumas priklauso nuo vamzdyno patikimumo. Ypač svarbu patikrinti atliktų darbų kokybę.

3.4 Teisės aktai

Šilumos tiekimo tinklų įrengimą Lietuvoje reglamentuoja tinklų taisyklės [6]. Šios taisyklės taikomos rekonstruojant, statant ir projektuojant šilumos tiekimo tinklus. Taisyklės taikomos šilumos tiekimo tinklams bei įvadams, įrengtiems po žeme ir virš jos, kai šilumnešis yra:

- Termofikacinis vanduo, kurio temperatūra nedidesnė kaip 150 °C ir slėgis nedidesnis kaip 2,5 MPa;
- Garas, kurio temperatūra $t \leq 450$ °C ir slėgis $p \leq 3,85$ MPa;
- Kondensatas .

Aptaria teorinę dalį matome, kad šilumines trasas klojant bekanaliu būdu naudojamos naujausios technologijos, kaip pramoniniu būdu izoliuotas vamzdis, kuris padengtas poliuretano putomis ir apvilktas polietilenu. Pramoniniu būdu izoliuotame vamzdyje įdiegta gedimo aptikimo kontrolė, kuri padeda greičiau ir tiksliau nustatyti gedimo vietą. Pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai klojami bekanaliu būdu. Pramoniniu būdu izoliuotus vamzdžius paklojus bekanaliu būdu yra paprastesnė eksploatacija.

4. SKAIČIAVIMO METODŲ ANALIZĖ

4.1 Šilumos nuostolių įvertinimo metodika, kai vamzdynai pakloti *požeminiuose kanaluose*.

Šilumos nuostolių srautas požeminiuose kanaluose apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q = \frac{t_f - t_a}{R}, \frac{W}{m}. \quad (1)$$

Į šią formulę įeinanti bendra šiluminė varža R susideda iš atskirų varžų, kurių kiekis priklauso nuo vamzdynų klojimo būdo.

$$R = R_v + R_s + R_{iz} + R_a + R_o + R_k + R_{gr}; \quad (2)$$

Bendra šiluminė varža susideda iš tokių atskirų varžų:

R_v – vamzdžio vidinio paviršiaus;

R_s – vamzdžio sienutės;

R_{iz} – izoliacijos, kuri gali būti kelių sluoksnių (antikorozinė danga, pagrindinis izoliacinis sluoksnis, apsauginė danga bei kita) ir susidėti iš jų varžų;

R_a – izoliacijos išorinio paviršiaus;

R_o – kanalo vidinio paviršiaus;

R_k – kanalo sienutės;

R_{gr} – grunto;

t_f – šilumnešio temperatūra $^{\circ}\text{C}$;

t_a – patalpos temperatūra $^{\circ}\text{C}$.

Kai vamzdynai klojami kitais būdais, kai kurių šiluminių varžų gali nebūti. Jei vamzdynas klojamas atviru būdu – t.y. ore, tada nebus R_o – kanalo paviršiaus varžos, R_k – kanalo sienutės varžos, R_{gr} – grunto varžos, nes tokiam klojimo būdame jie nenaudojami. Kai vamzdynai bus klojami bekanaliniu būdu, taip pat nebus R_o – kanalo paviršiaus varžos, R_k – kanalo sienutės varžos. Šiuos atviru būdu – ore ir bekanaliniu būdu klojamus vamzdynus mes apšnekėsime vėliau. Kai kuriais atvejais, skaičiuojant šilumos nuostolius tiekimo tinkluose, neįvertinamos vamzdžio vidinio paviršiaus šiluminės varžos ir vamzdžio sienutės nes, jos yra labai mažos ir galutiniam rezultatui neturi įtakos.

Šilumos nuostoliai susideda iš šilumos, prarastos per šilumos tiekimo tinklų elementų karštus paviršius, ir šilumos, prarastos per nesandarumus su ištekėjusiu šilumnešiu. Skaičiuojant šilumos nuostolius,

pirmiausiai surandamas šilumos nuostolių srautas per vamzdynų paviršius. Po to skaičiuojami vidutiniai šilumos nuostoliai per atitinkamą laikotarpį. Dažniausiai šilumos nuostoliai skaičiuojami per šildymo sezono laikotarpį, nes tada būna oro temperatūra žemiausia, o šilumnešio temperatūra didžiausia, kas sąveikoje didžiausius šilumos nuostolius.

Pirmiausia apskaičiuojame vamzdynų bendrąsias varžas:

$$R_{b1} = R_{b2} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_1 \alpha_{ik}}; \quad (3)$$

λ – mineralinės vatos šilumos laidumo koeficientas lygus 0,045 W/(m·K);

d_1 – vamzdžio skersmuo mm;

d_2 – vamzdžio skersmuo su izoliacija mm;

Šilumos laidumo atidavimo nuo izoliacijos kanalo orui ir iš oro kanalo sienutei koeficientas lygus

$$\lambda_{ik} = 12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}.$$

Tada skaičiuosime bendrą grunto varžą, kuri lygi:

$$R_{gr} = \frac{1}{\pi \cdot d_{ek} \cdot \alpha_{ik}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gr}} \ln \left(2 \frac{h}{d_{ek}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{ek}^2} - 1} \right) \quad (4)$$

Skaičiuojant šiluminę varžą kanalo, kurio forma skiriasi nuo cilindro, įrašomas ekvivalentinis skersmuo, apskaičiuojamas pagal perimetrą. Kai kanalas stačiakampis, tai

$$d_{ek} = \frac{2(1,2+0,6)}{\pi}; \quad (5)$$

Kai viename požeminiame kanale yra du vamzdžiai, oro temperatūra kanale apskaičiuojama:

$$t_k = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{t_{fj}}{R_j} + \frac{t_a}{R_b}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_b}}; \quad (6)$$

R_b – kanalo bendroji šiluminė varža, kuri susideda iš jo vidinio paviršiaus, sienutės ir grunto šiluminių varžų;

Suradus oro temperatūrą kanale, kiekvieno vamzdžio šilumos nuostoliai apskaičiuojami pagal (7) formulę:

$$q_1; q_2 = \frac{t_f - t_k}{R_{b1} (R_{b2})}; \quad (7)$$

q_1 – paduodamas vamzdynas;

q_2 – grįžtamas vamzdynas;

t_f – tekančio šilumnešio temperatūra °C;

t_k – oro temperatūra kanale °C;

Apskaičiuavus kiekvieno šilumos tiekimo vamzdžio šilumos nuostolius, toliau skaičiuojame vidutinius šilumos nuostolius per mėnesį:

Požeminiams tinklams vidutiniai šilumos nuostoliai per mėnesį skaičiuojami pagal formulę:

$$Q_{vid}^m = Q_{vid}^{met} \frac{t_{vid}^{m.t} + t_{vid}^{m.g} - 2t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} + t_{vid}^{met.g} - 2t_{vid}^{met.a}} \quad (8)$$

$t_{vid}^{m.t}$ - paduodamo vamzdyno mėnesinė vidutinė temperatūra °C;

$t_{vid}^{m.g}$ - grįžtamo vamzdyno mėnesinė vidutinė temperatūra °C;

$t_{vid}^{m.a}$ - aplinkos mėnesinė vidutinė temperatūra °C;

$t_{vid}^{met.t}$ - paduodamo vamzdyno metinė vidutinė temperatūra °C;

$t_{vid}^{met.g}$ - grįžtamo vamzdyno metinė vidutinė temperatūra °C;

$t_{vid}^{met.a}$ - aplinkos metinė vidutinė temperatūra °C;

Q_{vid}^{met} – vidutinis šilumos nuostolių srautas per metus, jis lygus:

Norint apskaičiuoti vidutinius šilumos nuostolius per mėnesį, reikia apskaičiuoti vamzdyno šilumos nuostolius per metus, kurie yra lygus:

$$Q_{vid}^{met} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met} \cdot l); \quad (9)$$

β – koeficientas, kuriuo įvertinami vietiniai šilumos nuostoliai, parenkamas pagal [4], 9 priedą;

Paduodamo – grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolių srautas yra lygus:

$$q_{vid.n}^{met} = q_n \frac{t_{fvid}^{met} - t_{vid}^{met.a}}{t_{fn} - t_{an}}; \quad (10)$$

t_{fvid}^{met} – paduodamo (grįžtamo) šilumnešio vidutinė metinė temperatūra °C;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos vidutinė metinė temperatūra °C;

t_{fn} – paduodamo (grįžtamo) šilumnešio temperatūra °C;

t_{an} – aplinkos temperatūra °C;

l – ruožo ilgis m;

5 lentelė.

Grunto šilumos laidumo koeficientas, priklausomai nuo grunto tipo [21]

Eil. Nr.	Grunto tipas	Grunto šilumos laidumo koeficientas, W/(m K)
1	Sausas smėlis	1
2	Priemolis	1,75
3	Drėgnas smėlis arba molis	2
4	Šlapias smėlis arba molis	2,5

Šilumos laidumo koeficientas yra medžiagos parametras kuris rodo, kokį šilumos kiekį sugeba praleisti nagrinėjamoji medžiaga per laiko vienetą ir per ploto vienetą.

Įvairių medžiagų šilumos laidumo koeficientai skirtingi. 6 lentelėje pateikiame šilumos laidumo koeficientus vamzdynams izoliuoti naudojamoms medžiagoms [7], [9].

6 lentelė.

Šilumos laidumo koeficientai, priklausomai nuo izoliuojančios medžiagos

Eil. Nr.	Izoliacinės medžiagos pavadinimas	Šilumos laidumas λ (W/m·K), esant vidutinei izoliacinės medžiagos temperatūrai 50 °C
1	Mineralinės vatos plokštės	0,0460
2	Poliuretano putos	0,029

Šioje lentelėje pateikta mineralinės vatos šilumos laidumo koeficientas ir poliuretano putų šilumos laidumo koeficientas. Pasirinkome šias dvi izoliuojančias medžiagas, nes mineralinės vatos plokštės izoliuosime vamzdynus paklotus atvirame ore ir požeminiuose kanaluose. O vamzdynai pakloti bekanalium būdu yra izoliuoti poliuretano putomis.

4.2 Vamzdynų šilumos nuostolių įvertinimo metodika, kai vamzdynai pakloti *atvirame ore*:

Šiuo atveju šilumos nuostoliai apskaičiuojami atskirai paduodamam ir grįžtamam vamzdynui neįvertinant greta nutiestų. Šilumos nuostoliai surandamai pagal formulę:

$$q = \frac{\pi(t_f - t_a)}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{2\lambda_k} \ln \frac{d_{k+1}}{d_k} + \frac{1}{\alpha d_{n+1}}}; \quad (11)$$

π - koeficientas 3,14;

t_f - šilumnešio temperatūra C°;

t_a - oro temperatūra C°;

λ_k – mineralinės vatos šilumos laidumo koeficientas lygus 0,045 W/(m·K);

d_k – vamzdžio diametras m;

d_{k+1} – vamzdžio diametras kartu su izoliacija m;

α – šilumos atidavimo koeficientas;

Šilumos atidavimo koeficientui apskaičiuoti naudojama lygtis, kai vamzdynai yra *atvirame ore*:

$$\alpha = 9,4 + 0,052(t_p - t_a); \quad (12)$$

t_p – izoliacijos storis mm;

t_a – oro temperatūra C°;

Antžeminiams tinklams vidutiniai šilumos nuostoliai per mėnesį apskaičiuojami naudojantis vidutiniu metiniu šilumos nuostolių srautu ir yra surandamas taip:

Paduodamo vamzdyno

$$Q_{vid}^{m.t} = Q_{vid}^{met.t} \frac{t_{vid}^{m.t} - t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} - t_{vid}^{met.a}}; \quad (13)$$

$$Q_{vid}^{met.t} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met.t} \cdot l); \quad (14)$$

β – koeficientas, kuriuo įvertinami vietiniai šilumos nuostoliai, parenkamas pagal [4], 9 priedą;

$$q_{vid.n}^{met.t} = q_n \frac{t_{fvid}^{met.t} - t_{vid}^{met.a}}{t_{ft} - t_{an}}; \quad (15)$$

t_{fvid}^{met} – paduodamo šilumnešio vidutinė metinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos vidutinė metinė temperatūra C°;

t_{fn} – paduodamo šilumnešio norminė temperatūra C°;

t_{an} – aplinkos norminė temperatūra C°;

l – ruožo ilgis m;

$t_{vid}^{m.t}$ – paduodamo vamzdyno mėnesinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{m.a}$ – aplinkos mėnesinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{met.t}$ – paduodamo vamzdyno metinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{met.a}$ - aplinkos metinė vidutinė temperatūra °C;

Grįžtamo vamzdyno

$$Q_{vid}^{m.g} = Q_{vid}^{met.g} \frac{t_{vid}^{m.g} - t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.g} - t_{vid}^{met.a}}; \quad (16)$$

$$Q_{vid}^{met.g} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met.g} \cdot l); \quad (17)$$

β – koeficientas, kuriuo įvertinami vietiniai šilumos nuostoliai, parenkamas pagal [4], 9 priedą;

$$q_{vid.n}^{met.g} = q_n \frac{t_{fvid}^{met.g} - t_{vid}^{met.a}}{t_{fg} - t_{an}}; \quad (18)$$

t_{fvid}^{met} – grįžtamo šilumnešio vidutinė metinė temperatūra °C;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos vidutinė metinė temperatūra °C;

t_{fn} – grįžtamo šilumnešio norminė temperatūra °C;

t_{an} – aplinkos norminė temperatūra °C;

l – ruožo ilgis m;

4.3 Vamzdynų šilumos nuostolių įvertinimo metodika, kai vamzdynai pakloti *bekanalio būdu*.

Po žeme įrengiant bekanalio būdu du vienodus vamzdžius, kuriais teka skirtingų parametrų vanduo, šilumos nuostoliai apskaičiuojami pagal 1 formulę, šiluminė varža kiekvienam vamzdžiui apskaičiuojama atskirai

$$R_g = \frac{\left(\frac{\lambda_{gr} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}}\right) \left(\frac{\lambda_{gr} \ln \frac{d_{iz1}}{d_1} + \ln \frac{h_1}{d_{iz1}}\right) + \ln \frac{\sqrt{s^2 + (h_1 + h_2)^2}}{\sqrt{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}}{2\pi \lambda_{gr} \left(\frac{\lambda_{gr} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}}}{t_{fe} - t_a} + \frac{\ln \frac{\sqrt{s^2 + (h_1 + h_2)^2}}{\sqrt{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}}{t_{fa} - t_a}\right)} \quad (19)$$

λ_{gr} – grunto šilumos laidumo koeficientas W/(m·K);

λ_{iz} – vamzdžio izoliuoto izoliacijos šilumos laidumo koeficientas W/(m·K);

d_{iz2} – vamzdžio išorinis skersmuo kartu su izoliacija m;

d_2 – vamzdžio išorinis skersmuo m;

$h_{1,2}$ – vamzdžių įgilinimas m;

s – atstumas tarp vamzdžių m;

t_{fe} – šilumnešio temperatūra tiekimo vamzdyne °C;

t_{fa} – šilumnešio temperatūra grąžinimo vamzdyne °C;

t_a – plieninio vamzdžio sienelės storis m;

Bekanalio būdu paklotiems tinklams vidutiniai šilumos nuostoliai per mėnesį skaičiuojami pagal formulę:

$$Q_{vid}^m = Q_{vid}^{met} \frac{t_{vid}^{m.t} + t_{vid}^{m.g} - 2t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} + t_{vid}^{met.g} - 2t_{vid}^{met.a}} \quad (20)$$

$t_{vid}^{m.t}$ – paduodamo vamzdymo mėnesinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{m.g}$ – grįžtamo vamzdymo mėnesinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{m.a}$ – aplinkos mėnesinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{met.t}$ – paduodamo vamzdymo metinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{met.g}$ – grįžtamo vamzdymo metinė vidutinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos metinė vidutinė temperatūra C°;

Q_{vid}^{met} – vidutinis šilumos nuostolių srautas per metus, jis lygus:

$$Q_{vid}^{met} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met} \cdot l); \quad (21)$$

β – koeficientas, kuriuo įvertinami vietiniai šilumos nuostoliai, parenkamas pagal [4], 9 priedą;

$$q_{vid.n}^{met} = q_n \frac{t_{fvid}^{met} - t_{vid}^{met.a}}{t_{fn} - t_{an}}; \quad (22)$$

t_{fvid}^{met} – šilumnešio vidutinė metinė temperatūra C°;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos vidutinė metinė temperatūra C°;

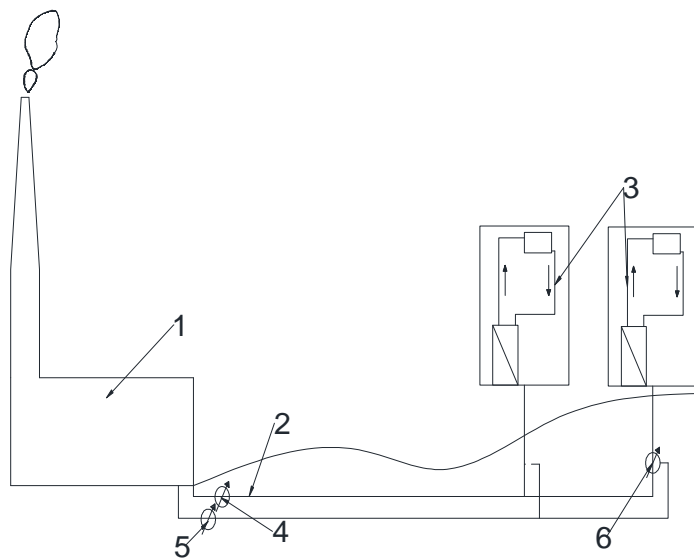
t_{fn} – šilumnešio norminė temperatūra C°;

t_{an} – aplinkos norminė temperatūra C°;

l – ruožo ilgis m;

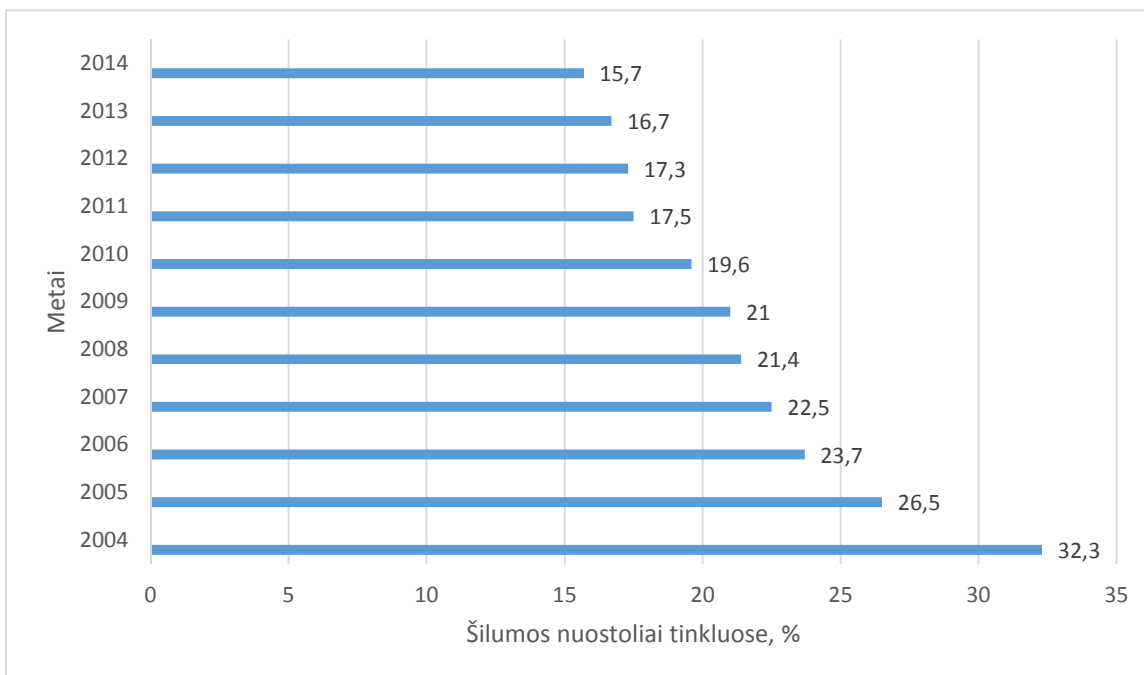
5. TIRIAMOJI DALIS

Lietuvoje naudojami šilumos tiekimo vamzdynų paklojimo būdai yra antžeminės trasos, gelžbetoniniuose kanaluose ir bekanaliai vamzdynai. Šituos tris vamzdynų būdus mes ir tyrinėsime, tai pat išstirsime kuri trasa patiria mažiausiai šilumos nuostolių, kuris izoliavimo būdas optimaliausias ir kurią trasą ekonomiškiausia įrengti ir eksploatuoti. Pasirenkame vieno kvartalo šiluminę trasą, kuri yra 1300 m ilgio, vamzdyno skersmuo DN 200 (219,1mm).



9 pav. Šilumos tiekimo schema

1 – šilumos šaltinis, 2 – šilumos tiekimo ir paskirstymo vamzdynų tinklas, 3 – vartotojų pastatuose esantys šilumos ir karšto vandens vartojimo įrenginiai, 4 – paduodamo vamzdyno šilumos matavimo prietaisai, 5 – grįžtamo vamzdyno šilumos matavimo prietaisai, 6 - pastatų įvaduose šilumos matavimo prietaisai.



10 Pav. Šiluminių trasų statistinė analizė, % [6]

Pagal pateiktą [8] šilumnešio parametrų grafiką, priklausomai nuo oro temperatūros skaičiavimuose priimame šilumnešio temperatūras.

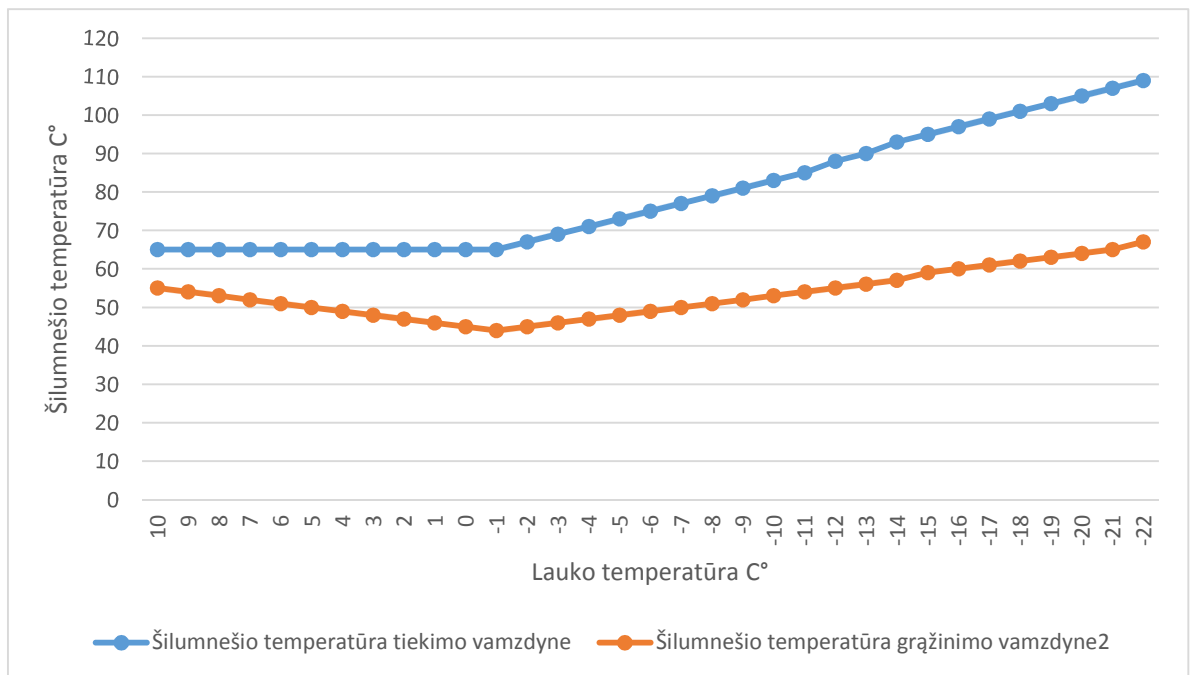
7 lentelė.

Tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio parametrų lentelė

Vidutinė paros lauko oro temperatūra C°	Paduodamo vamzdyno C°	Grąžinamo vamzdyno C°
10	65	55
9	65	54
8	65	53
7	65	52
6	65	51
5	65	50
4	65	49
3	65	48
2	65	47
1	65	46
0	65	45
-1	65	44
-2	67	45
-3	69	46
-4	71	47

-5	73	48
-6	75	49
-7	77	50
-8	79	51
-9	81	52
-10	83	53
-11	85	54
-12	88	55
-13	90	56
-14	93	57
-15	95	59
-16	97	60
-17	99	61
-18	101	62
-19	103	63
-20	105	64
-21	107	65
-22	109	67

Tyrimė naudojama bimetaliniai termometrai WATTS F+R801, kurių pagalba matuojama paduodamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūra, oro temperatūra matuojama lauko termometru, o bekontakčiu temperatūros paviršių matuokliu Noncontact infrared temperature sensor KIRAY 200, matuojama paviršiaus temperatūra.

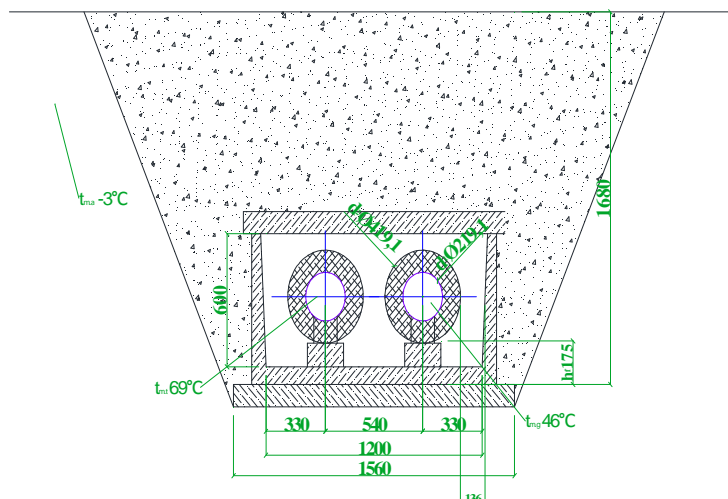


11Pav. Tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio parametrų grafikas

Siekiant nuostolių mažinimo reikia valdyti šilumnešio temperatūrą bet kurios konstrukcijos trasose, priklausomai nuo aplinkos temperatūros.

Visuose skaičiavimuose, paduodamo vamzdyno temperatūros matuojama 4 taške, ten kur iš šilumos šaltinio išeina vamzdynas, o grįžtamo vamzdyno šilumnešio temperatūros matuojama 5 taške. Temperatūros matuojame bimetaliniu termometru WATTS F+R801.

5.1 Nuostolių skaičiavimas, kai šiluminė trasa paklota gelžbetoniniame kanale.



12 Pav. Skaičiavimo schema

Gelžbetoninio kanalo matmenys 1,2m x 0,6 m, įgilintas 1,5m. Vamzdžiai DN200 (219,1mm). Izoliacija mineralinė vata 100mm storio. Vamzdžiai vienas nuo kito pakloti 0,6m atstumu. Lauko termometras rodo, kad aplinkos oro temperatūra -3°C, lapkričio mėnesis. Pagal 10 paveikslėlį, matome kur reikia matuoti paduodamo ir grįžtamo vamzdyno šilumnešių temperatūras. 4 taške bimetalinis termometras WATTS F+R801 rodo, paduodamo vamzdyno šilumnešio temperatūra yra 69 °C, o 5 taške rodo, kad grįžtamo vamzdyno šilumnešio temperatūra 46 °C. Gautas temperatūras patikriname pagal 7 lentelę. Jos neturi būti mažesnės negu nurodytos lentelėje. Temperatūros sutampa, vadinasi šilumnešių temperatūros pagal oro sąlygas yra tenkinamos. Kanalo sienelių bei grunto šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{gr} = 1,75 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. [4] lentelė. Skaičiavimuose priimtas šilumos laidumo atidavimo nuo izoliacijos kanalo orui ir iš oro kanalo sienutei koeficientas lygus $\lambda_{ik} = 12 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Šilumos nuostolių srautas požeminiuose kanaluose apskaičiuojamas pagal 1 formulę $q = \frac{t_f - t_a}{R}$. Tam, kad apskaičiuoti šilumos nuostolių srautą, pirmiausia reikia pagal 3 formulę apskaičiuoti vamzdynų bendrąsias varžas.

Vamzdynų bendroji varža yra lygi:

$$R = R_{b1} = R_{b2} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_1 \alpha_{ik}};$$

λ – mineralinės vatos šilumos laidumo koeficientas lygus 0,0460 W/(m·K); [5] lentelė

d_1 – vamzdžio skersmuo lygus 219,1 mm;

d_2 – vamzdžio skersmuo su izoliacija lygus 419,1 mm;

$\lambda_{ik} = 12$ W/(m·K).

$$R = R_{b1} = R_{b2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0460} \ln \frac{0,419}{0,2191} + \frac{1}{3,14 \cdot 0,4191 \cdot 12} = 2,361 \text{ W}/(m \cdot K);$$

Apskaičiuojamas kanalo ekvivalentinis skersmuo pagal 5 formulę $d_{ek} = \frac{2(1,2+0,6)}{3,14} = 1,15m$;

Fiktyvus vamzdinių įgilinimas h_f , kuriuo įvertinama grunto paviršiaus šiluminė varža. Skaičiavimuose priimame, kad grunto paviršiaus šilumos atidavimo aplinkai koeficientas

$$\alpha_{gr} = 10 \text{ W}/(m \cdot K).$$

$$h_f = \frac{\lambda_{gr}}{\alpha_{gr}} = \frac{1,75}{10} = 0,175m.$$

Tuomet bendras įgilinimas $1,5 + 0,175 = 1,68m$.

Tada pagal 4 formulę bendra grunto varža lygi:

$$R_{gr} = \frac{1}{\pi \cdot d_{ek} \cdot \alpha_{ik}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gr}} \ln \left(2 \frac{h}{d_{ek}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{ek}^2} - 1} \right)$$
$$= \frac{1}{3,14 \cdot 1,15 \cdot 12} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,75} \ln \left(2 \frac{1,68}{1,15} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,68^2}{1,15^2} - 1} \right) = 0,181m \cdot k/W.$$

Kad galėtume apskaičiuoti šilumos nuostolius paduodame ir grįžtamame vamzdyne, reikia pagal 6 formulę apskaičiuoti oro temperatūrą kanale:

$$t_k = \frac{\frac{t_{fj}}{R_{b1}} + \frac{t_a}{R_{b2}} + \frac{5}{R_{gr}}}{\frac{1}{R_{gr1}} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_{gr}}} = \frac{\frac{69}{2,361} + \frac{46}{2,361} + \frac{-3}{0,181}}{\frac{1}{2,361} + \frac{1}{2,361} + \frac{1}{0,181}} = 6^\circ C.$$

Kai žinomi visi duomenys, paduodamo vamzdinio šilumnešio temperatūra, grįžtamo vamzdinio šilumnešio temperatūra, oro temperatūra kanale, žinoma vamzdinių varža, tada galime skaičiuoti paduodamo ir grįžtamo vamzdinio šilumos nuostolius.

Šilumos nuostoliai paduodame vamzdyne skaičiuojami pagal 1 formulę

$$q_1 = \frac{69-6}{2,361} = 26,68 \text{ W}/m;$$

Šilumos nuostoliai grįžtamajame vamzdyne

$$q_2 = \frac{46-6}{2,361} = 16,94 \text{ W/m.}$$

Apskaičiuojame, kad šiluminės trasos paklotos gelžbetoniniame kanale šilumos nuostoliai paduodame vamzdyne 26,68 W/m, grįžtamajame vamzdyne 16,94 W/m.

Toliau, pagal 8 formulę, skaičiuojame vidutinius šilumos nuostolius per mėnesį.

$$Q_{vid}^m = Q_{vid}^{met} \frac{t_{vid}^{m.t} + t_{vid}^{m.g} - 2t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} + t_{vid}^{met.g} - 2t_{vid}^{met.a}}$$

Skaičiavimuose yra priimta, kad:

$t_{vid}^{m.t}$ – paduodamo šilumnešio mėnesinė vidutinė temperatūra 69 C°;

$t_{vid}^{m.g}$ – grįžtamo šilumnešio mėnesinė vidutinė temperatūra 46 C°;

$t_{vid}^{m.a}$ – aplinkos mėnesinė vidutinė temperatūra -3 C°, pagal [12];

$t_{vid}^{met.t}$ - paduodamo šilumnešio metinė vidutinė temperatūra 79,6 C°, pagal 7 lentelę išvedamas vidurkis;

$t_{vid}^{met.g}$ - grįžtamo šilumnešio metinė vidutinė temperatūra 53,3 C°, pagal 7 lentelę išvedamas vidurkis;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos metinė vidutinė temperatūra 6,2 C° [8];

Paduodamo vamzdyno šilumos nuostolių srautas:

$$q_{vid.n}^{met} = q_1 \frac{t_{fvid}^{met.t} - t_{vid}^{met.a}}{t_t - t_{an}} = 26,68 \frac{79,6-6,2}{68-(-3)} = 27,58 \text{ W/m};$$

Grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolių srautas:

$$q_{vid.n}^{met} = q_2 \frac{t_{fvid}^{met.g} - t_{vid}^{met.a}}{t_g - t_{an}} = 16,94 \frac{53,3 - 6,2}{46 - (-3)} = 16,28 \text{ W/m};$$

Pagal 9 formulę $Q_{vid}^{met} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met} \cdot l)$ skaičiuojame paduodamo – grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolius per metus, čia:

l – vamzdyno ruožo ilgis 1300 m;

β – koeficientas 1,2.

Skaičiuojame paduodamo vamzdyno šilumos nuostolius per metus, kurie yra lygus:

$$Q_{vid}^{met} = 1,2 \cdot 27,58 \cdot 1300 = 43024,8 \text{ kWh};$$

Ir grįžtamo vamzdyno šilumos nuostoliai per metus yra lygus:

$$Q_{vid}^{met} = 1,2 \cdot 16,28 \cdot 1300 = 25396,8 \text{ kWh}$$

Apskaičiavę paduodamo ir grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolius per metus, galime skaičiuoti pagal 8 formulę, per mėnesį paduodamo šilumnešio šilumos nuostolius:

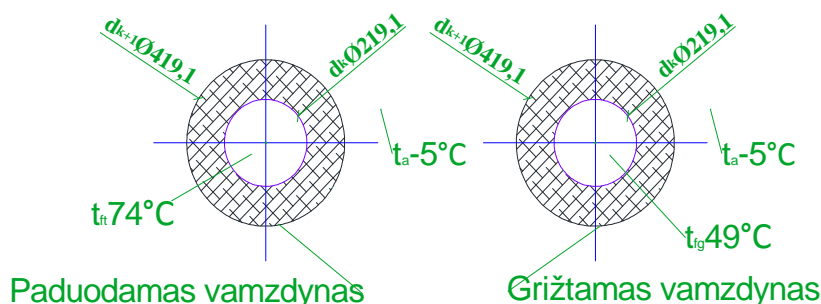
$$Q_{vid}^m = Q_{vid}^{met} \frac{t_{vid}^{m.t} + t_{vid}^{m.g} - 2t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} + t_{vid}^{met.g} - 2t_{vid}^{met.a}} = 43024,8 \frac{69+46-2(-3)}{79,6+53,3-2 \cdot 6,2} = 43203,3 \text{ kW/h};$$

grįžtamo šilumnešio šilumos nuostolius per mėnesį:

$$Q_{vid}^m = Q_{vid}^{met} \frac{t_{vid}^{m.t} + t_{vid}^{m.g} - 2t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} + t_{vid}^{met.g} - 2t_{vid}^{met.a}} = 25396,8 \frac{69+46-2(-3)}{65+51-2 \cdot 6,2} = 25502,2 \text{ kW/h};$$

Apskaičiavome, kad šiluminė trasa, kuri įrengta gelžbetoniniame kanale po žemėmis 1,68 gylyje, kuriame pakloti du 219,1mm skersmens vamzdynai, paduodamu vamzdynu teka šilumnešis kuriuo temperatūra 69 °C ir grįžtamas vamzdynas kuriuo teka 46 °C šilumnešis, lapkričio mėnesį patirs paduodamo šilumnešio šilumos nuostolius 43203,3 kWh, o grįžtamo šilumnešio 25502,2 kWh.

5.2 Nuostolių skaičiavimas, kai trasa paklota atvira ore.



13 Pav. Skaičiavimo schema

Vamzdžių skersmuo DN200 (219,1 mm). Vamzdynas izoliuotas 100 mm storio mineralinės vatos sluoksniu. Lauko termometras rodo, oro temperatūra -5 °C. Pasinaudodami 10 paveikslėliu, matome kur reikia matuoti grįžtamo ir paduodamo vamzdyno šilumnešių temperatūras. 4 taške bimetaliniu termometru WATTS F+R801 pamatuojame paduodamo šilumnešio temperatūrą. Termometras rodo, kad paduodamo šilumnešio temperatūra yra 74 °C. 5 taške matuojame grįžtamo šilumnešio temperatūrą. Termometras rodo, kad grįžtamas šilumnešis yra 49 °C. Pasitikriname pagal 7 lentelę duomenis. Gautis duomenys yra 1°C didesni negu nurodyta lentelėje, tai reiškia, kad temperatūros tinkamos. Toliau pagal gautus duomenis pagal 14 formulę apskaičiuojame šilumos atidavimo koeficientą $\alpha = 9,4 + 0,052(t_p - t_a) = 9,4 + 0,052(0,1 - (-5)) = 9.66;$

Tuomet pagal 13 formulę apskaičiuojame paduodamo vamzdyno šilumos nuostolius

$$q = \frac{\pi(t_f - t_a)}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{2\lambda_k} \ln \frac{d_{k+1}}{d_k} + \frac{1}{\alpha d_{n+1}}};$$

π - koeficientas 3,14;

t_{ft} - paduodamo šilumnešio temperatūra 74 C°;

t_{fg} - grįžtamo šilumnešio temperatūra 49 C°;

t_a - oro temperatūra -5C°;

λ_k – mineralinės vatos šilumos laidumo koeficientas lygus 0,045 W/(m·K), pagal 5 lentelę;

d_k – vamzdžio diametras 0,219 m;

d_{k+1} – vamzdžio diametras kartu su izoliacija 0,419m;

α – šilumos atidavimo koeficientas 9,56;

$$q_1 = \frac{3,14(74 - (-5))}{\frac{1}{2 \cdot 0,045} \ln \frac{0,4191}{0,2191} + \frac{1}{9,56 \cdot 0,4191}} = 29,80 \text{ W/m.}$$

ir grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolius:

$$q_2 = \frac{3,14(49 - (-5))}{\frac{1}{2 \cdot 0,045} \ln \frac{0,4191}{0,2191} + \frac{1}{9,56 \cdot 0,4191}} = 20,56 \text{ W/m.}$$

Taigi turime, kad atvirame ore paklota trasa, kurios vamzdyno skersmuo 219,1mm ir izoliuotas 100 mm storio mineralinės vatos sluoksniu paduodamo vamzdyno šilumos nuostoliai 29,80 W/m, grįžtamo vamzdyno 20,56 W/m.

Toliau skaičiuojame šilumos nuostolius per mėnesį, kurie apskaičiuojami naudojantis vidutiniu metiniu šilumos nuostolių srautu ir yra surandami pagal 15 formulę:

Paduodamo vamzdyno šilumos nuostoliai per mėnesį yra lygus:

$$Q_{vid}^{m.t} = Q_{vid}^{met.t} \frac{t_{vid}^{m.t} - t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} - t_{vid}^{met.a}},$$

čia norint apskaičiuoti šilumos nuostolius per mėnesį, pirmiausia reikia apskaičiuoti šilumos nuostolius per metus:

Iš pradžių pagal 16 formulę skaičiuojame paduodamo vamzdyno šilumos nuostolius per metus:

$$Q_{vid}^{met.t} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met.t} \cdot l);$$

β – koeficientas 1,2;

$t_{fvid}^{met.t}$ – paduodamo šilumnešio vidutinė metinė temperatūra 79,6 C° pagal 7 lentelę išvedamas vidurkis;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos vidutinė metinė temperatūra 6,2 C° pagal [12];

l – ruožo ilgis 1300 m; ,

Skaičiuojame pagal 17 formulę paduodamo vamzdyno šilumos nuostolių srautą:

$$q_{vid.n}^{met.t} = q_1 \frac{t_{fvid}^{met.t} - t_{vid}^{met.a}}{t_t - t_{an}}$$

$$q_{vid.n}^{met.t} = 29,80 \frac{79,6 - 6,2}{74 - (-5)} = 30,78 \text{ W/m};$$

Toliau skaičiuojame paduodamo vamzdyno šilumos nuostolius per metus:

$$Q_{vid}^{met.t} = 1,2 \cdot 30,78 \cdot 1300 = 48016,9 \text{ kWh};$$

Apskaičiavę paduodamo vamzdyno šilumos nuostolius per metus, skaičiuojame pagal 19 formulę grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolius per metus.

$$Q_{vid}^{met.g} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met.g} \cdot l) \quad ,$$

β – koeficientas 1,2;

l – ruožo ilgis 1300 m;

$$q_{vid.n}^{met.g} = q_2 \frac{t_{fvid}^{met.g} - t_{vid}^{met.a}}{t_g - t_{an}}, \text{ čia}$$

$t_{fvid}^{met.g}$ – grįžtamo šilumnešio vidutinė metinė temperatūra 53,3 C°, pagal 7 lentelę išvedamas vidurkis;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos vidutinė metinė temperatūra 6,2 C° pagal [12];

t_g – grįžtamo šilumnešio temperatūra 49 C°;

t_{an} – aplinkos temperatūra -5 C°;

$$q_{vid.n}^{met.g} = 20,56 \frac{53,3 - 6,2}{49 - (-5)} = 19,76 \text{ W/m};$$

$$Q_{vid}^{met.g} = 1,2 \cdot 19,76 \cdot 1300 = 30825,6 \text{ kWh};$$

Taigi, suradę šilumos nuostolių srautą per metus paduodamo vamzdyno, kuris lygus $Q_{vid}^{met.t} = 48016,9 \text{ kWh}$ ir grįžtamo vamzdyno $Q_{vid}^{met.g} = 30825,6 \text{ kWh}$, toliau skaičiuojame pagal 15 ir 18 formules paduodamo ir grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolius per mėnesį.

Paduodamo vamzdyno šilumos nuostoliai per mėnesį $Q_{vid}^{m.t} = Q_{vid}^{met.t} \frac{t_{vid}^{m.t} - t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} - t_{vid}^{met.a}}$, čia

$t_{vid}^{m.t}$ - paduodamo temperatūra 74°C;

$t_{vid}^{m.a}$ - aplinkos temperatūra -5 °C;

$t_{vid}^{met.t}$ - paduodamo šilumnešio metinė vidutinė temperatūra 79,6 °C, pagal 7 lentelę išvedamas vidurkis;

$t_{vid}^{met.a}$ - aplinkos vidutinė metinė temperatūra 6,2 °C pagal [12];

$$Q_{vid}^{m.t} = 48016,9 \frac{74-5}{79,6-6,2} = 47101,1 \text{ kWh.}$$

Grįžtamo vamzdyno šilumos nuostoliai per mėnesį

$$Q_{vid}^{m.g} = Q_{vid}^{met.g} \frac{t_{vid}^{m.g} - t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.g} - t_{vid}^{met.a}}, \text{ čia}$$

$t_{vid}^{m.g}$ - grįžtamo vamzdyno temperatūra 49 °C;

$t_{vid}^{m.a}$ - aplinkos temperatūra -5 °C;

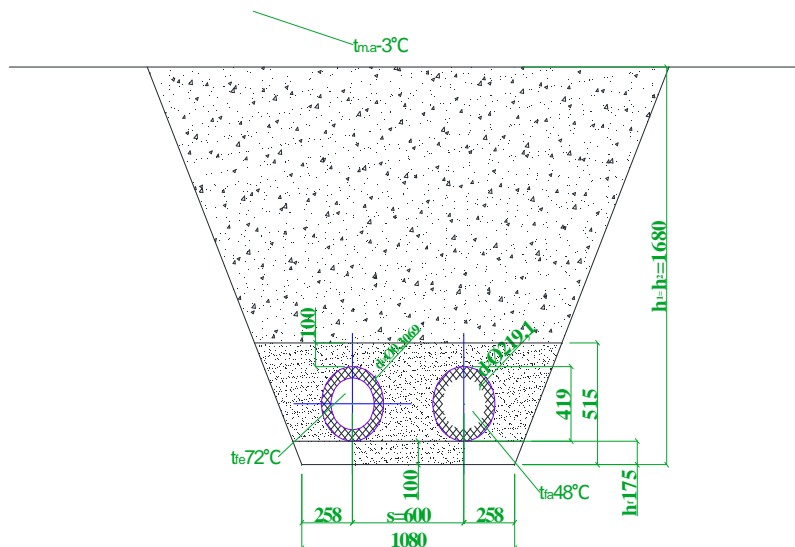
$t_{vid}^{met.g}$ - grįžtamo šilumnešio metinė vidutinė temperatūra 53,3 °C, pagal 7 lentelę;

$t_{vid}^{met.a}$ - aplinkos vidutinė metinė temperatūra 6,2 °C pagal [12];

$$Q_{vid}^{m.g} = 30825,6 \frac{49 - 5}{53,3 - 6,2} = 28142,3 \text{ kWh.}$$

Taigi turime, kad šiluminė trasa paklota atvirame ore, kurios ilgis 1300 m, vamzdynų skersmuo 219,1 mm, paduodamu vamzdynu teka 74 °C šilumnešis, grįžtamu 49°C šilumnešis. Vamzdynas izoliuotas 100 mm storio akmens vatos sluoksniu, aplinkos temperatūra -5 °C. Šilumos nuostolius per mėnesį sudarys paduodamo vamzdyno 47101,1 kWh, grįžtamo vamzdyno 28142,3 kWh.

5.3 Nuostolių skaičiavimas, kai šiluminė trasa paklota bekanalio būdu.



14 Pav. Skaičiavimo schema

Priimame, kad šiluminė trasa paklota sausame priemolyje 1,5 m gylje. Pakloti du DN200 (219,1mm) vandens vamzdžiai, kurie izoliuoti pramoniniu būdu. Atstumas tarp vamzdžių 0,6 m. lauko termometras rodo, kad oro temperatūra yra -4°C . Pagal 14 paveikslėlį 4 ir 5 taškuose matuojame paduodamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūras. Bimetalinis termometras WATTS F+R801 4 matavimo taške rodo, kad paduodamo šilumnešio temperatūra yra 72°C , o 5 taške termometras rodo, kad grįžtamo šilumnešio temperatūra yra 48°C . Duomenis taipogi pasitikriname pagal 7 lentelę. Gautos matavimo temperatūros rodo, kad matavimo rezultatai yra tenkinami 7 lentelės duomenis, nes šilumnešio temperatūros yra vienodos arba didesnės negu nurodytos lentelėje. Vamzdžiai izoliuoti poliuretano putomis, kurių šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{iz} = 0,029 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ pagal 5 lentelę parenkamas izoliacijos storis, kuris yra 43,9 mm. Pagal 4 lentelę parenkamas grunto šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{gr} = 1,75 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{K}$. Šilumos atidavimo koeficientas nuo žemės paviršiaus į orą koeficientas lygus $\alpha_{ik} = 10 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Grunto paviršiaus šilumos atidavimo aplinkai koeficientas $\alpha_{gr} = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Norint pagal 1 formulę pradėti skaičiuoti šilumos nuostolių srautą, reikia pagal 21 formulę apsiskaičiuoti vamzdžių šiluminę varžą.

$$R_{gr} = \frac{\left(\frac{\lambda_{gr} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}}\right) \left(\frac{\lambda_{gr} \ln \frac{d_{iz1}}{d_1} + \ln \frac{h_1}{d_{iz1}}\right) + \ln \frac{\sqrt{s^2 + (h_1 + h_2)^2}}{\sqrt{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gr} \left(\frac{\lambda_{gr} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}}}{t_{fe} - t_a} - \ln \frac{\sqrt{s^2 + (h_1 + h_2)^2}}{\sqrt{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}\right)}; \text{ čia:}$$

λ_{gr} – grunto šilumos laidumo koeficientas $1,75 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, pagal 4 lentelę;

λ_{iz} – vamzdžio izoliuoto izoliacijos šilumos laidumo koeficientas $0,029 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, pagal 6 lentelę;

d_{iz2} – vamzdžio išorinis skersmuo kartu su izoliacija 0,3069 m;

d_2 – vamzdžio išorinis skersmuo 0,2191 m;

s – atstumas tarp vamzdžių 0,6 m;

t_{fe} – šilumnešio temperatūra tiekimo vamzdyne 72°C;

t_{fa} – šilumnešio temperatūra grąžinimo vamzdyne 48°C;

t_a – plieninio vamzdžio sienelės storis 0,05 m;

Fiktyvus vamzdinių įgilinimas $h_f = \frac{1,75}{10} = 0,175$ m;

Tuomet bendrasis įgilinimas $h_{1,2} = 1,5 + 0,175 = 1,68$ m;

Skaičiuojame grunto šiluminę varžą:

$$R_{gr} = \frac{\left(\frac{\lambda_{gr}}{\lambda_{iz}} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}}\right) \left(\frac{\lambda_{gr}}{\lambda_{iz}} \ln \frac{d_{iz1}}{d_1} + \ln \frac{h_1}{d_{iz1}}\right) + \ln \sqrt{\frac{s^2 + (h_1 + h_2)^2}{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gr} \left(\frac{\lambda_{gr}}{\lambda_{iz}} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}} - \frac{t_{fe} - t_a}{t_{fa} - t_a} \ln \sqrt{\frac{s^2 + (h_1 + h_2)^2}{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}\right)}$$
$$= \frac{\left(\frac{1,75}{0,29} \ln \frac{0,3069}{0,2191} + \ln \frac{1,68}{0,3069}\right) \left(\frac{1,75}{0,29} \ln \frac{0,3069}{0,2191} + \ln \frac{1,68}{0,3069}\right) + \ln \sqrt{\frac{0,6 + (1,68 + 1,68)^2}{0,6 + (1,68 - 1,68)^2}}}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,75 \left(\frac{1,75}{0,29} \ln \frac{0,3069}{0,2191} + \ln \frac{1,68}{0,3069} - \frac{72 - 5}{48 - 5} \ln \sqrt{\frac{0,6 + (1,68 + 1,68)^2}{0,6 + (1,68 - 1,68)^2}}\right)} = 2,9 \text{ W/m.}$$

Taigi gavome, kad grunto šiluminė varža lygi $R_{gr} = 2,9 \text{ W/m}$.

Toliau pagal 1 formulę skaičiuojame šilumos nuostolius paduodame ir grįžtamame vamzdynuose:

Šilumos nuostoliai paduodame vamzdyne $q_1 = \frac{72-4}{2,9} = 23,45 \text{ W/m}$;

Šilumos nuostoliai grįžtamajame vamzdyne $q_2 = \frac{48-4}{2,9} = 15,17 \text{ W/m}$.

Šiluminės trasos paklotos gelžbetoniniame kanale šilumos nuostoliai paduodame vamzdyne 23,45 W/m, grįžtamajame vamzdyne 15,17 W/m.

Apskaičiavę šilumos nuostolius paduodame ir grįžtamame vamzdyne, toliau skaičiuojame pagal 22 formulę vidutinius šilumos nuostolius per mėnesį.

$$Q_{vid}^m = Q_{met}^m \frac{t_{vid}^{m,t} + t_{vid}^{m,g} - 2t_{vid}^{m,a}}{t_{vid}^{met,t} + t_{vid}^{met,g} - 2t_{vid}^{met,a}}$$

Skaičiavimuose priimame, kad:

$t_{vid}^{m.t}$ – paduodamo šilumnešio temperatūra 72 C°;

$t_{vid}^{m.g}$ - grįžtamo šilumnešio temperatūra 48 C°;

$t_{vid}^{m.a}$ - aplinkos mėnesinė vidutinė temperatūra -3 C°;

$t_{vid}^{met.t}$ - paduodamo šilumnešio metinė vidutinė temperatūra 79,6 C°;

$t_{vid}^{met.g}$ - grįžtamo šilumnešio metinė vidutinė temperatūra 53,3 C°;

$t_{vid}^{met.a}$ – aplinkos metinė vidutinė temperatūra 6,2 C°;

Kai turime visus duomenis galime pradėti skaičiuoti paduodamo vamzdyno šilumos nuostolių srautą:

$$q_{vid.n}^{met} = q_1 \frac{t_{vid}^{met.t} - t_{vid}^{met.a}}{t_{vid}^{m.t} - t_{an}} = 23,45 \frac{79,6 - 6,2}{72 - (-4)} = 22,65 \text{ W/m};$$

Grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolių srautą:

$$q_{vid.n}^{met} = q_2 \frac{t_{fvid}^{met.g} - t_{vid}^{met.a}}{t_{vid}^{m.g} - t_{an}} = 15,17 \frac{53,3 - 6,2}{48 - (-4)} = 13,74 \text{ W/m};$$

Apsiskaičiavę paduodamo ir grįžtamo vamzdyno šilumos nuostolių srautus, toliau skaičiuojame pagal 23 formulę šilumos nuostolius per metus:

$$Q_{vid}^{met} = \sum_{j=1}^r (\beta \cdot q_{vid.n}^{met} \cdot l);$$

l – ruožo ilgis 1300 m;

β – koeficientas 1,2.

Paduodamo vamzdyno šilumos nuostoliai per metus lygus:

$$Q_{vid}^{met} = 1,2 \cdot 22,65 \cdot 1300 = 35334 \text{ kWh};$$

Grįžtamo vamzdyno šilumos nuostoliai per metus lygus

$$Q_{vid}^{met} = 1,2 \cdot 13,74 \cdot 1300 = 21434,4 \text{ kWh};$$

Toliau skaičiuojame paduodamo vamzdyno šilumos nuostolius per mėnesį:

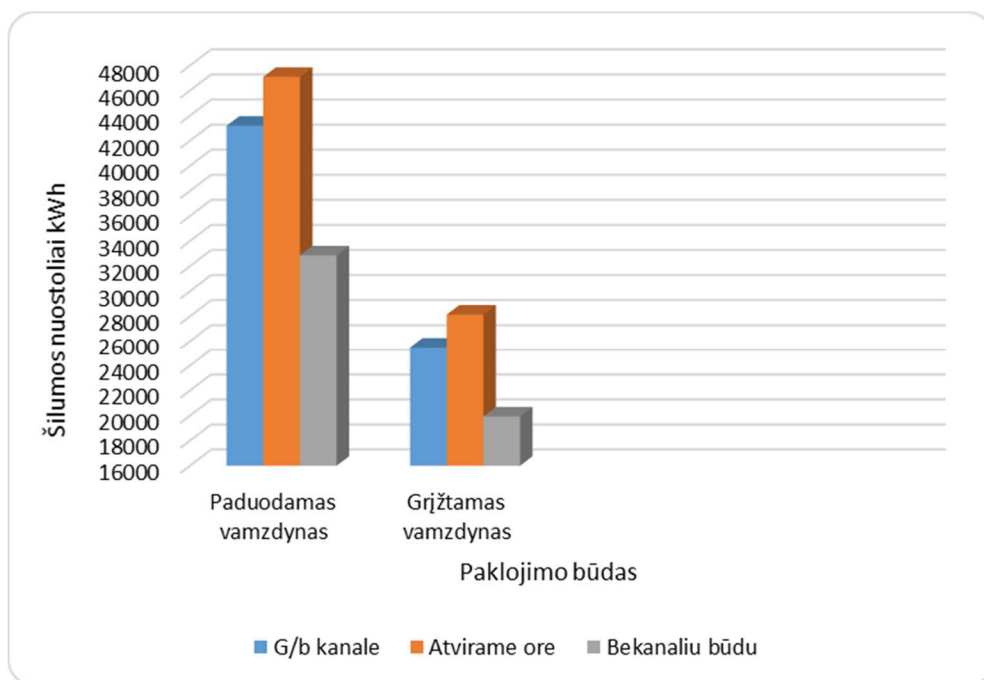
$$Q_{vid}^m = Q_{vid}^{met} \frac{t_{vid}^{m.t} + t_{vid}^{m.g} - 2t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} + t_{vid}^{met.g} - 2t_{vid}^{met.a}} = 35334 \frac{72 + 48 - 2(-4)}{79,6 + 53,3 - 2 \cdot 6,2} = 32860,62 \text{ kW/h};$$

Per mėnesį grįžtamo vamzdyno šilumos nuostoliai:

$$Q_{vid}^m = Q_{vid}^{met} \frac{t_{vid}^{m.t} + t_{vid}^{m.g} - 2t_{vid}^{m.a}}{t_{vid}^{met.t} + t_{vid}^{met.g} - 2t_{vid}^{met.a}} = 21434,4 \frac{72 + 48 - 2(-4)}{79,6 + 53,3 - 2 \cdot 6,2} = 19933,99 \text{ kW/h};$$

Apskaičiavome, bekanaliu būdu paklota trasa, kurios vamzdynai yra 219,1 mm skersmens, įgilinti 1,68 m gylyje paduodamu vamzdynu teka 72 °C šilumnešis, grįžtamam 48 °C šilumnešis. Vamzdžiai izoliuoti poliuretano putomis. Per gruodžio mėnesį paduodamas vamzdynas patirs 32860,62 kWh nuostolių, o grįžtamam vamzdynas 19933,99 kWh nuostolių.

Taigi pagal pamatuotus paduodamo ir grįžtamo šilumnešio duomenis, oro sąlygas, įvertindami izoliacijos, grunto šilumos laidumo koeficientus ir daugybę kitų sąlygų, mes apskaičiavome centrinio šildymo trasos vamzdynų, kurie pakloti trimis būdais t.y. gelžbetoniuose kanaluose, atvirame ore ir bekanaliu būdu, šilumos nuostolius. Buvo paimta vienodas visais trimis atvejais vamzdynas, kurio skersmuo 219,1 mm, ilgis 1300m. Visais trimis atvejais pagal 9 paveikslėlio duomenis 4 ir 5 punktuose matuojamas paduodamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūros. Gelžbetoniniame kanale, kuris įgilintas 1,68 m gylyje, paduodamu vamzdynu teka 69°C, grįžtamam - 46°C. Vamzdynas izoliuotas 100 mm storio akmens vatos dembliais. Atvirame ore paklotas vamzdynas irgi izoliuotas 100 mm storio akmens vatos dembliais, paduodamame vamzdyne teka 74 °C šilumnešis, grįžtamajame 49 °C šilumnešis. Bekanaliu būdu paklotas vamzdynas pramoniniu būdu izoliuotas 43,9 mm storio poliuretano putomis jis įgilintas, 1,68 m gylyje, kurio teka paduodame vamzdyne 72°C šilumnešis, grįžtamame vamzdyne 48°C šilumnešis. Gauti rezultatai rodo, kad gelžbetoniniame kanale paklotas vamzdynas per mėnesį patirs paduodamas šilumnešis 43203,2kWh, o grįžtamam 25502,2 kWh šilumos nuostolių. Atvirame ore paklotas vamzdynas patirs paduodamame vamzdyne 47101,1 kWh, grįžtamajame vamzdyne 28142,3 kWh. O bekanaliu būdu paklotas vamzdynas paduodamame vamzdyne patirs 32860,62 kWh, o grįžtamame vamzdyne 19933,99 kWh šilumos nuostolių.



15 Pav. Šilumos nuostoliai pagal paklojimo būdą

IŠVADOS

1. Iš literatūros analizės sprendžiama, jog šiluminių trasų nuostolių vertinimui geriausiai tinka matematiniai skaičiavimai.
2. Šiluminių nuostolių perdavimo trasose ypač didelę reikšmę turi izoliacinės medžiagos ir paklojimo būdas.
3. Darbo užduoties sąlygomis, daugiausiai šilumos nuostolių patirs trasa įrengta atvira ore – 75.243,4 kWh, mažiau šilumos nuostolių patirs šiluminė trasa paklota gelžbetoniniame kanale – 68.705,4 kWh, mažiausi šiluminiai nuostoliai trasose, kurios paklotos bekanaliu būdu t.y 52.794,61 kWh.
4. Racionaliausia įrengti šilumos tiekimo trasą yra bekanaliu būdu su pramoniniu būdu izoliuotais vamzdžiais tiek ekonominiu, tiek aptarnavimo tiek gamtos saugos požiūriu.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Mokslinis straipnis. Special Report on global warming of 1.5 °C (SR1.5). Prieiga per internetą <http://www.ipcc.ch/>. [Žiūrėta 2016.10.05].
2. Šaltinis: H. Baršas, U. Biornenis, H. Brunenis ir kt. „Globalinės problemos“ vertimas iš vokiečių kalbos. Briedis 2009 m.
3. U. Jarfelt, O. Ramnäs. 2006. Thermal conductivity of polyurethane foam – best performance, in 10 th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3-5, 2006 Hanover.
4. M. Penkauskas, J. Valickas 2016m. Mokslinis straipnis „Šiluminės trasos nuostolių tyrimas naudojant pramoniniu būdu izoliuotus vamzdžius“ .
5. Klimato kaitos priežastys ir pasekmės. Prieiga per internetą <http://www.meteo.lt/lt/klimato-kaita> [Žiūrėta 2016.10.07].
6. „Šilumos tiekimo tinklų ir šilumos punktų įrengimo taisyklės“. Patvirtintos Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2011 m. birželio 17 d. įsakymu Nr.1-160.
7. J. Gudzinskas, V. Lukoševičius, V. Martinaitis, E. Tuomas – Vilnius 2015m. „Šilumos vartotojo vadovas“.
8. VĮ „Visagino energija“. Prieiga per internetą <http://www.visaginoenergija.lt/index.php?id=558> [Žiūrėta 2016.10.11].
9. Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakymas, „ Dėl šilumos tiekimo vamzdynuose patiriamų šilumos nuostolių nustatymo metodikos patvirtinimo“. 2016 m. vasario 5 d. Nr. 1–26. Vilnius.
10. Водяные тепловые сети, справочное пособие по проектированию – М. Энергоатомиздат, 1988 м.
11. Klimato kaitos programa. Prieiga per internetą <http://www.laaif.lt/lt/> [Žiūrėta 2016.10.12].
12. Klimato kaitos padariniai. Prieiga per internetą http://ec.europa.eu/environment/basics/global-challenges/consequences/index_lt.htm [Žiūrėta 2016.10.18].
13. Lietuvos Respublikos ūkio ministro įsakymas „ Dėl šilumos perdavimo tinklų šilumos izoliacijos įrengimo taisyklių patvirtinimo“. 2007 m. gegužės 5 d. Nr. 4-170. Vilnius.
14. Kristjansson, H.; Bøhm. B. 2006. Otpimum design of distribution and service pipes, in *10th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3-5, 2006, Hanover*.
15. Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakymas, „ Dėl šilumos tinklų ir šilumos vartojimo įrenginių priežiūros (eksploatacijos) taisyklių patvirtinimo“. 2010 m. balandžio 7 d. Nr. 1-111. Vilnius.

16. Metalinių vamzdžių specifikacijos. Prieiga per internetą <http://www.metalurgija.lt/apvalus-besiuliai-vamzdziai-plieniniai-vamzdziai-pagaminti-pagal-en-102102006-specifikacija-technines-charakteristikos> [Žiūrėta 2016.10.28].
17. Statybos techninis reglamentas 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“.
18. Naujų šilumos vamzdžių klojimas rubrika Kauno diena.lt. prieiga per internetą <http://kauno.diena.lt/naujienos/klaipeda/miesto-pulsas/mieste-klojami-nauji-silumos-trasu-vamzdziai-257574> [Žiūrėta 2016.10.28].
19. VĮ „Visagino energija“. Prieiga per internetą <http://www.visaginoenergija.lt/index.php?id=439> [Žiūrėta 2016.11.04].
20. Klimato kaitos specialioji programa. Prieiga per internetą http://www.am.lt/VI/article.php3?article_id=12927 [Žiūrėta 2016.11.07].
21. Statybinė klimatologija RSN 156-94. 1995 m. Vilnius.
22. UAB „Ekotermija“ technologinių šilumos energijos nuostolių normavimo šilumos kainodaros tikslais analizė“ 2014m.
23. Pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai. Prieiga per internetą <http://www.poliurs.lv> [Žiūrėta 2016.11.17].
24. Šiluminės trasos ir jų įrengimas. Prieiga per internetą http://www.technologijos.lt/n/technologijos/energija_ir_energetika/zyme/Silumines-trasos-ir-ju-irengimas?tid=11460 [Žiūrėta 2016.11.17].
25. Izoliuotų vamzdžių gamintojas. Prieiga per internetą <http://www.nep.lt> [Žiūrėta 2016.11.19].
26. Techninė izoliacija PAROC. Prieiga per internetą <http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/sprendimai/technine-izoliacija> [Žiūrėta 2016.11.28].
27. Techninė izoliacija PAROC. Prieiga per internetą <http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/sprendimai/technine-izoliacija/sprendimai-pramonei> [Žiūrėta 2016.11.29].
28. Izoliuotų vamzdžių sistemos. Prieiga per internetą <http://www.terma.lt/izoliuotu-vamzdziu-sistemas> [Žiūrėta 2016.11.29].
29. Izoliuoti plieniniai vamzdžiai. <http://www.stadema.lt/prekiu-katalogas/silumos-ukio-iranga/plieno-gaminiai/izoliuoti-plieniniai-vamzdziai-ir-fitingai.html> Prieiga per internetą. [Žiūrėta 2016.12.05].
30. AB „Panevėžio energija“. Prieiga per internetą www.pe.lt [Žiūrėta 2016.12.05].
31. Izoliuoti plieniniai vamzdžiai UAB „Ardega“. Prieiga per internetą <http://www.ardega.lt/lt/Produktai/sildymas/vamzdynai/izoliuoti-plieniniai-vamzdziai-silumos-trasoms/Bukletas> [Žiūrėta 2016.12.08].
32. Mineralinė vata. Prieiga per internetą <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/296/1/0/1/article/16907/kuo-stiklo-vata-skiriasi-nuo-akmens-vatos> [Žiūrėta 2016.12.12].

33. AB „Klaipėdos energija“ energijos taupymas. Prieiga per internetą
<http://www.klenergija.lt/lt/energijos-taupymas> [Žiūrėta 2016.12.22].