VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

ŠILDYMO IR VĖDINIMO KATEDRA

Artiom Jakubovič

GYVENAMŲJŲ NAMŲ ŠILDYMO GEOTERMINE ENERGIJA PROBLEMOS

PROBLEMS OF GEOTHERMAL ENERGY USE FOR DWELLING HOUSES HEATING

Baigiamasis magistro darbas

Energetika ir termoinžinerija studijų programa, valstybinis kodas ***62406T106***

Termoinžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

ŠILDYMO IR VĖDINIMO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

_____
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Artiom Jakubovič

GYVENAMŲJŲ NAMŲ ŠILDYMO GEOTERMINE ENERGIJA PROBLEMOS

PROBLEMS OF GEOTHERMAL ENERGY USE FOR DWELLING HOUSES HEATING

Baigiamasis magistro darbas

Energetika ir termoinžinerija studijų programa, valstybinis kodas ***62406T106***

Termoinžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
ŠILDYMO IR VĖDINIMO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(parašas)

Vytautas Martinaitis
(vardas, pavardė)

2009 kovo mėn. 04 d.

Technologijos	mokslo sritis
Energetikos ir termoinžinerijos	mokslo kryptis
Energetikos	studijų kryptis
Energetikos ir termoinžinerijos	studijų programa, valstybinis kodas ***62406T106***
Termoinžinerijos	specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

.....Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei) Artiom Jakubovič
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema Gyvenamųjų namų šildymo geotermine energija problemos
.....
.....

Patvirtinta *2008 m. lapkričio 19 d.* Dekano įsakymu Nr. 421 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas *2009 m. gegužės mėn. 26 d.*

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Įvadas. Literatūros apžvalga, aptarianti geoterminės energijos naudojimą, atkreipiant dėmesį į sekliosios geoterminės energijos išteklius. Nagrinėti naudojamų šilumos siurblių schemas. Aptarti tyrimo objektą bei darbo metodiką. Išdėstyti Danijos miesto Frederikshavino aprūpinimo atsinaujinančiais energijos ištekliais modeliavimo rezultatus. Parinkti kompiuterinio modeliavimo programas. Pravesti vertikalaus šilumokaičio, esančio žemėje, modeliavimą. Analizuoti gautus rezultatus. Atlikti problemos ekonominį analizą. Suformuluoti darbo išvadas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: …… *lekt. R. Žukienė* ……
.....
.....
.....
.....
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ..... Habil. dr.Alfonsas Skrinska
(parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……..
(parašas)

……..
(vardas, pavardė)

……..…....
(data)

https://medeine.vgtu.lt/studentams/bdarb_anotac_sp.jsp?id=7387834&lt=

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Šildymo ir vėdinimo katedra

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

Magistrantūros studijų **Energetikos ir termoinžinerijos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas	**Gyvenamųjų namų šildymo geotermine energija problemos**
Autorius	**Artiom Jakubovič**
Vadovas	**prof. habil. dr. Alfonsas Kazys Skrinska**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Pagrindinės šiame darbe sprendžiamos problemos yra susijusios su efektyviu ilgalaikiu šilumos siurblių eksploatavimu. Šilumos siurblio sistemos kintamuoju priimamas gruntinis šilumokaitis. Tai reiškia, kad šilumos siurblio efektyvumas priklausys nuo šilumnešio temperatūros gruntiniame šilumokaityje.

Pirmoje darbo dalyje pateikiama informacija apie geoterminę energiją bei jos naudojimo būdus. Apibrėžiama seklioji geoterminė energija. Pateikiamos šilumos siurblių šilumokaičių schemos. Praktinėje darbo dalyje pateikiama gruntinių šilumokaičių modeliavimo metodų analizė bei pasirenkamas metodas tolimesniam modeliavimui. Modeliuojami trijų skirtingų tipų vertikalūs gruntiniai šilumokaičiai. Modeliavimo rezultatas: šilumnešio vidutinės mėnesinės temperatūros 25 metų laikotarpiui. Pagal temperatūras nustatomas šilumos siurblio vidutinis mėnesinis efektyvumo koeficientas. Naudojant efektyvumo koeficientus apskaičiuojamas elektros energijos poreikis. Atliekama ekonominė analizė.

Analizės rezultatai parodė, kad efektyviausias vertikalus gruntinis šilumokaitis, prie darbe priimtų modeliavimo sąlygų, yra viengubas gruntinis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais.

Prasminiai žodžiai

Efektyvus ilgalaikis naudojimas, Geoterminė energija, Gruntinių šilumokaičių modeliavimas, Seklioji geoterminė energija, Šilumos siurblys.

https://medeine.vgtu.lt/studentams/bdarb_anotac_sp.jsp?id=7387834&en=

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Heating and Ventilation

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

Master Degree Studies **Energetics and Thermal Engineering** study programme Master's Thesis

Title	**Problems of Geothermal Energy Use for Dwelling Houses Heating**
Author	**Artiom Jakubovič**
Academic supervisor	**Prof Dr Habil Alfonsas Kazys Skrinska**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

The main problems that are solved in this thesis are tailored with heat pumps longtime efficiency. The borehole heat exchanger was selected as a variable of a heat pump system. This means that efficiency of the heat pump depends from the temperature of heat carrier inside soil heat exchanger.

First part of this thesis represents information about geothermal energy and ways of using it. Definition about shallow geothermal energy is made. The examples of heat pump heat exchangers are given. The practical part of the thesis contains analysis of the simulation models for soil heat exchangers. According to this analysis, selection of the simulation tool is made for further modeling. The simulations of three different heat exchangers types are made. Modeling results show heat carrier's mean monthly temperatures during time period of 25 years. Using these temperatures the heat pump's mean monthly coefficient of performance is defined. Using coefficients of performance the calculation of electric power demand is made. Economic analysis is made.

The analysis results showed that the most efficient vertical borehole heat exchanger is one heat exchanger with two U-pipes, in terms of conditions that had been used in this thesis.

Keywords

Geothermal energy, Heat pump, Longtime efficient usage, Shallow geothermal energy, Simulation of soil heat exchangers.

1. TURINYS

1. TURINYS 3

1.1. LENTELIŲ SĄRAŠAS 5

1.2. ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS 5

ĮVADAS 7

2. GEOTERMINĖ ENERGIJA 8

2.1. GEOTERMINĖS ENERGIJOS NAUDOJIMAS 8

2.2. GEOTERMINĖS ELEKTROS ENERGIJOS JĖGAINĖS 8

2.3. TIESIOGINIS GEOTERMINĖS ENERGIJOS NAUDOJIMAS 10

3. SEKLIŲJŲ GEOTERMINIŲ IŠTEKLIŲ NAUDOJIMAS 10

3.1. SEKLIŲJŲ GEOTERMINIŲ IŠTEKLIŲ SLUOKSNIS 10

3.2. SAULĖS IŠSPINDULIUOJAMAS ŠILUMOS SRAUTAS 12

3.3. GEOTERMINIS ŠILUMOS SRAUTAS 13

4. ŠILUMOS SIURBLYS 14

4.1. VEIKIMO PRINCIPAS 15

4.1.1. Kompresorius 15

4.1.2. Šaltnešis 16

4.1.3. Kondensatorius ir garintuvas 16

4.2. VEIKIMO CIKLAS 16

5. GEOTERMINĘ ENERGIJĄ NAUDOJANČIŲ ŠILUMOS SIURBLIŲ SCHEMOS 17

5.1. ŠILUMOS SIURBLIŲ SISTEMŲ KLASIFIKACIJA 17

5.2. ATVIRO KONTŪRO SISTEMOS 17

5.3. UŽDARO KONTŪRO SISTEMOS 18

5.3.1. Horizontalūs kolektoriai 18

5.3.2. Vertikalūs kolektoriai 20

6. TYRIMO OBJEKTAS 21

7. DARBO METODIKA 21

8. FREDERIKSHAVNO, DANIJOS MIESTO, ATEITIES ENERGETINĖS SISTEMOS MODELIAVIMAS 22

9. VERTIKALIOJO ŠILUMOKAIČIO MODELIAVIMO METODŲ ANALIZĖ 28

9.1. ANALITINIAI MODELIAVIMO METODAI 28

9.1.1. Ingersolo ir Zobelio (Ingersoll, L.R.; A.C. Zobel) metodas 29

9.1.2. Kiti analitinio modeliavimo metodai 33

9.2. SKAITMENINIAI MODELIAVIMO METODAI 33

9.2.1. Eskilsono (P. Eskilson) metodas 34

9.2.2. Kiti skaitmeninio modeliavimo metodai ... 34
9.3. KOMPIUTERINĖS MODELIAVIMO PROGRAMOS ... 34
9.3.1. EED Earth Energy Designer ... 35
9.3.2. GchpCalc ... 36
9.3.3. GLHEPRO ... 36
9.4. APIBENDRINIMAS ... 36

10. VERTIKALIOJO ŠILUMOKAIČIO MODELIAVIMAS ... 37

10.1. PASTATO MĖNESINIS ŠILUMOS POREIKIS ... 37
10.2. MĖNESINIŲ ŠILUMOS POREIKIŲ ĮVEDIMAS Į EED ... 38
10.3. GRĘŽINIO IR GRUNTINIO ŠILUMOKAIČIO DEFINICIJA ... 40
10.4. GRUNTO PARAMETRAI ... 41
10.5. ŠILUMNEŠIO PARAMETRAI ... 43
10.6. MODELIAVIMO LAIKOTARPIS ... 43

11. MODELIAVIMO REZULTATAI ... 44

11.1. VIENGUBASIS GRUNTINIS ŠILUMOKAITIS SU VIENU U-FORMOS VAMZDŽIU ... 44
11.2. DVIGUBASIS GRUNTINIS ŠILUMOKAITIS SU VIENU U – FORMOS VAMZDŽIU ... 49
11.3. VIENGUBASIS GRUNTINIS ŠILUMOKAITIS SU DVIEM U-FORMOS VAMZDŽIAIS ... 53
11.4. TERMODINAMINIO CIKLO EFEKTYVUMAS ... 57
11.5. REIKALINGO GRĘŽINIO GYLIO NUSTATYMAS ... 61

12. EKONOMINIS GRĘŽINIŲ VERTINIMAS ... 62

12.1. CIRKULIACINIO SIURBLIO PARINKIMAS ... 62
12.2. CIRKULIACINIO SIURBLIO EKSPLOATACINIAI KAŠTAI ... 63
12.2.1. Šilumos siurblio galios nustatymas ... 63
12.3. CIRKULIACINIO SIURBLIO EKSPLOATACINIAI KAŠTAI (TĘSINYS) ... 64
12.4. ŠILUMOS SIURBLIO EKSPLOATACINIAI KAŠTAI ... 64
12.5. GRĘŽINIŲ ĮRENGIMO KAŠTAI ... 66
12.6. EKONOMINIO VERTINIMO REZULTATAI ... 66

13. IŠVADOS ... 67

14. LITERATŪRA ... 69

15. PRIEDAI ... 71

15.1. PIRMO AUKŠTO PLANAS ... 72
15.2. ANTRO AUKŠTO PLANAS ... 73
15.3. PASTATO ŠILDYMO SISTEMOS GALIA. ŠILUMOS POREIKIS ŠILDYMUI ... 74

1.1. Lentelių sąrašas

9.1 LENTELĖ GRUNTŲ, UOLIENŲ, UŽPILŲ TERMINĖS CHARAKTERISTIKOS (11) 31
9.2 LENTELĖ GRĘŽINIŲ ŠILUMINĖS VARŽOS (HDP VAMZDIS) (11) 32
9.3 LENTELĖ KOMPIUTERINIŲ PROGRAMŲ SĄRAŠAS(13) 35
10.1 LENTELĖ MĖNESINIAI ŠILUMOS POREIKIAI ŠILDYMUI 37
10.2 LENTELĖ GRUNTŲ TEMPERATŪROS IR ŠILUMOS SRAUTAI 42
10.3 LENTELĖ VIDUTINĖ MĖNESIO IR METINĖ DIRVOS PAVIRŠIAUS TEMPERATŪRA, °C (17) 42
11.1 LENTELĖ 1-U-1 MODELIAVIMO REZULTATAI 45
11.2 LENTELĖ 2-U-1 MODELIAVIMO REZULTATAI 49
11.3 LENTELĖ 1-U-2 MODELIAVIMO REZULTATAI 53
11.4 LENTELĖ EFEKTYVUMAS (COP) 58
12.1 LENTELĖ HIDRAULINIŲ NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMO REZULTATAI 62
12.2 LENTELĖ CIRKULIACINIAI SIURBLIAI 63
12.3 LENTELĖ CIRKULIACINIO SIURBLIO EKSPLOATACINIAI KAŠTAI 64
12.4 LENTELĖ ELEKTROS ENERGIJOS POREIKIAI 65
12.5 LENTELĖ MEDŽIAGŲ BEI DARBŲ ŽINIARAŠTIS 66
12.6 LENTELĖ GRĘŽINIŲ ĮRENGIMO SĄMATA 66
12.7 LENTELĖ EKONOMINIO VERTINIMO REZULTATAI 67

1.2. Iliustracijų sąrašas

2.1 PAV. SAUSO GARO ELEKTROS JĖGAINĖ(1) 9
2.2 PAV. DRĖGNO GARO ELEKTROS JĖGAINĖ(1) 9
2.3 PAV. DVIGUBO CIKLO ELEKTROS JĖGAINĖ(1) 10
3.1 PAV. REIŠKINIAI, ĮTAKOJANTIS GEOTERMINĖS ENERGIJOS POTENCIALUI(3) 11
3.2 PAV. GRUNTŲ TEMPERATŪROS SVYRAVIMAI (4) 11
3.3 PAV. NEUTRALI LINIJA(5) 12
3.4 PAV. SALES ENERGIJOS PASISKIRSTYMAS(4) 13
3.5 PAV. ŽEMĖS BRANDUOLYS, MANTIJA, PLUTA (6) 13
4.1 PAV. LORDO KELVINO „ŠILUMOS DAUGINTOJO“ SCHEMA (7) 14
4.2 PAV. ŠILUMOS SIURBLIO VEIKIMO PRINCIPINĖ SCHEMA 15
4.3 PAV. ŠILUMOS SIURBLIO VEIKIMO CIKLAS 16
5.1 PAV. ATVIRA GRUNTINIO VANDENS SISTEMA (3) 18
5.2 PAV. HORIZONTALIŲ KOLEKTORIŲ TIPAI(3) 19
5.3 PAV. VERTIKALŪS ŠILUMOS KOLEKTORIAI(3) 20
5.4 PAV. VERTIKALIŲ ZONDŲ TIPAI 20
7.1 PAV. METODOLOGIJA 22
8.1 PAV. POKYČIO STEBĖJIMAI: (A) PASAULINĖS VIDUTINĖS TEMPERATŪROS, (B) PASAULINIO OKEANO LYGIO, (C) ŠIAURĖS AŠIGALIO SNIEGO APKLOTO PLOTAS (8) 23
8.2 PAV. CO_2 EKVIVALENTAS PER METUS(8) 24

8.3 pav. Pirminės energijos pasiskirstymas pagal energijos šaltinius, 2006 (9) 25
8.4 pav. Šilumos gamybos pasiskirstymas. Biokuro scenarijus(10) 26
8.5 pav. Energijos srautų grafikas. Biokuro scenarijus(10) 27
8.6 pav. Šilumos gamybos pasiskirstymas. Elektros varomų automobilių scenarijus(10) 27
8.7 pav. Energijos srautų grafikas. Elektros varomų automobilių scenarijus(10) 28
9.1 pav. Gręžinys 29
9.2 pav. Furjė kriterijaus ir G-faktoriaus grafikas (11) 33
10.1 pav. EED darbo laukas 38
10.2 pav. Mėnesinių šilumos poreikių įvedimas 39
10.3 pav. Mėnesiniai šilumos poreikiai 40
10.4 pav. Gręžinio bei šilumokaičio parametrai 41
10.5 pav. Grunto parametrai 42
10.6 pav. Šilumnešio parametrai 43
10.7 pav. Modeliavimo laikotarpis 43
11.1 pav. 1-U-1 temperatūros kitimo grafikas 48
11.2 pav. 1-U-1 temperatūros minimumas ir maksimumas 49
11.3 pav. 2-U-1 Temperatūros kitimo grafikas 52
11.4 pav. 2-U-1 temperatūros minimumas ir maksimumas 53
11.5 pav. 1-U-2 temperatūros kitimo grafikas 56
11.6 pav. 1-U-2 temperatūros minimumas ir maksimumas 57
11.7 pav. Vidutiniai veikimo laikotarpio transformacijos koeficientai 61

ĮVADAS

Gyvenamųjų namų šildymo geotermine energija problemos dažniausiai atsiranda dar projektavimo stadijoje, kai suprojektuotas gruntinis šilumokaitis neužtikrina efektyvaus-ilgalaikio šilumos siurblio darbo arba kai gruntinis šilumokaitis parenkamas per didelis, taip padidindamas investicinius kaštus ir pailgindamas investicijų atsipirkimo laikotarpį.

Šiame baigiamajame darbe nagrinėjami įvairūs vertikalių gruntinių šilumokaičių modeliavimo metodai. Modeliavimo metodu analizės būdu parenkamas metodas, pagal kurį modeliuojami trijų skirtingų tipų vertikalūs gruntiniai šilumokaičiai: viengubasis vertikalus gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu (1-U-1), dvigubasis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu (2-U-1) ir viengubasis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais (1-U-2). Modeliavimui atlikti naudojama EED 3.0 (Earth Energy Designer versija 3.0) kompiuterinė programa. Modeliavimo rezultate - 25 metų laikotarpio vidutinės mėnesinės šilumnešio, kuris cirkuliuoja uždarame gruntiniame šilumokaityje, temperatūros. Naudojant modeliavimo metu gautas šilumnešio temperatūras, sumodeliuojami šilumos siurblio termodinaminiai ciklai, pagal kurios nustatomas vidutinis mėnesinis šilumos siurblio efektyvumo koeficientas (COP). Šilumos siurblio termodinaminių ciklų modeliavimui naudojama CoolPack kompiuterinė programa. Pagal gautus šilumos siurblio efektyvumo koeficientus nustatysime optimalų vertikalių gruntinių šilumokaičių gylį. Parinkus gylius viengubojo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu (130 m), dvigubojo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu (70 m) ir viengubojo šilumokaičio dviem U-formos vamzdžiais (110 m), atliekama ekonominė analizė. Ekonominės analizės metu bus įvertinami investiciniai vertikalių šilumokaičių bei cirkuliacinio siurblio ir šilumos siurblio eksploataciniai kaštai. Investicinių kaštų įvertinimui sudaroma darbų ir medžiagų sąmata. Eksploatacinių kaštų įvertinimui apskaičiuojamas cirkuliacinio siurblio ir šilumos siurblio veikimo laikas per 25 metų modeliavimo laikotarpį. Ekonominio skaičiavimo rezultatai parodė, kad įvertinus eksploatacinius bei investicinius kaštus, efektyviausias yra viengubasis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais.

Tekste literatūra cituojama naudojant ISO 690 tarptautinį standartą. Cituojamos literatūros numeris nurodamas apvaliose skliaustuose, pavyzdžiui: (123).

2. GEOTERMINĖ ENERGIJA

Šis skyrius skirtas geoterminės energijos apibūdinimui, sąvokų apibendrinimui bei įvairių technologijų, skirtų geoterminės energijos panaudojimui, aprašymui.

Tikriausiai ugnikalnių, karštų geizerių ir kitų šiluminių reiškinių egzistavimas privertė mūsų protėvius aptikti aukštų temperatūrų žemės paviršius. Tačiau tai nutiko ne šešioliktame, septynioliktame amžiuje, kada buvo kasamos pirmos kasyklos, kurių gylis buvo kelis šimtus metrų žemiau žemės paviršiaus. Žmogus, jausdamas savo kūnu oro temperatūrą suprato, kad kuo giliau po žeme jis leidžiasi tuo aplinkinė temperatūra yra didesnė. Ko gero, pirmas labiau mokslinius metodus primenantis temperatūrų matavimas, naudojant termometrą, buvo atliktas 1740 metais kasykloje ne toli Belforto, Prancūzijoje. Tačiau taip buvo anksčiau; dabar yra sukurti metodai bei programinė įranga, kurias galima detaliai išanalizuoti žemės geoterminės energijos potencialą.

Jungtinėse Amerikos Valstijose (JAV) 1892 metais pradėjo veikti pirmasis geoterminis centrinio šildymo tinklas. Islandijoje 1928 metais geoterminė energija buvo naudojama buitiniam karštam vandeniui ruošti. Pirmas bandymas panaudoti geoterminę šilumą elektros energijai gaminti buvo įgyvendintas Italijoje 1904 metais. Šios jėgainės komercinė sėkmė įrodė, kad geoterminė energija gali būti vertinama kaip konkurencingas energijos šaltinis.

2.1. Geoterminės energijos naudojimas

Geoterminės energijos naudojimas skirstomas į tris pagrindines grupes:

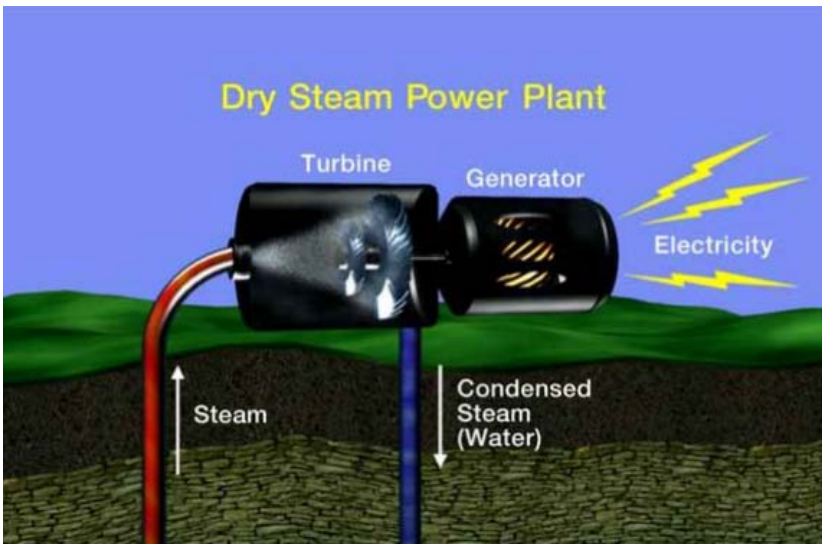
- Elektros energijos gamyba;
- Tiesioginis naudojimas;
- Seklusis (negilusis) naudojimas.

2.2. Geoterminės elektros energijos jėgainės

Elektros energijos gamyba panaudojant geoterminę energiją reikalauja labai aukštos temperatūros. Egzistuoja trys pagrindiniai geoterminių elektros energijos gamybos jėgainių tipai:

- Sauso garo;
- Drėgno garo;
- Dvigubo ciklo.

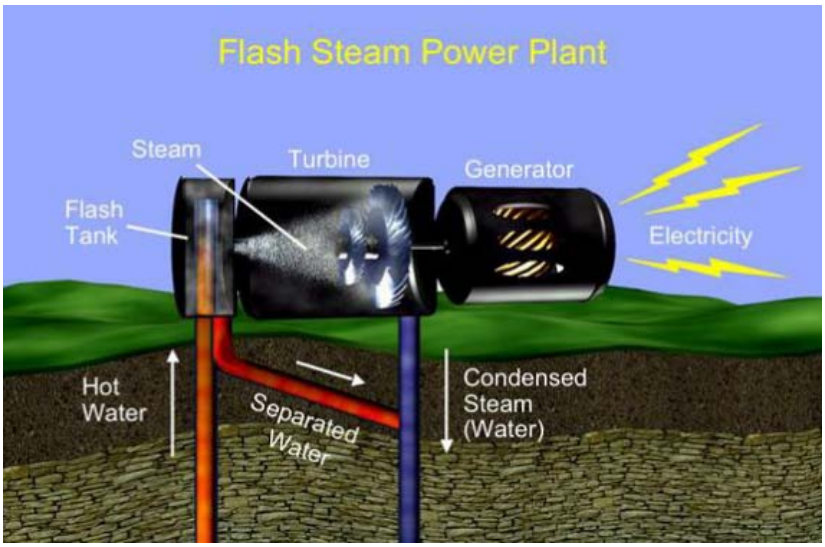
Sauso garo geoterminės elektros jėgainės garo temperatūra turi būti ne žemesnė negu 150^{o}C. Aukštos temperatūros garas tiesiogiai patenka į turbiną ir suka jos mentes.



2.1 pav. Sauso garo elektros jėgainė(1)

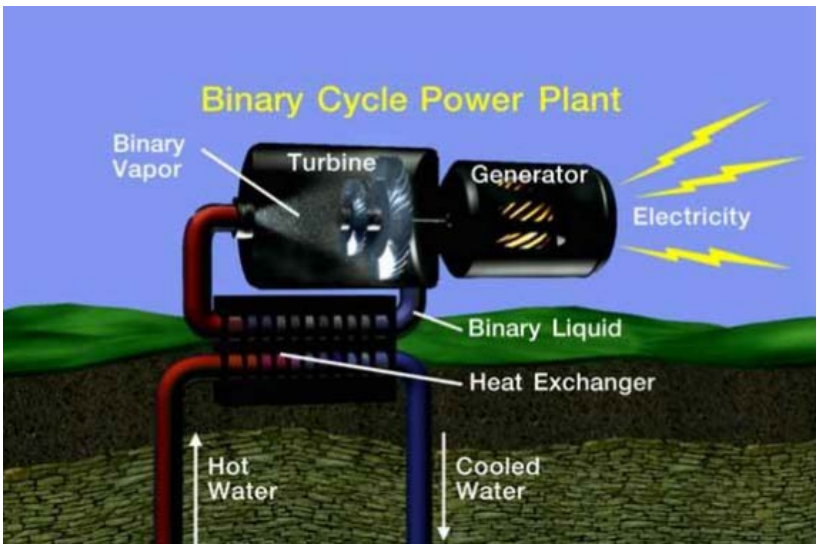
Paveiksle 2.2 pavaizduotas sauso garo jėgainės veikimo principas. Tokios elektros jėgainės sudaro apie 28% visų pasaulyje veikiančių geoterminių elektros jėgainių.

Drėgno garo elektros jėgainės naudoja karšto vandens požeminius rezervuarus. Aukšto slėgio karštas vanduo (kurio temperatūra yra ne žemesnė negu 180^{o}C) teka gręžiniu į viršų tol, kol jo slėgis ne sumažės iki tokio lygio, kad vanduo pradėtų intensyviai garuoti. Tokių jėgainių pasaulyje yra apie 64%. Paveikslas žemiau iliustruoja drėgno garo jėgainės veikimo principą.



2.2 pav. Drėgno garo elektros jėgainė(1)

Dvigubo ciklo elektros jėgainės (dar vadinamos organinio Renkino ciklo) dirba naudojant karštą vandenį, kurio temperatūra gali svyruoti nuo 75^{o}C iki 180^{o}C. Karštas geoterminis skystis per šilumokaitį išgarina organinį šilumnešį su žema virimo temperatūra. Šilumokaityje gaunamas garas suka turbinos, kuri gamina elektros energiją, mentes. Šio ciklo principinė schema pavaizduota paveiksle 2.3 (2).



2.3 pav. Dvigubo ciklo elektros jėgainė(1)

Tokio tipo jėgainių pranašumas yra tame kad karštas vanduo tiesiogiai nesiliečia su turbiną.

2.3. Tiesioginis geoterminės energijos naudojimas

Tiesioginis geoterminės energijos naudojimas dažniausiai sutinkamas srityse, kuriose galima tiesiogiai išnaudoti žemėje sukauptą šilumą. Jeigu sudarytume geoterminės energijos tiesioginio naudojimo sričių kategorijų sąrašą, tai jis atrodytu maždaug taip:

- balneologija;
- žemės ūkis ;
- pramonė;
- centrinis bei individualus šildymas.

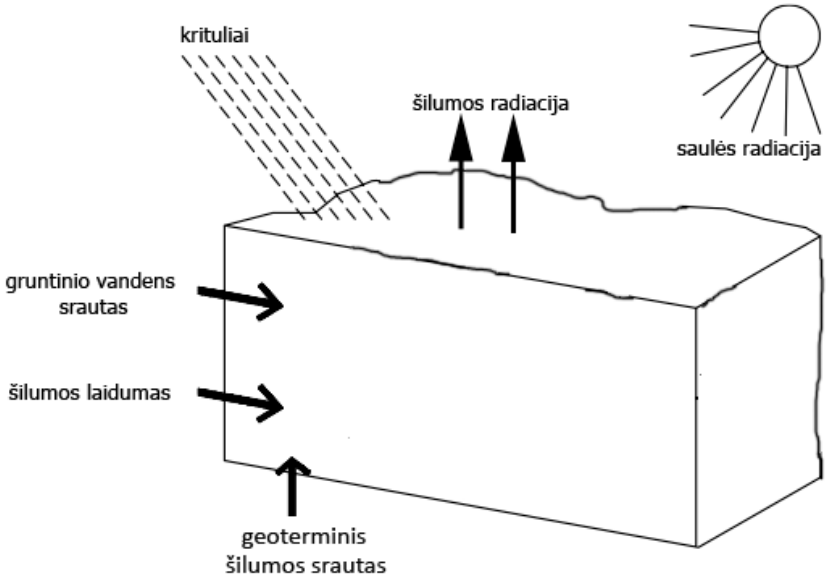
Tam, kad galima būtų efektyviai išnaudoti paviršutinę geoterminę energiją, reikalingas įrenginys, kuris pakeltų žemo potencialo šilumą iki vartotojų poreikių. Toks įrenginys vadinamas šilumos siurbliu. Sekantys du skyriai bus skirti detalesniam paviršutinės geoterminės energijos ir šilumos siurblio apibūdinimui.

3. SEKLIŲJŲ GEOTERMINIŲ IŠTEKLIŲ NAUDOJIMAS

3.1. Sekliųjų geoterminių išteklių sluoksnis

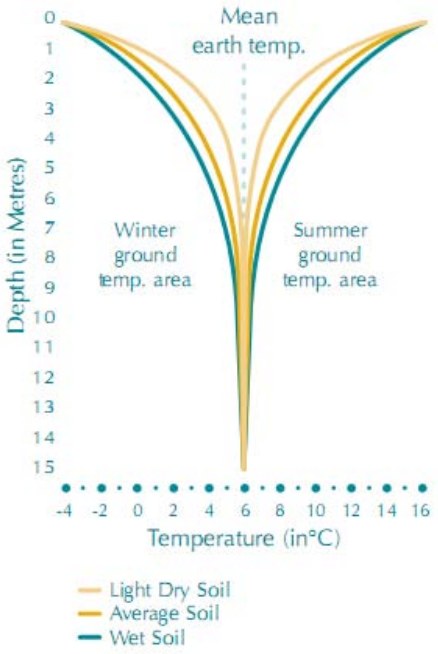
Seklieji geoterminiai ištekliai kai kuriose Europos šalyse yra reglamentuojami kaip „geoterminiai ištekliai, esantys ne gyliau kaip 400 m“. Ko gero tai yra labiausiai paplitęs energijos šaltinis. Šių išteklių intensyvumui bei galiai turi įtakos įvairūs reiškiniai. 3.1 paveiksle pavaizduoti reiškiniai, kurie formuoja seklųjį geoterminį sluoksnį:

- atmosferiniai krituliai;
- saulės radiacija;
- šilumos pernešimas kartu su gruntiniais vandenimis;
- šilumos kiekis, kurį vertikaliam šilumokaičiui perduoda žemės grunto masyvas;
- geoterminis šilumos srautas iš žemės gelmių.



3.1 pav. Reiškiniai, įtakojantis geoterminės energijos potencialui(3)

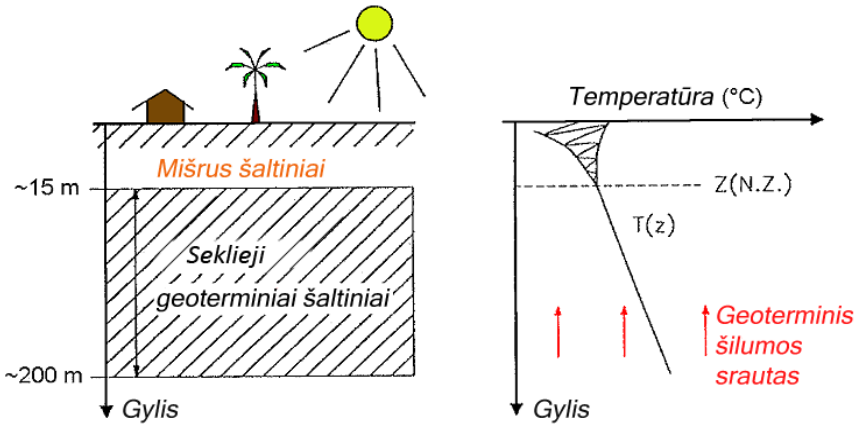
Jeigu pažiūrėsime į metinius gruntų temperatūrų svyravimus (3.2 pav.), didžiausi metiniai svyravimai pastebimi prie pat žemės paviršiaus. Temperatūra svyruoja nuo -5°C iki 16°C. Temperatūros svyravimo amplitudė, didėjant gyliui, tampa vis mažesne.



3.2 pav. Gruntų temperatūros svyravimai (4)

Šiame grafike (3.2 pav.) pavaizduoti skirtingų gruntų temperatūros svyravimai. Čia gruntai išskirstyti į lengvą sausą (Light Dry Soil), įprastą (average) ir šlapią (wet).

Gylis, nuo kurio grunto temperatūra palaipsniui pradeda didėti, vadinamas neutralia linija (3.3 pav.). Sezoniniai temperatūros svyravimai neturi įtakos grunto temperatūrai žemiau neutralios linijos.



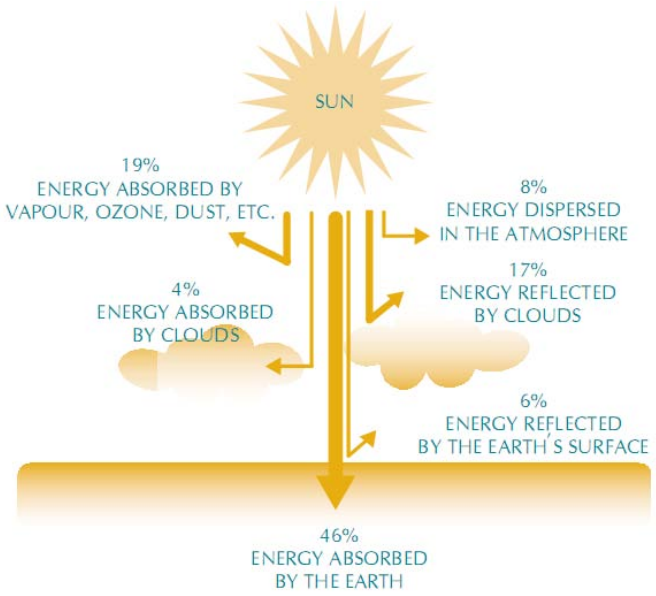
3.3 pav. Neutrali linija(5)

Viskas, kas yra žemiau neutralios linijos, priskiriama prie geoterminės energijos, kurią formuoja geoterminis šilumos srautas.

Visi 3.1 paveiksle pavaizduoti reiškiniai, be abejo, formuoja geoterminės energijos potencialą, tačiau didžiausią įtaką turi saulės radiacija bei geoterminės šilumos srautas (dar vadinamas radiogeniniu šilumos srautu, sklindančiu iš žemės gelmių).

3.2. Saulės išspinduliuojamas šilumos srautas

Manoma, kad saulė yra energijos šaltinis, iš kurio kyla visos kitos energijos rūšys bei iškastiniai energijos resursai, išskyrus geoterminę energiją. Saulė išspinduliuoja labai daug energijos, kurią, patekusią į atmosferos sluoksnius, iš dalies sugeria žemės paviršius. Pilnas saulės spinduliavimas - tai išsklaidyto ir tiesioginio spinduliavimo suma. Tiesioginis spinduliavimas vadinamas saulės šviesa. Išsklaidytas spinduliavimas - tai saulės spindulių, praėjusių atmosferos sluoksnius, rezultatas. Daugumoje atvejų išsklaidytas spinduliavimas yra silpnesnis už tiesioginį. Paveikslas 3.4 parodo, kokią saulės spinduliuojamos energijos dalį absorbuoja žemės paviršius. Akivaizdu, kad žemės sugeriamas šilumos kiekis priklauso nuo saulės spinduliavimo intensyvumo: kuo spinduliavimas stipresnis, tuo daugiau energijos sukaupia žemės paviršius. Saulės radiacija prieš atmosferos sluoksni, vidutiniškai yra lygi 1,4 kW/m^2. Kaip jau buvo minėta, kuo didesnis grunto šilumos laidumas, tuo gilesnė tampa neutrali linija, kurioje temperatūros svyravimai nepriklauso nuo sezoninių reiškinių.

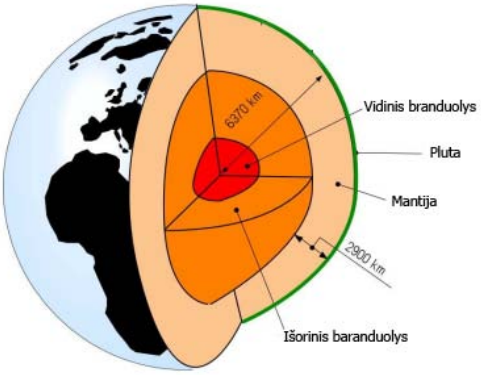


3.4 pav. Sales energijos pasiskirstymas(4)

Tik 46% saulės išspinduliuojamos energijos yra sugeriami žemės. Apie penktadalį saulės energijos sugeria atmosferoje esančios dulkės, garai. Palyginus didelę dalį saulės energijos (17%) atspindi debesys. Žemės paviršius atspindi tik 6% saulės skleidžiamo energijos srauto.

3.3. Geoterminis šilumos srautas

Žemės tūris yra lygus maždaug 1085 milijardų kubinių metrų. Pluta - yra kietasis išorinis žemės sluoksnis. Plutos storis žemynuose yra maždaug nuo 35 iki 70 kilometrų, o po vandenynais – nuo 6 iki 10 kilometrų. Giliau plutos yra mantija. Jos storis siekia 2900 kilometrų. Po mantija yra skystas vidinio branduolio apvalkalas, kuris dar vadinamas išoriniu branduoliu. Jo storis apie 2200 kilometrų. Išorinis branduolys apgaubia vidinį branduolį, kurio spindulys - 1250 kilometrų (3.5 pav.).

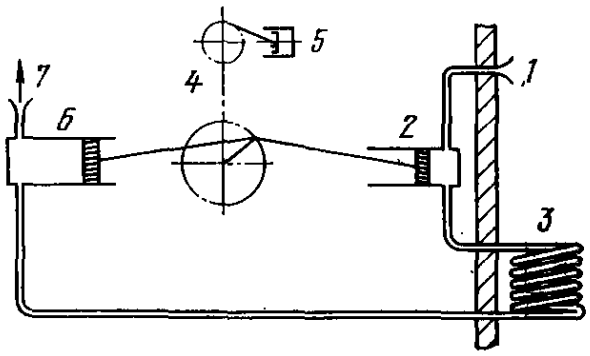


3.5 pav. Žemės branduolys, mantija, pluta (6)

Geoterminę šilumą generuoja be perstojo skylantis radioaktyvūs urano (U^{238}, U^{235}), torio (Th^{232}), kalio (K^{40}) izotopai. Manoma, kad vidinė žemės branduolio temperatūra gali siekti 7000 Kelvinų.

4. ŠILUMOS SIURBLYS

Daugelis įvairių literatūrinių šaltinių autorių šilumos siurblio koncepcijos sukūrimą priskiria Lordui Kelvinui. Tačiau šilumos siurblio veikimo principas remiasi Karno darbais bei Karno ciklo aprašu, kuris buvo įtrauktas į jo mokslinę disertaciją 1824 metais. Praėjus 28 metams, 1952 m. Viljamas Tomsonas pasiūlė praktinę šilumos siurblio sistemą, kuri buvo vadinama „šilumos daugintoju“ (4.1 pav.). Jau tada L. Kelvinas savo išradimą argumentavo tuo, kad, norint savo namus aprūpinti šiluma, negalima bus amžinai deginti krosniuose iškastinį kurą.



4.1 pav. Lordo Kelvino „šilumos daugintojo“ schema (7)

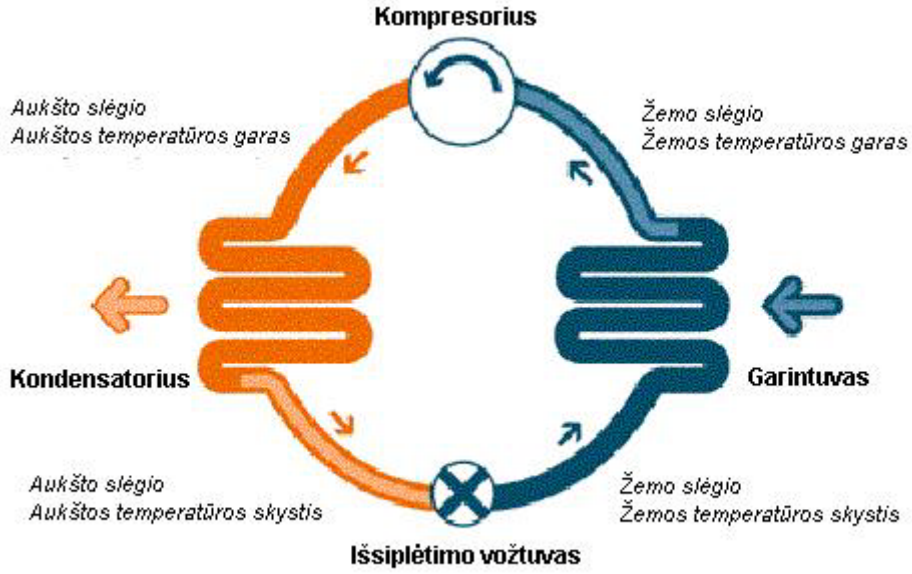
Darbo kūnu, Kelvino schemoje, buvo pasirinktas aplinkos oras. Per angą (Nr. 1, 4.1 pav.) aplinkos oras patenka į pirminį vožtuvą (Nr. 2, 4.1 pav.), kur plečiasi. Plėtimo proceso eigoje oro temperatūra mažėja. Po to oras patenka į šilumokaitį (Nr. 3, 4.1 pav.), ten yra pašildomas aplinkos oru. Antriniame vožtuve (Nr. 6, 4.1 pav.) jis suspaudžiamas iki atmosferinio slėgio. Po to oras, kurio temperatūra tampa aukštesnė už aplinkos orą, yra tiesiogiai tiekiamas į šildomą patalpą (Nr. 7, 4.1 pav.). Paveiksle 4.1 numeriai 4 ir 5 vaizduoja garo mašiną. V. Tomsonas teigė, kad jo šilumos siurblys gali pateikti reikiamą šilumos kiekį išnaudodamas tik 3% tiesioginiam patalpos šildymui reikalingos energijos.

Pirmasis buitinis šilumos siurblys, kurį naudojo pastato šildymui bei karšto vandens ruošimui, buvo išbandytas Anglijoje. 1930 metais Holdejnas aprašė šilumos siurblio veikimą. Jo aprašomas šilumos siurblys kaip žemo potencialo šilumos šaltinį naudojo aplinkos orą.

4.1. Veikimo principas

Šis poskyris yra skirtas pagrindiniams šilumos siurblio veikimo principams aprašyti.

Dauguma autorių savo knygose, paprastumo dėlei, lygina šilumos siurblį su šaldytuvu. Šilumos siurblys - tai tas pats kaip didelis šaldytuvas, tik veikia atvirkščiai: ne šaldo, o šildo. Principinė šilumos siurblio veikimo schema pateikiama 4.2 paveiksle.



4.2 pav. Šilumos siurblio veikimo principinė schema

Pagrindiniai šilumos siurblio komponentai, be kurių ne gali apsieiti nei vienas šilumos siurblys:

- kompresorius;
- šaltnešis;
- kondensatorius;
- garintuvas.

Trumpai aprašysime šilumos siurblio pagrindinius komponentus.

4.1.1. Kompresorius

Pirmasis spiralinis kompresorius (Scroll compressor) buvo užpatentuotas 1905 metais. Jį suprojektavo Prancūzijos inžinierius Leon Creux. Tačiau tik 1970 metais buvo sukurtas pirmas bandomasis spiralinis kompresorius. Tai nutiko dėl to, kad L. Creux savo išradimu aplenkė laiką: su 1905 metais esančiomis technologijomis pagaminti spiralinį kompresorių buvo neįmanoma. Po 1970 metų spiralinius kompresorius intensyviai pradėjo vystyti ir tirti Amerikos bei Japonijos

mokslininkai, ir jau 1980 metais spiraliniai kompresoriai buvo plačiai naudojami šildymo, vedinimo, bei oro kondicionavimo sistemose.

4.1.2. Šaltnešis

Visa šilumos siurblio kontūro terpė užpildyta šaltnešiu (medžiaga, kuri turi labai žemą virimo temperatūrą). Šaltnešių yra labai daug, jie būna skirtingų gamintojų. Šilumos siurblių gamintojai naudoja šaltnešius, kurie neardo ozono sluoksnio ir nekenkia aplinkai. Dažniausiai šilumos siurblių gamyboje pasitaiko R134a, R410a, R407c šaltnešiai.

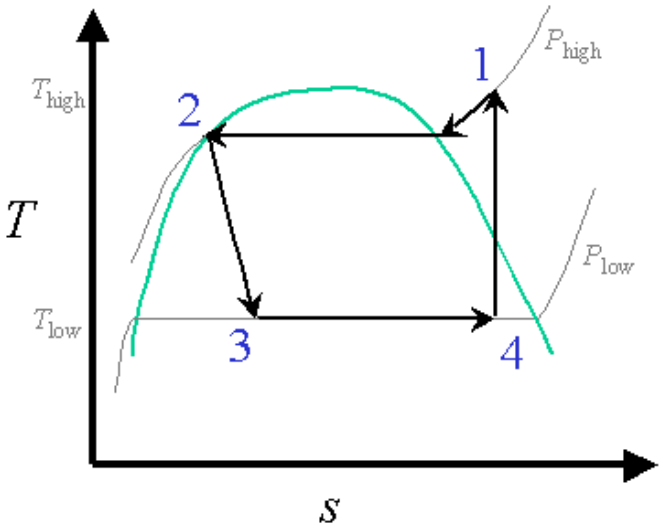
4.1.3. Kondensatorius ir garintuvas

Garintuvas šilumos siurblio sistemoje yra skirtas šaltnešio garinimui. Šilumos siurblio, kuris dirba šildymo režime, garintuvas yra šaltesnis už kondensatorių. Garintuve šaltnešis yra paveikiamas žemo potencialo šilumos šaltinio temperatūros.

Kondensatorius yra skirtas šaltnešio aušinimui. Šildymo sistemos šilumnešis, patekdamas į kondensatorių, atvėsina šaltnešį, tokiu būdu pakeldamas savo temperatūrą.

4.2. Veikimo ciklas

Kaipgi vyksta šilumos perdavimas nuo šaltesnio kūno karštesniam? Tam paaiškinti panaudosime idealizuotą šilumos siurblio termodinaminį ciklą, atvaizduotą T-s koordinatėse (4.3 pav.).



4.3 pav. Šilumos siurblio veikimo ciklas

Linija 3-4 atvaizduoja procesą, kuris vyksta garintuve. Iš grafiko matyti, kad šis procesas vyksta esant pastoviai temperatūrai. Šio proceso metu šaltnešis intensyviai garuoja, susidaro žemo slėgio garas, kuris patenka į kompresorių. Procesas 4-1 atvaizduoja kompresoriaus adiabatinį

suspaudimą. Realiai procesas kompresoriuje nėra adiabatinis, taigi dalis šilumos išsiskiria į aplinką. Iš grafiko aiškiai matosi, kad po kompresoriaus suspaudimo šaltnešio temperatūra stipriai pakyla. Susidaro aukšto slėgio ir aukštos temperatūros garas, kuris patenka į kondensatorių. Procesas 1-2 - tai šaltnešio šilumos atidavimas šildymo sistemos šilumnešiui, kitaip sakant - šaltnešio aušinimas. Šio proceso eigoje susidaro aukštos temperatūros žemo slėgio skystis, kuris patenka į išsiplėtimo vožtuvą. Linija 2-3 atvaizduoja išsiplėtimo vožtuve vykstantį procesą. Krentant išsiplėtimo vožtuve esančiam slėgiui, aukštos temperatūros skystis atvesta, taip užbaigdamas šilumos siurblio veikimo ciklą.

5. GEOTERMINĘ ENERGIJĄ NAUDOJANČIŲ ŠILUMOS SIURBLIŲ SCHEMOS

5.1. Šilumos siurblių sistemų klasifikacija

Šilumos siurblių sistemos klasifikuojamos pagal žemo potencialo šilumos šaltinį ir pagal sistemas, skirtas šilumai absorbuoti. Galima išskirti du tipus sistemų, kurios naudoja geoterminę šilumą:

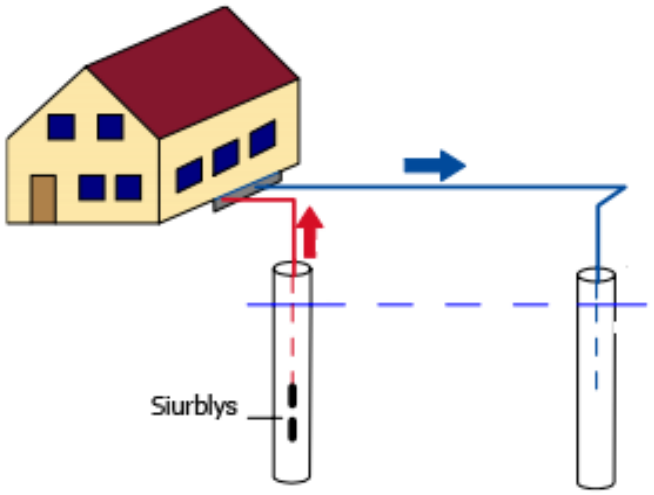
- atviro kontūro;
- uždaro kontūro.

Atviruose kontūruose šilumnešiu dažniausiai būna gruntinis arba atvirų vandens tvenkinių vanduo, kuris yra tiesiogiai teikiamas į šilumos siurblį.

Uždaruose kontūruose šilumnešio vaidmenį atlieka glikolis, kuris nesiliečia su geoterminės šilumos terpe, o tik cirkuliuoja uždarame kontūre. Glikoliu užpildytą kontūrą dažnai vadina šilumokaičiu. Kitaip sakant, uždaro kontūro šilumos sistemose šilumnešis cirkuliuoja tarp šilumos siurblio šilumokaičio ir šilumokaičio, kuris absorbuoja žemo potencialo šilumą.

5.2. Atviro kontūro sistemos

Atviro kontūro sistemos kaip šilumnešį dažniausiai naudoja gruntinį vandenį, nors pasitaiko ir tokių atvejų, kai vanduo yra imamas tiesiogiai iš vandens tvenkinio. Gruntinį vandenį naudojančių sistemų pagrindinė techninė dalis yra du šuliniai: tiekimo šulinis, kuris reikalingas vandeniui paimti iš vandeningo sluoksnio, ir grįžimo šulinis - vandeniui grąžinti į tą patį vandeningą sluoksnį. Paveiksle toliau pavaizduota atvira gruntinio vandens sistema.



5.1 pav. Atvira gruntinio vandens sistema (3)

Ko gero, vienas iš geriausių žemo potencialo šilumos šaltinių yra gruntinis vanduo. Tačiau ir jis turi trūkumų. Visų pirma, ne visur yra gruntinio vandens arba jis yra per giliai. Antra, labai didelį dėmesį reikia skirti vandens kokybei: tam, kad išvengtume korozijos bei užkalkėjimo vandenyje turi būti ko mažiau geležies. Ir paskutinis, gana svarbus kriterijus - pakankamo vandens debito buvimas, kuris užtikrintų ilgalaikį šilumos siurblio eksploatavimą.

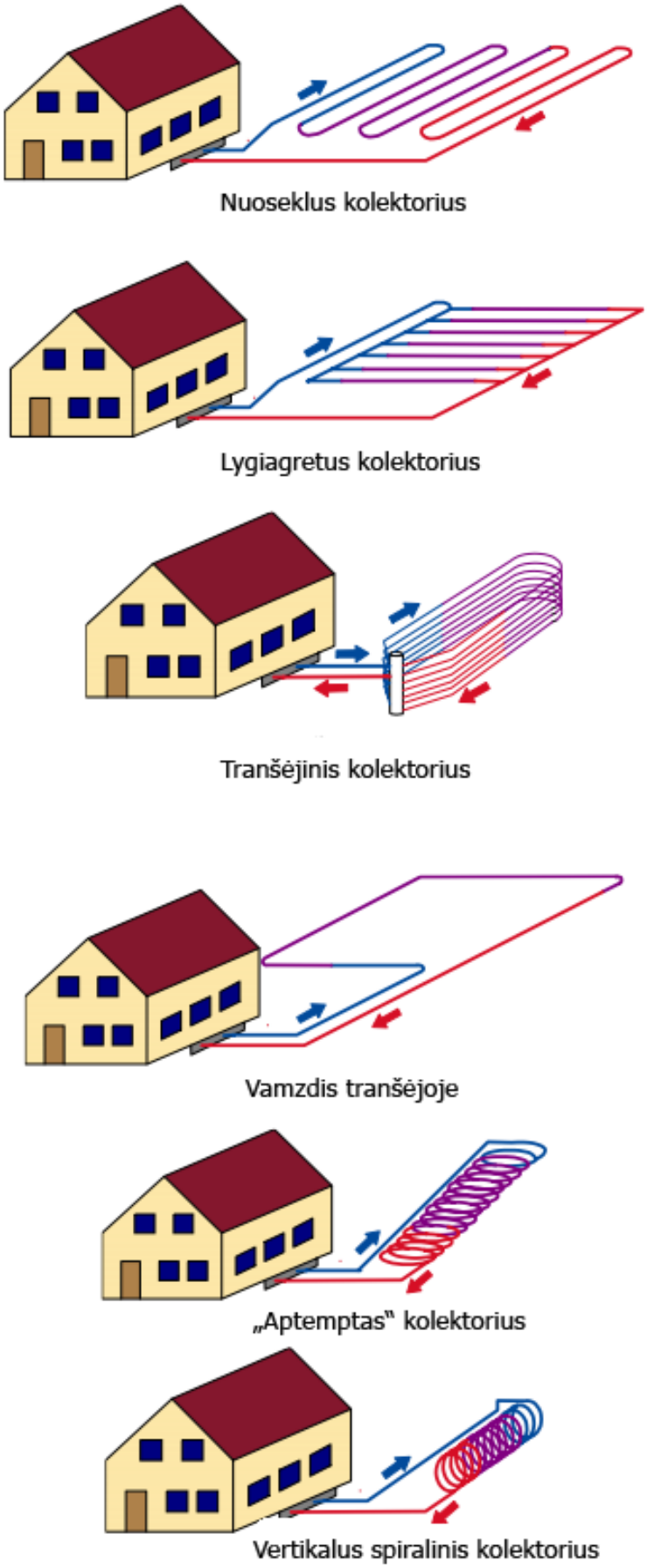
5.3. Uždaro kontūro sistemos

Sistemų uždaru kontūru yra įvairiausiu rūšių bei modifikacijų. Bet nepaisant to, uždaro kontūro sistemos dalijamos į dvi kategorijas:

- horizontalūs kolektoriai;
- vertikalūs zondai.

5.3.1. Horizontalūs kolektoriai

Horizontalūs kolektoriai – tai lengviausiai instaliuojamos gruntinių šilumokaičių sistemos, tačiau jie reikalauja pakankamai didelių žemės plotų. Plotas, kuriame išvyniotas žemės kolektorius, turi būti atviras tiesioginiam saulės spinduliavimui. Siekiant sumažinti horizontalių kolektorių užimamus žemės plotus buvo sukurti įvairiausi gruntinių šilumokaičių tipai. 5.2 paveiksle yra pavaizduoti keli vertikalių šilumokaičių tipai, tačiau jų gali pasitaikyti įvairiausių variantų. Pavyzdžiui, vertikalus žemės kolektorius yra išvyniojamas vandens tvenkinio dugne.



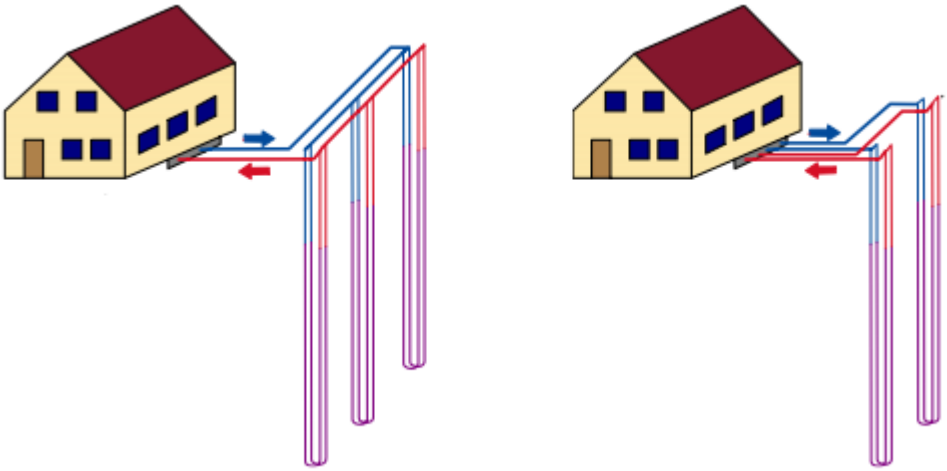
5.2 pav. Horizontalių kolektorių tipai(3)

5.3.2. Vertikalūs kolektoriai

Vertikalūs žemės zondai tikriausiai yra dažniausiai sutinkami šilumokaičiai. Jų pranašumai:

- temperatūros pastovumas giliau neutralios linijos;
- mažas užimamas plotas;
- galimybė įrengti pakankamai šilumos zondų mažame žemės plotelyje tam, kad galima būtų patenkinti absorbuojamos šilumos poreikį.

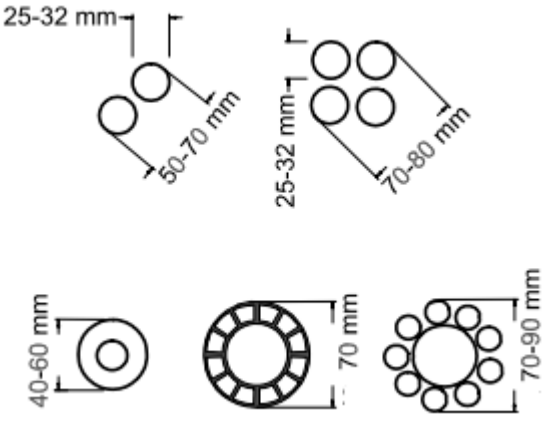
Paprastame šilumos zonde yra naudojami plastikiniai, į geoterminį šulinį nuleidžiami vamzdžiai. Šulinys užpildomas medžiaga, kuri turi gerą šilumos laidumo koeficientą.



5.3 pav. Vertikalūs šilumos kolektoriai(3)

Paveiksle 5.3 yra pavaizduoti vertikalūs kolektoriai. Kairiajame paveiksle šiluminių zondų sujungimo kolektorius yra lauke, dešiniajame - pastate.

Dažniausiai pasitaiko horizontalūs U-formos zondai arba koaksialiniai.



5.4 pav. Vertikalių zondų tipai

Vertikalus U-formos zondas susideda iš poros tiesių vamzdžių, sujungtų apačioje 180 ^{o} alkūne. Į vieną geoterminį šulinį galima įleisti iki trijų U-formos vamzdžių. Koaksialiniai šilumos zondai taip pat susideda iš plastikinių vamzdžių arba iš vamzdžių rinkinio. Koaksialiniuose zonduose paduodamo ir grįžtamo plastikinio vamzdžio skersmuo būna skirtingas (5.4 pav.).

6. TYRIMO OBJEKTAS

Šis skyrius skirtas gyvenamųjų namų šildymo geotermine energija pagrindinių problemų išskyrimui bei tyrimo klausimų formulavimui.

Geoterminių šilumos siurblių eksploatavimas individualių gyvenamųjų namų šildymui ir karšto vandens ruošimui vis dažniau pasitaiko naujos statybos statiniuose. Taip pat gana dažnai individualių gyvenamųjų namų savininkai keičia įvairius šilumos generatorius į šilumos siurblius. Žmonės, kurie vertina šilumos siurblių eksploatavimo paprastumą tose vietose, kur nėra galimybės įrengti dujinius katilus, dažnai pasirenka šilumos siurblius, o ne kieto kuro katilus. Šilumos siurblių populiarumas akivaizdžiai didėja. Tačiau, didėjant šilumos siurblių skaičiui, vis dažniau pasitaiko žmonių, kurie lieka nepatenkinti jų veikimu. Taip nutinka dėl to, kad projektiniai eksploataciniai kaštai viršija esamus elektros energijos sąnaudos kaštus, ką, savo ruožtu, dažniausiai sukelia netinkamai parinktas gruntinis šilumokaitis, kuris neužtikrina efektyvaus - ilgalaikio šilumos siurblio veikimo.

Didžiausia gruntinių šilumokaičių projektavimo klaida: neįvertinamas šilumos siurblio veikimo laikotarpis, o gruntinio šilumokaičio tipas ir gylis parenkamas įvertinant tik šilumos siurblio galią. Iš čia ir kyla pagrindinai šio darbo klausimai:

- Koks gruntinių šilumokaičių modeliavimo metodas įvertintų šilumos siurblio veikimo laikotarpį?
- Koks vertikalaus gruntinio šilumokaičio tipas yra efektyvesnis?

Į šiuos du klausimus bus atsakyta šio darbo eigoje.

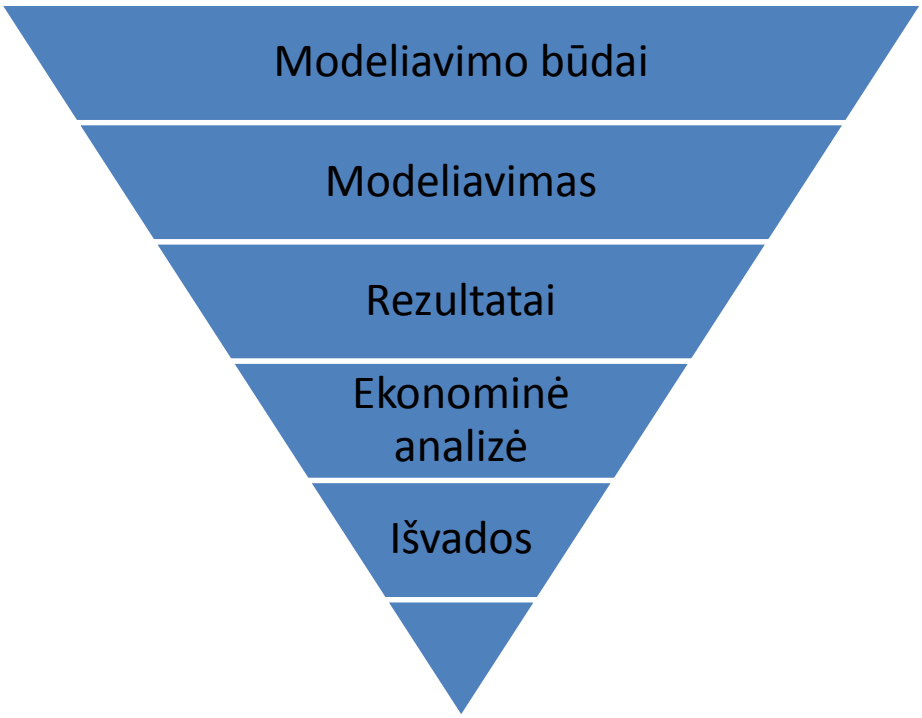
7. DARBO METODIKA

Trumpa darbo eigos turinį atvaizduoja toliau pateikiamas 7.1 pav. Metodologijapaveikslas.

Modeliavimo būdų analizė leis objektyviai pasirinkti modeliavimo metodą, prieš pradedant modeliavimą. Pasirinkant modeliavimo būdą bus atsižvelgiama į jo naudojimo paprastumą, rezultatų patikimumą, naudojimo aprašo egzistavimą ir modeliavimo būdo prieinamumą.

Visas modeliavimas susidės iš trijų skirtingų tipų vertikaliųjų šilumokaičių modeliavimo. Vertikalieji gruntiniai šilumokaičiai bus modeliuojami keičiant jų gylį, ribose nuo 70 iki 160 m. Visi kiti parametrai: grunto charakteristikos, šilumos poreikiai, modeliavimo laikotarpis, bus pastovus.

Modeliavimo rezultatai – 25 metų laikotarpio šilumnešio temperatūros. Naudojant gautas temperatūras bus nustatomas šilumos siurblio mėnesinis efektyvumo koeficientas.



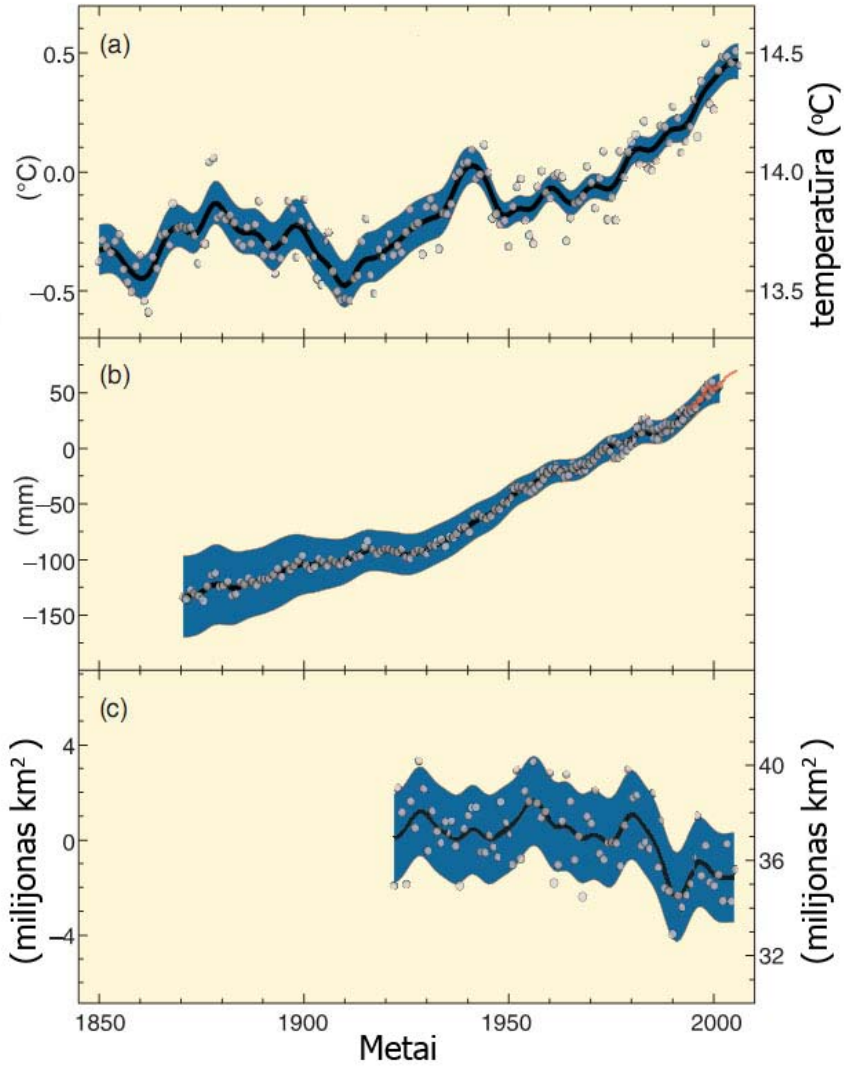
7.1 pav. Metodologija

Ekonominė analizė susidarys iš investicinių (medžiagų ir darbų) vertikaliųjų gruntinių šilumokaičių kaštų. Taip pat bus vertinami šilumos siurblio ir cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai per visa modeliavimo laikotarpį.

Atsižvelgiant į modeliavimo ir analizės rezultatus bus suformuojamos išvados.

8. FREDERIKSHAVNO, DANIJOS MIESTO, ATEITIES ENERGETINĖS SISTEMOS MODELIAVIMAS

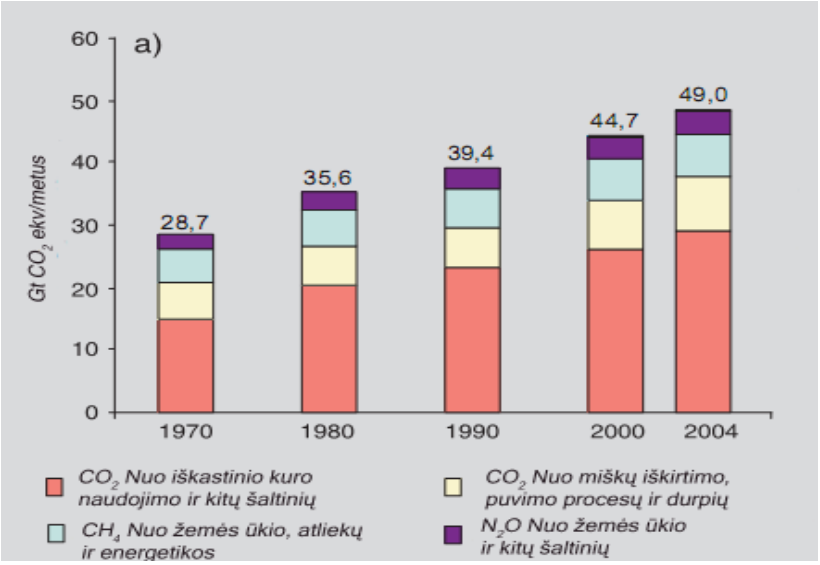
Pasaulinio klimato atšilimas yra stebėjimo rezultatais patvirtinamas faktas. Kylanti pasaulinio okeano ir oro temperatūra, nuolat tirpstantys ledas ir sniegas turi įtaką pasaulinio okeano vandens lygio augimui. Paveiksle žemiau yra pavaizduoti pokyčio stebėjimo rezultatai.



8.1 pav. Pokyčio stebėjimai: (a) pasaulinės vidutinės temperatūros, (b) pasaulinio okeano lygio, (c) šiaurės ašigalio sniego apkloto plotas (8)

Iš paveikslo viršuje matome, kad maždaug nuo 1850 iki 1950 metų pasaulinė vidutinė oro temperatūra (8.1 pav. (a)) daugiau ar mažiau buvo vienoda. Tačiau nuo 1950 metų pastebimas kasmetinis temperatūros didėjimas, kuris sukelia sniego tirpimą. 1995 - 2006 metų laikotarpis laikomas šilčiausiu nuo 1850 metų. Pasaulinio okeano lygis nuo 1961 m. kilo su vidutiniu greičiu 1,8 mm/metus, o nuo 1993 m. vidutinis greitis sudarė 3,1 mm/metus.

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos pokytis atmosferoje turi įtaką ekologinės sistemos energetiniam balansui. Šių dujų kiekis atmosferoje nuo 1970 iki 2004 metų padidėjo 70%. Paveikslas 8.2 atvaizduoja CO_2 ekvivalento kiekį per metus.



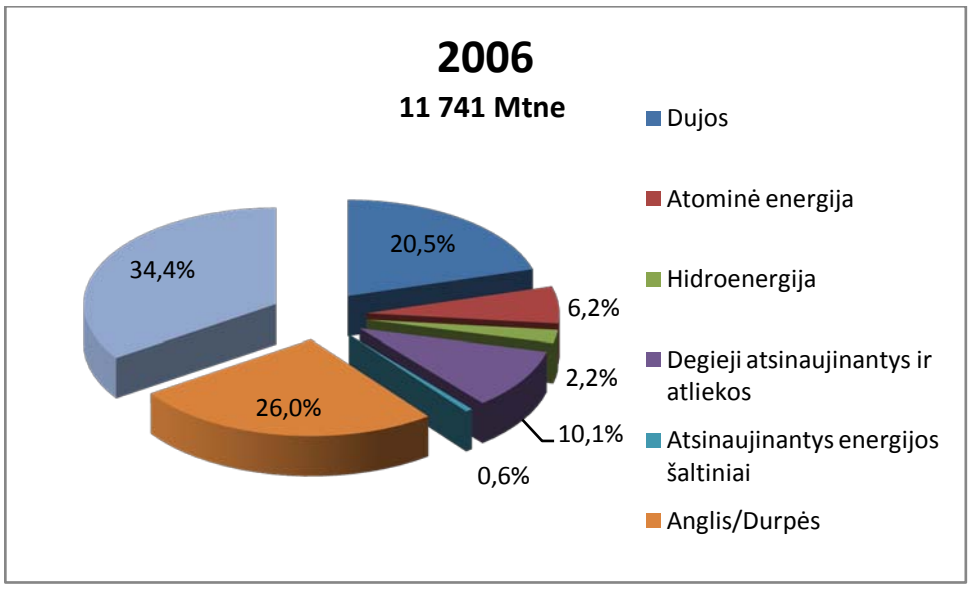
8.2 pav. CO_2 ekvivalentas per metus(8)

Iš paveikslo matome, kad deginant iškastinį kurą į atmosferą išmetamo CO_2 kiekis sudaro didžiausią dalį. Anglies dvideginio (CO_2) dujos yra reikšmingiausios iš šiltnamio efektą sukeliančių dujų sąrašo. Nuo 1970 iki 2004 metų kasmetiniai anglies dvideginio išmetimai išaugo 80%.(8)

Ateities scenarijų modeliavimas leidžia aprašyti pasekmes, kurios gali būti sukeltos šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos padidėjimu. Klimato pokyčio pranešime (8) aprašyti keli ateities modeliavimo scenarijai. Pasekmių modeliavimo scenarijus Europai prognozuoja sekančius pokyčius:

- Pietų Europoje temperatūros padidėjimas sukels geriamojo vandens deficitą, augalinių kultūrų produktyvumo žemės ūkio sektoriuje pablogėjimą, turizmo populiarumo nuosmukį, hidroenergijos potencialo sumažėjimą.
- Klimato pokytis, pasak modeliavimo, padidins žmonių ligų rizika, kuriai įtakos turi šiluminės bangos ir stichinių gaisrų padidėjimas.
- Kalnuotuose regionuose sumažės sniego apkloto plotas ir žiemos turizmas, aip pat numatomas didžiulis biologinių rūšių praradimas.

Kad būtų įmanoma išvengti šias pasekmes, pasaulinė energetikos politika turi būti visiškai reorganizuota. Energetiniu pagrindu turi tapti atsinaujinantys energijos ištekliai, neišskiriantys šiltnamio efektą sukeliančių dujų arba, palyginus su iškastiniu kuru, mažai jų išskiriantys. Pasaulio pirminės energijos pasiskirstymas pagal energijos šaltinius atvaizduojamas paveiksle žemiau.



8.3 pav. Pirminės energijos pasiskirstymas pagal energijos šaltinius, 2006 (9)

Daugiau nei 80 % pasaulio pirminės energijos balanse sudaro iškastiniai energijos šaltiniai, kurių naudojimo eigoje išsiskiria šiltnamio efektą sukeliančios dujos, ir tik 12,9 % sudaro atsinaujinantieji energijos šaltiniai (geoterminė, saulės, vėjo energijos).

Tam, kad pasikeistų dabartinė energetinė situacija pasaulyje, daugelis mokslininkų kuria naujas atsinaujinančiųjų energijos šaltinių panaudojimo technologijas. Taip pat daug dėmesio skiriama esamų technologijų tobulinimui.

Danijos Karalystė pradėjo įgyvendinti ambicingą projektą, kuris leistų tam tikram miesteliui naudoti tik atsinaujinančius energijos išteklius. Šio projekto įgyvendinime dalyvauja Danijos universitetai, jų tarpe ir Olborgo universitetas. Tęsdamas 2008/2009 metais studijas Olborgo universitete, kartu su studentų grupe prisidėjau prie projekto įgyvendinimo ir sumodeliavau miestelio ateities energetinę sistemą. Toliau bus trumpai aprašyti šio darbo rezultatai.

Danijos Frederikshavno (Frederikshavn) miestelis buvo išrinktas kaip labiausiai tinkantis ambicingam projektui įgyvendinti. Danijos energetikos ekspertai pasirinko Frederikshavno miestelį, nes norėjo paversti jį 100% apsinaujinančios energijos miestu. Kitaip sakant, visas miestelio energijos poreikis turėtų būti padengtas naudojant tik atsinaujinančius energijos išteklius.

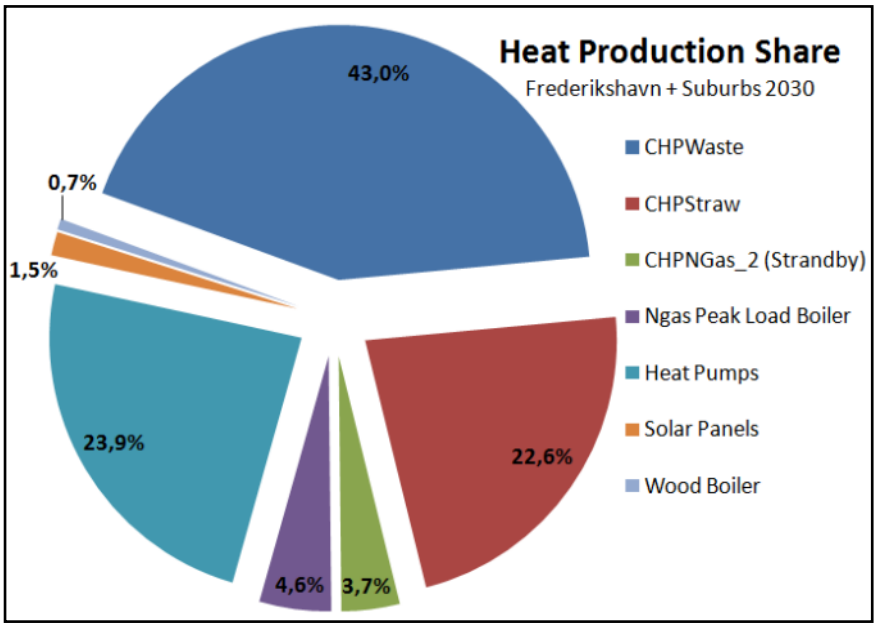
Ši ambicinga projektą planuojama įgyvendinti dviem etapais:

- Iki 2015 metų miestelio energijos poreikis (elektros energija, šiluma ir kuras transportui) turi būti padengtas naudojant 100% atsinaujinančius energijos šaltinius bei importuojant elektros energiją, pagamintą naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, iš skirstomųjų tinklų.

- Sekantis etapas, kai energijos miestas iki 2030 metų bus aprūpinamas energija, pagaminta iš atsinaujinančiųjų energijos išteklių, esančių miestelio savivaldybėje, neimportuojant elektros iš skirstomųjų elektros tinklų.

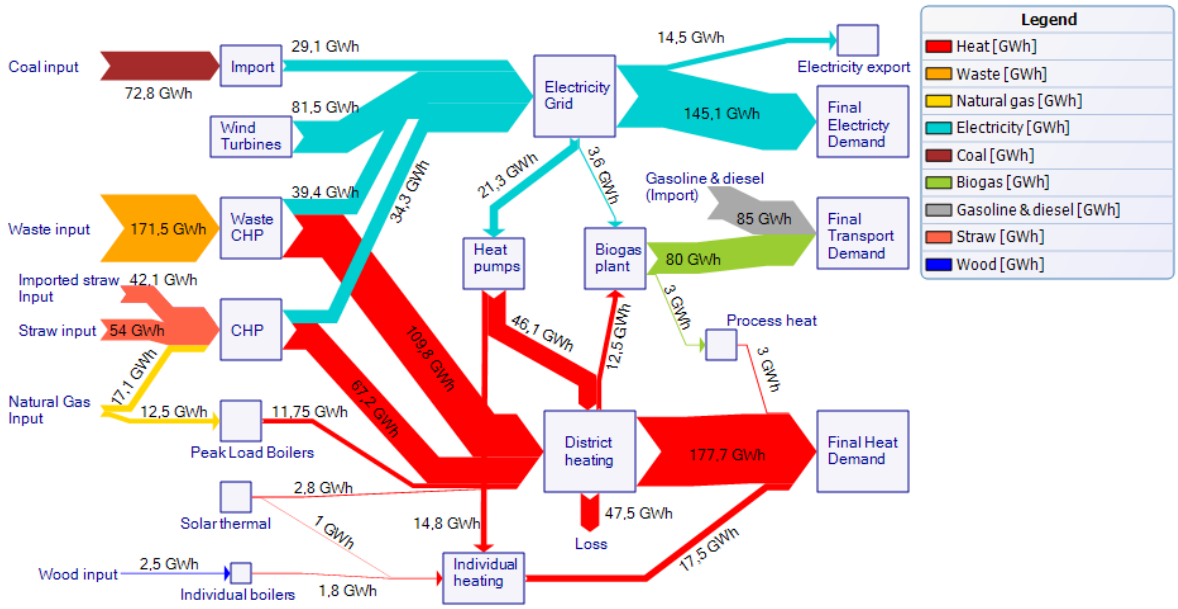
Olborgo universitete, Danijoje, 2008/2009 metais grupė studentų parašė projektą apie technines galimybes ir resursų pakankamumą įgyvendinant šį projektą. Darbo eigoje buvo sumodeliuoti keli scenarijai, pasirenkant tam tikras technologijas. Pagrindinių modeliavimo įrankiu buvo pasirinktas EnergyPlan programinės įrangos paketas. Šios programos išskirtinumas tas, kad visos energetinės sistemos analizė atliekama naudojant valandinius energijos poreikius.

Darbo eigoje buvo sukurti du scenarijai. Pagrindinis šių scenarijų skirtumas yra skirtingas transporto kuras. Pirmame scenarijuje transporto kuro pagrindu buvo pasirinktas biokuras, antrame - elektros energijos varomas transportas.



8.4 pav. Šilumos gamybos pasiskirstymas. Biokuro scenarijus(10)

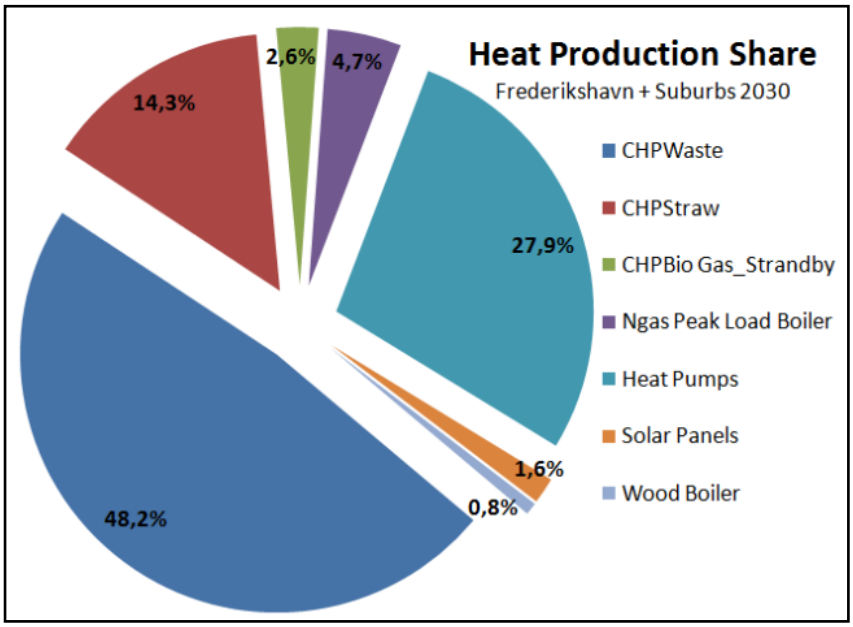
Paveiksle 8.4 yra pavaizduotas procentinis šilumos gamybos pasiskirstymas. Geoterminės energijos dalis sudaro šiek tiek mažiau negu trečdalį (23,9%). Didžiausią dalį sudaro energija, pagaminta deginant atliekas (43,0%). Energijos gamybos iš atliekų būdas nėra apibrėžtas Danijos teisės aktuose kaip atsinaujinantis. Tačiau darbe buvo daroma prielaida, kuri leido priskirti atliekas prie atsinaujinančiųjų energijos išteklių.



8.5 pav. Energijos srautų grafikas. Biokuro scenarijus(10)

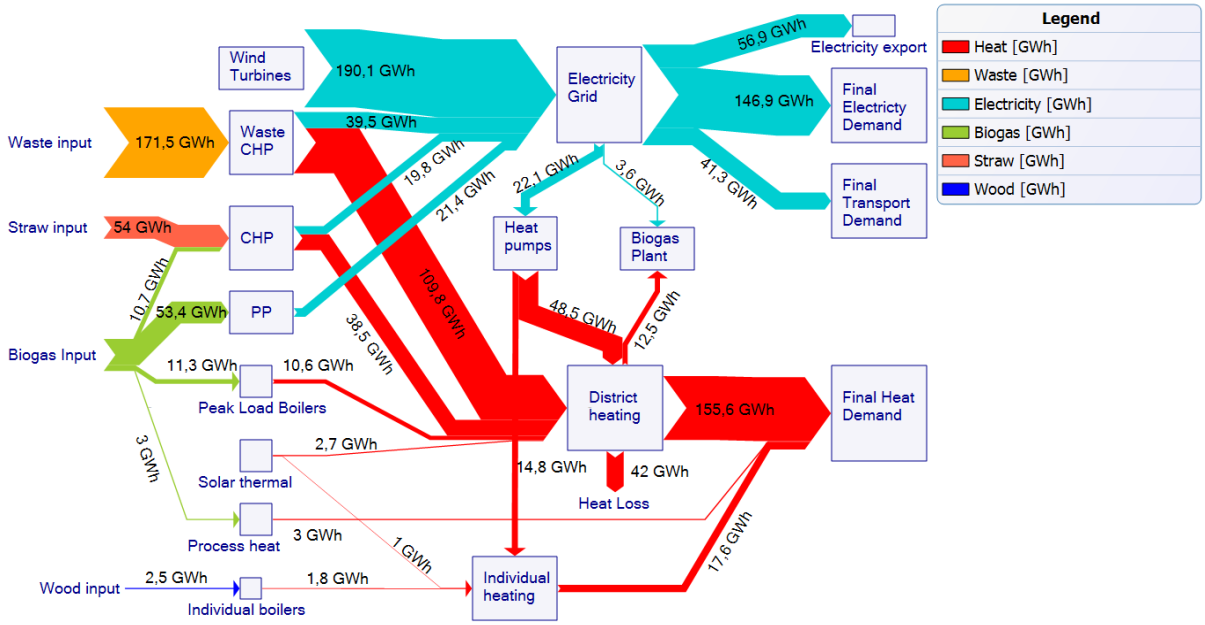
Energijos srautų diagrama atvaizduoja metinį energijos poreikį. Joje šilumos kiekis, pagamintas naudojant šilumos siurblius, sudaro 46,1 GWh, yra tiekiamas į centrinį šilumos tinklą, ir 14,8 GWh, kurie yra gaminami individualiose namuose.

Palyginimui žemiau pateikiami grafikai gauti modeliuojant antrą scenarijų, kur transporto sektoriuje naudojami elektros energijos varomi automobiliai.



8.6 pav. Šilumos gamybos pasiskirstymas. Elektros varomų automobilių scenarijus(10)

Šilumos siurblių gaminamas šilumos kiekis bendrame šilumos gamybos balanse siekia 27,9%.



8.7 pav. Energijos srautų grafikas. Elektros varomų automobilių scenarijus(10)

Iš energijos srautų grafiko matyti, kad šilumos siurblių gaminamas šilumos kiekis, tiekiamas į centrinį tinklą, yra 48,5 GWh, o tai yra šiek tiek daugiau nei biokuro scenarijuje. Individualiuose namuose pagamintas šilumos kiekis lieka nepakitęs.

Kalbant apie atsinaujinančios energijos miestus, akivaizdu, kad geoterminė energija kartu su šilumos siurbliais užima vieną iš pagrindinių pozicijų šilumos gamybos balanse. Šiame pavyzdyje ketvirtadalis visos šiluminės energijos pagaminamas naudojant geoterminį šaltinį. Ir nors tai tik techninių galimybių paremti ateities scenarijai, tačiau geoterminės energijos svarba ateityje yra neginčijama.

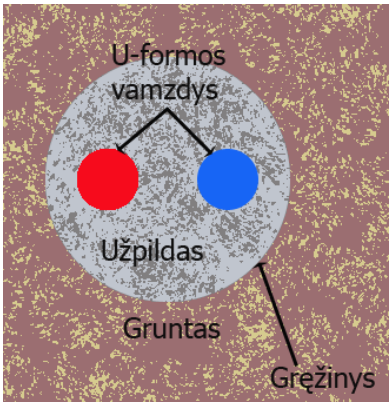
9. VERTIKALIOJO ŠILUMOKAIČIO MODELIAVIMO METODŲ ANALIZĖ

Šiame skyriuje bus apžvelgti įvairūs analitiniai ir skaitmeniniai metodai. Taip pat pateikiama informacija apie specializuotas, vertikalių šilumokaičiu projektavimui skirtas kompiuterines programas, kurios laikomos vienu iš modeliavimo metodų.

9.1. Analitiniai modeliavimo metodai

Analitiniai modeliavimo metodai neatima daug laiko skaičiavimams, tačiau surasti tinkamą analitinį modelį konkrečiam atvejui būna labai sudėtinga arba beveik neįmanoma. Analitinių modelių trūkumas yra tas, kad į modelius nėra įtrauktas vamzdžių ir grėžinių bendros ašies

nebuvimas arba kad tarp vamzdžio ir grunto yra dar vienas užpildas su skirtingomis nuo grunto terminėmis savybėmis (9.1 pav.).



9.1 pav. Gręžinys

Tačiau nepaisant šių trūkumų buvo sukurti keli analitiniai modeliai, su skaičiavimus supaprastinančiomis prielaidomis. Viena iš pagrindinių prielaidų: kai U–formos vamzdis yra pakeičiamas į vieną su „ekvivalentiniu skersmeniu“, kuris turi bendrą ašį su gręžiniu. Ši prielaida leidžia analizuoti geoterminį gręžinį kaip ritinį. Antra prielaida, kai gręžinio gylis yra svarstomas kaip begalinis, kitaip tariant, „begalinės linijos“ prielaida.

9.1.1. Ingersolo ir Zobelio (Ingersoll, L.R.; A.C. Zobel) metodas

Ingersolo ir Zobelio (Ingersoll, L.R.; A.C. Zobel) metodas paremtas lygties, kuri skirta užkasto žemėje ritinio šilumos srautui nustatyti, sprendimu. Stacionaraus šilumos perdavimo lygtis yra šio metodo pagrindas:

$$q = \frac{L(t_{ž} - t_s)}{R} \qquad (9.1)$$

Kur:

q – šilumos srautas, kW;

$t_{ž}$ – žemės temperatūra, ℃;

t_s – skysčio temperatūra, ℃;

L – gręžinio gylis, m;

R – žemės šiluminė varža, $\frac{m \cdot K}{kW}$.

Lygtis 9.1 pertvarkoma taip, kad galima būtų apskaičiuoti reikiamą gręžinio gylį L. Taip pat ši stacionaraus šilumos perdavimo lygtis pertvarkoma, atsižvelgiant į kintamą gruntinio šilumokaičio šilumos srautą, šiluminės galios impulsus. Žemės (grunto) vieno metro šilumos varža nuo laiko apskaičiuojama kaip funkcija atitinkanti laiko tarpą, kurio metu atsiranda tam tikras šilumos

impulsas. Taip pat laiko tarpas įtrauktas į šiuos skaičiavimus: vamzdžio sienelės šiluminės varžos, sąveikos tarp vamzdžio ir juo bėgančio skysčio, sąveikos tarp vamzdžio ir grunto. Toliau matome lygtį, kuri buvo gauta po pertvarkymo:

$$L_g = \frac{q_m \cdot R_{žm} + (q_{1š} - W_š) \cdot (R_v + Z_{men} \cdot R_{žmen} + R_{žd} \cdot F_{tž})}{t_ž - \frac{t_{si} - t_{siš}}{2} - t_n} \quad (9.2)$$

Kur:

L_g – reikalingas gręžinio gylis, m;

q_m –vidutinis metinis šilumos perdavimas į žemę, kW;

$R_{žm}$ – žemės šiluminė varža (metinis impulsas) $\frac{m \cdot K}{kW}$;

$q_{1š}$ – pastato šildymui reikalinga galia, kW;

$W_š$ – elektros energijos poreikis prie projektinės šiluminės galios, kW;

R_v – vamzdžio šiluminė varža, $\frac{m \cdot K}{kW}$;

Z_{men} – santykis tarp vidutinio mėnesinio energijos poreikio ir maksimalaus mėnesinio energijos poreikio;

$R_{žmen}$ – žemės šiluminė varža (mėnesinis impulsas), $\frac{m \cdot K}{kW}$;

$R_{žd}$ – žemės šiluminė varža (dienos impulsas), $\frac{m \cdot K}{kW}$;

$F_{tž}$ – trumpo kontūro šilumos nuostolių koeficientas;

$t_ž$ – nepaveikta žemės temperatūra, ℃;

t_{si} – skysčio temperatūra šilumos siurblio įėjime, ℃;

$t_{siš}$ – skysčio temperatūra šilumos siurblio išėjime, ℃;

t_n – temperatūros mažinimas dėl gretimų gręžinių sąveikos, ℃.

Lygtis susideda iš trijų skirtingų šiluminės galios impulsų, kurie leidžia atsižvelgti į ilgalaikį šilumos disbalansą, vidutinę mėnesinę šiluminę galią per projektinį mėnesį ir maksimalią šiluminę galią per trumpą laiko tarpą (galima naudoti ir vienos valandos laiko tarpą, tačiau patariama naudoti 4 valandų tarpą) per projektinę parą.

Grunto šiluminės varžos skaičiavimui reikia žinoti žemės charakteristikas, vamzdžių išmatavimus ir šiluminės galios impulsų trukmę. Lentelėje toliau pateikiami kai kurių gruntų, uolienų, užpilų charakteristikos.

9.1 lentelė Gruntų, uolienų, užpilų terminės charakteristikos (11)

	Sausos medžiagos tankis kg/m^3	Specifinis šilumos laidumas W/(m·K)	Temperatūrinis laidumo koeficientas m^2/para
Gruntai			
Sunkus molis			
15% vandens	1925	1,4÷1,9	0,042÷0,061
5% vandens	1925	1,0÷1,4	
Lengvas molis			
15% vandens	1285	0,7÷1,0	0,055÷0,047
5% vandens	1285	0,5÷0,9	0,056
Sunkus smėlis			
15% vandens	1925	2,8÷3,8	0,084÷0,11
5% vandens	1925	2,1÷2,3	0,093÷0,14
Lengvas smėlis			
15% vandens	1285	1,0÷2,1	0,047÷0,093
5% vandens	1285	0,9÷1,9	0,055÷0,12
Uolienos			
Granitas	2650	2,3÷3,7	0,084÷0,13
Kalkakmenis	2400÷2800	2,4÷3,8	0,084÷0,13
Smiltainis	2570÷2730	2,1÷3,5	0,065÷0,11
Šlapias skalūnas		1,4÷2,4	0,065÷0,084
Sausas skalūnas		1,0÷2,1	0,055÷0,074
Užpilai			
Bentonitas		0,73÷0,75	
Grynas cementas (nerekomenduojamas)		0,69÷0,78	
20% bentonitas /80% SiO2 smėlis		1,47÷1,64	
15% bentonitas /85% SiO2 smėlis		1,00÷1,10	
10% bentonitas/90% SiO2 smėlis		2,08÷2,42	
30% betonas 70% SiO2 smėlis, plastifikatorius		2,08÷2,42	

Lygtyje 9.2 sunkiausiai yra nustatoma žemės ekvivalentinė terminė varža, nes veikimo laikas , išorinis vamzdžio skersmuo ir žemės temperatūrinis laidumo koeficientas turi ryšį Furjė kriterijaus lygtyje:

$$Fo = \frac{4\alpha_{ž}\cdot\tau}{\delta^2} \qquad 9.3$$

Kur:

F_o – Furjė kriterijus (bedimensinis dydis);

$\alpha_{ž}$ – temperatūros laidumo koeficientas, $m^2/parą$;

δ^2 – charakteringas linijinis matmuo. Šiame skaičiavime tai išorinis vamzdžio skersmuo, m;

τ – veikimo laikas, $para$.

Jeigu sistema modeliuojama trimis šiluminės galios impulsais: 10 metų impulsas (3650 dienos), 1 mėnesio impulsas (30 dienų) ir 6 valandų impulsas (0,25 dienos). Trys laikotarpiai apibūdinami kaip:

$$\tau_1 = 3650 \quad (9.4)$$

$$\tau_2 = 3650 + 30 = 3680 \quad (9.5)$$

$$\tau_f = 3650 + 30 + 0{,}25 = 3680{,}25 \quad (9.6)$$

Tada Furjė kriterijus apskaičiuojamas pagal šias lygtis:

$$Fo_f = 4\alpha\tau_f/\delta^2 \quad (9.7)$$

$$Fo_1 = 4\alpha(\tau_f - \tau_1)/\delta^2 \quad (9.8)$$

$$Fo_2 = 4\alpha(\tau_f - \tau_2)/\delta^2 \quad (9.9)$$

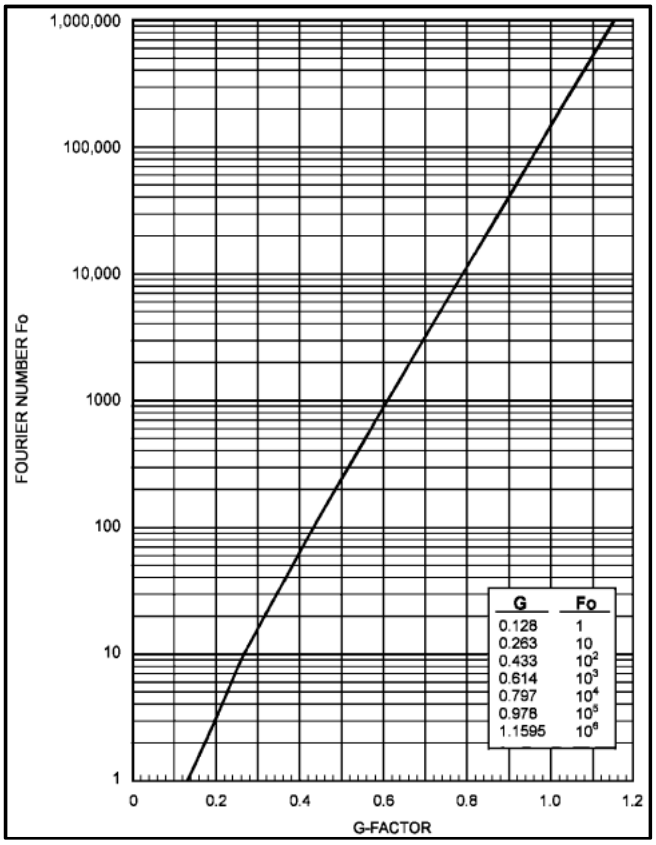
Visi didžiai kaip ir 9.3 lygtyje.

Apskaičiavus Furjė kriterijų, grafiniu būdu nustatomas G-faktorius iš 9.3 grafiko kiekvienam Furjė kriterijui.

Grunto šilumos perdavimo koeficientai pateikiami 9.2 lentelėje.

9.2 lentelė Gręžinių šiluminės varžos (HDP vamzdis) (11)

Vamzdžio skersmuo, mm	Gręžinio užpildo šilumos perdavimo koeficientas, W/m·K					
	100 mm skersmens gręžinys			150 mm skersmens gręžinys		
	0,86	1,73	2,60	0,86 1,73	2,60	0,86
20	0,33	0,16	0,10	0,40	0,19	0,14
25	0,29	0,14	0,10	0,35	0,17	0,12
30	0,26	0,14	0,08	0,31	0,16	0,10



9.2 pav. Furjė kriterijaus ir G-faktoriaus grafikas (11)

Metodikos aprašas paimtas iš (11).

9.1.2. Kiti analitinio modeliavimo metodai

Ingersolo (L.R. Ingersoll) modelis numato praktinį Kelvino linijinio šaltinio teorijos panaudojimą. Numatoma, kad terpė nuo pat pradžių turi nekintančią temperatūrą, į kurią patalpinamas be galo ilgas, pastovaus šilumos srauto linijinis šaltinis.

Harto ir Kouviliono (D. P. Hart, R. Couvillion) modelis, taip pat kaip ir prieš tai aprašytame Ingersolo modelyje, naudoja Kelvino linijinio šaltinio teoriją.

Kavano (S. P. Kavanaugh) modelis kaip savo pagrindą naudoja cilindrinį šaltinį. Šiame modelyje gręžinys nagrinėjamas kaip vienas izoliuotas vamzdis begalinėje terpėje su pastoviais parametrais. Daroma prielaida, kad šilumos mainų procesas susideda tiktai iš šilumos laidumo. Gruntinio vandens tekėjimas bei terminė sąveika tarp gretimų šilumos zondų nėra vertinami. (12)

9.2. Skaitmeniniai modeliavimo metodai

Skaitmeniniai modeliavimo metodai turi pranašumą dėl jų galimybių įvertinti sudėtingą ,gręžinių bei juose esančių vamzdžių, geometriją. Tačiau skaitmeniniai metodai yra brangesni naudoti ir jie geriau tinka modeliuojant trumpus laikotarpius. Sukurta daug skaitmeninių

modeliavimo metodų, kurie sujungia savyje analitinį bei skaitmeninį modeliavimą; kai kurie iš šių modelių aprašyti žemiau.

9.2.1. Eskilsono (P. Eskilson) metodas

Šis modelis paremtas belimensiu temperatūros priklausomybės koeficientu, kitaip vadinamu g-funkcija. Šis koeficientas apskaičiuojamas dviem etapais. Visų pirma modeliuojamas vienas gręžinys naudojant dvimatį baigtinių skirtumų modeliavimą tam, kad galima būtų nustatyti šilumos impulso priklausomybę. Gręžinys baigtinių skirtumų modelyje turi baigtinį ilgį ir skersmenį. Skaitmeniniame modelyje gręžinio šiluminė varža nevertinama, ji apskaičiuojama atskirai. Naudojant vieno gręžinio erdvinį temperatūros sklidimą, suformuojama erdvinė superpozicija, tam kad galima būtų nustatyti iš anksto pasirinkto gręžinio konfigūracijos priklausomybę nuo šilumos impulso. Kai gręžinio išorinės sienelės temperatūra ir laiko priklausomybė yra „non-dimensionalized“ (procesas, kurio metu pašalinamos visos dimensijos keičiant kintamuosius), rezultatas - gaunama bedimensė temperatūra ir bedimensė laiko kreivė, tai ir yra g-funkcija. Individualus santykio koeficientas, kuris apibrėžia temperatūros priklausomybę nuo šilumos impulso ilgio vienete, surandamas interpoliuojant g- funkciją.

Kai priklausomybės koeficientas apskaičiuotas, gruntinio šilumokaičio priklausomybė nuo bet kokios gaunamos šilumos per laiko vienetą gali būti nustatyta išskaidant gaunamą šilumą per laiko vienetą į vienetinių žingsninių funkcijų rinkinį. Tada gruntinio šilumokaičio priklausomybė nuo kiekvienos vienetinės žingsnio funkcijos gali būti perkelta tam, kad būtų nustatyta bendra priklausomybė.

9.2.2. Kiti skaitmeninio modeliavimo metodai

Mejo ir Emersono (V. C. Mei, C. J. Emerson) modelis skirtas horizontaliems šilumokaičiams. Į šį modelį buvo įtrauktas dar vienas, užšalusios žemės efekto aplink šilumokaitį, modelis. Šiame modelyje trijų diferencialinių lygčių sprendimui, kurios aprašo šilumos laidumą per vamzdį, užšalusios zonos formaciją ir tolimą lauko regioną, buvo naudojamas baigtinių skirtumų metodas.

Murojo modelis (N. K Muraya) sudarytas iš dvimačio baigtinių didžių modelio, kuris sprendžia temperatūros sąveiką tarp U-formos vamzdžio atšakų.

Egzistuoja ir Šonderio ir Beko (J. A. Shonder, J. V. Beck) vienmatis temperatūrinio lauko modelis, kur U-formos vamzdis traktuojamas kaip vienas ekvivalentinio skersmens vamzdis.

9.3. Kompiuterinės modeliavimo programos

Šis poskyris skirtas modeliavimo programoms aprašyti.

Žemės šilumokaičių modeliavimas daromas kompiuterinėmis programomis kurias lengva naudoti (easy-to-use). Dauguma šiuo metu naudojamų programų paremtos g-funkcijos modeliu. Šis metodas yra kompromisas tarp taip vadinamų „didžiojo piršto taisyklių“ (rules of thumb) ir lentelių iš vienos pusės, ir daug laiko atimančio skaitmeninio modeliavimo - iš kitos. Kitos programos, kurios sukurtos ne g-funkcijos metodo pagrindu irgi bus trumpai apibūdinamos.

Teisingas gruntinio šilumokaičio parinkimas, nesvarbu ar horizontalaus, ar vertikalaus, yra esminis etapas nepriekaištingam ir efektyviam šilumos siurblio, naudojančio geoterminę energiją, darbui. Egzistuoja dvi pagrindinės situacijos projektuojant vertikalų gruntinį šilumokaitį:

- Maksimalus šilumos poreikis trumpam laikui esant projektinei žiemos oro temperatūrai, neįvertinus skysčio temperatūros kritimo.
- Ilgalaikis ir stabilus sistemos darbas.

Toliau pateikiamas kompiuterinių programų bei jų sukūrusių institucijų sąrašas.

9.3 lentelė Kompiuterinių programų sąrašas(13)

Pavadinimas	Šaltinis
GchpCalc	Energy Information Services, Tuscaloosa AL, JAV
EED	Lund University, Švedija
GLHEPRO	IGSHPA, Stillwater OK, JAV
CLGS	IGSHPA, Stillwater OK, JAV
RIGHT-LOOP	Wright Associates, Lexington MA, JAV
ECA	Elite Software Inc., Bryan TX, JAV
WFEA	Water Furnace Int. Inc., Fort Wayne IN, JAV
GS2000	Caneta Research Inc., Mississauga ON, Kanada
GL-Source	Kansas Electric Utility, Topeka KS, JAV
GEOCALC	HVACR Programs, Ferris State , Big Rapids MI, JAV

Tolesniuose poskyriuose bus pateikiama detalesnė informacija apie kompiuterines modeliavimo programas.

9.3.1. EED Earth Energy Designer

EED kompiuterinė programa skirta vertikaliųjų gruntinių šilumokaičių projektavimui. Ja lengva išmokti naudotis per labai trumpą laiką. Trumpas skaičiavimo laikas ir įdiegta duomenų bazė daro šią programą tinkančia kasdieniniam projektavimui. Programa apskaičiuoja skysčio, tekančio gruntinio šilumokaičio vamzdžiais, temperatūra esant mėnesiniam šilumos poreikiui. Duomenų bazėje sukaupti duomenys apie gruntų temperatūrines, vamzdžių ir šilumnešių charakteristikas. Mėnesiniai pastato šilumos poreikiai yra būtini. Pagal juos programa atlieka skaičiavimus. Vietoj mėnesinių pastato šilumos poreikių vartotojas gali įvėsti pikinius, maksimalius

trumpalaikius šilumos poreikius. Programa leidžia išspausdinti tekstinius ir grafinius modeliavimo rezultatus. Gręžinio šiluminė varža apskaičiuojama įvertinant gręžinio geometriją, užpilo medžiagą, vamzdžio geometriją ir medžiagą. Gręžinių pasiskirstymas gali būti pasirinktas iš 798 kombinacijų sąrašo (14).

9.3.2. GchpCalc

Šis programinės įrangos paketas skirtas inžinieriams, kurie projektuoja vertikalius gruntinius šilumokaičius. Ši programa reikalauja žinių apie šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemas. Taip pat reikalingas supratimas apie šilumos siurblius, naudojančius geoterminę energiją. Projektavimas prasideda šilumos poreikio / šalčio poreikio įvedimu. Po to parenkamas šilumos siurblys. Duomenų bazėje yra dvylikos gamintojų šilumos siurblių modeliai. Uolienos charakteristikos yra įvedamos informaciniais langais, tai daro programos naudojimą labai nesudėtingą. Programa leidžia pakeisti visus duomenis ir pažiūrėti, kaip pasikeis sistema.(15)

9.3.3. GLHEPRO

Ši kompiuterinė programa skirta gruntinių šilumokaičių projektavimui. Projektavimo metodika remiasi modeliavimu, kuris prognozuoja gruntinio šilumokaičio temperatūros priklausomybę nuo mėnesinių šilumos poreikių. Projektavimo metu gruntinio šilumokaičio ilgis yra parenkamas automatiškai, atsižvelgiant į vartotojo pasirinktas skysčio, įtekančio į šilumos siurblį, temperatūras.

Temperatūros priklausomybės prognozavimas susideda iš trijų dalių: paprastas šilumos siurblio modelis, leidžiantis paversti pastato šilumos poreikius į absorbuojamos šilumos poreikį; ilgalaikė gruntinio šilumokaičio temperatūros priklausomybė nuo absorbuojamos šilumos, kuri remiasi detaliu šilumos laidumo modeliavimu; ir trumpalaikė gruntinio šilumokaičio temperatūros priklausomybė, kuri apskaičiuojama naudojant supaprastintą analitinį modelį. (16)

9.4. Apibendrinimas

Kompiuterinių programų gaunami modeliavimo rezultatai yra tikslesni, palyginus su rezultatais gautais naudojant analitinius modelius, nes daugelis analitinių metodų neįvertina tai, kad vamzdžiai ir gręžinys turi skirtingas ašis arba kad tarp vamzdžio ir grunto yra užpilas. Skaitmeninių modelių taikymas reikalauja arba labai daug laiko, arba baigtinių elementų kompiuterinių programų taikymo. Baigtinių elementų programos yra labai brangios bei jų naudojimas reikalauja tam tikros patirties ir žinių. Todėl kompiuterinių programų, skirtų gruntinių šilumokaičių projektavimui, naudojimas yra priimtiniausias metodas tolimesniam modeliavimui.

Tolimesniam modeliavimui naudosime Earth Energy Designer 3.0 (EED) kompiuterinę programą. Pasirenkat šį programinės įrangos paketą buvo vertinami keli reikšmingi kriterijai. Buvo vertinamas programos prieinamumas, programoje naudojami vienetai, modeliavimo rezultatai ir vartojimo aprašo egzistavimas. Programoje pagal nutylėjimą naudojami SI sistemos vienetai. Yra galimybė parsisiųsti iš internetinio programos puslapio bandomąją versiją, kurioje uždraustas grunto parametrų keitimas. Visi kiti programos parametrai yra prieinami. Taip pat egzistuoja vartojimo aprašas, kurio pagalba per trumpą laikotarpį galima nesunkiai pramokti naudotis šia programa.

10. VERTIKALIOJO ŠILUMOKAIČIO MODELIAVIMAS

Tam, kad galima būtų pradėti modeliavimą, reikia nustatyti gyvenamojo namo mėnesinius šilumos poreikius. Mėnesinių šilumos poreikių skaičiavimas buvo atliktas pagal STR 2.09.04: 2002 „Pastato šildymo sistemos galia“. Nuo 2008 m. gegužės 12 d. įsigaliojo naujas statybos techninis reglamentas STR 2.09.04: 2008 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui“. Tačiau buvo priimtas sprendimas neperskaičiuoti mėnesinius šilumos poreikius naudojant naują metodiką, nes didžiausia vertikalaus šilumokaičio modeliavimo dalis buvo atlikta per tiriamuosius darbus, kai dar nebuvo įsigaliojęs statybos techninis reglamentas STR 2.09.04: 2008.

10.1. Pastato mėnesinis šilumos poreikis

Šiame poskyryje pateikiami mėnesiniai šilumos poreikiai šildymui. Skaičiavimo tarpinių rezultatų lentelės pateikiamos prieduose.

10.1 lentelė Mėnesiniai šilumos poreikiai šildymui

Mėnuo	Diena	Vidutinė mėnesio temperatūra, °C	$\sum \Phi_{el}^{m}+ \sum \Phi_{\psi}^{m}+\Phi_{ev}^{m}+ \Phi_{in}^{m}$ W	$Q_{el} + Q_{\Psi} + Q_{v}$, kWh	Q_{sg}, kWh	Q_{ig}, kWh	Q_{h}, kWh	Q_{hs}, kWh
9.23-10.1	7	11,6	1919	322,33	145,76	61,03	156,90	161,75
10.1-11.1	31	6,6	3215	2392,00	353,97	270,28	1892,60	1951,13
11.1-12.1	30	1,2	4615	3322,91	147,35	323,80	2945,99	3037,10
12.1-01.1	31	-2,9	5678	4224,58	138,63	334,59	3846,00	3964,95
01.1-02.1	31	-6,1	6508	4841,87	222,26	334,59	4396,38	4532,35
02.1-03.1	29	-4,8	6171	4294,89	422,71	313,01	3706,32	3820,95
03.1-04.1	31	-0,6	5082	3780,90	805,36	270,28	2920,39	3010,71
04.1-05.1	30	5,7	3448	2482,85	852,23	261,56	1591,82	1641,05

Kur:

$\sum \Phi_{el}^{m}$ – patalpos suminiai vidutiniai mėnesio šilumos nuostoliai per atitvaras, W;

$\sum \Phi_{\psi}^{m}$ – suminiai vidutiniai mėnesio šilumos nuostoliai per ilginius šilumos tiltelius, W;

$\boldsymbol{\Phi}_{\mathbf{ev}}^{\boldsymbol{m}}$ – šilumos nuostoliai dėl priverstinės vėdinimo sistemos veikimo, W;

$\boldsymbol{\Phi}_{\mathbf{in}}^{\boldsymbol{m}}$ – šilumos nuostoliai dėl išorės oro infiltracijos, W;

Qv – nagrinėjamo mėnesio vidutinis projektinis šilumos poreikis patalpos šildymui dėl vėdinimo nuostolių, kWh;

Q_{ψ} – nagrinėjamo mėnesio vidutinis projektinis šilumos poreikis patalpos šildymui dėl nuostolių per ilginius šilumos tiltelius, kWh;

Q_{el} – nagrinėjamo mėnesio vidutinis projektinis šilumos poreikis patalpos šildymui dėl šilumos nuostolių per atitvaras, kWh;

Q_{ig} – mėnesio vidutinė nuo vidinių šilumos šaltinių išsiskyrusi į patalpą šiluma, kWh;

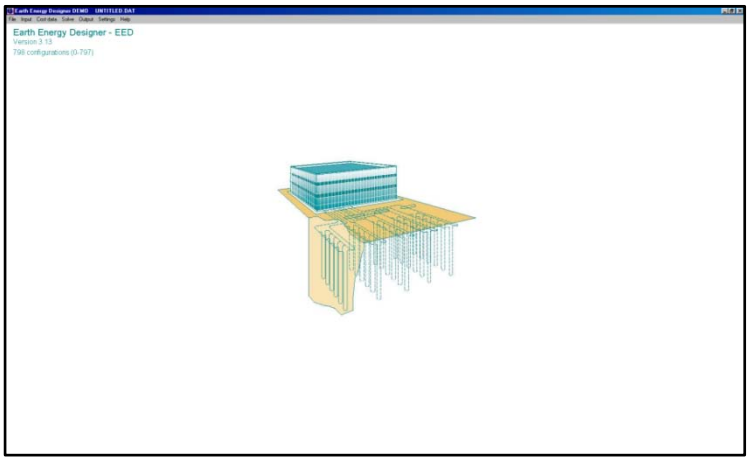
Q_{sg} – mėnesio vidutinė į patalpą iš išorės pritekėjusi šiluma dėl saulės spinduliuotės, kWh;

Q_{hs} – mėnesio vidutinis projektinis šilumos poreikis pastato šildymui, kWh;

Q_{h} – mėnesio vidutinis projektinis šilumos poreikis patalpos šildymui, kWh.

10.2. Mėnesinių šilumos poreikių įvedimas į EED

Atidarę EED (Earth energy designer) kompiuterinę programą išvysime darbo lauką, kuris pavaizduotas 10.1 paveiksle.



10.1 pav. EED darbo laukas

Toliau pereiname į krentantį menių INPUT viršutiniame dešiniajame krašte ir ten pasirenkame Base Load menių. Atsidaro duomenų įvedimo langas (10.2 pav.).

Pasirinkę mėnesinius energijos poreikius (Monthly energy values), įvedame 10.1 poskyryje pateiktas vidutinių mėnesinių šilumos poreikių reikšmes.

Prie mėnesinių šilumos poreikių ir karšto vandens metinio poreikio yra langeliai su užrašu SPF (Sesonal Performance Factor) - Sezoninis efektyvumo kriterijus:

$$SPF = \frac{\int_{t=0}^{t} \Phi_{\text{išn.}} \mathrm{dt}}{\int_{t=0}^{t} \Phi_{\text{pat.}} \mathrm{dt}} \qquad 10.1$$

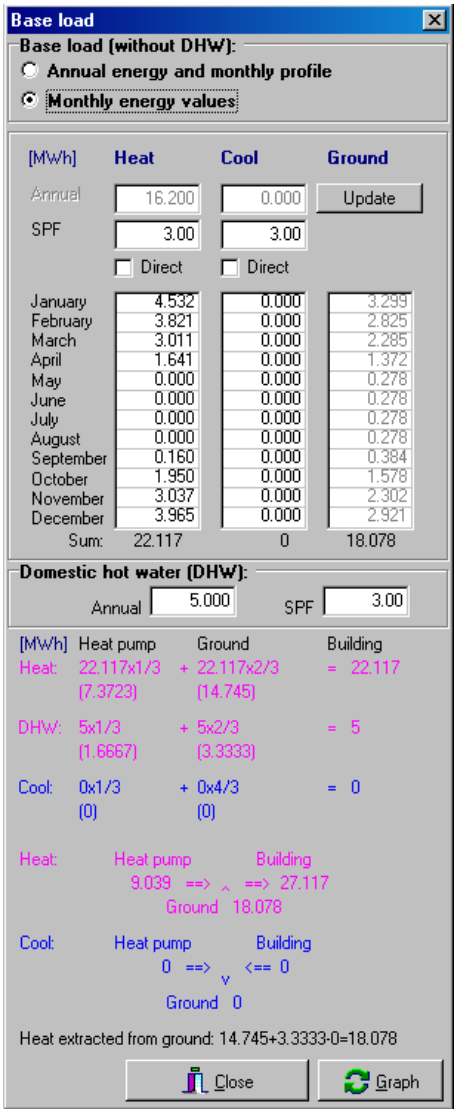
Kur:

$\Phi_{\text{išn.}}$ – naudinga energija;

$\Phi_{\text{pat.}}$ – pateikta energija;

dt – laiko intervalas.

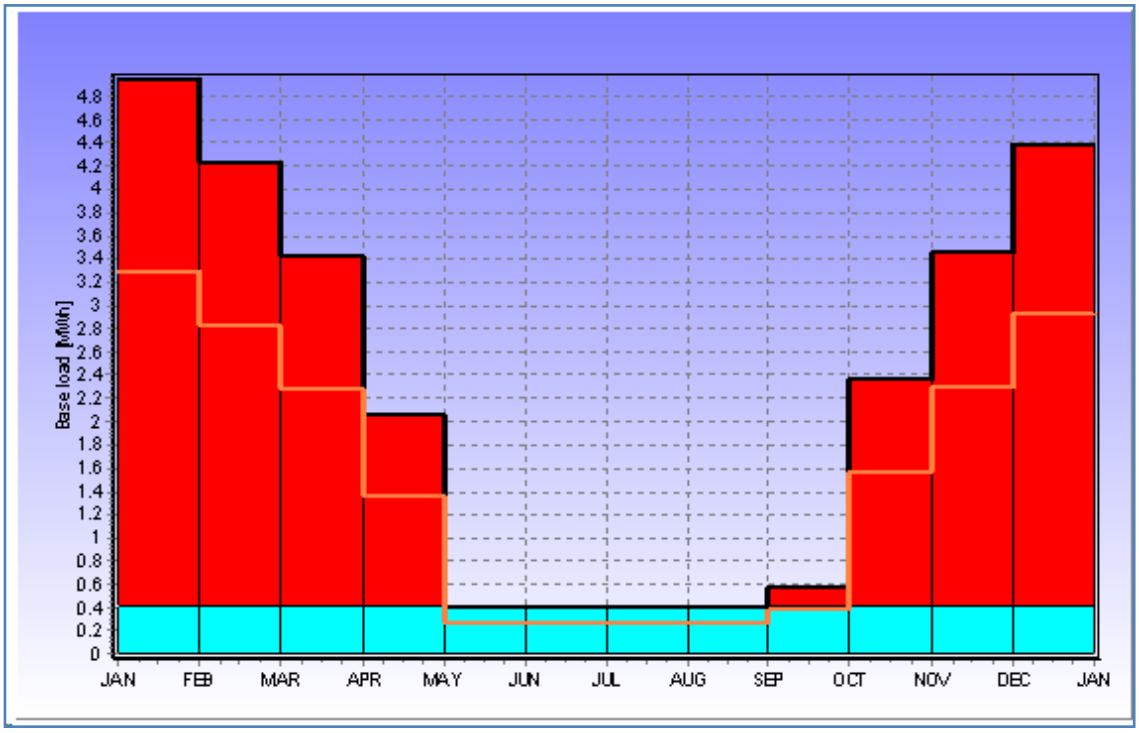
Kitaip tariant, sezoninis efektyvumo kriterijus - tai energetinės sistemos efektyvumas prie nepastovių sąlygų per tam tikrą laiką, dažniausiai per metus. Pagal nutylėjimą sezoninis efektyvumo kriterijus lygus 3.



10.2 pav. Mėnesinių šilumos poreikių įvedimas

Metinis šilumos poreikis karštam vandeniui ruošti pagal nutylėjimą paliktas 5,00 MWh.

Įvedus visus reikiamus parametrus programa paskaičiuoja metinį energijos poreikį. Šiuo atveju jis lygus 27,117 MWh. Programa leidžia peržiūrėti mėnesinius šilumos poreikius grafiko pavidalu (10.3 pav.).



10.3 pav. Mėnesiniai šilumos poreikiai

Raudonos spalvos stulpeliai atvaizduoja mėnesinį šilumos poreikį šildymui, o mėlynos - šilumos poreikį karšto vandens ruošimui.

10.3. Gręžinio ir gruntinio šilumokaičio definicija

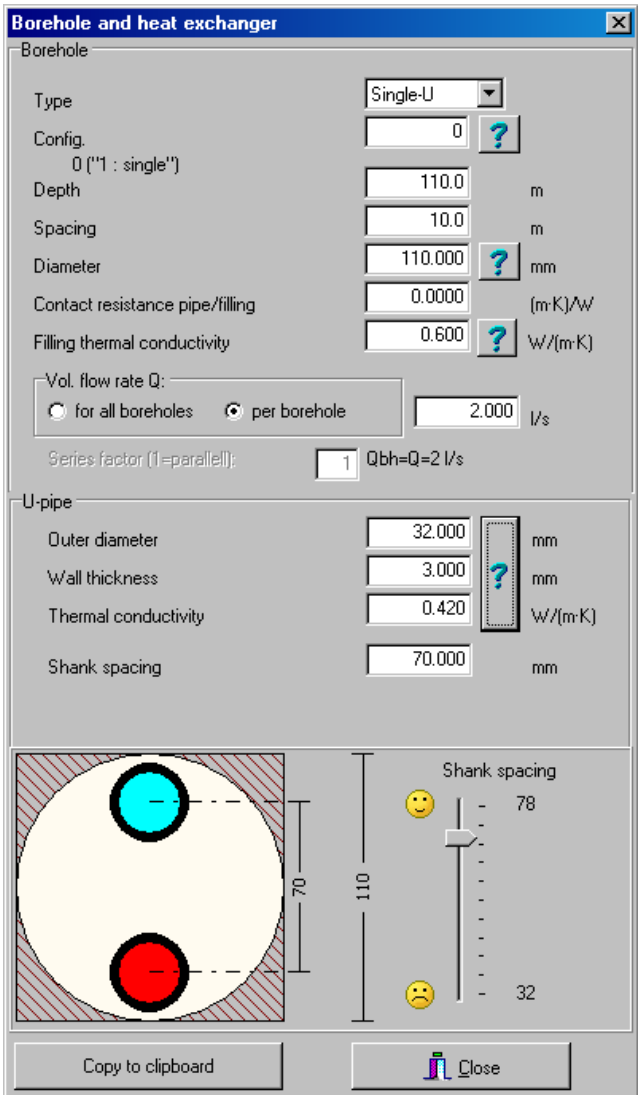
Paspaudė INPUT, toliau Borehole and Heat exchanger atsidaro gręžinio ir gruntinio šilumokaičio langas (10.4 pav.).

Šiame lange galima pasirinkti vertikalaus gruntinio šilumokaičio tipą, gylį, atstumą tarp šilumokaičių (jeigu projektuojami keli). Taip pat pasirenkamas gręžinio skersmuo, užpilo šilumos laidumas, debitas.

Vamzdžio apibrėžimo lango dalyje (U-pipe) galima įvesti vamzdžio skersmenį, sienelių storį, šilumos laidumą bei tarpą tarp dviejų vamzdžių.

Tolimesniame vertikalių gruntinių šilumokaičių modeliavime bus keičiami tik du parametrai. Pirmas – vertikalaus gruntinio šilumokaičio tipas. Bus modeliuojami trys šilumokaičių tipai: vienas vertikalus gruntinis šilumokaitis su 1 U-formos vamzdžių, du vertikalus gruntiniai šilumokaičiai su 1

U-formos vamzdžių ir vienas vertikalus gruntinis šilumokaitis su 2 U-formos vamzdžiais. Antras parametras kuris bus keičiamas - tai gręžinio gylis.

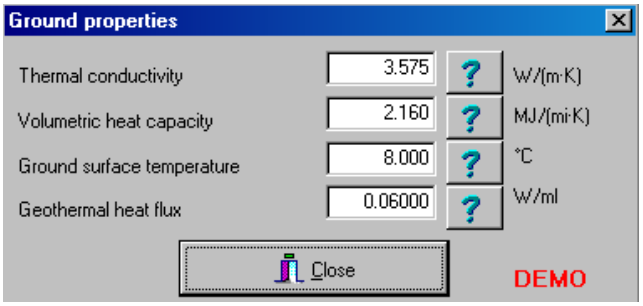


10.4 pav. Gręžinio bei šilumokaičio parametrai

Paspaudus klaustuką prie duomenų įvedimo langelio atsidaro duomenų bazė, iš kurios galima pasirinkti reikiamus parametrus.

10.4. Grunto parametrai

Grunto parametrų langas (pav. 10.5) taip pat yra INPUT krentančiame meniu. Modeliavime naudojama bandomoji programos versija (DEMO), kuri neleidžia keisti grunto parametrų. Tačiau iš paveikslo žemiau matome, kad, norint projektuoti konkrečios vietovės vertikalų gruntinį šilumokaitį, reikia žinoti šilumos laidumą, turinę šiluminę talpą, žemės paviršiaus temperatūrą bei geoterminį šilumos srautą.



10.5 pav. Grunto parametrai

Programos vidinėje duomenų bazėje yra informacija apie Lietuvos gruntų charakteristikas.

10.2 lentelė Gruntų temperatūros ir šilumos srautai

	Kaunas	Klaipėda	Vilnius
Žemės paviršiaus temperatūra, °C	6,5	7,0	6,0
Geoterminis šilumos srautas, W/m^2	0,03	0,07	0,04

Lietuvos grunto paviršiaus temperatūros taip pat pateikiamos Statybinės klimatologijos RSN 156-94 (17) normose.

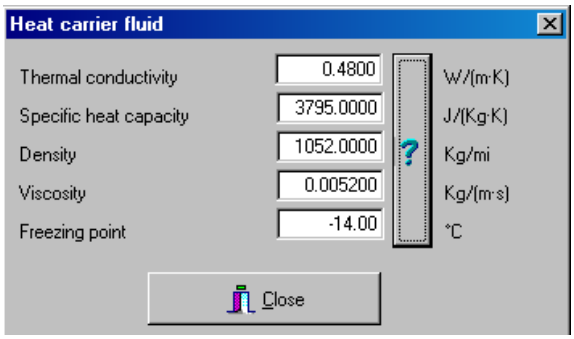
10.3 lentelė Vidutinė mėnesio ir metinė dirvos paviršiaus temperatūra, °C (17)

Stotys	Dirvožemis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Metinė
Biržai	Priesmėlis su humuso priemaiša	-6	-6	-3	6	14	19	20	18	12	6	1	-3	7
Telšiai	Velėninis sluoksnis su dideliu humuso kiekiu	-5	-5	-2	6	14	19	20	18	12	7	1	-2	7
Klaipėda	Smėlis, priesmėlis	-4	-3	0	7	15	21	22	20	14	8	3	-1	9
Laukuva	Priesmėlis su humuso priemaiša	-6	-6	-3	5	13	19	20	18	12	6	1	-3	6
Ukmergė	Priesmėlis su nežymia humuso priemaiša	-6	-6	-2	6	15	20	20	19	13	7	1	-3	7
Kybartai	Lengvas priemolis	-5	-5	-1	7	15	20	21	19	13	7	2	-2	8
Vilnius	Velėninis-jaurinis ir priesmėlio	-7	-6	-2	6	13	19	19	18	12	6	1	-3	6
Varėna	Smėlis su humuso priemaiša	-6	-6	-3	7	15	20	21	19	13	7	2	-3	7

Šilumos laidumo bei turinės šilumos talpos reikšmes galima pasirinkti iš plačios grunto vidinės duomenų bazės.

10.5. Šilumnešio parametrai

Šilumnešio, tekančio gruntinio šilumokaičio vamzdžiais, parametrai nustatomi atidarius Heat Carrier fluid langą (10.6 pav.).

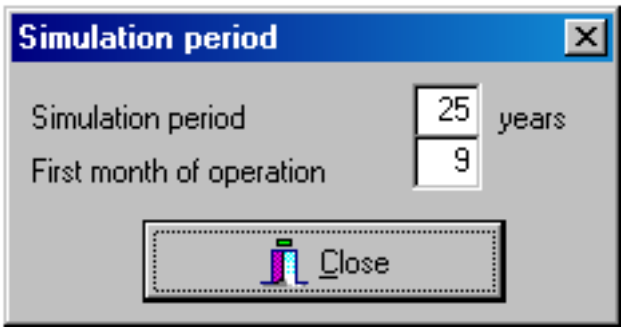


10.6 pav. Šilumnešio parametrai

Šilumnešio tipą bei jo parametrus galima pasirinkti naudojant vidinę duomenų bazę. Bet, kaip jau buvo minėta, modeliavimo eigoje šilumnešio tipas bei jo parametrai nebus keičiami.

10.6. Modeliavimo laikotarpis

Modeliavimo laikotarpio nustatymo lange galima pasirinkti, koks laikotarpis bus nagrinėjamas. Taip pat galima pasirinkti veikimo pradžios mėnesį (10.7 pav.).



10.7 pav. Modeliavimo laikotarpis

Paveikslėlyje pavaizduotas modeliavimo laikotarpis atitinka darbe nagrinėjamą laikotarpį. Norint maksimaliai priartinti modeliavimą prie realios situacijos, eksploatacijos pradžia numatoma rugsėjo mėnesį.

11. MODELIAVIMO REZULTATAI

Kaip jau buvo minėta ankstesniame skyriuje, modeliavimas buvo atliktas keičiant vertikalaus gruntinio šilumokaičio tipą bei ilgį. Taigi visi kiti parametrai išlieka pastovūs:

GRUNTAS

- Grunto šilumos laidumas 3,50 W/(m·K)
- Grunto turinė šiluminė talpa 2,160 MJ/(m^3·K)
- Geoterminis šilumos srautas 0,060 W/m^2

GRĘŽINYS

- Atstumas tarp gręžinių 10,00 m
- Gręžinio skersmuo 110,00 mm
- U – formos vamzdžio skersmuo 32,0 mm
- U – formos vamzdžio sienelių storis 3,00 mm
- U – formos vamzdžio šilumos laidumas 0,420 W/(m·K)
- Užpilo šiluminis laidumas 0,60 W/(m·K)

ŠILUMNEŠIS

- Šilumnešio šilumos laidumas 0,48 W/(m·K)
- Specifine šiluminė talpa 3795 J/(Kg·K)
- Šilumnešio tankis 1052 Kg/m^3
- Klampumas 0,0052 Kg/(m·s)
- Užšalimo taškas - 14,0 °C
- Debitas 1,0 l/s

11.1. Viengubasis gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu

Viengubasis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu modeliuojamas keičiant gylį nuo 70 m iki 160 m. Šilumnešio temperatūros pateikiamos toliau (11.1 lentelė).

Šilumos siurblio eksploatacija prasideda rugsėjo mėnesį, tai matyti iš lentelės. Duomenys apie šilumnešio temperatūras pateikiamos nuo rugsėjo mėnesio.

11.1 lentelė 1-U-1 modeliavimo rezultatai

Metai					
70,00 m					
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Mėnuo	**1**	**2**	**5**	**10**	**25**
Sausis	-	-14,15	-15,15	-15,51	-15,78
Vasaris	-	-11,53	-12,46	-12,82	-13,08
Kovas	-	-8,23	-9,10	-9,44	-9,71
Balandis	-	-2,35	-3,16	-3,50	-3,76
Gegužė	-	4,92	4,15	3,82	3,56
Birželis	-	5,33	4,61	4,28	4,03
Liepa	-	5,56	4,87	4,55	4,30
Rugpjūtis	-	5,71	5,06	4,74	4,49
Rugsėjis	6,12	5,13	4,51	4,20	3,95
Spalis	-1,69	-2,52	-3,11	-3,42	-3,67
Lapkritis	-6,78	-7,51	-8,07	-8,37	-8,62
Gruodis	-11,23	-11,88	-12,42	-12,72	-12,96
80,00 m					
Sausis	-	-11,24	-12,14	-12,49	-12,76
Vasaris	-	-8,95	-9,79	-10,13	-10,40
Kovas	-	-6,06	-6,85	-7,18	-7,44
Balandis	-	-0,91	-1,65	-1,98	-2,24
Gegužė	-	5,45	4,75	4,43	4,17
Birželis	-	5,81	5,14	4,84	4,58
Liepa	-	6,01	5,37	5,07	4,82
Rugpjūtis	-	6,14	5,53	5,24	4,98
Rugsėjis	6,52	5,63	5,05	4,76	4,51
Spalis	-0,32	-1,07	-1,62	-1,91	-2,16
Lapkritis	-4,78	-5,43	-5,96	-6,24	-6,49
Gruodis	-8,68	-9,26	-9,77	-10,05	-10,29
90,00 m					
Sausis	-	-8,96	-9,78	-10,10	-10,37
Vasaris	-	-6,92	-7,69	-8,00	-8,28
Kovas	-	-4,35	-5,07	-5,38	-5,65
Balandis	-	0,22	-0,45	-0,76	-1,02
Gegužė	-	5,88	5,24	4,94	4,68
Birželis	-	6,20	5,59	5,30	5,04
Liepa	-	6,38	5,80	5,52	5,26
Rugpjūtis	-	6,49	5,94	5,66	5,41
Rugsėjis	6,84	6,04	5,51	5,24	4,98
Spalis	0,76	0,09	-0,42	-0,69	-0,94
Lapkritis	-3,21	-3,80	-4,28	-4,55	-4,80
Gruodis	-6,68	-7,20	-7,66	-7,93	-8,18
100,00 m					
Sausis	-	-7,11	-7,87	-8,17	-8,44
Vasaris	-	-5,28	-5,99	-6,28	-6,55
Kovas	-	-2,97	-3,63	-3,92	-4,19
Balandis	-	1,15	0,53	0,24	-0,02
Gegužė	-	6,25	5,66	5,38	5,11
Birželis	-	6,54	5,98	5,70	5,44
Liepa	-	6,70	6,16	5,90	5,64
Rugpjūtis	-	6,80	6,29	6,03	5,77
Rugsėjis	7,12	6,39	5,91	5,65	5,40
Spalis	1,65	1,03	0,57	0,31	0,06
Lapkritis	-1,93	-2,47	-2,91	-3,16	-3,41
Gruodis	-5,06	-5,54	-5,96	-6,21	-6,46

11.1 lenteles tęsinys

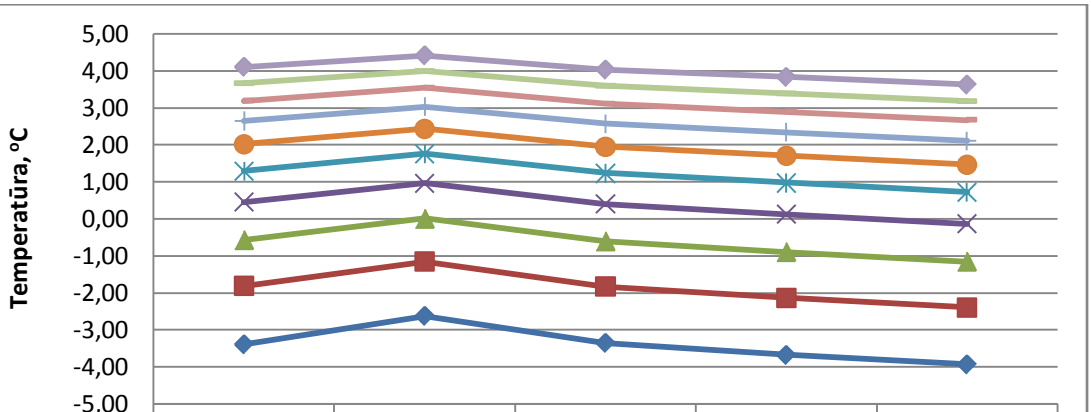
1	2	3	4	5	6
110,00 m					
Sausis	-	-5,58	-6,28	-6,56	-6,82
Vasaris	-	-3,92	-4,57	-4,85	-5,11
Kovas	-	-1,82	-2,43	-2,70	-2,96
Balandis	-	1,93	1,35	1,09	0,83
Gegužė	-	6,56	6,01	5,75	5,50
Birželis	-	6,83	6,31	6,05	5,80
Liepa	-	6,97	6,48	6,22	5,97
Rugpjūtis	-	7,07	6,59	6,34	6,09
Rugsėjis	7,36	6,69	6,24	5,99	5,75
Spalis	2,38	1,82	1,38	1,14	0,90
Lapkritis	-0,87	-1,36	-1,78	-2,02	-2,26
Gruodis	-3,71	-4,15	-4,55	-4,79	-5,03
120,00 m					
Sausis	-	-4,29	-4,94	-5,21	-5,46
Vasaris	-	-2,77	-3,38	-3,64	-3,89
Kovas	-	-0,84	-1,41	-1,67	-1,92
Balandis	-	2,59	2,05	1,80	1,55
Gegužė	-	6,84	6,33	6,08	5,84
Birželis	-	7,08	6,60	6,35	6,11
Liepa	-	7,22	6,76	6,51	6,27
Rugpjūtis	-	7,31	6,86	6,63	6,39
Rugsėjis	7,58	6,97	6,54	6,31	6,07
Spalis	3,01	2,49	2,09	1,86	1,63
Lapkritis	0,03	-0,42	-0,81	-1,04	-1,27
Gruodis	-2,58	-2,98	-3,36	-3,58	-3,81
130,00 m					
Sausis	-	-3,18	-3,79	-4,04	-4,29
Vasaris	-	-1,78	-2,35	-2,60	-2,84
Kovas	-	0,00	-0,54	-0,78	-1,02
Balandis	-	3,17	2,66	2,42	2,19
Gegužė	-	7,09	6,61	6,38	6,14
Birželis	-	7,32	6,86	6,63	6,40
Liepa	-	7,44	7,01	6,78	6,55
Rugpjūtis	-	7,52	7,11	6,88	6,65
Rugsėjis	7,78	7,21	6,81	6,59	6,36
Spalis	3,56	3,08	2,70	2,48	2,26
Lapkritis	0,81	0,39	0,02	-0,19	-0,42
Gruodis	-1,60	-1,98	-2,33	-2,54	-2,77
140,00 m					
Sausis	-	-2,22	-2,79	-3,03	-3,26
Vasaris	-	-0,92	-1,45	-1,69	-1,92
Kovas	-	0,73	0,23	0,00	-0,23
Balandis	-	3,67	3,20	2,97	2,75
Gegužė	-	7,32	6,87	6,64	6,42
Birželis	-	7,53	7,10	6,88	6,65
Liepa	-	7,64	7,24	7,02	6,80
Rugpjūtis	-	7,72	7,33	7,12	6,89
Rugsėjis	7,96	7,43	7,06	6,85	6,63
Spalis	4,04	3,59	3,24	3,03	2,81
Lapkritis	1,49	1,09	0,75	0,55	0,33
Gruodis	-0,75	-1,10	-1,44	-1,63	-1,85
150,00 m					
Sausis	-	-1,38	-1,91	-2,14	-2,36

11.1 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6
Vasaris	-	-0,16	-0,66	-0,89	-1,11
Kovas	-	1,38	0,91	0,69	0,47
Balandis	-	4,12	3,68	3,46	3,25
Gegužė	-	7,52	7,10	6,89	6,67
Birželis	-	7,72	7,32	7,11	6,89
Liepa	-	7,83	7,44	7,24	7,02
Rugpjūtis	-	7,90	7,53	7,33	7,12
Rugsėjis	8,13	7,63	7,28	7,08	6,87
Spalis	4,47	4,05	3,71	3,52	3,31
Lapkritis	2,08	1,72	1,39	1,20	0,99
Gruodis	-0,01	-0,34	-0,65	-0,84	-1,04
160,00 m					
Sausis	-	-0,63	-1,13	-1,35	-1,57
Vasaris	-	0,51	0,04	-0,18	-0,39
Kovas	-	1,95	1,51	1,30	1,09
Balandis	-	4,53	4,11	3,90	3,70
Gegužė	-	7,72	7,32	7,12	6,91
Birželis	-	7,90	7,52	7,32	7,12
Liepa	-	8,00	7,64	7,45	7,24
Rugpjūtis	-	8,07	7,72	7,53	7,33
Rugsėjis	8,28	7,82	7,48	7,29	7,09
Spalis	4,86	4,46	4,14	3,95	3,75
Lapkritis	2,62	2,27	1,96	1,78	1,58
Gruodis	0,66	0,35	0,05	-0,13	-0,33

11.1 lentelėje pateikiamos šilumnešio temperatūros prie įvairių gręžinio gylių. Temperatūros pateikiamos pirmais, antrais, penktais, dešimtais ir dvidešimt penktais eksploatacijos metais. Pagal šiuos duomenis nubraižoma dešimt kreivių, kurios atspindi šilumnešio vidutinės metinės temperatūros priklausomybę nuo laiko.

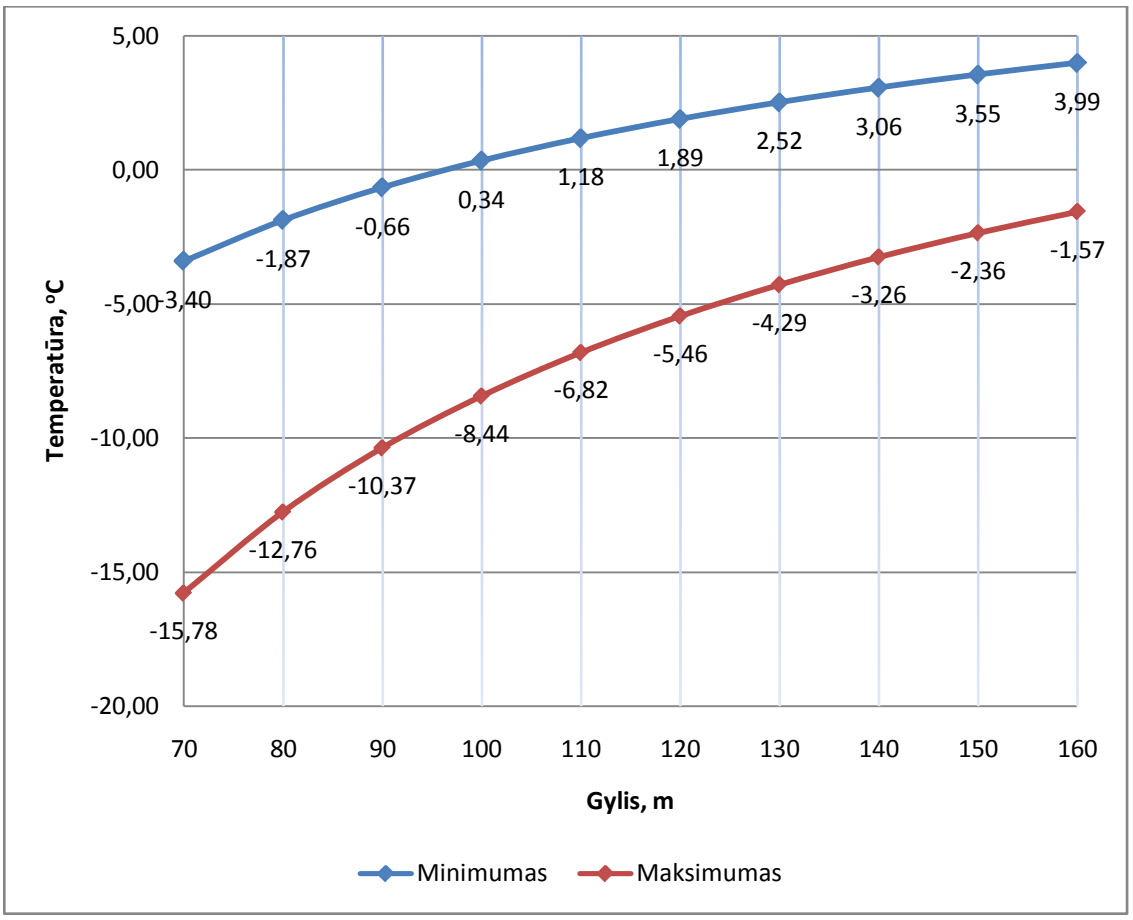
Paveikslėlyje 11.1 pateikiamos vidutinės metinės šilumnešio temperatūros. Iš temperatūros priklausomybių kreivių nuo laiko ir gylio matosi, kad labiausiai pastebimas šilumnešio temperatūros padidėjimas vyksta, kai gręžinio gylis padidėja nuo 70 m iki 80 m. Toliau didinant gręžinio gylį kiek vieną kartą temperatūros padidėjimas yra vis mažesnis.



	1	2	5	10	25
70 m	-3,40	-2,63	-3,36	-3,68	-3,94
80 m	-1,82	-1,16	-1,83	-2,14	-2,39
90 m	-0,57	0,01	-0,61	-0,90	-1,16
100 m	0,45	0,96	0,40	0,12	-0,14
110 m	1,29	1,75	1,23	0,97	0,72
120 m	2,01	2,43	1,94	1,70	1,46
130 m	2,64	3,02	2,56	2,33	2,10
140 m	3,19	3,54	3,11	2,89	2,67
150 m	3,67	4,00	3,60	3,39	3,17
160 m	4,11	4,41	4,03	3,83	3,63

11.1 pav. 1-U-1 temperatūros kitimo grafikas

Naudojant 11.1 lentelės duomenis sudaromas temperatūrų minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gylio grafikas. Temperatūros maksimumas ir minimumas imamas iš viso modeliavimo laikotarpio (25 metai). Maksimali šilumnešio temperatūra bus šilumos siurblio eksploatavimo pradžioje - pirmais metais, rugsėjo mėnesį. Minimali temperatūra bus nagrinėjamo laikotarpio pabaigoje per šalčiausią mėnesį.



11.2 pav. 1-U-1 temperatūros minimumas ir maksimumas

Iš grafiko matome, kad kuo gilesnis gręžinys, tuo temperatūros svyravimo amplitudė per visą nagrinėjamą laikotarpį yra mažesnė.

11.2. Dvigubasis gruntinis šilumokaitis su vienu U – formos vamzdžiu

Dvigubo šilumokaičio su vienu U – formos vamzdžiu modeliavimas atliekamas keičiant gręžinio gylį, kaip ir prieš tai aprašytame modeliavime. Tačiau vietoj vieno 70 m modeliuojamo gręžinio bus modeliuojami du gręžiniai, kurių gylis bus 35 m. Atstumas tarp gręžinių - 10 m.

11.2 lentelė 2-U-1 Modeliavimo rezultatai

Metai					
2 x 35,00 m					
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Mėnuo	**1**	**2**	**5**	**10**	**25**
Sausis	-	-14,28	-15,54	-15,89	-16,05
Vasaris	-	-11,74	-12,92	-13,25	-13,41
Kovas	-	-8,52	-9,62	-9,94	-10,10
Balandis	-	-2,75	-3,78	-4,09	-4,25
Gegužė	-	4,41	3,43	3,14	2,98
Birželis	-	4,81	3,89	3,60	3,45
Liepa	-	5,03	4,17	3,88	3,74
Rugpjūtis	-	5,19	4,37	4,09	3,95
Rugsėjis	5,85	4,63	3,85	3,58	3,43
Spalis	-1,87	-2,91	-3,65	-3,92	-4,06

11.2 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6
Lapkritis	-6,92	-7,84	-8,54	-8,80	-8,95
Gruodis	-11,35	-12,18	-12,84	-13,10	-13,24
2 x 40,00 m					
Sausis	-	-11,46	-12,67	-13,04	-13,22
Vasaris	-	-9,26	-10,38	-10,73	-10,92
Kovas	-	-6,45	-7,49	-7,83	-8,02
Balandis	-	-1,40	-2,37	-2,71	-2,89
Gegužė	-	4,86	3,95	3,63	3,45
Birželis	-	5,22	4,35	4,04	3,86
Liepa	-	5,42	4,59	4,29	4,12
Rugpjūtis	-	5,55	4,77	4,47	4,30
Rugsėjis	6,20	5,06	4,30	4,01	3,84
Spalis	-0,56	-1,55	-2,27	-2,55	-2,72
Lapkritis	-4,99	-5,86	-6,55	-6,83	-7,00
Gruodis	-8,88	-9,66	-10,32	-10,60	-10,76
2 x 45,00 m					
Sausis	-	-9,23	-10,39	-10,77	-10,98
Vasaris	-	-7,28	-8,37	-8,73	-8,94
Kovas	-	-4,79	-5,81	-6,16	-6,37
Balandis	-	-0,31	-1,26	-1,61	-1,81
Gegužė	-	5,26	4,37	4,03	3,83
Birželis	-	5,58	4,74	4,41	4,21
Liepa	-	5,75	4,96	4,65	4,45
Rugpjūtis	-	5,87	5,12	4,81	4,62
Rugsėjis	6,48	5,43	4,71	4,41	4,22
Spalis	0,47	-0,45	-1,13	-1,43	-1,61
Lapkritis	-3,47	-4,29	-4,95	-5,24	-5,43
Gruodis	-6,93	-7,68	-8,31	-8,60	-8,78
2 x 50,00 m					
Sausis	-	-7,43	-8,54	-8,92	-9,14
Vasaris	-	-5,66	-6,70	-7,07	-7,30
Kovas	-	-3,43	-4,40	-4,76	-4,98
Balandis	-	0,61	-0,31	-0,66	-0,88
Gegužė	-	5,62	4,75	4,41	4,19
Birželis	-	5,89	5,06	4,73	4,51
Liepa	-	6,05	5,27	4,94	4,73
Rugpjūtis	-	6,15	5,42	5,10	4,89
Rugsėjis	6,71	5,75	5,05	4,74	4,53
Spalis	1,28	0,44	-0,22	-0,53	-0,73
Lapkritis	-2,25	-3,02	-3,65	-3,95	-4,15
Gruodis	-5,37	-6,07	-6,67	-6,97	-7,17
2 x 55,00 m					
Sausis	-	-5,97	-7,00	-7,37	-7,61
Vasaris	-	-4,35	-5,31	-5,68	-5,92
Kovas	-	-2,32	-3,23	-3,58	-3,82
Balandis	-	1,35	0,49	0,15	-0,09
Gegužė	-	5,91	5,09	4,76	4,52
Birželis	-	6,13	5,36	5,02	4,79
Liepa	-	6,28	5,54	5,21	4,98
Rugpjūtis	-	6,39	5,67	5,35	5,12
Rugsėjis	6,90	6,03	5,34	5,03	4,80
Spalis	1,96	1,18	0,53	0,22	0,00
Lapkritis	-1,26	-1,95	-2,57	-2,87	-3,09
Gruodis	-4,09	-4,72	-5,31	-5,61	-5,83

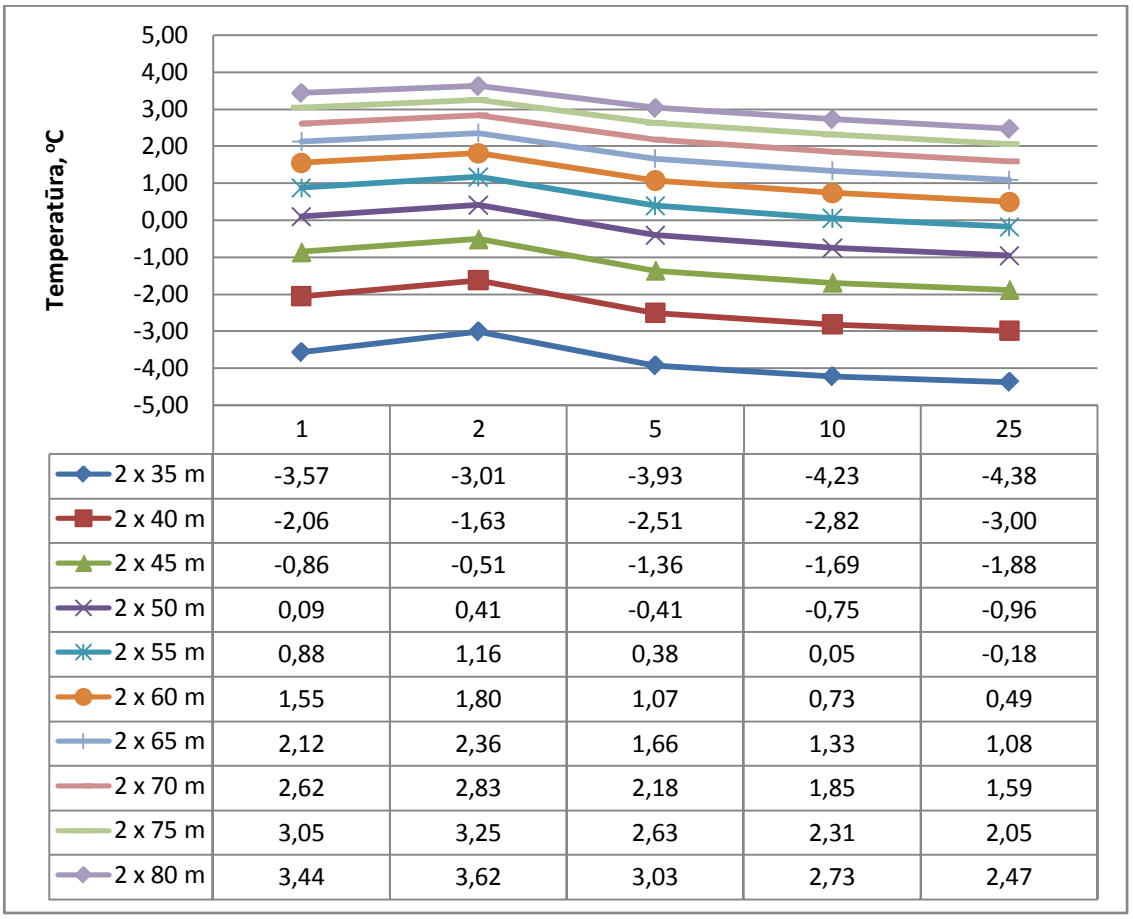
11.2 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6
2 x 60,00 m					
Sausis	-	-4,73	-5,70	-6,07	-6,32
Vasaris	-	-3,24	-4,15	-4,51	-4,77
Kovas	-	-1,38	-2,24	-2,60	-2,85
Balandis	-	1,99	1,18	0,82	0,57
Gegužė	-	6,16	5,39	5,05	4,80
Birželis	-	6,35	5,62	5,28	5,04
Liepa	-	6,49	5,80	5,46	5,22
Rugpjūtis	-	6,58	5,92	5,60	5,36
Rugsėjis	7,07	6,25	5,62	5,30	5,06
Spalis	2,53	1,81	1,20	0,89	0,65
Lapkritis	-0,41	-1,05	-1,64	-1,95	-2,17
Gruodis	-3,01	-3,59	-4,16	-4,46	-4,68
2 x 65,00 m					
Sausis	-	-3,67	-4,57	-4,94	-5,21
Vasaris	-	-2,29	-3,14	-3,50	-3,77
Kovas	-	-0,57	-1,38	-1,74	-1,99
Balandis	-	2,53	1,77	1,42	1,16
Gegužė	-	6,38	5,66	5,31	5,06
Birželis	-	6,56	5,86	5,53	5,27
Liepa	-	6,68	6,01	5,69	5,44
Rugpjūtis	-	6,76	6,13	5,81	5,56
Rugsėjis	7,22	6,46	5,85	5,54	5,29
Spalis	3,03	2,35	1,77	1,46	1,22
Lapkritis	0,32	-0,29	-0,85	-1,15	-1,39
Gruodis	-2,08	-2,63	-3,17	-3,46	-3,70
2 x 70,00 m					
Sausis	-	-2,77	-3,63	-3,99	-4,26
Vasaris	-	-1,49	-2,30	-2,65	-2,92
Kovas	-	0,12	-0,65	-0,99	-1,26
Balandis	-	3,00	2,28	1,94	1,68
Gegužė	-	6,58	5,90	5,57	5,31
Birželis	-	6,75	6,09	5,77	5,51
Liepa	-	6,85	6,22	5,91	5,65
Rugpjūtis	-	6,93	6,33	6,02	5,76
Rugsėjis	7,36	6,64	6,07	5,76	5,51
Spalis	3,46	2,83	2,28	1,97	1,72
Lapkritis	0,93	0,36	-0,17	-0,47	-0,72
Gruodis	-1,29	-1,81	-2,32	-2,62	-2,86
2 x 75,00 m					
Sausis	-	-1,98	-2,80	-3,14	-3,41
Vasaris	-	-0,79	-1,55	-1,89	-2,16
Kovas	-	0,72	-0,01	-0,34	-0,61
Balandis	-	3,41	2,72	2,39	2,13
Gegužė	-	6,76	6,10	5,78	5,52
Birželis	-	6,91	6,29	5,97	5,71
Liepa	-	7,00	6,40	6,09	5,84
Rugpjūtis	-	7,08	6,51	6,20	5,95
Rugsėjis	7,49	6,81	6,26	5,97	5,71
Spalis	3,84	3,25	2,72	2,43	2,18
Lapkritis	1,47	0,93	0,43	0,14	-0,11
Gruodis	-0,60	-1,09	-1,57	-1,86	-2,10
2 x 80,00 m					
Sausis	-	-1,29	-2,06	-2,40	-2,67

11.2 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6
Vasaris	-	-0,17	-0,89	-1,23	-1,50
Kovas	-	1,25	0,56	0,24	-0,03
Balandis	-	3,78	3,12	2,81	2,54
Gegužė	-	6,92	6,30	5,99	5,73
Birželis	-	7,07	6,48	6,17	5,91
Liepa	-	7,14	6,58	6,28	6,02
Rugpjūtis	-	7,21	6,67	6,38	6,12
Rugsėjis	7,60	6,96	6,44	6,15	5,90
Spalis	4,18	3,62	3,12	2,83	2,58
Lapkritis	1,95	1,44	0,96	0,68	0,43
Gruodis	0,01	-0,46	-0,92	-1,20	-1,45

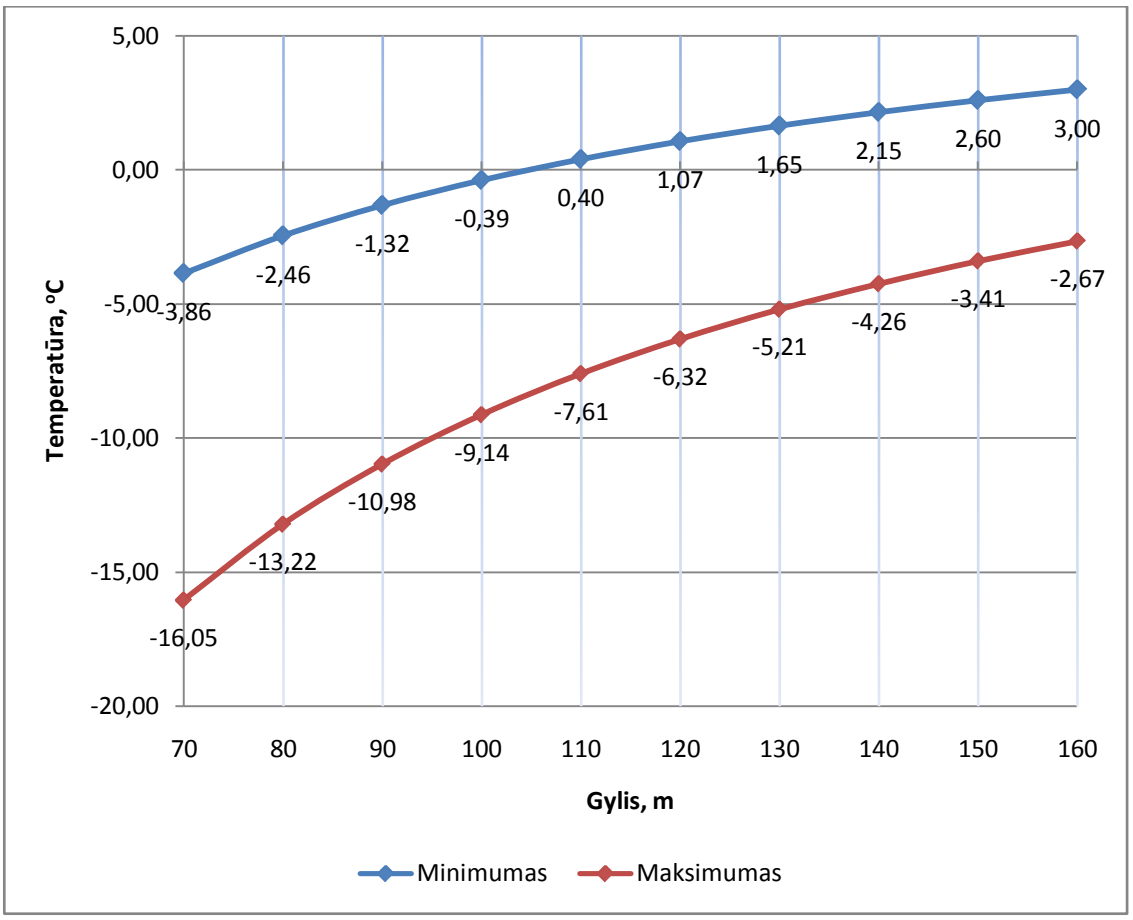
Pagal gautus duomenis sudaromas temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas.



	1	2	5	10	25
2 x 35 m	-3,57	-3,01	-3,93	-4,23	-4,38
2 x 40 m	-2,06	-1,63	-2,51	-2,82	-3,00
2 x 45 m	-0,86	-0,51	-1,36	-1,69	-1,88
2 x 50 m	0,09	0,41	-0,41	-0,75	-0,96
2 x 55 m	0,88	1,16	0,38	0,05	-0,18
2 x 60 m	1,55	1,80	1,07	0,73	0,49
2 x 65 m	2,12	2,36	1,66	1,33	1,08
2 x 70 m	2,62	2,83	2,18	1,85	1,59
2 x 75 m	3,05	3,25	2,63	2,31	2,05
2 x 80 m	3,44	3,62	3,03	2,73	2,47

11.3 pav. 2-U-1 Temperatūros kitimo grafikas

Kaip ir prieš tai nagrinėtame gręžinio modeliavime didžiausias temperatūros padidėjimas pastebimas, kai gręžinio gylis padidinamas nuo 70 m iki 80 m. Tačiau akivaizdu kad vidutinės metinės temperatūros skiriasi nuo prieš tai atlikto modeliavimo rezultatų.



11.4 pav. 2-U-1 temperatūros minimumas ir maksimumas

Paveikslėlyje 11.4 „2-U-1 temperatūros minimumas ir maksimumas“ pavaizduotos dvi temperatūrų kreivės, atspindinčios temperatūros minimumą ir maksimumą per visą nagrinėjamą laikotarpį prie skirtingų gręžinio gylių.

11.3. Viengubasis gruntinis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais

Šiame poskyryje pateikiami viengubo gręžinio su dviem U-formos vamzdžiais modeliavimo rezultatai (11.3 lentelė).

11.3 lentelė 1-U-2 modeliavimo rezultatai

Metai					
2 U 70,00 m					
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Mėnuo	**1**	**2**	**5**	**10**	**25**
Sausis	-	-10,07	-11,07	-11,43	-11,70
Vasaris	-	-8,04	-8,97	-9,33	-9,59
Kovas	-	-5,40	-6,27	-6,62	-6,88
Balandis	-	-0,65	-1,46	-1,81	-2,07
Gegužė	-	5,26	4,50	4,16	3,90
Birželis	-	5,67	4,95	4,62	4,37
Liepa	-	5,90	5,22	4,90	4,64
Rugpjūtis	-	6,05	5,40	5,08	4,83
Rugsėjis	6,60	5,60	4,98	4,67	4,42
Spalis	0,26	-0,57	-1,16	-1,47	-1,72

11.3 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6
Lapkritis	-3,93	-4,66	-5,22	-5,53	-5,77
Gruodis	-7,62	-8,26	-8,81	-9,11	-9,35
2 U 80,00 m					
Sausis	-	-7,67	-8,57	-8,92	-9,19
Vasaris	-	-5,90	-6,74	-7,07	-7,34
Kovas	-	-3,59	-4,38	-4,70	-4,97
Balandis	-	0,57	-0,17	-0,49	-0,76
Gegužė	-	5,75	5,05	4,73	4,47
Birželis	-	6,11	5,44	5,14	4,88
Liepa	-	6,31	5,67	5,37	5,12
Rugpjūtis	-	6,44	5,83	5,54	5,28
Rugsėjis	6,93	6,04	5,47	5,18	4,92
Spalis	1,39	0,64	0,09	-0,20	-0,45
Lapkritis	-2,29	-2,94	-3,47	-3,75	-4,00
Gruodis	-5,52	-6,10	-6,61	-6,89	-7,13
2 U 90,00 m					
Sausis	-	-5,78	-6,61	-6,93	-7,20
Vasaris	-	-4,21	-4,97	-5,29	-5,56
Kovas	-	-2,16	-2,87	-3,18	-3,45
Balandis	-	1,54	0,87	0,56	0,29
Gegužė	-	6,15	5,51	5,21	4,94
Birželis	-	6,47	5,86	5,57	5,31
Liepa	-	6,64	6,07	5,78	5,52
Rugpjūtis	-	6,76	6,21	5,93	5,67
Rugsėjis	7,21	6,41	5,88	5,61	5,35
Spalis	2,28	1,60	1,10	0,83	0,58
Lapkritis	-0,99	-1,58	-2,06	-2,33	-2,58
Gruodis	-3,87	-4,39	-4,86	-5,12	-5,37
2 U 100,00 m					
Sausis	-	-4,26	-5,01	-5,31	-5,58
Vasaris	-	-2,84	-3,55	-3,84	-4,11
Kovas	-	-0,99	-1,66	-1,94	-2,21
Balandis	-	2,34	1,71	1,43	1,17
Gegužė	-	6,49	5,90	5,62	5,36
Birželis	-	6,78	6,22	5,94	5,68
Liepa	-	6,94	6,40	6,14	5,88
Rugpjūtis	-	7,04	6,53	6,27	6,01
Rugsėjis	7,45	6,72	6,24	5,98	5,73
Spalis	3,01	2,39	1,93	1,68	1,43
Lapkritis	0,06	-0,47	-0,92	-1,17	-1,42
Gruodis	-2,53	-3,01	-3,44	-3,68	-3,93
2 U 110,00 m					
Sausis	-	-2,99	-3,69	-3,97	-4,23
Vasaris	-	-1,70	-2,35	-2,63	-2,89
Kovas	-	-0,02	-0,63	-0,90	-1,16
Balandis	-	3,01	2,43	2,16	1,91
Gegužė	-	6,78	6,23	5,97	5,72
Birželis	-	7,05	6,52	6,27	6,02
Liepa	-	7,19	6,69	6,44	6,19
Rugpjūtis	-	7,29	6,81	6,56	6,31
Rugsėjis	7,66	7,00	6,54	6,30	6,05
Spalis	3,62	3,06	2,62	2,38	2,14
Lapkritis	0,94	0,45	0,03	-0,21	-0,45
Gruodis	-1,41	-1,86	-2,26	-2,49	-2,73

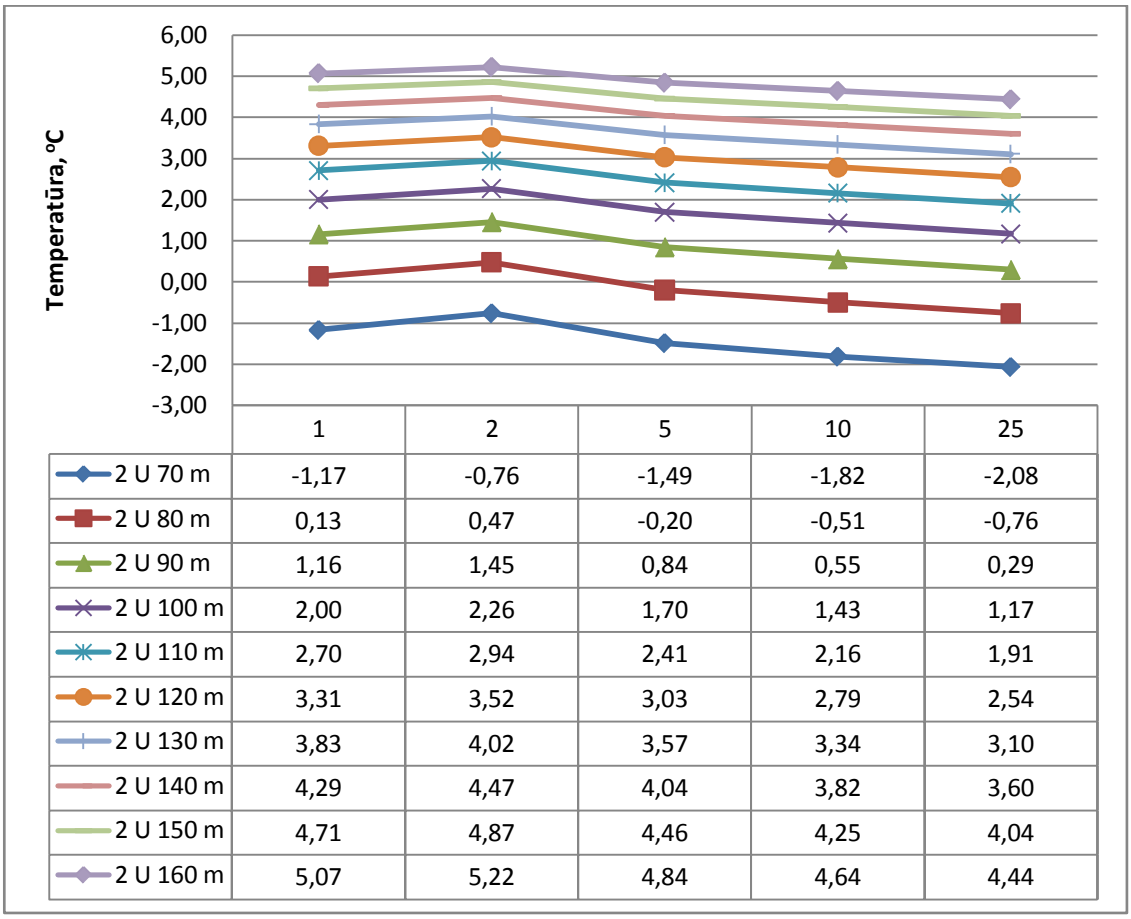
11.3 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6
2 U 120,00 m					
Sausis	-	-1,91	-2,57	-2,83	-3,08
Vasaris	-	-0,73	-1,34	-1,61	-1,86
Kovas	-	0,80	0,23	-0,03	-0,27
Balandis	-	3,58	3,04	2,79	2,54
Gegužė	-	7,04	6,53	6,28	6,04
Birželis	-	7,28	6,80	6,55	6,31
Liepa	-	7,42	6,96	6,71	6,47
Rugpjūtis	-	7,51	7,06	6,83	6,59
Rugsėjis	7,86	7,24	6,82	6,59	6,35
Spalis	4,15	3,63	3,23	3,00	2,76
Lapkritis	1,69	1,24	0,85	0,62	0,39
Gruodis	-0,47	-0,88	-1,25	-1,48	-1,71
2 U 130,00 m					
Sausis	-	-0,99	-1,60	-1,85	-2,10
Vasaris	-	0,10	-0,47	-0,72	-0,96
Kovas	-	1,52	0,98	0,74	0,50
Balandis	-	4,08	3,58	3,34	3,10
Gegužė	-	7,27	6,80	6,56	6,33
Birželis	-	7,50	7,05	6,81	6,58
Liepa	-	7,62	7,19	6,96	6,73
Rugpjūtis	-	7,71	7,29	7,07	6,84
Rugsėjis	8,03	7,46	7,07	6,85	6,62
Spalis	4,61	4,13	3,75	3,53	3,30
Lapkritis	2,34	1,92	1,55	1,34	1,11
Gruodis	0,34	-0,04	-0,39	-0,60	-0,82
2 U 140,00 m					
Sausis	-	-0,19	-0,76	-1,00	-1,23
Vasaris	-	0,82	0,29	0,05	-0,18
Kovas	-	2,14	1,64	1,41	1,18
Balandis	-	4,52	4,05	3,82	3,59
Gegužė	-	7,49	7,04	6,82	6,59
Birželis	-	7,70	7,27	7,05	6,83
Liepa	-	7,81	7,41	7,19	6,97
Rugpjūtis	-	7,89	7,50	7,29	7,07
Rugsėjis	8,19	7,66	7,29	7,08	6,86
Spalis	5,02	4,57	4,21	4,01	3,79
Lapkritis	2,91	2,51	2,17	1,97	1,75
Gruodis	1,05	0,70	0,37	0,17	-0,05
2 U 150,00 m					
Sausis	-	0,52	-0,01	-0,24	-0,46
Vasaris	-	1,46	0,96	0,74	0,52
Kovas	-	2,69	2,22	2,00	1,78
Balandis	-	4,91	4,47	4,25	4,03
Gegužė	-	7,68	7,26	7,05	6,83
Birželis	-	7,88	7,48	7,27	7,05
Liepa	-	7,99	7,60	7,40	7,18
Rugpjūtis	-	8,06	7,69	7,49	7,28
Rugsėjis	8,35	7,85	7,50	7,30	7,09
Spalis	5,38	4,96	4,62	4,43	4,22
Lapkritis	3,41	3,04	2,72	2,52	2,32
Gruodis	1,68	1,35	1,03	0,84	0,64
2 U 160,00 m					
Sausis	-	1,15	0,65	0,43	0,21

11.3 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6
Vasaris	-	2,03	1,56	1,35	1,14
Kovas	-	3,19	2,74	2,53	2,32
Balandis	-	5,27	4,85	4,64	4,44
Gegužė	-	7,87	7,47	7,27	7,06
Birželis	-	8,05	7,67	7,47	7,27
Liepa	-	8,15	7,79	7,60	7,39
Rugpjūtis	-	8,22	7,87	7,68	7,48
Rugsėjis	8,49	8,02	7,69	7,50	7,30
Spalis	5,71	5,31	4,99	4,80	4,60
Lapkritis	3,86	3,51	3,20	3,02	2,82
Gruodis	2,23	1,92	1,63	1,44	1,25

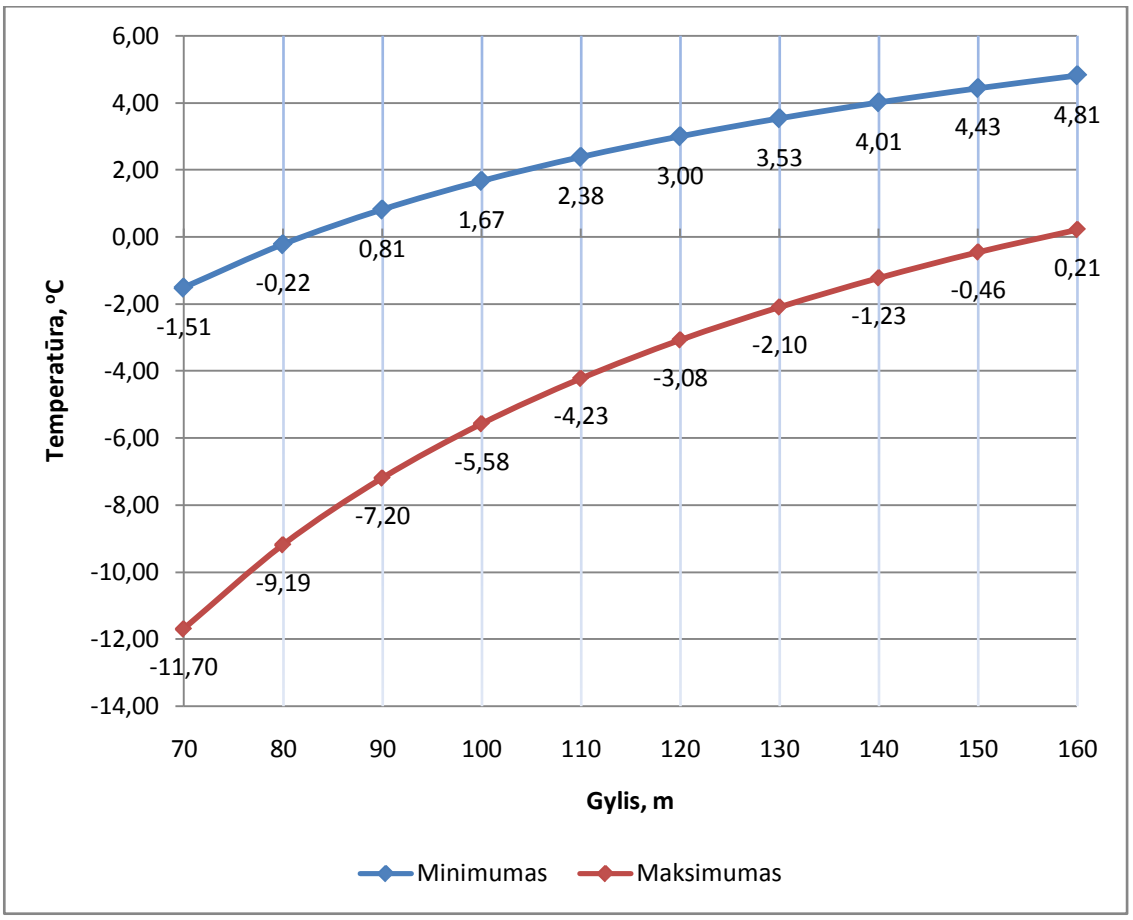
Temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas pateikiamas 11.5 pav.



	1	2	5	10	25
2 U 70 m	-1,17	-0,76	-1,49	-1,82	-2,08
2 U 80 m	0,13	0,47	-0,20	-0,51	-0,76
2 U 90 m	1,16	1,45	0,84	0,55	0,29
2 U 100 m	2,00	2,26	1,70	1,43	1,17
2 U 110 m	2,70	2,94	2,41	2,16	1,91
2 U 120 m	3,31	3,52	3,03	2,79	2,54
2 U 130 m	3,83	4,02	3,57	3,34	3,10
2 U 140 m	4,29	4,47	4,04	3,82	3,60
2 U 150 m	4,71	4,87	4,46	4,25	4,04
2 U 160 m	5,07	5,22	4,84	4,64	4,44

11.5 pav. 1-U-2 temperatūros kitimo grafikas

Iš paveikslėlio 11.5 matome, kad didžiausias temperatūros padidėjimas, kaip ir ankstesniuose modeliuose, pastebimas tada, kai gręžinio gylis padidinamas nuo 70 m iki 80 m.



11.6 pav. 1-U-2 temperatūros minimumas ir maksimumas

Tačiau palyginus su kitais modeliavimo atvejais šis temperatūros padidėjimas yra mažiausias.

11.4. Termodinaminio ciklo efektyvumas

Termodinaminis šilumos siurblio ciklas šiame baigiamajame darbe buvo tiriamas naudojant Cool Pack programinės įrangos paketą (http://www.et.web.mek.dtu.dk/Coolpack/UK/index.html).

Temperatūros, gautos gruntinių šilumokaičių modeliavimo metu, buvo prilygintos prie šilumos siurblio garintuvo temperatūros. Garintuvo (šilumokaičio) šilumos perdavimo efektyvumas nebuvo vertinamas. Šaltnešio kondensavimosi temperatūra priimama 45 ^{o}C. Taip pat nebuvo vertinamas kondensatoriaus šilumos perdavimo efektyvumas. Šaltnešis R407c buvo pasirinktas atsižvelgiant į jo populiarumą; R407c šaltnešis yra ko gero dažniausiai sutinkamas šaldymo ir šildymo technikoje. Modeliuojant termodinaminį ciklą izotropinis efektyvumas buvo priimtas 0,75 (18).

Cool Pack programinės įrangos paketas leidžia sudaryti termodinaminį ciklą, žinant šaltnešio markę, garintuvo ir kondensatoriaus temperatūras. Po to, kai termodinaminis ciklas yra sumodeliuotas, galima peržiūrėti visus jo parametrus, taip pat ir termodinaminio ciklo efektyvumą (COP). Taigi, suradus termodinaminio ciklo efektyvumą, galima teigti kad tai yra teorinis (be abejo

su aukščiau pateiktomis prielaidomis) mėnesinis šilumos siurblio transformavimo koeficientas (COP). Gauti rezultatai pateikiami lentelėje toliau.

11.4 lentelė Efektyvumas (COP)

	1	2	5	10	25	1	2	5	10	25	1	2	5	10	25
M	1 U 70 m					1 U 2x35m					2 U 70m				
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
1		2,29	2,23	2,21	2,19		2,28	2,21	2,19	2,18		2,55	2,48	2,46	2,44
2		2,45	2,39	2,37	2,36		2,44	2,36	2,34	2,33		2,69	2,63	2,60	2,58
3		2,69	2,62	2,60	2,57		2,66	2,58	2,56	2,55		2,90	2,84	2,81	2,78
4		3,17	3,10	3,07	3,07		3,14	3,05	3,02	3,00		3,34	3,26	3,23	3,20
5		3,99	3,89	3,85	3,82		3,92	3,80	3,77	3,74		4,04	3,93	3,89	3,86
6		4,04	3,95	3,91	3,87		3,98	3,86	3,82	3,80		4,09	3,99	3,95	3,92
7		4,07	3,98	3,94	3,91		4,01	3,89	3,86	3,84		4,13	4,03	3,98	3,95
8		4,10	4,01	3,97	3,93		4,03	3,92	3,88	3,86		4,14	4,05	4,01	3,98
9	4,16	4,02	3,94	3,89	3,86	4,12	3,95	3,85	3,82	3,80	4,22	4,08	4,00	3,95	3,92
10	3,24	3,16	3,11	3,08	3,05	3,22	3,12	3,05	3,03	3,02	3,44	3,35	3,29	3,26	3,23
11	2,79	2,74	2,69	2,67	2,66	2,78	2,71	2,66	2,64	2,63	3,03	2,97	2,92	2,90	2,87
12	2,47	2,43	2,39	2,38	2,36	2,46	2,41	2,37	2,35	2,34	2,73	2,68	2,64	2,62	2,60
	1 U 80 m					1 U 2x40m					2 U 80m				
1		2,47	2,42	2,39	2,37		2,45	2,38	2,36	2,35		2,72	2,66	2,63	2,61
2		2,63	2,57	2,54	2,53		2,61	2,53	2,51	2,49		2,87	2,80	2,77	2,75
3		2,85	2,79	2,76	2,74		2,82	2,74	2,72	2,70		3,06	2,99	2,96	2,94
4		3,32	3,24	3,21	3,19		3,26	3,17	3,14	3,12		3,47	3,39	3,36	3,33
5		4,06	3,97	3,92	3,89		3,98	3,86	3,83	3,80		4,10	4,01	3,96	3,93
6		4,11	4,02	3,98	3,95		4,03	3,92	3,88	3,86		4,16	4,06	4,02	3,98
7		4,14	4,05	4,01	3,98		4,06	3,95	3,91	3,89		4,18	4,09	4,05	4,01
8		4,16	4,07	4,04	4,00		4,07	3,97	3,93	3,91		4,20	4,11	4,07	4,04
9	4,21	4,09	4,01	3,97	3,94	4,16	4,01	3,91	3,87	3,85	4,27	4,14	4,07	4,02	3,99
10	3,38	3,30	3,25	3,22	3,20	3,35	3,25	3,18	3,16	3,14	3,62	3,47	3,42	3,39	3,36
11	2,96	2,90	2,86	2,84	2,81	2,94	2,87	2,81	2,79	2,78	3,18	3,12	3,07	3,05	3,02
12	2,65	2,61	2,57	2,55	2,54	2,63	2,58	2,54	2,51	2,51	2,90	2,85	2,81	2,78	2,77
	1 U 90 m					1 U 2x45m					2 U 90m				
1		2,63	2,57	2,55	2,53		2,61	2,53	2,51	2,49		2,87	2,81	2,78	2,76
2		2,78	2,72	2,70	2,68		2,75	2,67	2,65	2,63		3,01	2,94	2,91	2,89
3		2,99	2,93	2,90	2,88		2,96	2,87	2,84	2,83		3,20	3,13	3,10	3,08
4		3,43	3,36	3,33	3,30		3,38	3,28	3,25	3,23		3,58	3,50	3,47	3,44
5		4,12	4,04	3,99	3,96		4,04	3,92	3,87	3,85		4,16	4,07	4,03	3,99
6		4,16	4,08	4,04	4,01		4,08	3,97	3,92	3,89		4,20	4,12	4,08	4,04
7		4,19	4,11	4,07	4,04		4,10	4,00	3,95	3,93		4,23	4,15	4,10	4,07
8		4,21	4,13	4,09	4,06		4,12	4,01	3,98	3,95		4,25	4,16	4,13	4,09
9	4,26	4,14	4,07	4,04	4,00	4,21	4,06	3,96	3,92	3,90	4,31	4,19	4,12	4,08	4,05
10	3,49	3,42	3,37	3,34	3,32	3,46	3,36	3,29	3,26	3,25	3,66	3,59	3,53	3,50	3,47
11	3,10	3,05	3,00	2,98	2,96	3,07	3,00	2,94	2,92	2,90	3,31	3,25	3,20	3,17	3,15
12	2,80	2,76	2,72	2,71	2,69	2,78	2,72	2,68	2,66	2,64	3,04	2,99	2,95	2,93	2,91
	1 U 100 m					1 U 2x50m					2 U 100m				
1		2,77	2,71	2,69	2,66		2,75	2,66	2,63	2,62		3,00	2,94	2,91	2,89
2		2,92	2,86	2,84	2,81		2,88	2,80	2,77	2,75		3,13	3,06	3,04	3,04
3		3,12	3,06	3,03	3,01		3,08	2,99	2,96	2,94		3,31	3,24	3,21	3,19
4		3,53	3,47	3,44	3,41		3,47	3,38	3,34	3,32		3,67	3,59	3,56	3,53
5		4,17	4,09	4,05	4,01		4,08	3,97	3,92	3,89		4,21	4,13	4,08	4,05
6		4,22	4,13	4,10	4,06		4,12	4,01	3,96	3,94		4,25	4,17	4,13	4,10
7		4,24	4,16	4,05	4,09		4,14	4,04	3,99	3,96		4,28	4,19	4,16	4,12
8		4,25	4,18	4,14	4,10		4,16	4,06	4,01	3,98		4,28	4,22	4,18	4,14
9	4,30	4,19	4,13	4,09	4,05	4,24	4,10	4,01	3,97	3,94	4,35	4,24	4,17	4,13	4,10

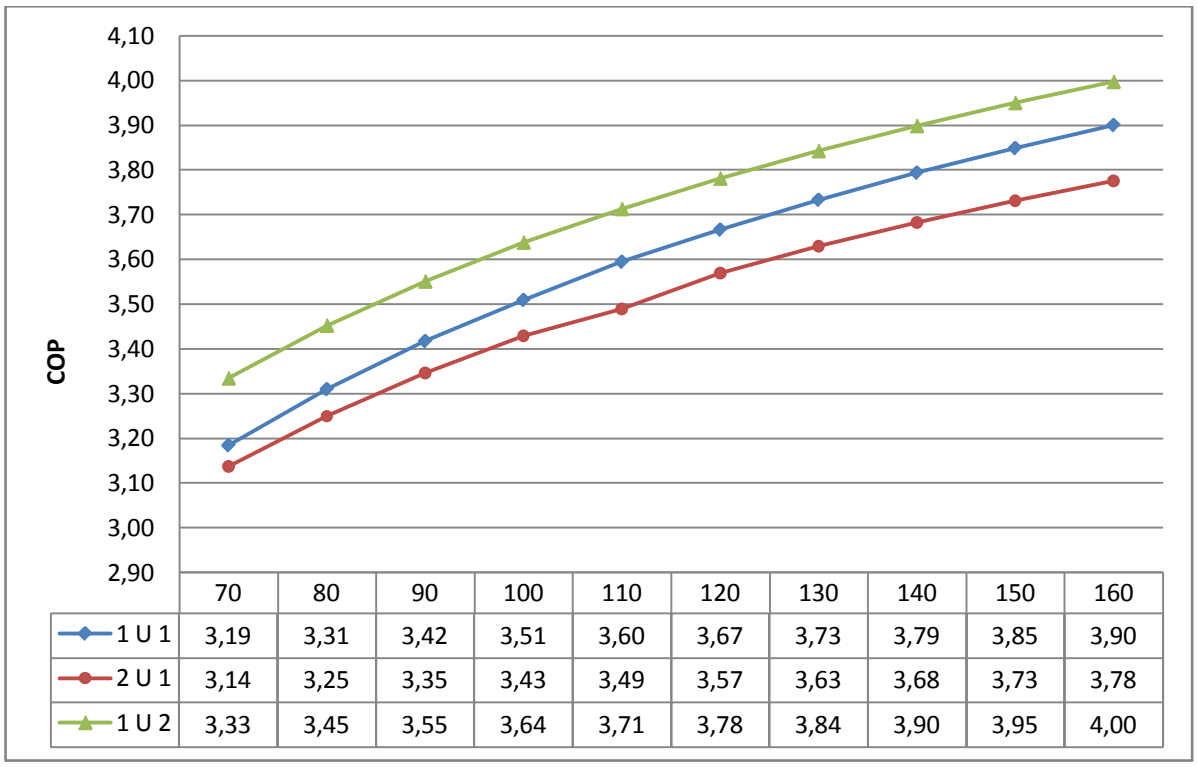
11.4 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	3,59	3,52	3,47	3,44	3,41	3,55	3,46	3,38	3,35	3,33	3,75	3,68	3,62	3,59	3,56
11	3,22	3,17	3,12	3,10	3,08	3,18	3,11	3,05	3,03	3,01	3,41	3,36	3,32	3,29	3,26
12	2,93	2,90	2,86	2,84	2,82	2,91	2,85	2,80	2,78	2,76	3,16	3,11	3,08	3,05	3,03
	1 U 110 m					1 U 2x55m					2 U 110m				
1		2,89	2,84	2,81	2,79		2,86	2,78	2,75	2,73		3,11	3,05	3,02	3,00
2		3,03	2,98	2,95	2,93		2,99	2,91	2,88	2,86		3,24	3,17	3,15	3,12
3		3,23	3,17	3,14	3,12		3,18	3,09	3,06	3,04		3,41	3,35	3,32	3,29
4		3,62	3,56	3,53	3,50		3,56	3,46	3,42	3,40		3,75	3,68	3,65	3,62
5		4,22	4,14	4,10	4,07		4,13	3,26	3,97	3,94		4,25	4,17	4,13	4,10
6		4,25	4,18	4,14	4,11		4,16	4,05	4,01	3,98		4,29	4,21	4,18	4,14
7		4,28	4,21	4,17	4,13		4,18	4,07	4,03	4,00		4,31	4,24	4,20	4,16
8		4,39	4,22	4,19	4,15		4,19	4,09	4,05	4,01		4,32	4,25	4,22	4,18
9	4,34	4,24	4,17	4,13	4,10	4,27	4,14	4,04	4,01	3,98	4,38	4,28	4,22	4,18	4,14
10	3,68	3,61	3,56	3,53	3,50	3,62	3,53	3,47	3,43	3,41	3,83	3,75	3,70	3,68	3,65
11	3,32	3,27	3,23	3,20	3,18	3,28	3,21	3,15	3,13	3,11	3,51	3,46	3,41	3,38	3,36
12	3,05	3,01	2,98	2,96	2,93	3,02	2,96	2,91	2,89	2,87	3,26	3,22	3,18	3,16	3,14
	1 U 120 m					1 U 2x60m					2 U 120m				
1		3,00	2,94	2,92	2,90		2,96	2,88	2,85	2,83		3,22	3,15	3,13	3,11
2		3,14	3,08	3,05	3,03		3,09	3,01	2,98	2,96		3,33	3,27	3,25	3,22
3		3,32	3,26	3,24	3,22		3,27	3,19	3,15	3,13		3,50	3,44	3,41	3,38
4		3,70	3,63	3,61	3,58		3,63	3,53	3,50	3,47		3,82	3,75	3,72	3,69
5		4,26	4,19	4,15	4,11		4,16	4,05	4,01	3,98		4,28	4,22	4,18	4,14
6		4,29	4,22	4,19	4,16		4,19	4,08	4,04	4,01		4,32	4,25	4,22	4,18
7		4,31	4,25	4,21	4,18		4,21	4,11	4,07	4,03		4,34	4,28	4,24	4,20
8		4,33	4,26	4,22	4,19		4,22	4,13	4,08	4,05		4,36	4,29	4,25	4,22
9	4,37	4,28	4,22	4,18	4,15	4,29	4,17	4,08	4,04	4,01	4,41	4,31	4,25	4,22	4,19
10	3,75	3,68	3,64	3,62	3,59	3,69	3,61	3,54	3,50	3,48	3,89	3,83	3,77	3,74	3,72
11	3,41	3,37	3,32	3,30	3,28	3,37	3,30	3,24	3,21	3,19	3,59	3,54	3,50	3,47	3,45
12	3,15	3,11	3,08	3,06	3,04	3,11	3,06	3,01	2,99	2,96	3,36	3,32	3,28	3,26	3,23
	1 U 130 m					1 U 2x65m					2 U 130m				
1		3,10	3,05	3,02	3,00		3,05	2,98	2,94	2,92		3,31	3,25	3,23	3,20
2		3,23	3,17	3,15	3,13		3,18	3,10	3,07	3,05		3,42	3,36	3,33	3,31
3		3,41	3,35	3,33	3,30		3,35	3,27	3,23	3,21		3,57	3,51	3,49	3,46
4		3,77	3,71	3,68	3,65		3,69	3,60	3,56	3,53		3,88	3,82	3,79	3,76
5		4,29	4,22	4,19	4,16		4,19	4,09	4,04	4,01		4,32	4,25	4,22	4,19
6		4,33	4,26	4,22	4,19		4,22	4,12	4,07	4,04		4,36	4,29	4,25	4,22
7		4,34	4,28	4,25	4,22		4,23	4,14	4,10	4,06		4,37	4,31	4,28	4,24
8		4,36	4,30	4,26	4,23		4,25	4,16	4,11	4,07		4,39	4,32	4,29	4,26
9	4,40	4,31	4,25	4,22	4,19	4,31	4,20	4,12	4,07	4,04	4,44	4,35	4,29	4,26	4,22
10	3,82	3,76	3,71	3,68	3,66	3,75	3,67	3,60	3,57	3,54	3,95	3,89	3,84	3,81	3,78
11	3,50	3,45	3,41	3,39	3,37	3,44	3,38	3,32	3,29	3,27	3,67	3,62	3,58	3,56	3,53
12	3,25	3,21	3,17	3,16	3,14	3,20	3,15	3,10	3,08	3,05	3,44	3,41	3,37	3,35	3,32
	1 U 140 m					1 U 2x70m					2 U 140m				
1		3,19	3,14	3,11	3,09		3,14	3,06	3,02	3,00		3,39	3,33	3,31	3,29
2		3,32	3,26	3,24	3,22		3,26	3,18	3,14	3,12		3,50	3,44	3,41	3,39
3		3,49	3,44	3,41	3,38		3,42	3,34	3,31	3,28		3,65	3,59	3,56	3,53
4		3,83	3,77	3,74	3,71		3,74	3,66	3,62	3,59		3,94	3,88	3,85	3,82
5		4,33	4,26	4,23	4,19		4,22	4,13	4,08	4,04		4,35	4,28	4,25	4,22
6		4,36	4,30	4,26	4,23		4,25	4,15	4,10	4,07		4,39	4,32	4,29	4,25
7		4,38	4,31	4,28	4,25		4,26	4,17	4,13	4,09		4,40	4,34	4,31	4,28
8		4,39	4,33	4,30	4,27		4,27	4,19	4,14	4,10		4,42	4,36	4,32	4,29
9	4,43	4,34	4,29	4,26	4,22	4,34	4,23	4,15	4,10	4,07	4,46	4,38	4,32	4,29	4,26
10	3,88	3,82	3,77	3,75	3,72	3,80	3,73	3,66	3,62	3,59	4,01	3,95	3,89	3,87	3,84
11	3,57	3,53	3,49	3,47	3,44	3,51	3,44	3,39	3,36	3,33	3,74	3,69	3,65	3,62	3,60

11.4 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12	3,33	3,29	3,26	3,24	3,23	3,28	3,23	3,18	3,15	3,13	3,52	3,48	3,45	3,43	3,41
	1 U 150 m					1 U 2x75m					2 U 150m				
1		3,27	3,22	3,20	3,17		3,21	3,14	3,10	3,08		3,47	3,41	3,38	3,36
2		3,39	3,34	3,32	3,29		3,33	3,25	3,22	3,20		3,57	3,51	3,49	3,47
3		3,56	3,50	3,48	3,46		3,49	3,41	3,38	3,35		3,71	3,65	3,63	3,60
4		3,89	3,83	3,80	3,77		3,80	3,71	3,68	3,65		3,99	3,93	3,90	3,87
5		4,36	4,30	4,27	4,23		4,25	4,15	4,10	4,07		4,38	4,32	4,29	4,25
6		4,39	4,33	4,30	4,27		4,27	4,18	4,13	4,10		4,41	4,35	4,32	4,29
7		4,40	4,34	4,31	4,28		4,28	4,19	4,15	4,11		4,43	4,37	4,34	4,31
8		4,42	4,36	4,33	4,30		4,29	4,21	4,16	4,13		4,44	4,39	4,35	4,32
9	4,46	4,37	4,32	4,29	4,26	4,35	4,25	4,17	4,13	4,10	4,49	4,41	4,36	4,33	4,29
10	3,93	3,88	3,83	3,81	3,78	3,85	3,77	3,71	3,68	3,65	4,05	4,00	3,95	3,92	3,90
11	3,64	3,59	3,56	3,54	3,52	3,57	3,51	3,45	3,42	3,40	3,80	3,75	3,71	3,69	3,67
12	3,41	3,38	3,34	3,32	3,30	3,35	3,30	3,25	3,22	3,20	3,59	3,56	3,52	3,50	3,47
	1 U 160 m					1 U 2x80m					2 U 160m				
1		3,35	3,29	3,27	3,25		3,28	3,20	3,17	3,14		3,53	3,48	3,45	3,43
2		3,47	3,41	3,39	3,37		3,39	3,32	3,29	3,26		3,63	3,58	3,56	3,53
3		3,62	3,57	3,55	3,53		3,54	3,47	3,44	3,41		3,77	3,71	3,69	3,67
4		3,94	3,89	3,86	3,83		3,84	3,76	3,72	3,69		4,04	3,98	3,95	3,92
5		4,39	4,33	4,30	4,27		4,27	4,18	4,13	4,10		4,41	4,35	4,32	4,29
6		4,42	4,36	4,33	4,30		4,29	4,21	4,16	4,13		4,44	4,38	4,35	4,32
7		4,43	4,38	4,35	4,31		4,30	4,22	4,18	4,14		4,46	4,40	4,37	4,34
8		4,44	4,39	4,36	4,33		4,31	4,23	4,19	4,16		4,47	4,41	4,38	4,35
9	4,48	4,40	4,35	4,32	4,29	4,37	4,28	4,20	4,16	4,13	4,51	4,43	4,39	4,36	4,33
10	3,98	3,93	3,89	3,86	3,84	3,89	3,83	3,76	3,73	3,70	4,10	4,04	4,00	3,98	3,95
11	3,70	3,66	3,62	3,60	3,58	3,62	3,56	3,51	3,48	3,45	3,86	3,81	3,77	3,75	3,73
12	3,48	3,44	3,41	3,40	3,38	3,41	3,36	3,32	3,29	3,26	3,65	3,62	3,59	3,56	3,54

Iš lentelės duomenų iš karto matyti, kad didžiausią efektyvumą prie vienodų gręžinio gylių turi viengubasis gręžinys su dviem U-formos vamzdžiais. Sudarome vidutinių, viso veikimo laikotarpio, transformacijos koeficientų priklausomybės nuo ilgio grafiką.



	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
1 U 1	3,19	3,31	3,42	3,51	3,60	3,67	3,73	3,79	3,85	3,90
2 U 1	3,14	3,25	3,35	3,43	3,49	3,57	3,63	3,68	3,73	3,78
1 U 2	3,33	3,45	3,55	3,64	3,71	3,78	3,84	3,90	3,95	4,00

11.7 pav. Vidutiniai veikimo laikotarpio transformacijos koeficientai

Iš grafiko matome, kad gauta priklausomybė yra beveik tiesioginė. Viengubo šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais transformacijos koeficientas yra didžiausias. Tačiau palyginus su dvigubu šilumokaičiu su vienu U-formos vamzdžių, kurio transformacijos koeficientas yra mažiausias, skirtumas siekia 4,2%, kai gręžinio ilgis 70 m, ir 5,5 %, kai ilgis yra 160 m.

11.5. Reikalingo gręžinio gylio nustatymas

Reikalingas gręžinio gylis - tai gylis, kuris užtikrintų efektyvų šilumos siurblio darbą per visą nagrinėjamą laikotarpį. Nustatome, kad šilumos siurblys bus eksploatuojamas efektyviai, kai jo transformacijos koeficientas nebus žemesnis už 3,0. Mūsų atveju nagrinėjamas laikotarpis lygus 25 metams. Tai reiškia, kad transformacijos koeficientas dvidešimt penktais šilumos siurblio veikimo metais per šalčiausią mėnesį neturi būti mažesnis už mūsų pasirinktą dydį (COP = 3,0).

Pagal 11.4 lentelę surandame gręžinio gylį. Kai naudojamas viengubasis vertikalusis gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu, gręžinio gylis neturi būti mažesnis už 130 m. Kai naudojamas dvigubasis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu, gręžinio gylis lygus 140 m (2x70m). Trečiu atveju, kai naudojamas viengubasis gręžinys su dviem U-formos vamzdžiais, gylis lygus 110 m.

12. EKONOMINIS GRĘŽINIŲ VERTINIMAS

Ekonominiame gręžinių vertinime bus vertinami ne tik įrengimo kaštai, bet ir šilumos siurblio eksploataciniai kaštai ir cirkuliacinio siurblio, reikalingo šilumnešio cirkuliacijai gruntiniame šilumokaityje, eksploataciniai bei investiciniai kaštai.

12.1. Cirkuliacinio siurblio parinkimas

Tam, kad galima būtų parinkti cirkuliacinį siurblį, reikia žinoti du parametrus. Pirmas - šilumnešio turinis debitas, kuris yra lygus 1 l/s. Šis dydis buvo užduotas modeliuojant gruntinius šilumokaičius. Antras - gruntinio šilumokaičio hidraulinis pasipriešinimas.

Gruntinio šilumokaičio hidraulinis skaičiavimas atliekamas naudojant kompiuterinę programą. Kompiuterinės programos pavadinimas: Vamzdžio slėgio nuostolių skaičiuotuvas (Pipe Pressure Loss Calculator). Ji buvo sukurta Tehrano Politechnikos Universitete (Tehran Polytechnic University). Pati programa buvo parašyta Arašo Dejkamo (Arash Dejkam), padedant Hasano Madani (Hassan Madani). Programa išskirtina tuo, kad hidraulinės trinties koeficientas, kuris reikalingas hidrauliniams nuostoliams apskaičiuoti, nustatomas naudojant skirtingų autorių empirines formules. Skaičiavimams reikalingas šilumnešio klampumas (0,052 P (Puazas)), debitas, vamzdžio vidinis skersmuo (26 mm), vamzdžio medžiaga (polipropilenas) ir vamzdžio ilgis. Skaičiavimo rezultatai pateikiami lentelėje toliau.

12.1 lentelė Hidraulinių nuostolių skaičiavimo rezultatai

Gręžinio tipas ir gylis	Gręžinio vamzdžio ilgis, m	Debitas, l/s	Empirinės formulės tipas	Slėgio nuostoliai, Pa	Vidutiniai slėgio nuostoliai , Pa
1 U 1 130	260	1,0	Hazen Williams	45817	52261
			Chezy	55137	
			Colebrook	55830	
2 U 1 2x70	140	0,5	Hazen Williams	6834	8018
			Chezy	8120	
			Colebrook	9102	
1 U 2 110	220	0,5	Hazen Williams	10740	12601
			Chezy	12761	
			Colebrook	14303	

Iš 12.1 lentelės matome, kad, kai naudojamas viengubasis gręžinys su vienu U-formos vamzdžiu, slėgio nuostoliai kelis kartus viršija kituose gręžiniuose gautą reikšmę. Jeigu pažiūrėsime į debito stulpelį lentelėje, debitas pirmame atvejyje yra dvigubai didesnis. Tai nutinka dėl to, kad naudojamas vienas gręžinys su vienu U-formos vamzdžiu ir debitas nepasidalina.

Pagal gautus duomenis, naudojant Wilo Select kompiuterinę įrenginių parinkimo programą, parenkame cirkuliacinius siurblius.

12.2 lentelė Cirkuliaciniai siurbliai

Gręžinio tipas ir gylis	Cirkuliacinio siurblio tipas	Galia, kW	Kaina, Lt
1 U 1 130	Wilo TOP RL 30/6,5	0,230	894,00
2 U 1 2x70	Wilo Star RS 25/4	0,046	396,00
1 U 2 110	Wilo Star RS 25/6	0,068	481,00

Kainos 12.2 lentelėje paimtos iš CELSIS internetinio puslapio (19).

12.2. Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai

Tam, kad galima būtų apskaičiuoti cirkuliacinio siurblio eksploatacinius kaštus, reikia žinoti jo elektros energijos poreikius. Poreikių skaičiavimams reikalingas cirkuliacinių siurblių veikimo galingumas bei darbo valandos per 25 metus. Paprasčiausias būdas surasti siurblių veikimo laiką yra prilyginti jų veikimo valandas prie šilumos siurblio veikimo valandų. Turėdami pastato mėnesinius šilumos poreikius ir šilumos siurblio galingumą, nesunkiai surasime šilumos siurblio veikimo laiką per visą 25 metų modeliavimo laikotarpį. Todėl sekantis žingsnis bus skirtas šilumos siurblio galingumui apskaičiuoti.

12.2.1. Šilumos siurblio galios nustatymas

Statybos techniniame reglamente (20) pastato projektinė šilumos šaltinio galia yra apskaičiuojama neatsižvelgiant į šaltinio gyvavimo laikotarpį. Todėl šilumos siurblio galia bus nustatoma atsižvelgiant į tai, kad jo gyvavimo laikas neturi būti mažesnis už modeliavimo periodą, kuris yra 25 metai.

Dauguma mokslinių darbų autorių kompresorių vadina šilumos siurblio širdimi. Taip pat kompresoriaus gyvavimo laikas prilyginamas prie šilumos siurblio gyvavimo laiko. Tai reiškia, kad šilumos siurblys bus eksploatuojamas tol, kol veiks kompresorius. Kompresoriaus gyvavimo laikas lygus 50,000 valandų (21). Todėl, jeigu norime, kad šilumos siurblys veiktų mažiausiai 25 metus, kiekvienais metais jis turėtų veikti ne ilgiau kaip 2000 valandų.

Metinis šilumos poreikis pastato šildymui ir karšto vandens ruošimui lygus 27 140 kWh. Padalinus metinį šilumos poreikį iš veikimo valandų per metus, gausime šilumos siurblio galingumą.

$$P = \frac{27140}{2000} = 13{,}57\ (kW) \qquad 12.1$$

Kur:

P – šilumos siurblio galingumas.

Parenkame Alpha-InnoTec gamybos šilumos siurblį SWC 140 H, kurio galia 13,9 kW. Naudojant realaus šilumos siurblio galią perskaičiuojame jo metinį veikimo laiką.

$$t = \frac{27140}{13{,}9} = 1953\ (val.) \qquad 12.2$$

Kur:

t – metinis šilumos siurblio veikimo laikas, val.

12.3. Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai (tęsinys)

Turėdami laiką bei galingumą, apskaičiuojame cirkuliacinių siurblių elektros energijos poreikį. Įvertiname, kad elektros energijos kilovatvalandžio kaina lygi 37 cnt.

12.3 lentelė Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai

Gręžinio tipas ir gylis	Cirkuliacinio siurblio tipas	Galia, kW	Veikimo laikas per metus, val.	Eksploataciniai kaštai, Lt
1 U 1 130	Wilo TOP RL 30/6,5	0,230	1953	4155
2 U 1 2x70	Wilo Star RS 25/4	0,046		831
1 U 2 110	Wilo Star RS 25/6	0,068		1228

Eksploatacinių kaštų stulpelyje pateikiami kaštai už elektros energijos poreikį cirkuliaciniams siurbliams per 25 metų laikotarpį.

12.4. Šilumos siurblio eksploataciniai kaštai

Tam, kad apskaičiuotume šilumos siurblio eksploatacijos kaštus, turime žinoti šilumos siurblio elektros energijos poreikį. Turėdami mėnesinius šilumos siurblio efektyvumo koeficientus ir mėnesinius pastato šilumos poreikius, apskaičiuojame elektros energijos poreikį. Daroma prielaida, kad šilumos siurblys trečiaisiais ir ketvirtaisiais metais dirba su 2 modeliavimo metais gautu efektyvumo koeficientu, nuo penktų iki devintų metų imtinai priimamas 5 modeliavimo metais gautas efektyvumo koeficientas. Nuo dešimtųjų iki dvidešimt ketvirtųjų metų imtinai efektyvumo koeficientas išlieka toks pats, kaip ir 10 metais. Skaičiavimo rezultatai pateikiami lentelėje

12.4 lentelė Elektros energijos poreikiai

Mėnuo	Šilumos poreikis, MWh	Šilumos siurblio efektyvumo koeficientas (COP)					Elektros energijos poreikis, MWh				
		Metai					Laikotarpis metais				
		1	2	5	10	25	1	2-4	5-9	10-24	25
Viengubasis vertikalus gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu 130 m											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4,95		3,10	3,05	3,02	3,00		4,790	8,115	22,947	1,650
2	4,24		3,23	3,17	3,15	3,13		3,938	6,688	18,844	1,355
3	3,43		3,41	3,35	3,33	3,30		3,018	5,119	14,420	1,039
4	2,06		3,77	3,71	3,68	3,65		1,639	2,776	7,837	0,564
5	0,42		4,29	4,22	4,19	4,16		0,294	0,498	1,403	0,101
6	0,42		4,33	4,26	4,22	4,19		0,291	0,493	1,393	0,100
7	0,42		4,34	4,28	4,25	4,22		0,290	0,491	1,384	0,100
8	0,42		4,36	4,30	4,26	4,23		0,289	0,488	1,380	0,099
9	0,58	4,40	4,31	4,25	4,22	4,19	0,132	0,404	0,682	1,924	0,138
10	2,37	3,82	3,76	3,71	3,68	3,66	0,620	1,891	3,194	9,016	0,648
11	3,45	3,50	3,45	3,41	3,39	3,37	0,986	3,000	5,059	14,248	1,024
12	4,38	3,25	3,21	3,17	3,16	3,14	1,348	4,093	6,909	19,405	1,395
Suminis elektros energijos poreikis, MWh							189,950				
Dvigubasis vertikalus gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu 2x70 m											
1	4,95		3,14	3,06	3,02	3,00		4,729	8,088	22,947	1,650
2	4,24		3,26	3,18	3,14	3,12		3,902	6,667	18,904	1,359
3	3,43		3,42	3,34	3,31	3,28		3,009	5,135	14,508	1,046
4	2,06		3,74	3,66	3,62	3,59		1,652	2,814	7,967	0,574
5	0,42		4,22	4,13	4,08	4,04		0,299	0,508	1,441	0,104
6	0,42		4,25	4,15	4,10	4,07		0,296	0,506	1,434	0,103
7	0,42		4,26	4,17	4,13	4,09		0,296	0,504	1,424	0,103
8	0,42		4,27	4,19	4,14	4,10		0,295	0,501	1,420	0,102
9	0,58	4,34	4,23	4,15	4,10	4,07	0,134	0,411	0,699	1,980	0,143
10	2,37	3,80	3,73	3,66	3,62	3,59	0,624	1,906	3,238	9,166	0,660
11	3,45	3,51	3,44	3,39	3,36	3,33	0,983	3,009	5,088	14,375	1,036
12	4,38	3,28	3,23	3,18	3,15	3,13	1,335	4,068	6,887	19,467	1,399
Suminis elektros energijos poreikis, MWh							190,895				
Viengubasis vertikalus gruntinis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais 110 m											
1	4,95		3,11	3,05	3,02	3,00		4,775	8,115	22,947	1,650
2	4,24		3,24	3,17	3,15	3,12		3,926	6,688	18,844	1,359
3	3,43		3,41	3,35	3,32	3,29		3,018	5,119	14,464	1,043
4	2,06		3,75	3,68	3,65	3,62		1,648	2,799	7,901	0,569
5	0,42		4,25	4,17	4,13	4,10		0,296	0,504	1,424	0,102
6	0,42		4,29	4,21	4,18	4,14		0,294	0,499	1,407	0,101
7	0,42		4,31	4,24	4,20	4,16		0,292	0,495	1,400	0,101
8	0,42		4,32	4,25	4,22	4,18		0,292	0,494	1,393	0,100
9	0,58	4,38	4,28	4,22	4,18	4,14	0,132	0,407	0,687	1,943	0,140
10	2,37	3,83	3,75	3,70	3,68	3,65	0,619	1,896	3,203	9,016	0,649
11	3,45	3,51	3,46	3,41	3,38	3,36	0,983	2,991	5,059	14,290	1,027
12	4,38	3,26	3,22	3,18	3,16	3,14	1,344	4,081	6,887	19,405	1,395
Suminis elektros energijos poreikis, MWh							190,212				

Mažiausias elektros energijos poreikis, reikalingas šilumos siurblio veikimui, atsižvelgiant į mėnesinius šilumos siurblio efektyvumo koeficientus, per 25 modeliavimo metus yra, kai naudojamas viengubasis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu.

Įvertiname, kad elektros energijos kWh kaina lygi 37 cnt. Gauname, kad šilumos siurblio eksploataciniai kaštai, kai naudojamas viengubasis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu, lygūs 70, 3 tūkst. Lt. Kai naudojamas dvigubasis su vienu U formos vamzdžiu šilumokaitis, tada eksploataciniai kaštai lygūs 70,6 tūkst. Lt. Ir kai naudojamas viengubasis su dviem U-formos vamzdžiais šilumokaitis, eksploataciniai kaštai lygūs 70, 4 tūkst. Lt

12.5. Gręžinių įrengimo kaštai

Šiame poskyryje bus įvertinami geoterminių gręžinių įrengimo kaštai. Į kaštus bus įtraukti žemės gręžimo darbų kaštai, taip pat medžiagų, šilumnešio bei užpilo kaštai. Lentelėje toliau pateikiami darbų bei medžiagų kiekiai.

12.5 lentelė Medžiagų bei darbų žiniaraštis

Gręžinio tipas ir gylis	Gręžinio gylis, m	Vamzdžio ilgis, m	Šilumnešio tūris, m^3	Užpilo tūris, m^3
1 U 1 130	130	260	0,14	1,03
2 U 1 2x70	2 x 70	280	0,15	1,10
1 U 2 110	110	440	0,23	0,69

Vidutinė geoterminių gręžinių vieno metro gręžimo kaina be medžiagų yra 71,40 Lt. Vamzdžio kaina - 4 Lt 45 cnt. (19). Šilumnešio ir užpilo kainos priimamos atitinkamai 2 Lt už litrą ir 321,30 Lt už toną (bentonito tankis 800 kg/m^3). Lentelėje toliau pateikiama darbų bei medžiagų sąmata.

12.6 lentelė Gręžinių įrengimo sąmata

Medžiagos, darbai	Vieneto kaina, Lt/vnt.	1 U 1 130		2 U 1 2x70		1 U 2 110	
		Kiekis	Suma, Lt	Kiekis	Suma, Lt	Kiekis	Suma, Lt
Gręžimas, m	71,40	130	9282,00	140	9996,00	110	7854,00
Vamzdis, m	4,45	260	1157,00	280	1246,00	440	1958,00
Šilumnešis, l	2,00	140	280,00	150	300,00	230	460,00
Užpilas, kg	0,32	824	263,68	880	281,60	552	176,64
Iš viso, Lt			**10982,68**		**11823,60**		**10448,64**

Iš lentelės duomenų matome, kad viengubo šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais įrengimas yra pigiausias.

12.6. Ekonominio vertinimo rezultatai

Pagal apskaičiuotus eksploatacinius ir investicinius kaštus galime spręsti apie ekonominį gręžinio pranašumą.

12.7 lentelė Ekonominio vertinimo rezultatai

Gręžinio tipas ir gylis	Cirkuliacinio siurblio kaina, Lt	Gręžinio kaina, Lt	Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai, Lt	Šilumos siurblio eksploataciniai kaštai, Lt	Iš viso, Lt
1 U 1 130	894,00	10982,68	4155,00	70281,50	86313
2 U 1 2x70	396,00	11823,60	831,00	70631,15	83681
1 U 2 110	481,00	10448,64	1228,00	70378,44	82536

Pagal atliktus skaičiavimus viengubasis vertikalus gruntinis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais prie pasirinktų sąlygų yra pranašesnis. Skaičiavimo rezultatų skirtumas su dvigubu šilumokaičiu sudaro tik 1145 Lt per 25 metų veikimo laikotarpį.

13. IŠVADOS

1. Kompiuterinių modeliavimo programų, skirtų vertikalių gruntinių šilumokaičių projektavimui, analizės pagalba buvo pasirinktas labiausiai modeliavimo reikalavimus atitinkantis programinės įrangos paketas Earth Energy Designer EED versija 3.0. Šios kompiuterinės programos pasirinkimas pagrįstas jos naudojimo paprastumu, galimybe jos bandomąja versiją persisiųsti iš interneto bei tuo, kad programoje naudojami SI sistemos vienetai. Taip pat programoje esančios duomenų bazės platumas leidžia taikyti ją projektuojant vertikalius šilumokaičius daugumoje Europos Sąjungos šalių. Dėka šių išskirtinių programos savybių bei naudojimo patogumo ir paprastumo, palyginus su analitiniais bei skaitmeniniais modeliavimo metodais, kompiuterinės programos, skirtos vertikalių šilumokaičių modeliavimui, yra patikimiausias ir paprasčiausias projektavimo būdas.

2. Trijų skirtingo tipo vertikalių gruntinių šilumokaičių modeliavimo rezultatai parodė, kad didžiausia vidutinė visų nagrinėjamų gylių per visą modeliavimo laikotarpį šilumnešio temperatūra (2,29 ^{o}C) yra tuomet, kai naudojamas viengubasis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais. Daugiau negu dvigubai skiriasi viengubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu vidutinė visų gylių per visą modeliavimo laikotarpį temperatūra (1,06 ^{o}C). Dvigubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu vidutinė visų gylių per visą modeliavimo laikotarpį temperatūra yra mažiausia (0,28 ^{o}C).

3. Pagal vidutinį mėnesinį šilumos siurblio efektyvumą buvo pasirinkti skirtingų šilumokaičių tipų ilgiai, kurie užtikrintų efektyvų ilgalaikį šilumos siurblio veikimą. Šilumokaičio gylio pasirinkimo kriterijumi tapo šalčiausio mėnesio paskutiniais modeliavimo metais termodinaminio ciklo efektyvumo koeficientas. Viengubo šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais, viengubo

šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu ir dvigubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu pasirinkti gyliai atitinkamai 110 m, 130 m ir du gręžiniai po 70 m.

4. Ekonominės analizės rezultatai patvirtina, kad efektyviausias vertikalus gruntinis šilumokaitis yra viengubasis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais. Jo įrengimo investiciniai kaštai (darbų ir medžiagų kaštai), cirkuliacinio siurblio ir šilumos siurblio eksploataciniai kaštai per 25 metų laikotarpį yra mažiausi – 82,5 tūkst. Lt. Dvigubojo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu įrengimo investiciniai kaštai, cirkuliacinio siurblio ir šilumos siurblio eksploataciniai kaštai per 25 metų laikotarpį yra 83,6 tūkst. Lt. Viengubojo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu įrengimo investiciniai kaštai, cirkuliacinio siurblio ir šilumos siurblio eksploataciniai kaštai per 25 metų laikotarpį lygūs 86,3 tūkst. Lt.

14. LITERATŪRA

1. Geothermal Education Office. [Tinkle] [Cituota: 2009 m. 04 16 d.] http://geothermal.marin.org/GEOpresentation.

2. **Bertani, Ruggero ir Ungemach, Pierre.** *Geothermal Electricity and Combined Heat & Power.* [PDF Document] Brusell : European Geothermal Energy Council, 2007 m.

3. **Sanner, Burkhard.** *Ground Heat Sources for Heat Pumps.* [PDF Document] Giessen : Institute of Applied Geosciences.

4. **International, RETScreen®.** *GROUND-SOURCE HEAT PUMP PROJECT ANALYSIS.* ISBN: 0-662-39150-0.

5. **Rybach, Ladislaus ir Sanner, Burkhard.** *GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEMSTHE EUROPEAN EXPERIENCE.* [PDF Document] 2000 m.

6. **Dickson, Mary H. ir Fanelli, Mario.** *What is Geothermal Energy?* Pisa : Istituto di Geoscienze e Georisorse, 2004 m.

7. **D.Reay ir D.Macmichael.** *Heat pumps. Design And Application.* Oxford : Pergamon Press, 1979.

8. **IPCC.** Climate Change 2007:Synthesis Report. *Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Tinkle] 2007 m. [Cituota: 2009 m. 03 05 d.] http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm.

9. **IEA.** *KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2008.* Parice : s.n., 2008 m.

10. **Jakubovic, Artiom; Mauthner, Franz; Ligier, Jean-Baptiste; Kranz, Markus; Sorknæs, Peter; Nielsen, Steffen.** *Energy City Frederikshavn – Scenarios for 2030.* Aalborg : s.n., 2009.

11. *ASHRAE 2007 Handbook. HVAC Application. A32 Geothermal energy.*

12. **YAVUZTURK, CENK.** *MODELING OF VERTICAL GROUND LOOP HEAT EXCHANGERS FOR GROUND SOURCE HEAT PUMP SYSTEMS .* s.l. : Oklahoma State University , 1999 m.

13. **Hellström, Göran ir Sanner, Burkhard.** *PC-programs and modelling forborehole heat exchanger design.* [Paper from International Geothermal Days Germany 2001] Bad Urach : s.n., 2001 m.

14. **BLOCON.** Earth Energy Designer (EED) . *www.buildingphysics.com .* [Tinkle] 2008 m. http://www.buildingphysics.com/manuals/EED3.pdf.

15. *Ground Source Heat Pump Design.* [Tinkle] http://www.geokiss.com/software/Ver40_Instructions.PDF.

16. *GLHEPRO A Design Tool For Commercial Building Ground Loop Heat Exchangers.* **Spitler, J.D.** 2000.

17. **Lietuvos Respublikos Statybos ir urbanistikos ministerija.** *Statybinė klimatologija.* 94. RSN 156-94.

18. *R407C The Engineers Guide.* s.l. : Mitsubishi heavy industies LTD.

19. CELSIS. [Tinkle] [Cituota: 2009 m. 05 03 d.] http://www.celsis.lt/index.php?sid=b2f01f56c4614324aa76c21670197b39&cl=alist&cnid=CEL.W100000.

20. *STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui.* 2008.

21. **Elson, John P. ir Butler, Brian R.** *A Hermetic Scroll Compressor For Application To High Heat-Of-Compression Gases .* s.l. : Copeland Corporation, 2004.

22. **Berman, Edward R.** *Geothermal Energy.* London : Noyes Data Corporation, 1975.

23. **IGSHPA.** What is IGSHPA? *International Ground Source Heat Pump Association.* [Tinkle] [Cituota: 2009 m. 04 14 d.] http://www.igshpa.okstate.edu/about/about_us.htm.

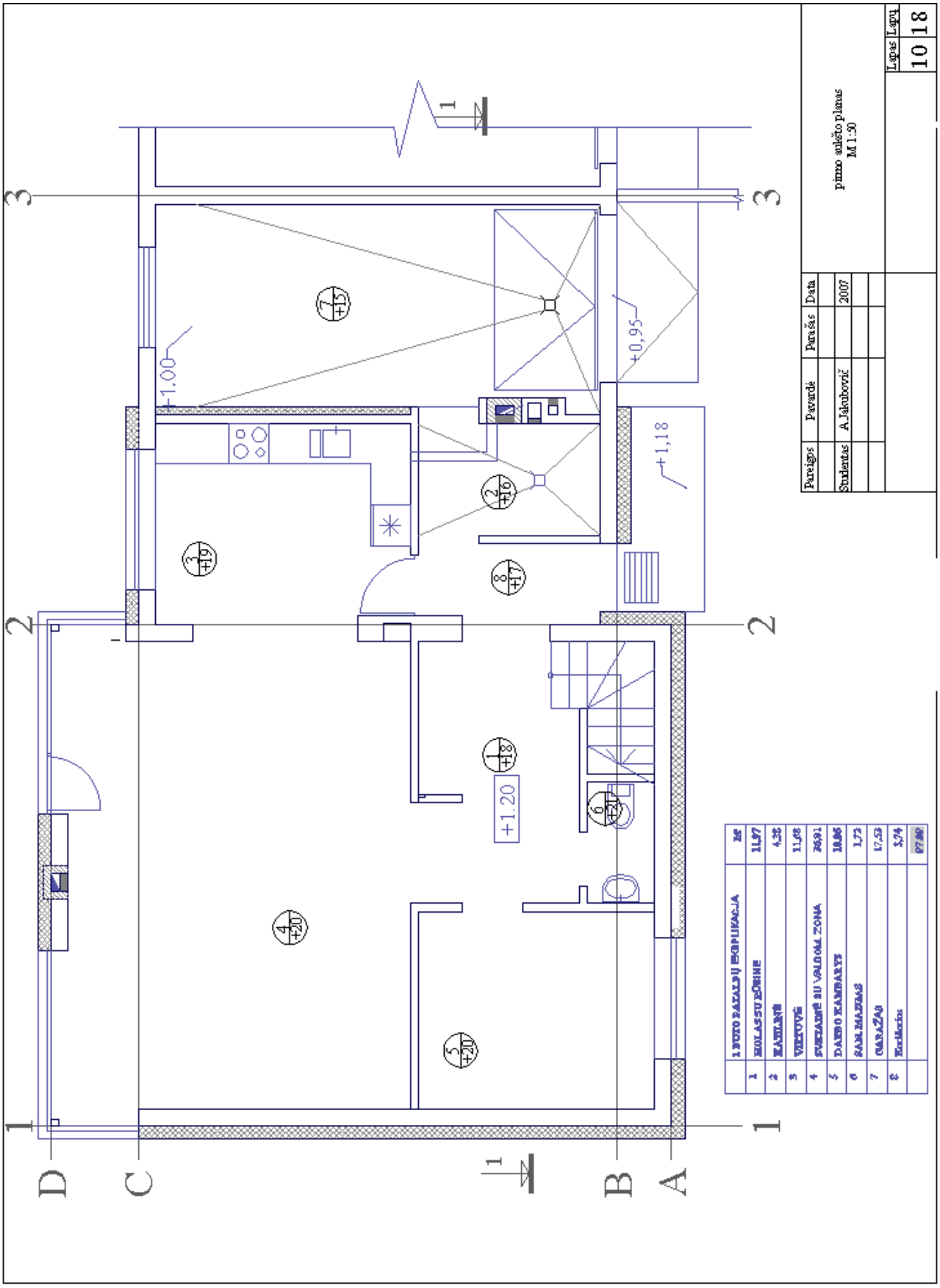
24. **Carrier, Corporation.** *HIGH EFFICIENCY COMPRESSION FOR COMMERCIAL AND INDUSTRIAL APPLICATIONS.* [PDF Document] New York : s.n., 2004 m.

25. *ASHRAE 1999 Handbook. HVAC Application. Geothermal energy.*

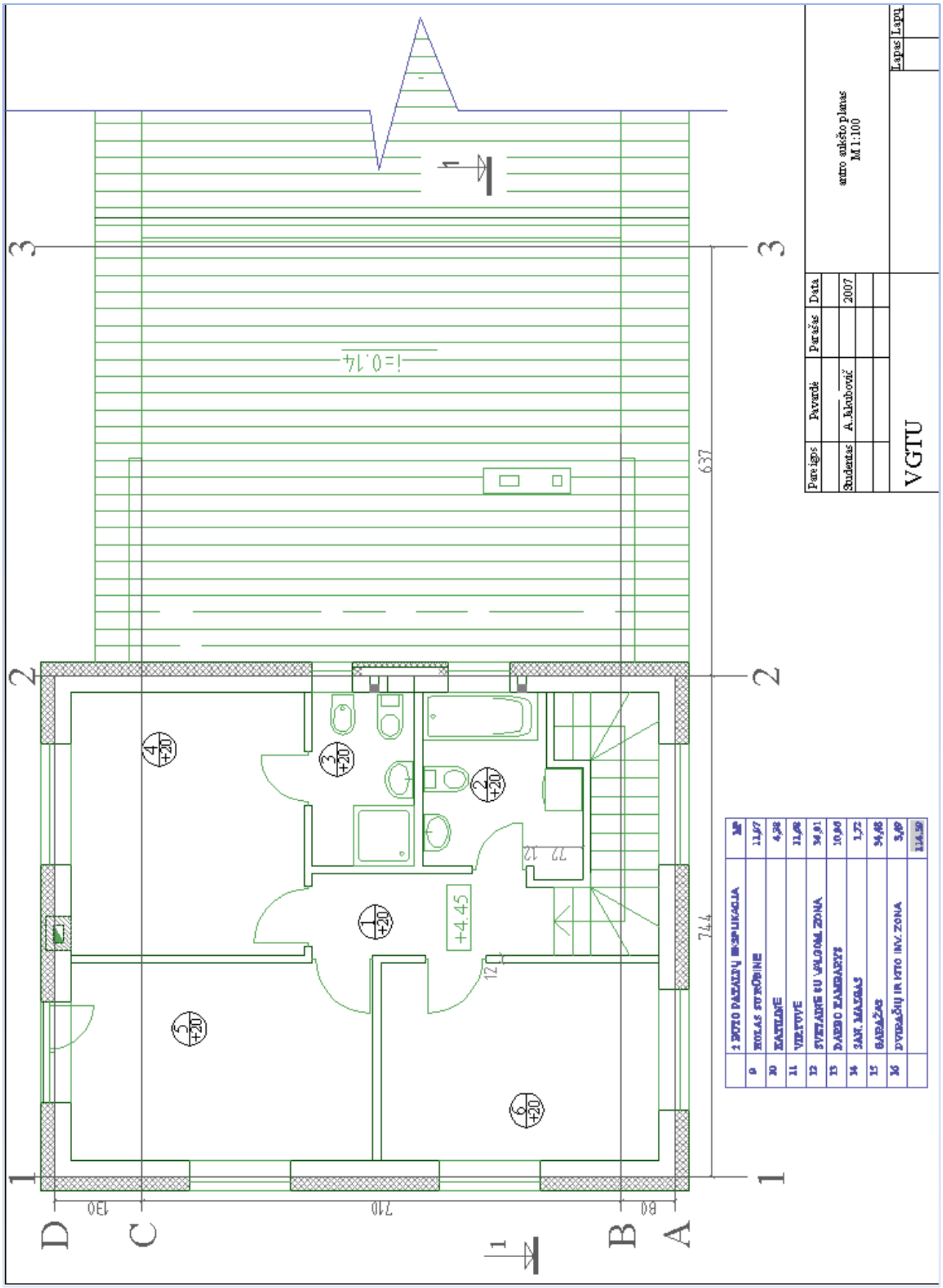
26. **Wemhöner, C. ir Afjei, Prof. Dr. Th.** *Seasonal performance calculation for residential heat pumps with combined space heating and hot water production.* Muttenz : Swiss Federal Office of Energy , 2003 .

15. PRIEDAI

15.1. Pirmo aukšto planas



15.2. Antro aukšto planas



15.3. Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui

Skaičiavimas atliktas pagal Str. 2.09.04: 2002 „Pastato šildymo sistemos galia“. Visi dydžiai bei žymėjimai yra tokie pat, kaip ir statybos techniniame reglamente.

PASTATO STATYBOS VIETOVĖS KLIMATOLOGINIAI DUOMENYS IR LAUKO ORO PROJEKTINIAI PARAMETRAI

Šiame skyriuje pateikiami vietovės, kurioje pastatytas nagrinėjamas pastatas, klimatologiniai duomenys bei projektiniai lauko oro parametrai.

Vidutinė oro temperatūra

Lentelėje pateikiama vidutinė mėnesių oro temperatūra.

Vidutinė mėnesių oro temperatūra

Stotis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Vilnius	-6,1	-4,8	-0,6	5,7	12,5	15,8	16,9	16,3	11,6	6,6	1,2	-2,9

Šildymo sezono oro temperatūros parametrai

Lentelėje pateikiamos šildymo sezono oro temperatūros pereigos per 10 °C datos, sezonų trukmė, vidutinė temperatūra ir dienos laipsniai.

Šildymo sezono oro temperatūros pereigos per 10 °C datos

Stotis	Sezonas, kai vidutinė paros oro temperatūra žemesnė už 10				
	Pereigos datos		Trukmė paromis	Vidutinė temperatūra, °C	Dienos laipsniai
	rudenį	pavasarį			
Vilnius, užmiestis	09.23	05.01	220	0,7	3806

Pagrindiniai duomenys, reikalingi šildymo ir vėdinimo sistemoms projektuoti

Ši Lietuvos vietovių klimatologinių duomenų lentelė skirta šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų ir įrengimų projektavimui.

Šilto/Šalto metų laiko projektiniai parametrai

Nr.	Vietovė	Metų laikas	Temperatūra, °C	Entalpija, KJ/kg	Barometrinis vietovės slėgis, hPa
			Parametrai B		
47	Vilnius	Šiltas	26,1	53,2	990
		Šaltas	-23	-21,9	

ŠILDOMŲ PATALPŲ MIKROKLIMATAS

Projektinės patalpų temperatūros

Nr.	Patalpų paskirtis	Norminė oro temperatūra, °C	Faktinė oro temperatūra, ° C
1	2	3	4
1 Aukštas			
1	Holas su rūbine	18-20	18
2	Katilinė	Ne žemesnė 10	16
1	2	3	4
3	Virtuvė	18-22	19
4	Svetaine	18-22	20
5	Darbo kambarys	18-22	20
6	Sanitarinis mazgas	18-22	21
7	Garažas	15	15
8	Tambūras	16-18	17
2 Aukštas			
1	Koridorius	18-20	18
2	Sanitarinis mazgas	20-23	21
3	Sanitarinis mazgas	20-23	21
4	Miegamasis kambarys	18-22	20
5	Miegamasis kambarys	18-22	20
6	Miegamasis kambarys	18-22	20

ATITVARŲ TERMINĖS SAVYBĖS

Išorinės sienos pagrindiniai parametrai

Sluoksnio Nr.	Sluoksnio pavadinimas	Plotis, m	Tankis, kg/m3	Savitoji šiluminė talpa, kJ/kgK	λ Šilumos laidumo koeficientas, W/mK	S Šilumos Imlumo koeficientas, W/m2K	R Šiluminė varža, m2K/W	D Šiluminė inercija
1	Pilnavidurių silikatinių plytų mūras	0,12	1800	1000	1,03	11,57	0,12	1,35
2	Nevėdinamas oro tarpas	0,03	1,23	1008	0,025	0,05	0,19	0,01
3	Mineralinė vata	0,15	15	1450	0,045	0,27	3,33	0,89
4	Keramzitbetonio blokeliai	0,25	1200	1000	0,230	4,47	1,09	4,85
5	Gipso tinkas	0,01	1300	1000	0,57	7,32	0,02	0,13
						Σ=	4,74	7,23

Stogo detalės pagrindiniai parametrai

Sluoksnio Nr.	Sluoksnio pavadinimas	Plotis, m	Tankis, kg/m3	Savitoji šiluminė talpa, kJ/kgK	Šilumos laidumo koeficientas, W/mK	Šilumos Imlumo koeficientas, W/m2K	Šiluminė varža, m2K/W	Šiluminė inercija
1	Gipso plokštės	0,0125	1200	1000	0,49	6,52	0,03	0,17
2	Mineralinė vata	0,05	50	840	0,037	0,34	1,35	0,45
3	Garo izoliacija	-	-	-	-	-	0,04	-
4	Polistireninis putplastis	0,15	25	1450	0,035	0,30	4,29	1,30
5	Mineralinė vata	0,03	200	840	0,041	0,71	0,73	0,52
6	Nevėdinamas oro tarpas	0,02	1,23	1008	0,025	0,05	0,17	0,01
7	Medis	0,01	500	1610	0,18	3,24	0,06	0,18
8	Stogo dangų bitumas	0,0035	1400	1000	0,27	5,23	0,01	0,07
						Σ=	6,67	2,69

Grindų ant grunto detalės pagrindiniai parametrai

Sluoksnio Nr.	Sluoksnio pavadinimas	Plotis, m	Tankis, kg/m3	Savitoji šiluminė talpa, kJ/kgK	Šilumos laidumo koeficientas, W/mK	Šilumos Imlumo koeficientas, W/m2K	Šiluminė varža, m2K/W	Šiluminė inercija
1	Grindų danga	0,009	1700	1400	0,25	6,56	0,036	0,24
2	Pagrindas	0,003	270	1400	0,1	1,65	0,030	0,05
3	Armuotas betonas	0,07	2300	1000	2,3	19,55	0,030	0,60
4	Politielenas	0,001	980	1600	0,5	7,53	0,002	0,02
5	Polistireninis putplastis	0,1	50	1450	0,033	0,42	3,030	1,26
6	Skalda	0,08	1800	90	0,7	2,86	0,114	0,33
7	Sutankintas gruntas	1,5	1700	9,1	2,0	1,50	0,750	1,12
						Σ=	3,24	3,60

Atitvarų šilumos nuostoliai Φ_{en}, W

Atitvarų šilumos nuostoliai

Nr.	Θi, oC	Atitvarų charakteristikos					Θe, oC	Θi-Θe	ku	Δk0	Δkw	Δkh	Δkd	1+Δk0+Δkw +Δkh+Δkd	Φel,W
		Atit. ir orient.	Matmenys, m: ilgis, m	Matmenys, m: aukštis, m	Plotas, m2	U, W/m2k									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 Aukštas															
1	18	fg			12,68	0,18	-6,1	0	1	0	0,02	0,01	0	1,03	0
	18	w/p	2,03	3,5	7,11	0,2	-23	41	1	0	0,02	0,01	0	1,03	60

Atitvarų šilumos nuostoliai (tęsinys)

60															
2	16	r/	1,73	2,76	4,77	0,15	-23	39	1	0	0,02	0,1	0	1,12	31
	16	w/p			3,87	0,20	-23	39	1	0	0,02	0,1	0	1,12	34
	16	fg/	1,73	2,76	4,77	0,18	-6	22	1	0	0,02	0,1	0	1,12	21
	16	wd/p	1	1,2	1,20	1,6	-23	39	1	0	0,02	0,1	0	1,12	84
170															
3	19	r/	2,99	3,84	11,48	0,15	-23	42	1	0	0,02	0,1	0	1,12	81
	19	wv/r	3,9	3,2	12,48	0,30	15	4	1	0	0,02	0,1	0	1,12	17
	19	wd/š	2,1	1,6	3,36	1,60	-23	42	1	0,05	0,02	0,1	0	1,17	264
	19	w/š			7,74	0,20	-23	42	1	0,05	0,02	0,1	0	1,17	76
	19	fg/	2,99	3,84	11,48	0,18	-6,1	25,1	1	0	0,02	0,1	0	1,12	58
496															
4	20	w/v	4,09	3,25	14,42	0,20	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	128
	20	w/š	2,03	3,25	10,95	0,20	-23	43	1	0,05	0,02	0,01	0	1,08	102
	20	w/r			0,98	0,20	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	9
	20	wd/š	5,81	2,5	14,53	1,60	-23	43	1	0,05	0,02	0,01	0	1,08	1079
	20	wd/v	1,5	2,5	3,75	1,60	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	266
	20	wd/r	1,3	2,5	3,25	1,60	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	230
	20	fg	7,19	5,08	36,53	0,18	-6,1	26,1	1	0	0,02	0,01	0	1,03	177
1990															
5	20	w/v	4,01	3,25	13,03	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	115
	20	w/p			8,32	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	74
	20	wd/p	1,79	1,6	2,86	1,6	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	203
	20	fg	3,56	2,99	10,64	0,18	-6,1	26,1	1	0	0,02	0,01	0	1,03	52
444															
6	21	w/p	1,92	3,25	6,24	0,2	-23	44	1	0	0,02	0,01	0	1,03	57
	21	fg	1,92	1,06	2,04	0,18	-6,1	27,1	1	0	0,02	0,01	0	1,03	10
67															
7	15	w/š			12,24	0,2	-23	38	1	0,05	0,02	0,04	0	1,11	103
	15	wv	6,6	3,72	11,23	0,3	19	-4	1	0	0,02	0,04	0	1,06	-14
	15	wd/š	1,5	0,6	0,90	1,6	-23	38	1	0,05	0,02	0,04	0	1,11	61
	15	w/p			4,39	0,2	-23	38	1	0	0,02	0,04	0	1,06	35
	15	d/p	2,5	2,27	5,68	1,6	-23	38	1	0	0,02	0,04	0	1,06	366
	15	r	3,13	6,6	20,66	0,15	-23	38	1	0	0,02	0,04	0	1,06	125
	15	fg	3,13	6,6	20,66	0,18	-6,1	21,1	1	0	0,02	0,04	0	1,06	83
759															
8	17	r	1,34	2,76	3,70	0,15	-23	40	1	0	0,02	0,01	0	1,03	23
	17	fg	1,34	2,76	3,70	0,18	-6,1	23,1	1	0	0,02	0,01	0	1,03	16
	17	w/p			0,79	0,3	-23	40	1	0	0,02	0,01	0	1,03	10
	17	d/p	1	2,2	2,20	1,6	-23	40	1	0	0,02	0,01	0	1,03	145
193															
													Viso: (W)		4179
2 Aukštas															
1	18	r	1,26	5,13	6,46	0,15	-23	41	1	0	0,02	0,01	0	1,03	41
	18	wd/p	1,8	0,8	1,44	1,6	-23	41	1	0	0,02	0,01	0	1,03	97
	18	w/p			11,00	0,2	-23	41	1	0	0,02	0,01	0	1,03	93
231															
2	21	r	2,44	2,63	6,42	0,15	-23	44	1	0	0,02	0,01	0	1,03	44
	21	w/r			4,68	0,2	-23	44	1	0	0,02	0,01	0	1,03	42
	21	wd/r	0,9	1,2	1,08	1,6	-23	44	1	0	0,02	0,01	0	1,03	78
164															
3	21	r	1,63	2,63	4,29	0,15	-23	44	1	0	0,02	0,01	0	1,03	29
	21	w/r			3,60	0,2	-23	44	1	0	0,02	0,01	0	1,03	33
	21	wd/r	0,6	1,2	0,72	1,6	-23	44	1	0	0,02	0,01	0	1,03	52

Atitvarų šilumos nuostoliai (pabaiga)

114														
4	20	r	3,51	3,96	13,90	0,15	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	92
	20	w/r	3,96	2,73	10,81	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	96
	20	w/š	4,4	2,97	13,07	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	116
	20	wd/š	1,8	1,6	2,88	1,6	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	204
508															
5	20	r	2,99	4,53	13,54	0,15	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	90
	20	w/v			16,37	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	145
	20	w/š			9,85	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	87
	20	wd/v	1,5	1,6	2,40	1,6	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	170
	20	wd/š	1,5	2,4	3,60	1,6	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	255
747															
6	20	r	2,99	4,17	12,47	0,15	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	83
	20	w/v			14,98	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	133
	20	w/p			9,49	0,2	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	84
	20	wd/v	1,5	1,6	2,40	1,6	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	170
	20	wd/p	1,79	1,6	2,86	1,6	-23	43	1	0	0,02	0,01	0	1,03	203
673															
														Viso: (W)	2437
														Viso: (W)	6617

Projektiniai šilumos nuostoliai per ilginius šilumos tiltelius Φ_Ψ, W

Šilumos nuostoliai per ilginius šilumos tiltelius

Patalpos numeris	Θi, 0C	Θe, 0C	Šiluminio tiltelio kodas	Θi-Θe	Ψ, W/mK	l, m	ku	ΦΨ, W
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Aukštas								
1	18	-23	3.1 Schema	41	-0,1	5,8	1	-24
	18	-23	7.5 Schema	41	0,2	5,22	1	43
	18	-23	8.20 Schema	41	0,05	1,81	1	4
23								
2	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	4,4	1	38
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	1	1	2
	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	6,4	1	14
	20	-23	1.1 Schema	43	0	1,79	1	0
54								
3	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	7,4	1	64
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	2,2	1	5
	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	3,2	1	7
	20	-23	1.1 Schema	43	0	2,99	1	0
75								
4	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	2,9	1	6
	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	27,58	1	237
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	8,78	1	19
	20	-23	Vitrinų kampai	43	0,5	5,8	1	125
387								
5	20	-23	3.1 Schema	43	-0,1	2,9	1	-12
	20	-23	4.1 Schema	43	0,05	3,5	1	8

Šilumos nuostoliai per ilginius šilumos tiltelius (pabaiga)

	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	2,9	1	6
	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	2,9	1	6
	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	4,99	1	43
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	1,79	1	4
54								
6	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	2,9	1	6
	20	-23	4.1 Schema	43	0,05	1,92	1	4
10								
7	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	13,7	1	118
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	4	1	9
	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	12,06	1	26
	20	-23	1.1 Schema	43	0	6	1	0
152								
8	17	-23	7.5 Schema	40	0,2	6,4	1	51
	17	-23	8.20 Schema	40	0,05	1	1	2
	17	-23	5.1 Schema	40	0,05	5,8	1	12
	17	-23	1.1 Schema	40	0	1,2	1	0
65								
							Viso: (W)	821
2 Aukštas								
1	18	-23	8.20 Schema	41	0,05	5,22	1	11
11								
2	21	-23	7.5 Schema	44	0,2	4,2	1	37
	21	-23	8.20 Schema	44	0,05	0,9	1	2
	21	-23	5.1 Schema	44	0,05	5,1	1	11
	21	-23	1.1 Schema	44	0	1,96	1	0
50								
3	21	-23	7.5 Schema	44	0,2	3,6	1	32
	21	-23	8.20 Schema	44	0,05	0,6	1	1
	21	-23	5.1 Schema	44	0,05	5,1	1	11
	21	-23	1.1 Schema	44	0	1,63	1	0
44								
4	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	6,8	1	58
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	1,8	1	4
	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	3,1	1	7
	20	-23	1.1 Schema	43	0	7,34	1	0
	20	-23	3.1 Schema	43	-0,1	2,55	1	-11
58								
5	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	14,3	1	123
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	3	1	6
	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	6,64	1	14
	20	-23	1.1 Schema	43	0	7,4	1	0
	20	-23	3.1 Schema	43	-0,1	3,53	1	-15
129								
6	20	-23	7.5 Schema	43	0,2	6,2	1	53
	20	-23	8.20 Schema	43	0,05	12,98	1	28
	20	-23	5.1 Schema	43	0,05	6,64	1	14
	20	-23	1.1 Schema	43	0	7,04	1	0
	20	-23	3.1 Schema	43	-0,1	3,53	1	-15
80								
							Viso: (W)	372
							Viso: (W)	1193

Vėdinimo šilumos nuostoliai Φ_v , W

Vėdinimo šilumos nuostoliai

Patalpos numeris	Θi, 0C	Θe, 0C	Ap, m2	h, m	Δkc	Δkb	Δkg	nin, h-1	Lin, m3/h	Levv, m3/h	Φin, W	Φev, W	Φv, W
1 Aukštas													
2	14	-23	4,38	3,2	1	-0,1	0,036	0,4	5,2	0	66	0	66
3	17	-23	11,68	3,2	1	-0,1	0,036	0,4	13,9	0	190	0	190
4	20	-23	36,81	2,9	1,2	-0,1	0,036	0,4	47,8	65,8	698	96	795
5	20	-23	10,06	2,9	1	-0,1	0,036	0,4	10,9	19,2	159	28	187
6	21	-23	1,72	2,9	1	-0,1	0,036	0,4	1,9	0	28	0	28
7	15	-23	19,29	3,4	1,2	-0,1	0,036	0,4	29,4	0	379	0	379
8	17	-23	3,54	3,2	1	-0,1	0,036	0,4	4,2	0	57	0	57
												Viso:	1702
2 Aukštas													
1	18	-23	4,1	2,83	1	-0,1	0	0,4	4,2	0	58	0	58
2	21	-23	5,5	2,83	1	-0,1	0	0,4	5,6	0	84	0	84
3	21	-23	3,76	2,83	1	-0,1	0	0,4	3,8	0	57	0	57
4	20	-23	13,2	2,83	1	-0,1	0	0,4	13,4	34,8	197	51	247
5	20	-23	12,88	3,28	1,2	-0,1	0	0,4	18,3	33,9	267	50	316
6	20	-23	11,83	3,28	1,2	-0,1	0	0,4	16,8	31,2	245	46	291
												Viso:	1054
												Σ=	2756

MĖNESINIS VIDUTINIS ŠILUMOS POREIKIS ŠILDYMUI

Mėnesio vidutinė pritekėjusi šiluma Q_{hg}, kWh

Mėnuo	Dienų skaičius	qs,j vid. šilumos srat. tankis	Lango angos plotas, m2	Agl įstiklintos lango dalies plotas, m2	Φsg, w	Qsg, kWh
Atitvaros orientacija Š						
1	2	3	4	5	6	7
9.23-10.1	7	45,3	25,27	18,95	386	64,91
10.1-11.1	31	23,7	25,27	18,95	202	150,38
11.1-12.1	30	10,5	25,27	18,95	90	64,48
12.1-01.1	31	9,5	25,27	18,95	81	60,28
01.1-02.1	31	15,6	25,27	18,95	133	98,99
02.1-03.1	29	32,4	25,27	18,95	276	192,32
03.1-04.1	31	52,7	25,27	18,95	449	334,40
04.1-05.1	30	56,9	25,27	18,95	485	349,40
Atitvaros orientacija R						
9.23-10.1	7	81,8	5,05	4	139	23,42
10.1-11.1	31	39,8	5,05	4	68	50,47
11.1-12.1	30	14,8	5,05	4	25	18,16
12.1-01.1	31	12,5	5,05	4	21	15,85
01.1-02.1	31	19,9	5,05	4	34	25,23
02.1-03.1	29	42,7	5,05	4	73	50,65
03.1-04.1	31	81,7	5,05	4	139	103,60
04.1-05.1	30	97,9	5,05	4	167	120,14
Atitvaros orientacija P						
9.23-10.1	7	117,2	8,37	6,28	331	55,62
10.1-11.1	31	71,6	8,37	6,28	202	150,48

Mėnesio vidutinė pritekėjusi šiluma Q_{hg}, kWh (pabaiga)

11.1-12.1	30	31,4	8,37	6,28	89	63,86
12.1-01.1	31	28,7	8,37	6,28	81	60,32
01.1-02.1	31	42,2	8,37	6,28	119	88,69
02.1-03.1	29	72,8	8,37	6,28	206	143,13
03.1-04.1	31	123,7	8,37	6,28	349	259,98
04.1-05.1	30	119,2	8,37	6,28	337	242,44
Atitvaros orientacija V						
9.23-10.1	7	78,9	8,55	6,41	228	38,25
10.1-11.1	31	38	9,55	7,16	122	91,12
11.1-12.1	30	14,7	10,55	7,91	52	37,69
12.1-01.1	31	12,7	11,55	8,66	50	36,83
01.1-02.1	31	20,6	12,55	9,41	87	64,92
02.1-03.1	29	44,7	13,55	10,16	204	142,28
03.1-04.1	31	84,5	14,55	10,91	415	308,72
04.1-05.1	30	93,5	15,55	11,66	491	353,30

Mėnesio vidutiniai vidiniai šilumos pritekėjimai nuo vidinių šilumos šaltinių

Mėnuo		Dienų skaičius	qp, W/ m2	qea, W/ m2	qel, W/ m2	Φig, W	Qig, kWh
9.23-10.1	rugsėjis	7	0,74	0,32	0,76	363,3	61,03
10.1-11.1	spalis	31	0,74	0,32	0,76	363,3	270,28
11.1-12.1	lapkritis	30	0,82	0,32	1,11	449,7	323,80
12.1-01.1	gruodis	31	0,82	0,32	1,11	449,7	334,59
01.1-02.1	sausis	31	0,82	0,32	1,11	449,7	334,59
02.1-03.1	vasaris	29	0,82	0,32	1,11	449,7	313,01
03.1-04.1	kovas	31	0,74	0,32	0,76	363,3	270,28
04.1-05.1	balandis	30	0,74	0,32	0,76	363,3	261,56

Mėnesio vidutinė projektinė pritekėjusi šiluma

Mėnuo		Qsg, kWh	Qig, kWh	Qhg, kWh
9.23-10.1	rugsėjis	145,76	61,03	206,79
10.1-11.1	spalis	353,97	270,28	624,24
11.1-12.1	lapkritis	147,35	323,80	471,15
12.1-01.1	gruodis	138,63	334,59	473,22
01.1-02.1	sausis	222,26	334,59	556,86
02.1-03.1	vasaris	422,71	313,01	735,71
03.1-04.1	kovas	805,36	270,28	1075,64
04.1-05.1	balandis	852,23	261,56	1113,79
	Σ	2169,13	3088,26	5257,39

Vidutiniai mėnesiniai šilumos poreikiai pastato šildymui

Mėnuo	Dienų skaičius	Vidutinė mėnesio temperatūra, oC	ΣΦelm+ΣΦΨm +Φev+Φin, W	Qel + QΨ + Qv, kWh	Qsg, kWh	Qig, kWh	Qh, kWh	Qhs, kWh
9.23-10.1	7	11,6	1919	322,33	145,76	61,03	156,90	161,75
10.1-11.1	31	6,6	3215	2392,00	353,97	270,28	1892,60	1951,13
11.1-12.1	30	1,2	4615	3322,91	147,35	323,80	2945,99	3037,10
12.1-01.1	31	-2,9	5678	4224,58	138,63	334,59	3846,00	3964,95
01.1-02.1	31	-6,1	6508	4841,87	222,26	334,59	4396,38	4532,35
02.1-03.1	29	-4,8	6171	4294,89	422,71	313,01	3706,32	3820,95
03.1-04.1	31	-0,6	5082	3780,90	805,36	270,28	2920,39	3010,71
04.1-05.1	30	5,7	3448	2482,85	852,23	261,56	1591,82	1641,05
								22120,0