



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Tomas Kungys**

**„ŠILUMOS SIURBLIO PRIVAČIAME GYVENAMAJAME  
NAME TECHNINIS IR EKONOMINIS TYRIMAS“**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Dr. Tomas Deveikis

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**„ŠILUMOS SIURBLIO PRIVAČIAME GYVENAMAJAME  
NAME TECHNINIS IR EKONOMINIS TYRIMAS“**

Baigiamasis magistro projektas

**Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)**

**Vadovas**

(parašas) Dr. Tomas Deveikis

(data)

**Recenzentas**

(parašas)

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) EAM-9/1 gr. stud.: Tomas Kungys

(data)

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

**Tomas Kungys**

(Studento vardas, pavardė)

**Elektros energetikos sistemos (621H63005)**

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Šilumos siurblio privačiame gyvenamajame name  
techninis ir ekonominis tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Gegužės 25 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Kungio** baigiamasis projektas tema „Šilumos siurblio privačiame gyvenamajame name techninis ir ekonominis tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Kungys T., „Šilumos siurblio privačiame gyvenamajame name techninis ir ekonominis tyrimas“. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Tomas Deveikis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 52 psl.

## SANTRAUKA

*Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas pastato aprūpinimas šiluma šilumos siurbliu vertikaliuoju grunto kolektoriumi. Pagrindinės darbe sprendžiamos problemos yra susijusios su ilgalaikiu šilumos siurblio eksploatavimu. Šilumos siurblio kintamasis šiame tiriamajame darbe priimamas gruntinis šilumokaitis. Todėl, gruntinis šilumokaitis turės didelę įtaką, nes nuo jame esančios temperatūros priklausys šilumos siurblio darbo efektyvumas. Pirmoje darbo dalyje pateikiama informacija, kuri susijusi su šilumos siurbliais: šilumos siurblių panaudojimo būdai, tipai. Tyrimo rezultatų dalyje pateikiama gruntinių šilumokaičių modeliavimo analizė. Tiriama trijų skirtingų tipų vertikalūs gruntiniai šilumokaičiai. Tiriamojo darbo rezultatas: šilumnešio vidutinės mėnesinės temperatūros 25 metų laikotarpiui. Pagal šias gautas temperatūras nustatomas vidutinis mėnesinis efektyvumo koeficientas. Pagal gautus efektyvumo koeficientus apskaičiuojamas reikalingas elektros energijos poreikis ir atliekama ekonominė analizė. Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, apžvalginė dalis, metodinė dalis, tyrimo rezultatų dalis, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis: 52 p., darbas be priedų, 30 pav., 22 lent., 20 literatūros šaltinių.*

*Reikšminiai žodžiai (iki 8 žodžių): vertikalus grunto kolektorius, gruntinis šilumokaitis, šilumos siurblys.*

Kungys Tomas., „Technical and Economic Research on Heat Pump in a Private Residential House“. Final project of *master* / supervisor dr. Tomas Deveikis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of power systems.

Kaunas, 2015. 52 psl.

## SUMMARY

*The main problems that are solved in this thesis are tailored with heat pumps longtime efficiency. The borehole heat exchanger in this final master was selected as a variable of a heat pump system. Therefore, ground heat exchanger will have a significant impact, because it will depend on the temperature of the heat pump efficiency. First part of this thesis represents information that relates to the heat pump: heat pumps uses, types. The practical part of the thesis contains analysis of the simulation for soil heat exchangers. The simulations of three different heat exchangers types are made. Research work result: show heat carrier's mean monthly temperatures during time period of 25 years. Using these temperatures the heat pump's mean monthly temperatures during time period of 25 years. Using coefficients of performance the calculation of electric power demand and economic analysis is made. Volume of the thesis 52 p., of the text without the annexes, 30 figures, 22 tables, 20 references.*

*Keywords (up to 8 words): vertical ground collector, ground heat exchanger, heat pump.*

## TURINYS

IVADAS.....	9
1. ŠILUMOS SIURBLIAI IR JŲ ĮRANGA .....	10
1.1 Bendrosios žinios apie šilumos siurblius .....	10
1.2 Principinės šilumos siurblių jungimo schemas.....	11
1.3 Pastatų šiluminės charakteristikos, komfortinės klimato sąlygos patalpose ir šilumos siurbLIAI.....	13
1.4 Šilumos siurblio naudojimo trukmė .....	13
1.5 Šiltnamio efektas, atmosferos tarša CO <sub>2</sub> dujomis ir šilumos siurbLIAI .....	14
1.6 Kaip parinkti žematemperatūrio ir aukštatemperatūrio potencialo šilumos šaltinį.....	15
2. ŠILUMOS SIURBLIAI.....	15
2.1 ŠILUMOS SIURBLIAI, KURIE KAIP ŠILUMOS ŠALTINĮ NAUDOJA GRUNTO ŠILUMĄ	16
2.1.1 Šilumos siurbLIAI su horizontaliuoju kolektoriumi.....	16
2.1.2 Šilumos siurbLIAI su vertikaliuoju gręžtiniu kolektoriumi.....	17
2.1.3 Šilumos siurbLIAI su pastato konstrukciniuose elementuose įmontuotais kolektoriais .....	18
3. TYRIMO REZULTATŲ DALIS.....	23
3.1 Vertikaliuoju grunto šilumokaičio modeliavimas. Pastatui reikalingas mėnesinis šilumos poreikis.....	23
3.2 Gręžinio ir grunto šilumokaičio parametrai .....	27
3.3 Grunto savybės .....	28
3.4 Šilumnešio parametrai.....	29
3.5 Modeliavimo laikotarpis .....	30
4. MODELIAVIMO REZULTATAI.....	30
4.1 Viengubas grunto šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu .....	30
4.2 Dvigubas grunto šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu.....	33
4.3 Viengubas grunto šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais.....	36
4.3 Termodinaminio ciklo efektyvumas .....	39
4.4 Reikalingo gręžinio gylio nustatymas .....	43
4.5 Ekonominis gręžinių vertinimas.....	44
4.6 Cirkuliacinio siurblio parinkimas.....	44
4.7 Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai.....	45
4.8 Šilumos siurblio galios nustatymas.....	45
4.9 Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai.....	45
4.10 Šilumos siurblio eksploataciniai kaštai .....	46

4.11 Grežinių įrengimo kaštai .....	47
4.12 Ekonominio vertinimo rezultatai .....	48
IŠVADOS.....	49
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS .....	51

## **PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS**

1.1 pav. Šilumos siurblys: a - principinė schema; b - termodinaminis ciklas; I - garintuvas; II - kompresorius; III - kondensatorius; IV - peršaldytuvas; V - droseliavimo ventilis; VI - skysčio atskirtuvas; $T_2$ - šilumnešio temperatūra kondensatoriuje, $T_1$ - šilumnešio temperatūra garintuve; $q_1$ – paimama šiluma; $q_2$ - atiduodama vandeniui šiluma, I - ciklo įvykdymui sunaudotas darbas .....	10
1.2 pav. Iš įvairių šilumos šaltinių imama šilumnešio temperatūros kitimas atskirais mėnesiais Lietuvoje: 1 - aplinkos oro; 2 - grunto; 3 - nuotekų.....	11
1.3 pav. Principinė dviejų šilumos siurblių HT-80 jungimo schema, taikoma iš Nemuno į cheminio vandens paruošimo sistemą tiekiamam vandeniui pašildyti.....	12
1.4 pav. Principinė šilumos siurblio HT-300 jungimo schema, taikoma šildymo sistema drauge su vandens šildymo katilu: 1 – šilumos siurblio garintuvas; 2 - šilumos siurblio kondensatorius; 3 - šilumos akumuliatorius; 4 - vandens šildymo katilas; 5 - cirkuliaciniai siurbliai .....	12
1.5 pav. Turbokompresorinio šilumos siurblio HT-3000 jungimo schema, kai gautas šilumnešis naudojamas pačioje įmonėje ar tiekiamas į centralizuoto šilumos tiekimo sistemos grįžtamąją liniją .....	13
1.6 pav. Šilumos siurblių kompresorinės ir pikinės katilinės šiluminės apkrovos bei metinės šilumos gamybos pasiskirstymas: $\tau_1$ – iš pikinės katilinės šilumnešio temperatūra, $^{\circ}\text{C}$ ; $\tau_2$ – iš šilumos siurblio tiekiamo šilumnešio temperatūra, $^{\circ}\text{C}$ ; $\tau$ – vidutinė šilumnešio temperatūra, $^{\circ}\text{C}$ .....	14
2.1 pav. Šilumos siurblio principinė schema.....	16
2.2 pav. Horizontaliųjų kolektorių tipai .....	17
2.3 pav. Šilumos siurblys su vertikaliuoju kolektoriumi .....	17
2.4 pav. Pastatas su šiluminiais poliais .....	18
2.5 pav. Energinė polių sistema.....	19
2.6 pav. Vamzdelių išvedžiojimo poliuje būdai .....	20
2.7 pav. Šilumos akumuliacinio grunte būdas.....	21
2.8 pav. Didžiausio geoterminio šildymo/vėsinimo su šiluminiais poliais įgyvendintas projektas, Atrio prekybos centras Austrijoje.....	21
2.9 pav. Vienos metro stoties geoterminis šildymas.....	22
3.1 pav. “Earth Energy Designer” kompiuterinės programos darbo laukas .....	24

3.2 pav. Mėnesinių šilumos poreikių suvedimas .....	25
3.3 pav. Mėnesiniai šilumos poreikiai.....	26
3.4 pav. Mėnesiniai karšto vandens poreikiai.....	27
3.5 pav. Gręžinio ir šilumokaičio parametrai.....	28
3.6 pav. Grunto parametrai .....	29
3.7 pav. Šilumnešio parametrai.....	29
3.8 pav. Modeliavimo laikotarpio parametrai .....	30
4.1 pav. Šilumnešio temperatūrų priklausomybės keičiantis metams .....	32
4.2 pav. Minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gręžinio gylio.....	33
4.3 pav. Šilumnešio temperatūrų priklausomybės keičiantis metams .....	35
4.4 pav. Minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gręžinio gylio.....	36
4.5 pav. Šilumnešio temperatūrų priklausomybės keičiantis metams .....	38
4.6 pav. Minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gręžinio gylio.....	39
4.7 pav. Vidutiniai, per visą veikimo laikotarpį, transformacijos koeficientai .....	43

## **LENTELIŲ SĄRAŠAS**

3.1 lentelė. Mėnesiniai šilumos poreikiai šildymui .....	23
3.2 lentelė. Šilumos poreikis šildymui .....	26
3.4 lentelė. Metinės grunto paviršiaus temperatūros.....	29
4.1 lentelė. 1-U-1 modeliavimo rezultatai (šilumnešio temperatūros).....	30
4.2 lentelė. Vidutinės šilumnešio temperatūros.....	31
4.3 lentelė. Minimalios ir maksimalios reikšmės .....	32
4.4 lentelė. Modeliavimo rezultatai (šilumnešio temperatūros).....	33
4.5 lentelė. Vidutinės šilumnešio temperatūros.....	34
4.6 lentelė. Minimalių ir maksimalių reikšmių lentelė .....	35
4.7 lentelė. Modeliavimo rezultatai (šilumnešio temperatūros).....	36
4.8 lentelė. Vidutinės šilumnešio temperatūros.....	37
4.9 lentelė. Minimalių ir maksimalių reikšmių lentelė .....	38
4.10 lentelė. Termodinaminio ciklo efektyvumo (COP) rezultatai.....	40
4.11 lentelė. Vidutiniai, per visą veikimo laikotarpį, transformacijos koeficientai .....	42
4.12 lentelė. Hidraulinių nuostolių skaičiavimo rezultatai .....	44
4.13 lentelė. Parinkti cirkuliaciniai siurbliai .....	44
4.14 lentelė. Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai 25 metų laikotarpyje .....	45
4.14 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos poreikiai .....	46
4.15 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos poreikiai .....	46

<i>4.16 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos poreikiai .....</i>	<i>47</i>
<i>4.17 lentelė. Gręžinių įrengimo kaina .....</i>	<i>47</i>
<i>4.18 lentelė. Ekonominio vertinimo rezultatai .....</i>	<i>48</i>



## ***IVADAS***

Šiame darbe tiriama šildymo, tuo pačiu, ir vėsinimo sistemos alternatyva naujai pastatytame privačiame gyvenamajame name, kuriame naudojamas vertikalojo gręžinio kolektorius. Didžiausia problema, projektavimo metu, atsiranda kai parenkamas blogas gruntinis šilumokaitis, t.y., jis neužtikrina efektyvaus – ilgalaikio šilumos siurblio darbo, arba kai parenkamas gruntinis šilumokaitis per didelis, tada išauga ženkliai ekonominiai kaštai, tuo pačiu, išauga ir atsipirkimo laikotarpis.

Tiriamosiose dalyje nagrinėjami įvairūs vertikalių gruntinių šilumokaičių modeliavimo metodai. Modeliuojami trys skirtingi vertikalūs gruntiniai šilumokaičiai: viengubas vertikalus šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu (1-U-1), dvigubas šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu (2-U-1), ir viengubas šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais (1-U-2). Modeliavimui pasirinktas „Earth Energy Designer 3.21“ kompiuterinis programos paketas. Modeliuojant pasirenkamas 25 metų šilumos siurblio darbo laikotarpis. Gaunami modeliavimo rezultatai: vidutinės mėnesinės šilumnešio, kuris cirkuliuoja uždareme gruntiniame šilumokaityje, temperatūros. Naudojant šias gautas šilumokaičio temperatūras, atliktas modeliavimas „CoolPack“ kompiuterinės programos paketu, šilumos siurblių termodinaminiam ciklam gauti, pagal kuriuos buvo nustatytas vidutinis mėnesinis šilumos siurblio efektyvumo koeficientas (COP). Pagal šiuos efektyvumo koeficientus buvo nustatytas optimalus gruntinių šilumokaičių gręžinių gylis. Parinkus viengubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu (140 m.), dvigubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu (2x70 m.) ir viengubą šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais (120 m.), buvo atlikta ekonominė analizė. Analizės metu buvo įvertinta investiciniai cirkuliacinių siurblių ir šilumos siurblių eksploataciniai kaštai. Investicinių kaštų įvertinimui buvo sudaryta ir atliekamų darbų ir medžiagų sąmata. Eksploataciniai kaštai vertinami visam darbo laikotarpiui – 25 metams. Atlikus ekonominį tyrimą, buvo nustatyta, kad efektyviausias yra dvigubas gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu.

### ***Darbo problema:***

Brangstant iš kastiniui kurui, tuo pačiu, brangsta ir elektros energijos gamyba, todėl ieškomi nauji būdai tradiciniams energijos, šiuo atveju – šiluminės, gamybos būdams. Pasaulyje ir Lietuvoje jau pakankamai plačiai taikomos šilumos siurblių sistemos, tačiau, Lietuvoje šios sistemos naudojamos visai nesenai. Išvystytos tik pagrindinės sistemų kombinacijos, tokios kaip šilumos siurblys su horizontaliuoju grunto kolektoriumi bei su vertikaliuoju kolektoriumi („zonda“).

### ***Darbo aktualumas:***

Vis labiau populiarėjant šilumos siurblio šildymo sistemoms, siekiama pasiekti kuo didesnę komforto lygį, bei sumažinti šildymo ir vėsinimo kaštus. Šie šilumos siurbliai dažniausiai įrengiami tankiai apgyvendintose vietovėse, ten, kur žemės sklypai yra riboto ploto ir energetikos infrastruktūra nėra išplėtotą. Esant tokiai situacijai, dujinės katilinės ar centralizuoto šildymo nėra galimybės įsirengti.

### ***Darbo tikslas:***

Pagrindinis darbo tikslas – sumodeliuoti tris skirtingus gruntinius šilumokaičius ir nustatyti jų temperatūras 25 metų laikotarpyje. Pagal gautas gruntinių šilumokaičių temperatūras, nustatyti jų efektyvumo koeficientus ir pagal juos parinkti reikiamus gręžinių gylius, bei atlikti ekonominę investicinių ir eksploatacinių kaštų analizę viso darbo laikotarpiui (25 metams).

### ***Darbo uždaviniai:***

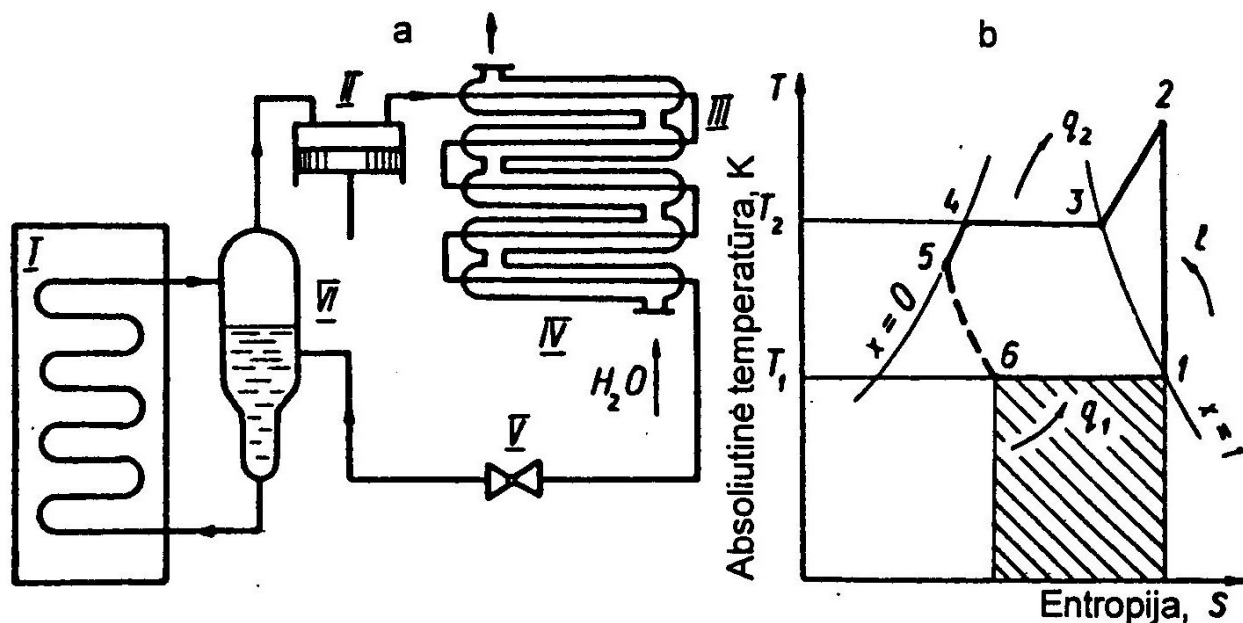
- Apžvelgti geoterminės energijos panaudojimą Lietuvoje;
- Aptarti darbo metodiką;
- Parinkti tiriamajam darbui reikalingas kompiuterines modeliavimo programas;
- Atlikti vertikalios gruntinio šilumokaičio modeliavimą trimis skirtingais atvejais;
- Atlikti gautų rezultatų analizę;
- Atlikti ekonominę analizę;
- Pateikti išvadas.

### ***Darbo taikymo sritis:***

Gauti darbo rezultatai gali būti taikomi analizuojant šilumos gamybos galimybes naujai statomuose pastatuose.

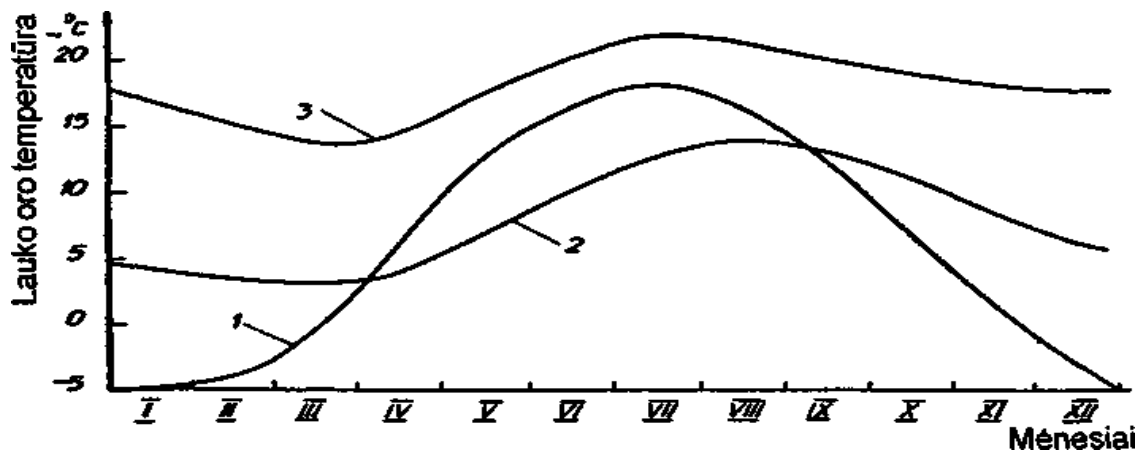
# 1. ŠILUMOS SIURBLIAI IR JŲ ĮRANGA

## 1.1 Bendrosios žinios apie šilumos siurblius



1.1 pav. Šilumos siurblys: a - principinė schema; b - termodinaminis ciklas; I - garintuvas; II - kompresorius; III - kondensatorius; IV - peršaldytuvas; V - droseliavimo ventilis; VI - skysčio atskirtuvas; T<sub>2</sub> - šilumnešio temperatūra kondensatoriuje, T<sub>1</sub> - šilumnešio temperatūra garintuve; q<sub>1</sub> – paimama šiluma; q<sub>2</sub> - atiduodama vandeniui šiluma, I - ciklo įvykdymui sunaudotas darbas

Šilumos siurblyje vykstantis termo-dinaminis procesas niekuo nesiskiria nuo šaldymo ciklo T-S diagramoje pavaizduoto ciklo. Garintuve šilumnešio slėgis ir temperatūra yra pastovūs. Garinimo proceso (6-1) metu šilumnešis žemos temperatūros šaltinio šilumos dėka garuoja. Šie garai kompresoriuje suslegiami (procesas 1-2), todėl kyla jų slėgis ir temperatūra. Toliau šilumnešis patenka į kondensatorių ir aušintuvą (procesas 2-3), kur jis kondensuojasi (procesas 3-4) ir ataušta (procesas 4-5). Šių procesų metu šiluma perduodama šildymo sistemos šilumnešiu (vandeniui). Toliau pirminis šilumnešis teka per droseliavimo ventilį (procesas 5-6). Šiame procese slėgis krinta iki garintuve esančio šilumnešio slėgio. Toliau ciklas kartojasi.



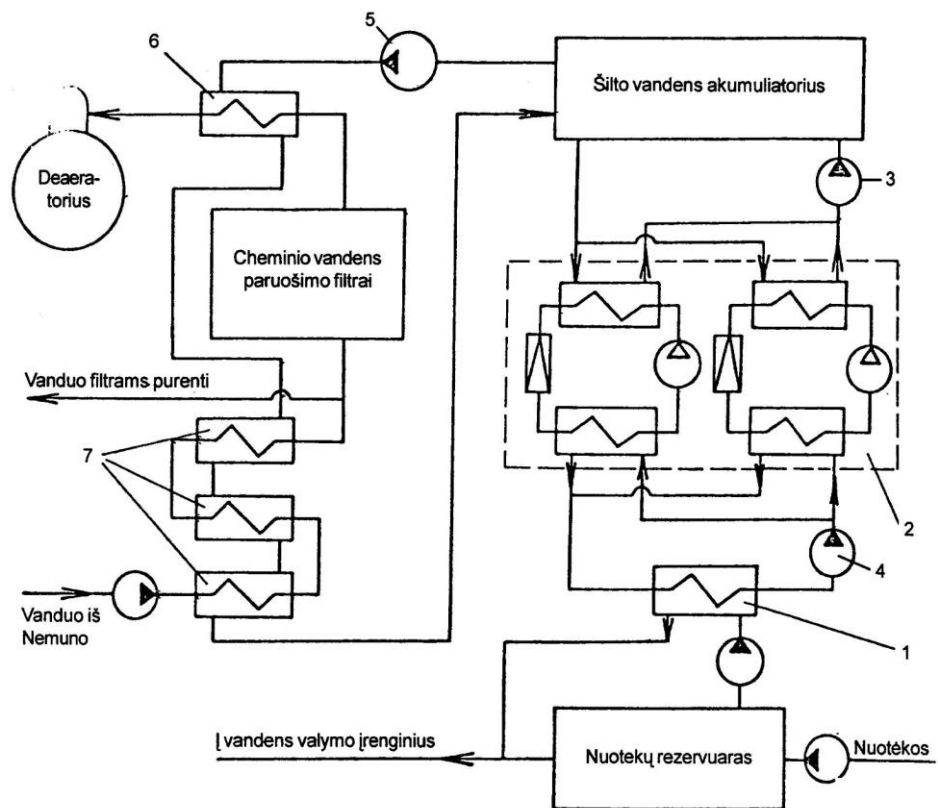
1.2 pav. Iš įvairių šilumos šaltinių imama šilumnešio temperatūros kitimas atskirais mėnesiais Lietuvoje: 1 - aplinkos oro; 2 - grunto; 3 - nuotekų

Svarbiausia šilumos siurblio charakteristika yra gautos šiluminės energijos ir tam sunaudoto darbo santykis. Freoninių šilumos siurblių jis yra 0,3 - 0,65. Jeigu šilumos siurblio šilumos galia yra nuo 200 iki 1000 kW, jis yra 0,45 - 0,5, o jei nuo 1000 iki 3000 kW, - 0,55 - 0,6. Atliekami tyrimai, kaip šilumos siurblių veikimo principą remti atvirkštiniais Stirlingo ir Eriksono darbo ciklais. Ciklo efektyvumas didėja, jeigu naudojamas aukštesnės temperatūros žematemperatūrio potencialo pirminis šilumos šaltinis. Tai gali būti grunto, vandens telkinių, aplinkos oro, nuotekų ar iš technologinių procesų šalinamos šilumos srautas. Kaip kinta šių šaltinių temperatūra įvairiais metų mėnesiais, parodyta grafike.

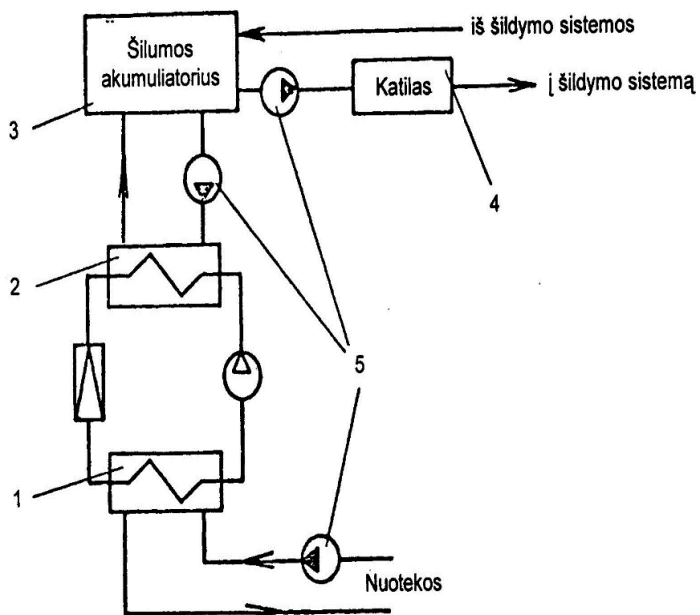
Kaip pirminis žematemperatūrio potencialo šaltinis geriausiai tinka nuotekos arba apytakinės aušinimo sistemos, nes jų temperatūra atskirais mėnesiais kinta nežymiai. Serijiniu būdu gaminamo šilumos siurblio HT-80 ruošiamo šilumnešio maksimali temperatūra neviršija 65°C. Šį siurblių sudaro kompresorius, kondensatorius, garintuvas, šilumokaitis, filtrinis džiovintuvas ir du valdymo bei prietaisų pultai. Šio siurblio darbo agentas yra freonas R12, kuris naudoja žematemperatūrio potencialo 6-15°C (nuotekų) šilumą, o tiekia - 60°C. Jo šilumos galia yra iki 90 kW, o naudojamoji elektrinė galia - 34 kW. Jeigu reikia aukštesnės temperatūros šilumnešio, naudotinas freonas R114.

### 1.2 Principinės šilumos siurblių jungimo schemas

Apytakinės vandens aušinimo ar nuotekų aušinimo sistemos, atsižvelgiant į juose cirkuliuojantį vandens srautą, skirstomos į tris grupes: I – daugiau kaip 500 m<sup>3</sup>/h, II – nuo 100 iki 500 m<sup>3</sup>/h ir III – nuo 20 iki 100 m<sup>3</sup>/h. Įmonėms, kuriose šalinama iki 100 m<sup>3</sup>/h vandens, tinka šilumos siurbliai HT-80. Įrengiami vienas arba du tokie siurbliai. Antrosios grupės įmonėms tiktų siurbliai HT-300, o pirmosios – HT-3000.

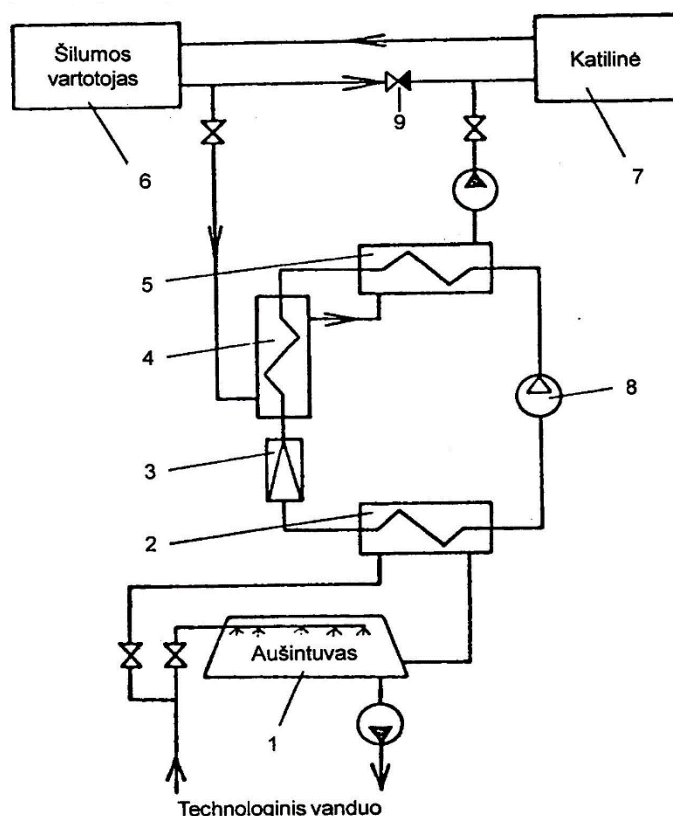


1.3 pav. Principinė dviejų šilumos siurblių HT-80 jungimo schema, taikoma iš Nemuno į cheminio vandens paruošimo sistemą tiekiamam vandeniui pašildyti: 1 - žematemperatūris šilumokaitis; 2 - šilumos siurbliai; 3-5 – cirkuliaciniai siurbliai; 6 – chemiškai valyto vandens šilumokaitis; 7 – iš Nemuno tiekiamo vandens šildytuvas



Vietoj šilumos siurblio HT-300 gali būti naudojamas JAV firmos THERMOFLO šilumos siurblys C-840.

1.4 pav. Principinė šilumos siurblio HT-300 jungimo schema, taikoma šildymo sistema drauge su vandens šildymo katilu: 1 – šilumos siurblio garintuvas; 2 - šilumos siurblio kondensatorius; 3 - šilumos akumulatorius; 4 - vandens šildymo katilas; 5 - cirkuliaciniai siurbliai



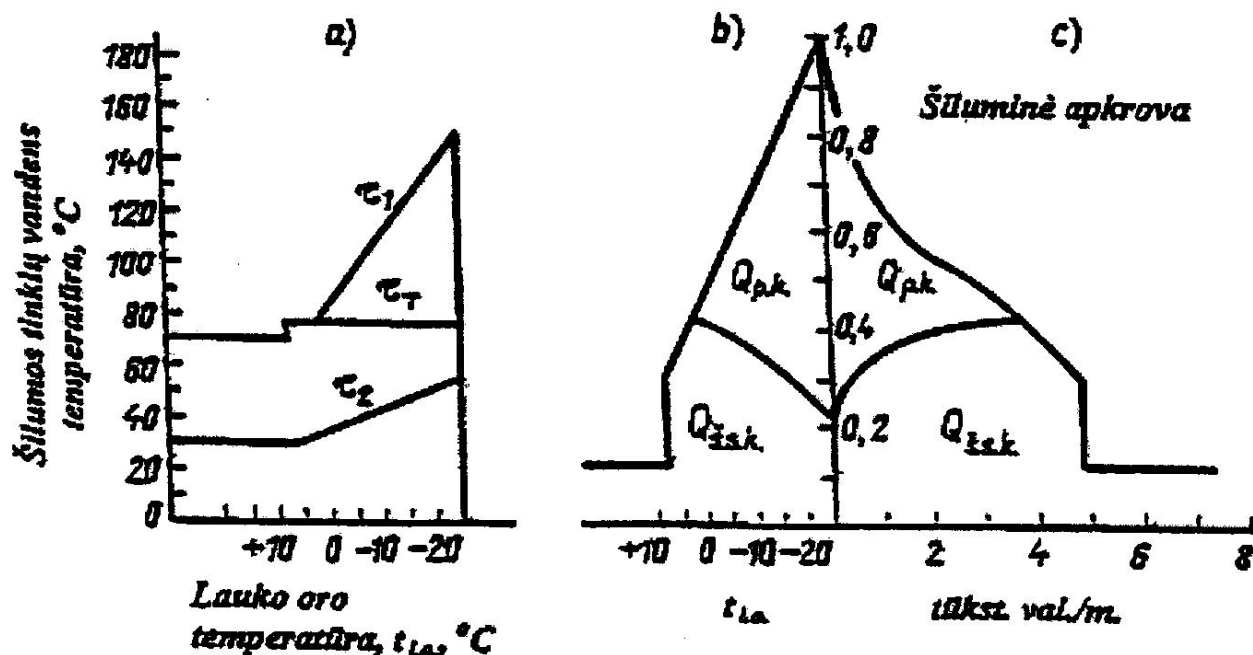
1.5 pav. Turbokompresorinio šilumos siurblio HT-3000 jungimo schema, kai gautas šilumnešis naudojamas pačioje įmonėje ar tiekiamas į centralizuoto šilumos tiekimo sistemos grįžtamąją liniją: 1 – technologinio įrenginio aušintuvas, per kurį cirkuliuoja vanduo; 2 – garintuvas; 3 – droselis; 4 – aušintuvas; 5 – kondensatorius; 6 – šilumos vartotojas; 7 – katilinė; 8 – turbokompresorius; 9 – atbulinis vožtuvas

### 1.3 Pastatų šiluminės charakteristikos, komfortinės klimato sąlygos patalpose ir šilumos siurbliai

Šilumos siurblys - modernus, pirminę energiją taupantis, tačiau gana brangus šilumos tiekimo įrenginys. Individualiame name, kuriame atitvoros atitinka STR reikalavimus, gali būti įrengtos grindų šildymo sistemos, kurių šilumos šaltinis būtų šilumos siurblys, naudojantis grunto ar gruntinio vandens šilumą.

### 1.4 Šilumos siurblio naudojimo trukmė

Kadangi šilumos siurblio įranga yra brangi, todėl, kad greičiau atsiperktų, jis turėtų dirbti ištisus metus ir būti naudojamas ne tik pastatams šildyti, karštam vandeniui ruošti, bet ir aušinti patalpas vasarą. 1.6 pav. parodytos šilumos siurblių kompresorinės ir pikinės katilinės šiluminės apkrovos bei metinės šilumos gamybos pasiskirstymas:



1.6 pav. Šilumos siurblių kompresorinės ir pikinės katilinės šiluminės apkrovos bei metinės šilumos gamybos pasiskirstymas:  $\tau_1$  – iš pikinės katilinės šilumnešio temperatūra, °C;  $\tau_2$  – iš šilumos siurblio tiekiamo šilumnešio temperatūra, °C;  $\tau$  – vidutinė šilumnešio temperatūra, °C

Šilumos poreikių ir šiluminės energijos gamybos per metus pasiskirstymas kai veikia šilumos siurbliai ir pikinės katilinės: a) šilumnešio temperatūros grafikas; b) šilumos poreikių kitimo grafikas; c) šiluminės energijos gamybos kitimo grafikas.

$Q_{s.k.}$ ,  $Q_{p.k.}$  – ruošiamos šiluminės energijos kiekiai šilumos siurbliais ir pikinėse katilinėse.

### 1.5 Šiltnamio efektas, atmosferos tarša CO<sub>2</sub> dujomis ir šilumos siurbliai

Kuo tankesnė atmosfera, tuo didesnė jos įtaka šiltnamio efektui. Šiltnamio efektą didina į atmosferą patenkančių anglies dioksido (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), azoto dioksido (N<sub>2</sub>O) ir kitų dujų kiekiai. Didžiausią įtaką jam turi į atmosferą patenkančių CO<sub>2</sub> dujų kiekis. 80% jų susidaro deginant organinį kurą.

Dėl šiltnamio efekto Žemės klimatas šyla apie +0,6 °C per 100 metų, o Arktikoje – iki +0,4 °C per 10 metų. Anglijoje atlikti tyrimai parodė, kad vidutinė temperatūra Žemės paviršiuje iki 2025 m. pakils 1 laipsniu, o iki XXI amžiaus pabaigos +3 °C. Dėl to vandenynų lygis gali pakilti atitinkamai 20 ir 65 cm.

Tuo tarpu, šilumos siurbliai efektyviai taupo organinį kurą ir mažina atmosferos užteršimą CO<sub>2</sub> dujomis. Vakarų valstybėse įdiegti šilumos siurbliai jau šiandien gerokai sumažina ne tik įvežamo skystojo kuro kiekį, bet ir į atmosferą šalinamo CO<sub>2</sub> kiekį.

### *1.6 Kaip parinkti žematemperatūrio ir aukštatemperatūrio potencialo šilumos šaltinį*

Pagrindinė šilumos siurblio charakteristika yra šilumos transformacijos koeficientas  $\varphi$ , kuris įvertina, kiek kartų įrenginyje išsiskyręs šilumos srautas yra didesnis už jam suteiktą darbą siurblio ciklui įvykdyti. Šilumos transformacijos koeficientas priklauso nuo žematemperatūrio ir aukštatemperatūrio potencialo šilumos šaltinių temperatūros. Jis išreiškiamas idealiu atvirkštinio Karno ciklo principu:

$$\varphi = \frac{T_2}{(T_2 - T_1)}; \quad (1.1)$$

$T_1$  – žematemperatūrio potencialo šilumos šaltinio temperatūra, K;

$T_2$  – aukštatemperatūrio potencialo šilumos šaltinio temperatūra, K;

Aukštatemperatūrio potencialo šilumos šaltinio temperatūros  $T_2$  pokyčiai mažai turi įtakos šilumos transformacijos koeficientui  $\varphi$ , palyginti su žematemperatūrio potencialo šilumos šaltinio temperatūros  $T_1$  pokyčiu.

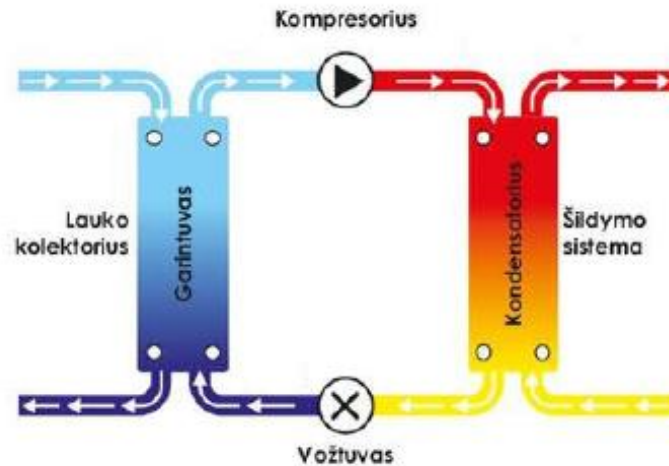
Atvirkštiniam Karno ciklui vykdyti reikalingas kitos energijos kiekis priklauso nuo to, kuo aukštesnė yra žematemperatūrio potencialo šilumos šaltinio temperatūra ir kuo žemesnė aukštatemperatūrio potencialo šilumos šaltinio temperatūra.

## **2. ŠILUMOS SIURBLIAI**

Šiame skyriuje plačiau apžvelgsime šilumos siurblių veikimo principus, jų technologiją, šilumos paėmimo ir žematemperatūrės aplinkos būdus [9].

Antrasis termodinamikos dėsnis sako – uždaroje sistemoje šiluma iš šaltesnio kūno negali būti perduota šiltesniam kūnui. Jei norima atlikti atvirkščią procesą, reikės panaudoti darbą ir energiją iš už sistemos ribų, būtent taip ir dirba šilumos siurblys. Populiariausi pastatų šildymui pritaikyti šilumos siurbLIAI veikia garo kompresijos principu. Juos sudaro 4 pagrindiniai elementai: garintuvas, kompresorius, kondensatorius ir išsiplėtimo vožtuvas. Visi šie elementai sujungti į vieną uždara žiedą, kuriuo cirkuliuoja šaldymo agentas (freonas) [10] (3.1 pav.)





2.1 pav. Šilumos siurblio principinė schema

Garintuve šilumnešio (dažniausiai freono) temperatūra yra palaikoma žemesnė už aplinkos, dėl to šiluma yra paimama iš aplinkos, o šilumnešis išgaruoja. Tada jis suspaudžiamas kompresoriumi, taip perkeliamas šilumnešio slėgis ir temperatūra. Karštas šilumnešio garas patekęs į kondensatorių kondensuojasi, taip atiduodamas šilumą į šildymo sistemą. Aukšto slėgio šilumnešiui praėjus pro išsiplėtimo vožtuvą, krenta jo slėgis ir temperatūra. Tada jis vėl nukreipiamas į garintuvą.

## **2.1 ŠILUMOS SIURBLIAI, KURIE KAIP ŠILUMOS ŠALTINĮ NAUDOJA GRUNTO ŠILUMĄ**

### *2.1.1 Šilumos siurbliai su horizontaliuoju kolektoriumi*

Kolektorius – tai dažniausiai plastikinis vamzdelis išvedžiotas grunte. Vamzdeliai nutiesti 0,8 – 1,5 m gylyje, 0,5 – 1,0 m atstumu vienas nuo kito (4.1 pav.), tam, kad gruntas aplink kolektorių neperšaltų ir nesumažintų šilumos siurblio efektyvumo. Žemė virš kolektoriaus negali būti užstatyta, uždengta (kad ant jos patektų lietus) ar izoliuota. Priklausomai nuo grunto drėgmės ir savybių, kolektorius šilumos siurbliui gali tiekti apie 25 W/m<sup>2</sup> šiluminės energijos. Horizontalių kolektorių įrengimas kainuoja mažiau nei vertikalųjų, kadangi, nereikalinga specializuota įranga gręžinių gręžimui ir kolektoriaus įleidimui. Vertikalaus kolektoriaus įrengimas 200 m<sup>2</sup> ploto individualiam namui šildyti gali kainuoti apie 15 000 Lt, o horizontalus kolektoriaus paklojimas – beveik dvigubai pigiau. Horizontalus kolektorius veikia kaip uždara sistema, kurioje šilumai pernešti paprastai naudojamas vandeninis glikolio tirpalas.



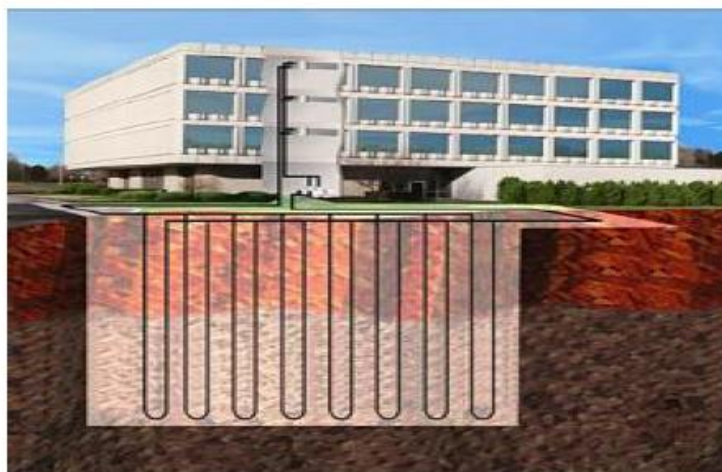
2.2 pav. Horizontaliųjų kolektorių tipai

Horizontaliųjų kolektorių privalumai:

- Ištisus metus aukšta šilumos šaltinio temperatūra (apytiksliai nuo  $-2$  iki  $+15$   $^{\circ}\text{C}$ );
- Uždara sistema su neužšalančiu vandeniniu glikolio tirpalu;
- Paprasta pasitelkti šilumos šaltinį.

### 2.1.2 Šilumos siurbliai su vertikaliuoju gręžtiniu kolektoriumi

Tokio tipo kolektoriai (4.2 pav.) dažniausiai įrengiami tada, kai nepakanka vietos įrengti horizontaliųjų kolektorių. Vertikalieji kolektoriai įrengiami 30 – 100 metrų gylyje.



2.3 pav. Šilumos siurblys su vertikaliuoju kolektoriumi

Priklausomai nuo grunto savybių, galima gauti apie  $50 \text{ W/m}^2$  šiluminės energijos. Norint gerai suprojektuoti ir įrengti vertikalųjį kolektorių, būtina atlikti TRT (thermal response test), kurio metu sužinomos tikslios grunto šiluminės savybės. Taip pat atliekant gręžimą TRT testui išsiaiškinama grunto sluoksninė struktūra, gruntinio ir paviršinio vandens buvimo vieta, bei nustatomos jo tekėjimo kryptis. Kadangi, gręžiant gręžinį dažniausiai kertami sluoksniai, kuriuose teka gruntinis vanduo, vertikaliųjų kolektorių įrengimui ir eksploatavimui reikalingas aplinkosaugos institucijos leidimas. Tankiai apgyvendintose statomuose/stovinčiuose namuose,

kurie turi mažai laisvo žemės ploto, vertikalieji kolektoriai yra geriausias pasirinkimas, kadangi dėl vietos stokos horizontaliųjų kolektorių ten įrengti neįmanoma.

Vertikaliųjų kolektorių privalumai:

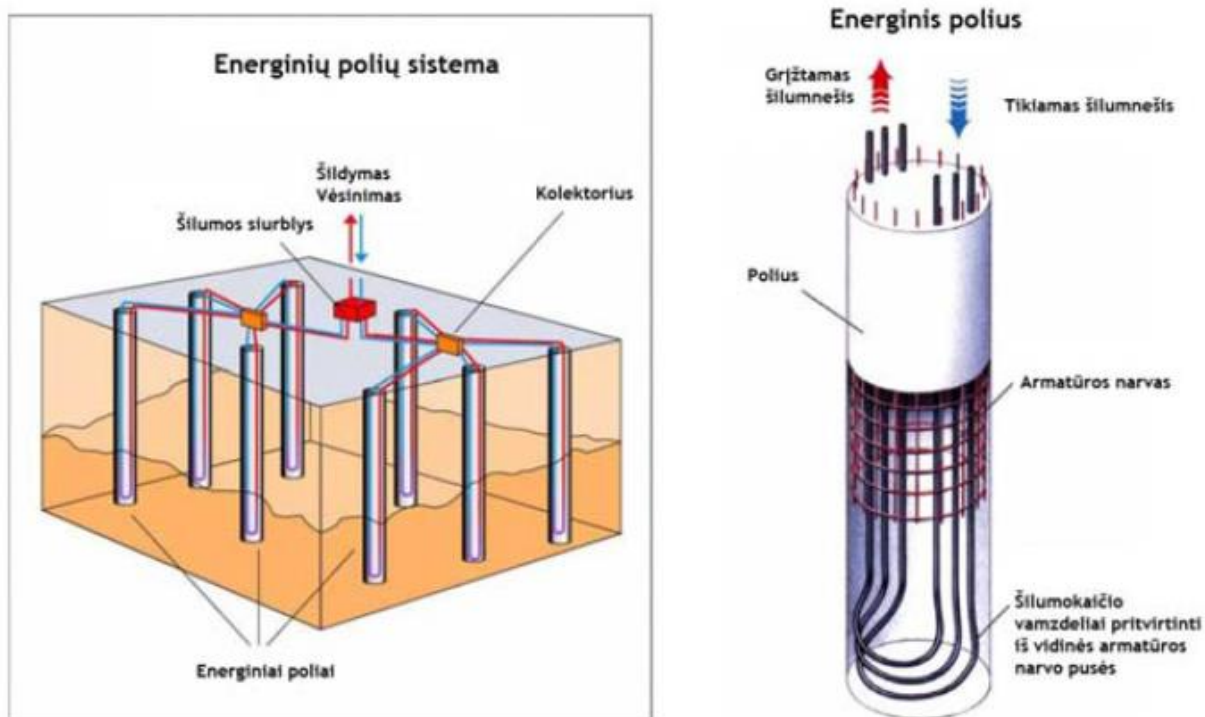
- Ištisus metus, pakankamai aukšta šilumos šaltinio temperatūra (apytiksliai nuo -2 iki +15 °C);
- Uždara sistema su neužšalančiu vandeniliniu glikolio tirpalu;
- Kolektorių įrengimui nereikia didelių žemės plotų;

### 2.1.3 Šilumos siurbliai su pastato konstrukciniuose elementuose įmontuotais kolektoriais

Požeminiai betoniniai pastato elementai, tokie kaip: poliai, pamatų konstrukcijos, rūšio grindys, ant grunto gali absorbuoti šiluminę energiją iš grunto ir gruntinio vandens (5 pav.). Energija absorbuojama ir transportuojama į pastato inžinerines sistemas vamzdeliais integruotais į požemines pastato konstrukcijas (6 pav.). Pastatas gali būti šildomas naudojant šilumos siurblių. Vėsinamas gali būti dviem būdais: tiekiant šaltnešį tiesiogiai iš pamato konstrukcijų į vėsinimo prietaisus (vėsinamas grindis, sienas ar radiatorius) arba naudojant šilumos siurblių.



2.4 pav. Pastatas su šiluminiais poliais

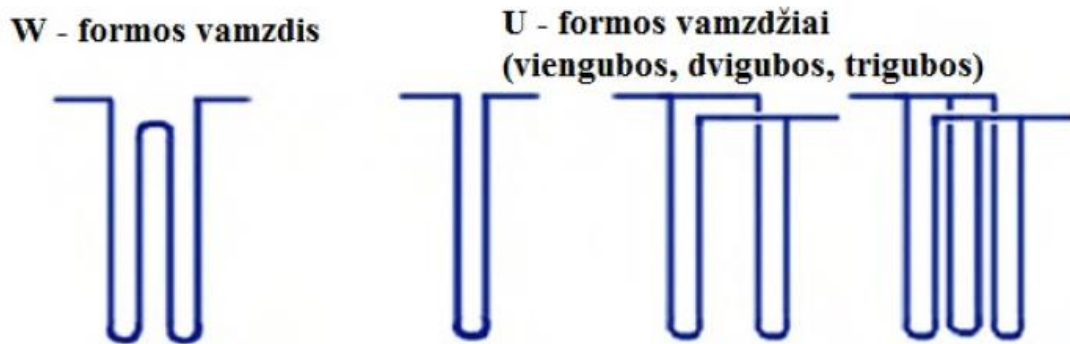


2.5 pav. Energinių polių sistema

Variantas, kai pastato konstrukciniai elementai (pamatų poliai) paima šilumą/vėšą iš grunto, dažniausiai yra naudojamas tada, kai aplink pastatą nėra galimybės įrengti kitokių geoterminės energijos paėmimo variantų (horizontalaus, vertikalaus kolektorių ir pan.). Geoterminiai poliai įrengiami naujai statomuose pastatuose. Jie atlieka dvejopą vaidmenį, kaip pastato konstrukciniai elementai, užtikrinantys pastato stabilumą, bei kaip šilumos siurblio elementai, kurie paima šilumą/vėšą iš grunto. Taigi, atliekant vieną gręžimą, yra įgyvendinami du tiksliai, o tai sumažina sistemos įrengimo kaštus. Projektuojant tokius poliūs reikia atsižvelgti į medžiagas, skirtas gaminti pačiam poliui, t.y., kad konstrukcija galėtų atlaikyti apkrovas, bei, kad būtų užtikrintas geras šiluminis laidumas bei gera šiluminė talpa. Šiluminiai poliai gali būti gaminami įvairių tipų: metaliniai, gelžbetoniniai, metaliniai poliai užpildyti betonu. Tačiau, labiausiai paplitę gelžbetoniniai poliai. Jų populiarumą lemia tai, kad jų gamyba ir montavimas yra pakankamai paprasti. Gelžbetoniniai poliai būna dviejų rūšių: iš anksto pagaminti gamykloje ir įleisti į žemę, bei surenkami statybos vietoje, įleidžiant į žemę armatūros „narvą“ su šilumos kolektoriumi ir užliejant betonu. Poliuose išvedžioti vamzdeliai tvirtinami prie vidinės armatūros narvo pusės. Prieš užpilant betonu, vamzdeliuose sukeliamas slėgis, kad šlapio betono svoris nesugniuždytų vamzdžių sienelių. Vamzdeliai dažniausiai būna 20 – 25 mm skersmens, o ilgis priklauso nuo paties poliaus ilgio bei eksploatacinių reikalavimų. Vamzdeliai poliuose gali būti išvedžioti keliais būdais (7 pav.):

1. W formos išvedžiojimas;
2. U formos išvedžiojimas;
3. Dvigubos U formos išvedžiojimas;
4. Trigubos U formos išvedžiojimas.

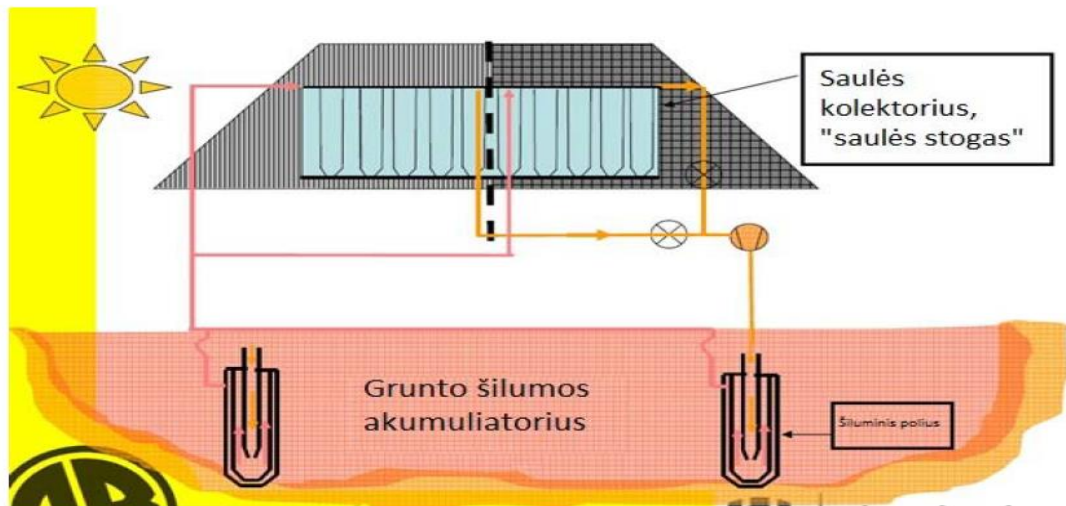
Nuo vamzdelių išvedžiojimų poliuje formos priklauso ir viso įrenginio naudingumo koeficientas. Skaičiavimais ir eksperimentiniais tyrimais įrodyta, kad W formos išvedžiojimas yra efektyvesnis už U formos derinių išvedžiojimus.



2.6 pav. Vamzdelių išvedžiojimo poliuje būdai

Šilumnešio, cirkuliuojančio vamzdeliuose paskirtis – paimti/ atiduoti šilumą gruntui. Pastatams, kur vėsinimo galios yra žymiai didesnės nei šildymo ir šiltesnio klimato šalyse šilumnešis gali būti paprastas vanduo, tačiau, šaltesnio klimato šalyse, ir te, kur šildymo galios yra pakankamai didelės, vanduo kolektoriuose gali užšalti, todėl naudojami įvairūs antifrizai.

Vėsesnio klimato šalyse, pastatų energijos poreikis šildymui yra kur kas didesnis nei vėsinimui, tokiu atveju, reikia paimti daugiau energijos iš grunto. Gruntas intensyviai aušinamas, o esant šiltajam metų laikotarpiui, nespėja atsistatyti šiluminė pusiausvyra, tokiu atveju, grunto temperatūra po truputį mažėja, dėl to mažėja ir šilumos siurblio efektyvumas. Norint atkurti šiluminę pusiausvyrą grunte ir net jame akumuliuoti šilumą, galimas toks saulės suteikiamos šilumos paėmimo ir akumuliacinio būdas.



2.7 pav. Šilumos akumuliacinio grunto būdas

Stogo konstrukcijoje įrengiami kolektoriai (stogo konstrukcijoje išvedžioti vamzdeliai), kurie vėsina pastato stogą arba ant stogo pastatomi saulės kolektoriai. Saulės suteikta šiluma gali būti naudojama karštam vandeniui ruošti, o jos perteklius arba visa šiluma šilumnešio ir cirkuliaciniais siurbliais perduodama į šilumos poliuis, kurie atkuria šiluminę pusiausvyrą grunte ir jame akumuliuoja šilumą. Toks saulės energijos panaudojimas didina šilumos siurblio sezoninį naudingumo koeficientą.

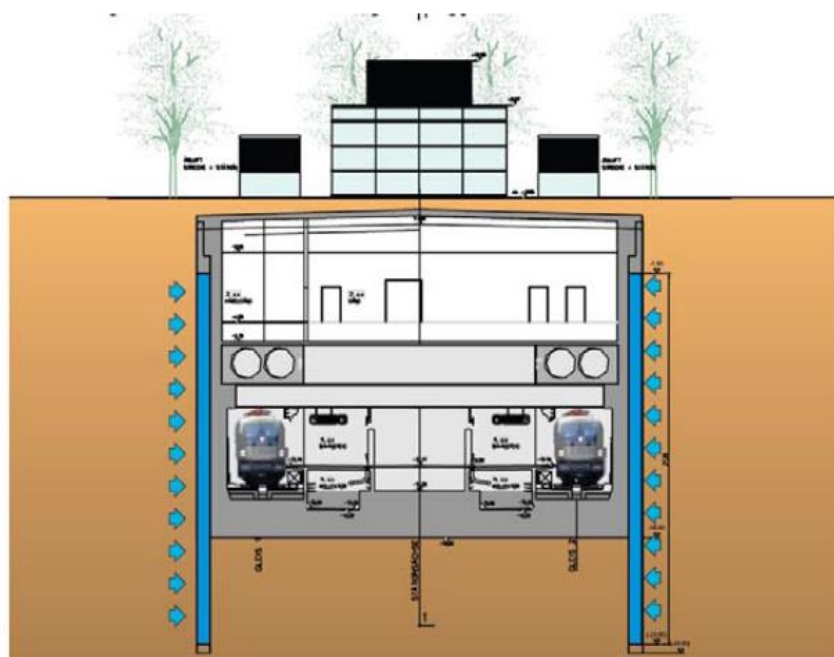
Lietuvoje geoterminio šildymo/vėsinimo [13] sistemos, kai pastato konstrukciniai elementai taikomi kaip geoterminės energijos absorberiai, dar nėra naudojami, tačiau tokiose šalyse, kaip Austrija, Šveicarija, Vokietija, Didžioji Britanija ir JAV – ši technologija jau yra taikoma kelis dešimtmečius. Įrengtų sistemų galios siekia net iki 5000 – 6000 kW. Daugiausiai iš didžiųjų tokio tipo geoterminių šildymo/vėsinimo sistemų įrengta Austrijoje. Didžiausias Austrijoje įgyvendintas projektas yra ATRIO prekybos centras Villach mieste. Prekybos centro geoterminio šildymo sistemos galia siekia 5000 kW, o vėsinimo – 6000 kW. Kad iš grunto būtų galima paimti tiek daug energijos, buvo sumontuoti net 600 šiluminių poliū. Projektas buvo įgyvendintas 2006 metais.



2.8 pav. Didžiausio geoterminio šildymo/vėsinimo su šiluminiais poliais įgyvendintas projektas, Atrio prekybos centras Austrijoje

Dar keli paminėtini projektai Austrijoje yra STRABAG būstinė Vienoje, kur įrengtos geoterminio šildymo sistemos galia yra 1680 kW, o vėsinimo galia – 2026 kW. Energijos paėmimui iš grunto panaudota 245 šiluminiai poliai ir grindys ant grunto. Projektas įgyvendintas 2004 metais.

Įdomus projektas – „Energijos tunelis“ įgyvendintas Vienos metro tunelyje, panaudojant tunelio bei stoties požemines sienas, kai energijos paėmimo iš grunto priemonės (10 pav.). Metro tunelio sienose buvo išvedžioti vamzdeliai, kurie paima energiją ir grunto ir šilumos siurbliu šildo metro stoties administracines patalpas. Kolektoriai buvo įrengti 7350 m<sup>2</sup> plote stoties sienose ir 3700 m<sup>2</sup> plote tunelio sienose. Sistemos šildymo galia – 154 kW, o vėsinimo galia – 92 kW.



2.9 pav. Vienos metro stoties geoterminis šildymas

Šveicarijoje garsiausi projektai, kuriose panaudoti šilumos poliai yra Šveicarijos federalinis technologijos institutas Lausanne ir Dock Midfield oro uostas Ciuriche.

Oro uosto terminalas pastatytas ant 440 polių, iš kurių – 341 yra energiniai. Vidutinis polių gylis – 28 metrai. Tai leidžia geoterminio šildymo sistemai sukurti 630 kW šildymo galią bei 400 kW vėsinimo galią. Šilumos siurbliu padengiama daugiau nei pusė metinio šildymui/vėsinimui reikalingo energijos kiekio, t.y., 2830 MWh iš 4180 MWh. Šveicarijoje energijos poliai taip pat gana plačiai naudojami ir gyvenamųjų namų šildymui.

Vokietijoje žymiausias įgyvendintas projektas yra Main Tower Frankfurte prie Maino. Pastate įrengta 112 energetinių polių, kurių skersmuo 1,5 m, o ilgis – 30 m. Pastato požeminėse konstrukcijose šilumos mainams su gruntu užtikrinti išvedžiota 80 kilometrų vamzdelių. Energija akumuluojama grunte, kurio tūris yra 150 000 m<sup>3</sup>.

Taigi, vakarų Europos šalyse ši technologija taikoma gana plačiai. Sistema pasiteisina, kadangi nereikalingas papildomas žemės plotas, taupoma energija ir mažina atmosferos tarša, Geoterminė energija neišmeta CO<sub>2</sub> dujų. Galima sakyti, kad šilumos siurblių technologija yra iš dalies „žalia“, nes tik elektros energijai pagaminti naudojamas iškastinis kuras. O jei šilumos siurbliams elektros energija pagaminama iš atsinaujinančių energijos šaltinių, tai galima sakyti, kad sistema yra visiškai „žalia“.

### 3. TYRIMO REZULTATŲ DALIS

#### 3.1 Vertikalią grūntinio šilumokaičio modeliavimas. Pastatui reikalingas mėnesinis šilumos poreikis

Prieš pradėdant modeliuoti, reikia nustatyti gyvenamojo namo šilumos poreikius. Šie poreikiai buvo apskaičiuoti naudojantis STR 2.09.04:2002 [15] „Pastato šildymo sistemos galia“.

3.1 lentelė. Mėnesiniai šilumos poreikiai šildymui

Mėnuo	Vidutinė mėnesio temperatūra, °C	Suminiai atitvarų ir vėdinimo šilumos nuostoliai, W	Q <sub>sg</sub> , kWh	Q <sub>ig</sub> , kWh	Q <sub>hc</sub> , kWh	Q <sub>hg</sub> , kWh
10.01 - 11.01	7,2	2962	3034	105,98	314,43	336,98
11.01 - 12.01	1,9	4217	4476	378,93	2652,51	2754,76
12.01 - 01.01	2,2	3794	4267	396,65	2776,55	2896,42
01.01 - 02.01	-5,5	5719	6153	357,98	3658,54	3752,87
02.01 - 03.01	-4,5	5251	5912	342,76	3465,32	3654,32
03.01 - 04.01	-0,1	4873	5052	284,95	2932,66	3065,12
04.01 - 05.01	6,4	3298	3209	280,09	1854,43	2012,98

Q<sub>sg</sub> – mėnesio vidutinė į patalpą iš išorės pritekėjusi šiluma dėl saulės spinduliuotės, kWh;

Q<sub>ig</sub> – mėnesio vidutinė nuo vidinių šilumos šaltinių išsiskyrusi į patalpą šiluma, kWh;

Q<sub>hc</sub> – mėnesio vidutinis projektinis šilumos poreikis pastato šildymui, kWh;

Q<sub>hg</sub> – mėnesio vidutinis projektinis šilumos poreikis patalpos šildymui, kWh.

Mėnesinių šilumos poreikių įvedimas į modeliavimo programą „Earth Energy Designer“  
Ijungus EED (Earth Energy Designer) kompiuterinę programą, išvysime darbo lauką, kuris pavaizduotas 3.1 paveiksle.





3.1 pav. “Earth Energy Designer” kompiuterinės programos darbo laukas

Programos viršuje esančiame meniu spaudžiame „Pradiniai duomenys“, tada „Vidutinė galia“. Pasirenkame „Mėnesio energijos kiekis“ ir suvedame 3.1 lentelėje gautus duomenis. Pagal nutylėjimą, sezoninis efektyvumo kriterijus lygus 3.

**Vidutinė galia** ✕

**Vidutinė galia be KV:**

Metinė energija ir pasiskirstymas mėnesiais  
 Mėnesio energijos kiekis

[MWh]	Šiluma	Šaltis	Gruntas
Metams	<input type="text" value="16,200"/>	<input type="text" value="0,000"/>	<input type="button" value="Atnaujinti"/>
SPF	<input type="text" value="3,00"/>	<input type="text" value="3,00"/>	
	<input type="checkbox"/> Tiesiogini:	<input type="checkbox"/> Tiesiogini:	
Sausis	3,752	0,000	2,779
Vasaris	3,654	0,000	2,714
Kovas	3,065	0,000	2,321
Balandis	2,012	0,000	1,619
Gegužė	0,000	0,000	0,278
Birželis	0,000	0,000	0,278
Liepa	0,000	0,000	0,278
Rugpjūtis	0,000	0,000	0,278
Rugsėjis	0,000	0,000	0,278
Spalis	0,336	0,000	0,502
Lapkritis	2,754	0,000	2,114
Gruodis	2,896	0,000	2,208
Suma:	18,469	0	15,646

**Karštas vanduo:**

Metams  SPF

[MWh]	Šilumos siurblys	Gruntas	Pastatas
Šiluma	$18,469 \times 1/3$ (6,1563)	$+ 18,469 \times 2/3$ (12,313)	= 18,469
KV	$5 \times 1/3$ (1,6667)	$+ 5 \times 2/3$ (3,3333)	= 5
Šaltis	$0 \times 1/3$ (0)	$+ 0 \times 4/3$ (0)	= 0
Šiluma	Šilumos siurblys 7,823	Pastatas 15,646	Gruntas 15,646
Šaltis	Šilumos siurblys 0	Pastatas <= 0	Gruntas 0

Iš grunto paimta šiluma  $12,313 + 3,3333 - 0 = 15,646$

3.2 pav. Mėnesinių šilumos poreikių suvedimas

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

Įvedus visus reikiamus parametrus, programa suskaičiuoja metinį šilumos poreikį. Šiuo atveju, 23,469 MWh. Gauto grafiko pavidalu, programa leidžia pažiūrėti mėnesinius šilumos poreikius:

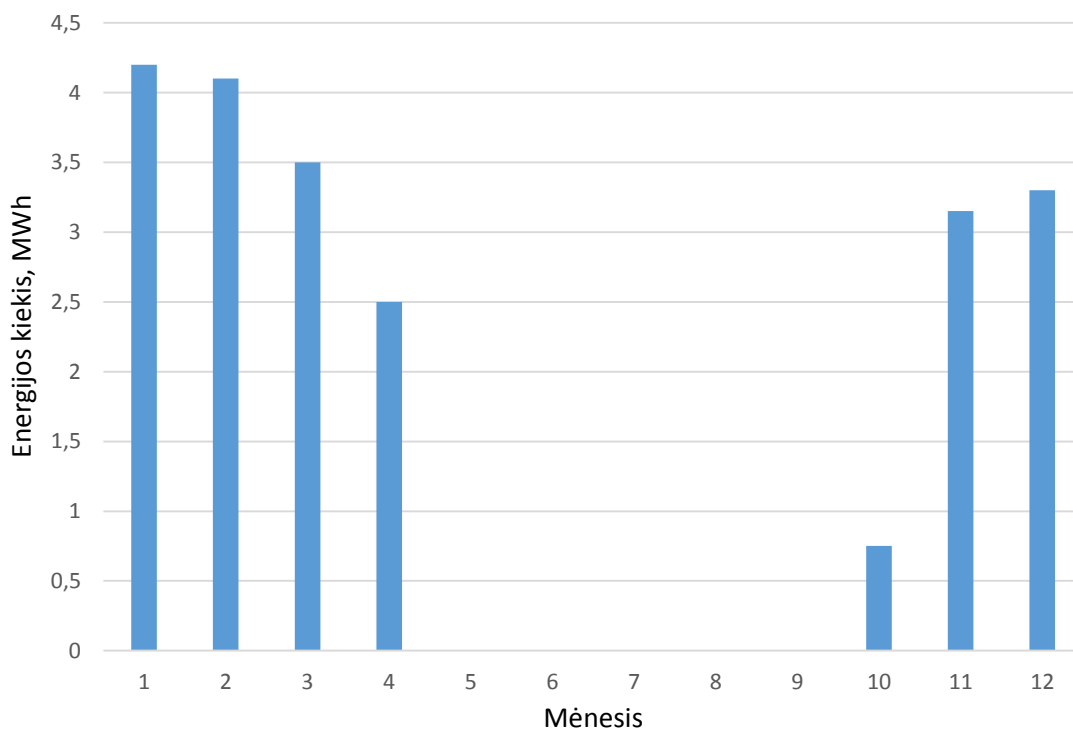
3.2 lentelė. Šilumos poreikis šildymui

Sausis	4,2
Vasaris	4,1
Kovas	3,5
Balandis	2,5
Gegužė	0
Birželis	0
Liepa	0
Rugpjūtis	0
Rugsėjis	0
Spalis	0,75
Lapkritis	3,15
Gruodis	3,3

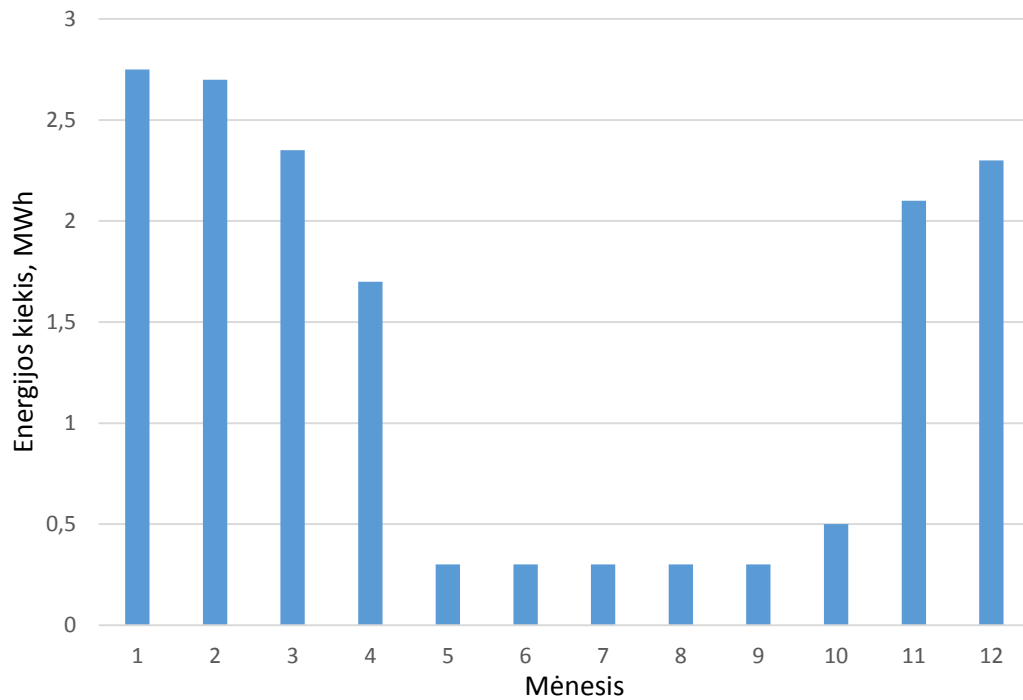
3.3 lentelė. Šilumos poreikis karšto vandens ruošimui

Sausis	2,75
Vasaris	2,7
Kovas	2,35
Balandis	1,7
Gegužė	0,3
Birželis	0,3
Liepa	0,3
Rugpjūtis	0,3
Rugsėjis	0,3
Spalis	0,5
Lapkritis	2,1
Gruodis	2,3

Sudarome stulpelines diagramas šilumos poreikiams įvertinti:



3.3 pav. Mėnesiniai šilumos poreikiai



3.4 pav. Mėnesiniai karšto vandens poreikiai

### 3.2 Gręžinio ir gruntinio šilumokaičio parametrai

Vėl programoje paspaudus „Pradiniai duomenys“, tada „Gręžskylė ir šilumokaitis“, atsidaro gręžinio ir gruntinio šilumokaičio parametų langas (3.5 pav.) Šiame parametų lange galima pasirinkti vertikalaus gruntinio šilumokaičio tipą, gylį, atstumą tarp šilumokaičių (jei projektuojami keli), taip pat pasirenkamas gręžinio skersmuo, užpilo šilumos laidumas, debitas. Vamzdžio apibrėžimo lango dalyje (U-pipe) galima įvesti vamzdžio parametrus: skersmenį, sienelių storį, šilumos laidumą, tarpą tarp dviejų vamzdžių. Tolimesniame vertikalių gruntinių šilumokaičių modeliavime bus keičiami tik du parametrai:

- 1) Vertikalaus gruntinio šilumokaičio tipas. Bus modeliuojami trys šilumokaičių tipai:
  - Vertikalus gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu;
  - Du vertikalūs gruntiniai šilumokaičiai su vienu U-formos vamzdžiu;
  - Vienas vertikalus gruntinis šilumokaitis ir du U-formos vamzdžiai.
- 2) Gręžinio gylis.

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

**Gręžskylė ir šilumokaitis**

**Gręžskylė**

Vamzdžio kilpos tipas: Viengubas U

Išdėstymas plokštumoje: 0 ?  
0 ("1 : single")

Gylis: 160,0 m

Tarpai: 10,0 m

Skersmuo: 110,000 ? mm

Vamzdžio/užpildo lietimosi varža: 0,0000 (m·K)/W

Užpildo šiluminis laidumas: 0,600 ? W/(m·K)

Srautas Q:

visoms gręžskylėms  gręžskylėi 2,000 l/s

Išdėstymo tvarka: 1  $Q_{bh}=Q=2$  l/s

---

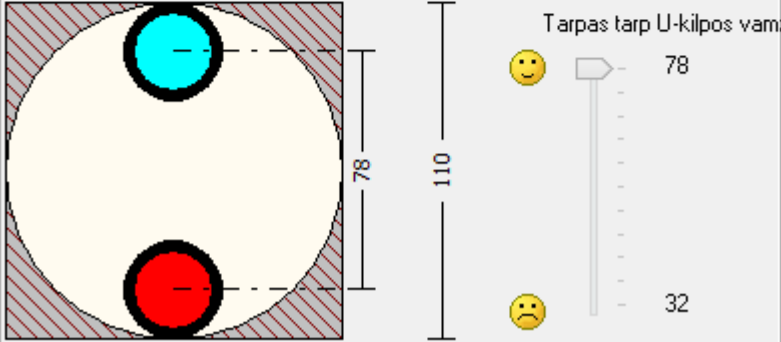
**U-vamzdis**

Išorinis skersmuo: 32,000 mm

Sienelės storis: 3,000 ? mm

Šiluminis laidumas: 0,420 W/(m·K)

Tarpas tarp U-kilpos vamzdžių: 78,000 mm



Tarpas tarp U-kilpos vam: 78

32

Kopijuoti į operatyvinę atmintį Uždaryti

3.5 pav. Gręžinio ir šilumokaičio parametrai

### 3.3 Grunto savybės

Grunto parametrai (3.6 pav.) taip pat yra paspaudus viršutiniame meniu „Pradiniai duomenys“ ir „Grunto savybės“. Modeliavime naudojama bandomoji programos versija (DEMO), kuri neleidžia keisti grunto parametrų. Tačiau iš (3.6 pav.) matyti, kad norint projektuoti konkrečios vietovės gruntinį šilumokaitį, reikia žinoti šilumos laidumą, tūrinę šiluminę talpą, grunto paviršiaus temperatūrą bei geoterminės šilumos srautą.

3.6 pav. Grunto parametrai

Lietuvos grunto paviršiaus temperatūros taip pat pateikiamos statybinės klimatologijos RSN normose. Šilumos laidumo bei tūrinės šilumos talpos reikšmės galima pasirinkti iš vidinės programos duomenų bazės. Vilniaus regiono grunto parametrai ir metinė vidutinė temperatūra pateikiama 3.4 lentelėje:

3.4 lentelė. Metinės grunto paviršiaus temperatūros

Miestas	Dirvožemis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Metinė
Vilnius	Velėninis - jaurinis ir priesmėlio	-7	-6	-2	6	13	19	19	18	12	6	1	-3	6

### 3.4 Šilumnešio parametrai

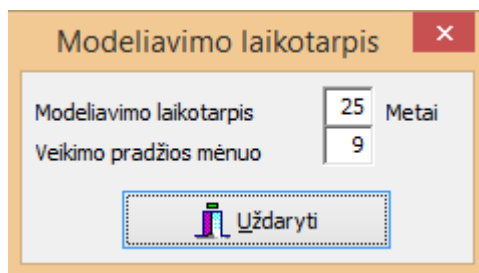
Šilumnešio, tekančio gruntinio šilumokaičio vamzdžiais, parametrai nustatomi atidarius viršutiniame meniu „Pradiniai duomenys“ ir „Šilumnešis“. (3.7 pav.)

3.7 pav. Šilumnešio parametrai

Šilumnešio tipą ir visus kitus parametrus galima pasirinkti naudojant taipogi vidinę programos duomenų bazę. Tačiau, šio modeliavimo eigoje, šilumnešio tipas ir jo parametrai nebus keičiami.

### 3.5 Modeliavimo laikotarpis

Modeliuojant šilumos siurblių, galima pasirinkti ir laikotarpį, kuris bus nagrinėjamas. Taip pat, galima pasirinkti pradžios mėnesį. 3.8 pav. Pavaizduotas modeliavimo laikotarpis, kuris atitinka ir darbe nagrinėjamą laikotarpį – 25 metai. Norint maksimaliai priartinti modeliavimą prie realios situacijos, eksploatacijos pradžia numatoma rugsėjo mėnesį.



3.8 pav. Modeliavimo laikotarpio parametrai

## 4. MODELIAVIMO REZULTATAI

### 4.1 Viengubas gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu

Viengubas šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu modeliuojamas keičiant gręžinio gylius: 60 m, 80 m, 100 m, 120 m, 140 m, 160 m. Šilumos siurblio eksploatacija prasideda rugsėjo mėnesį, tai matyti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. 1-U-1 modeliavimo rezultatai (šilumnešio temperatūros)

Gręžinio gylis: 1-U-1 60 m.						Gręžinio gylis: 1-U-1 120 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	11,84	12,83	13,16	13,29	Sausis	-	-1,2	-1,78	-2,01	-2,23
Vasaris	-	11,87	12,79	13,11	13,33	Vasaris	-	-1,23	-1,77	-2	-2,21
Kovas	-	-9,49	10,34	10,65	10,87	Kovas	-	-0,039	-0,55	-0,77	-0,99
Balandis	-	-4,77	-5,57	-5,88	-6,09	Balandis	-	2,32	1,84	1,62	1,41
Gegužė	-	4,56	3,82	3,51	3,3	Gegužė	-	7	6,55	6,33	6,12
Birželis	-	5,04	4,34	4,04	3,83	Birželis	-	7,24	6,81	6,6	6,39
Liepa	-	5,29	4,64	4,34	4,13	Liepa	-	7,37	6,96	6,75	6,55
Rugpjūtis	-	5,45	4,83	4,54	4,33	Rugpjūtis	-	7,45	7,07	6,86	6,65
Rugsėjis	6,61	5,57	4,97	4,69	4,48	Rugsėjis	8,07	7,51	7,14	6,93	6,73
Spalis	4,97	4,11	3,54	3,26	3,06	Spalis	7,25	6,78	6,42	6,22	6,02
Lapkritis	-6,23	-6,98	-7,53	-7,8	-8	Lapkritis	1,63	1,22	0,88	0,68	0,48
Gruodis	-7,51	-8,17	-8,7	-8,96	-9,16	Gruodis	0,98	0,61	0,28	0,087	-0,11
Gręžinio gylis: 1-U-1 80 m.						Gręžinio gylis: 1-U-1 140 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	-6,62	-7,42	-7,72	-7,96	Sausis	-	0,42	-0,08	-0,29	-0,49
Vasaris	-	-6,65	-7,4	-7,69	-7,93	Vasaris	-	0,4	-0,071	-0,28	-0,48
Kovas	-	-4,86	-5,56	-5,85	-6,08	Kovas	-	1,42	0,98	0,77	0,58

Balandis	-	-1,33	-1,98	-2,26	-2,49	Balandis	-	3,44	3,02	2,82	2,63
Gegužė	-	5,68	5,06	4,79	4,56	Gegužė	-	7,45	7,06	6,86	6,66
Birželis	-	6,04	5,46	5,19	4,96	Birželis	-	7,66	7,29	7,09	6,9
Liepa	-	6,23	5,67	5,41	5,19	Liepa	-	7,77	7,42	7,23	7,03
Rugpjūtis	-	6,35	5,82	5,57	5,34	Rugpjūtis	-	7,84	7,5	7,32	7,13
Rugsėjis	7,25	6,44	5,93	5,68	5,46	Rugsėjis	8,38	7,89	7,57	7,39	7,19
Spalis	6,02	5,35	4,86	4,61	4,39	Spalis	7,68	7,27	6,96	6,78	6,59
Lapkritis	-2,39	-2,98	-3,45	-3,69	-3,91	Lapkritis	2,85	2,5	2,2	2,02	1,83
Gruodis	-3,36	-3,89	-4,33	-4,57	-4,79	Gruodis	2,29	1,98	1,69	1,51	1,33
Gręžinio gylis: 1-U-1 100 m.						Gręžinio gylis: 1-U-1 160 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	-3,41	-4,08	-4,34	-4,58	Sausis	-	1,69	1,24	1,05	0,86
Vasaris	-	-3,44	-4,06	-4,32	-4,55	Vasaris	-	1,67	1,25	1,06	0,88
Kovas	-	-2,01	-2,6	-2,85	-3,08	Kovas	-	2,56	2,17	1,98	1,8
Balandis	-	0,82	0,27	0,022	-0,21	Balandis	-	4,33	3,96	3,78	3,59
Gegužė	-	6,43	5,91	5,67	5,44	Gegužė	-	7,84	7,49	7,31	7,13
Birželis	-	6,72	6,23	5,99	5,77	Birželis	-	8,02	7,69	7,51	7,34
Liepa	-	6,88	6,41	6,18	5,95	Liepa	-	8,12	7,8	7,63	7,45
Rugpjūtis	-	6,97	6,53	6,3	6,08	Rugpjūtis	-	8,18	7,88	7,71	7,53
Rugsėjis	7,71	7,04	6,62	6,39	6,17	Rugsėjis	8,65	8,22	7,93	7,77	7,59
Spalis	6,73	6,17	5,76	5,54	5,32	Spalis	8,04	7,68	7,4	7,23	7,06
Lapkritis	- 0,015	-0,5	-0,89	-1,11	-1,33	Lapkritis	3,82	3,5	3,23	3,07	2,9
Gruodis	-0,8	-1,23	-1,6	-1,82	-2,03	Gruodis	3,32	3,05	2,79	2,63	2,46

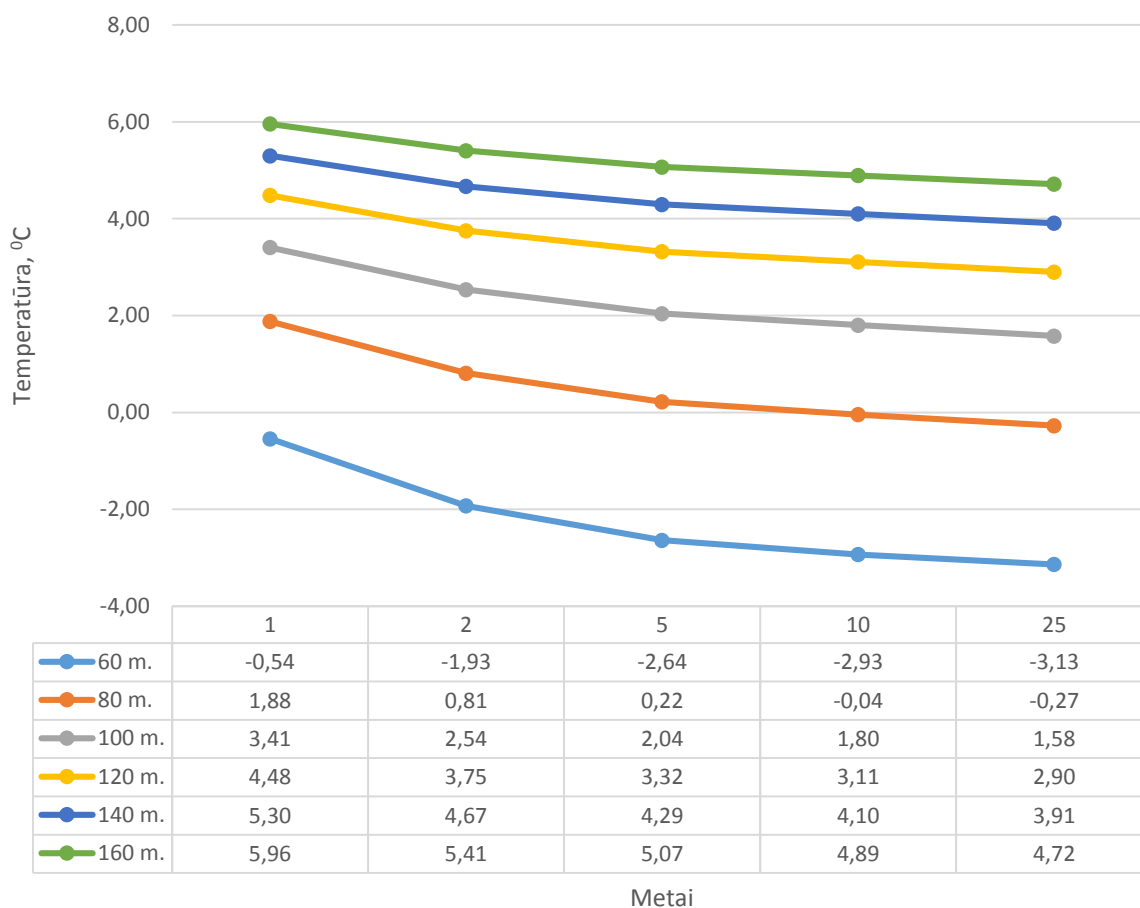
4.2 lentelėje pateiktos šilumnešio temperatūros prie įvairių gręžinio gylių. Temperatūros pateikiamos pirmais, antrais, penktais, dešimtais ir dvidešimt penktais eksploatacijos metais.

4.2 lentelė. Vidutinės šilumnešio temperatūros

Metai	1	2	5	10	25
Gylis					
60 m.	-0,54	-1,93	-2,64	-2,93	-3,13
80 m.	1,88	0,81	0,22	-0,04	-0,27
100 m.	3,41	2,54	2,04	1,80	1,58
120 m.	4,48	3,75	3,32	3,11	2,90
140 m.	5,30	4,67	4,29	4,10	3,91
160 m.	5,96	5,41	5,07	4,89	4,72

Pagal vidutines šilumnešio temperatūras (4.2 lentelė), sudaromas temperatūrų priklausomybių keičiantis metams grafikas:



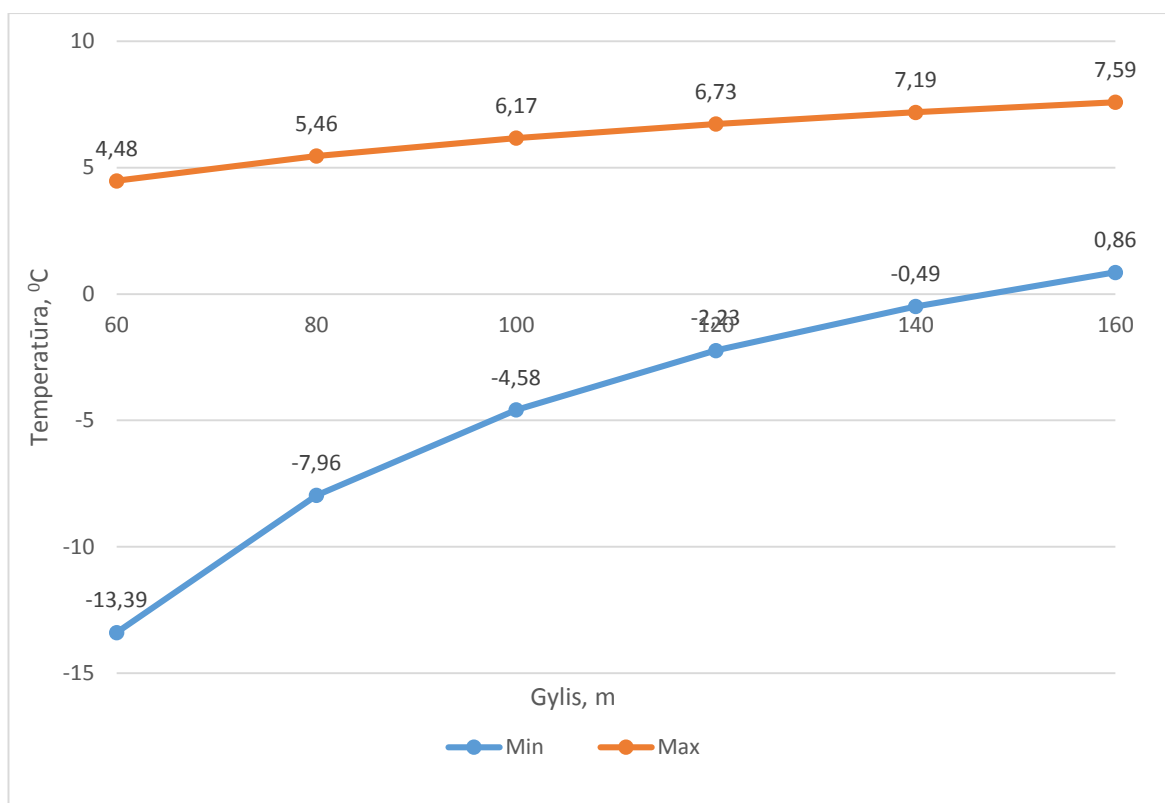


4.1 pav. Šilumnešio temperatūrų priklausomybės keičiantis metams

Naudojantis 4.1 pav. duomenimis, sudaromas temperatūrų minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gylio grafikas. Temperatūros minimumas ir maksimumas imamas iš viso modeliavimo laikotarpio (t.y. 25 metų).

4.3 lentelė. Minimalios ir maksimalios reikšmės

Gylis	60	80	100	120	140	160
Min	-13,39	-7,96	-4,58	-2,23	-0,49	0,86
Max	4,48	5,46	6,17	6,73	7,19	7,59



4.2 pav. Minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gręžinio gylio

Iš 4.2 pav. matyti, kad maksimalios šilumnešio temperatūros yra eksploataavimo pradžioje, t.y., pirmais metais, rugsėjo mėnesį, o minimali šilumnešio temperatūra yra nagrinėjamo laikotarpio pabaigoje, šalčiausią mėnesį. Iš šio grafiko matyti, kad kuo gilesnis gręžinys, tuo temperatūros svyravimo amplitudė, per visą nagrinėjamą laikotarpį, yra mažesnė.

#### 4.2 Dvigubas gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu

Dvigubo gruntinio šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu modeliavimas atliekamas keičiant gręžinio gylį kaip ir prieš tai aprašytame modeliavime. Vietoj 60 m modeliujamo gręžinio bus modeliuojami du gręžiniai, kurių gylis 30 m. Atstumas tarp gręžinių – 10 m.

4.4 lentelė. Modeliavimo rezultatai (šilumnešio temperatūros)

Gręžinio gylis: 2x30 m.						Gręžinio gylis: 2x60 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis		-11,9	-13,08	-13,34	-13,46	Sausis		-1,65	-2,51	-2,83	-3,05
Vasaris		-11,98	-13,06	-13,32	-13,43	Vasaris		-1,69	-2,49	-2,81	-3,03
Kovas		-9,66	-10,67	-10,92	-11,03	Kovas		-0,55	-1,3	-1,62	-1,83
Balandis		-5,05	-5,98	-6,23	-6,34	Balandis		1,75	1,04	0,73	0,51
Gegužė		4,14	3,27	3,03	2,92	Gegužė		6,36	5,68	5,39	5,17
Birželis		4,6	3,79	3,56	3,45	Birželis		6,54	5,9	5,6	5,39
Liepa		4,86	4,09	3,87	3,76	Liepa		6,67	6,06	5,77	5,56
Rugpjūtis		5,03	4,31	4,09	3,99	Rugpjūtis		6,76	6,17	5,89	5,68
Rugsėjis	6,37	5,15	4,47	4,26	4,16	Rugsėjis	7,56	6,82	6,26	5,99	5,78
Spalis	4,76	3,73	3,08	2,88	2,78	Spalis	6,75	6,1	5,56	5,29	5,09

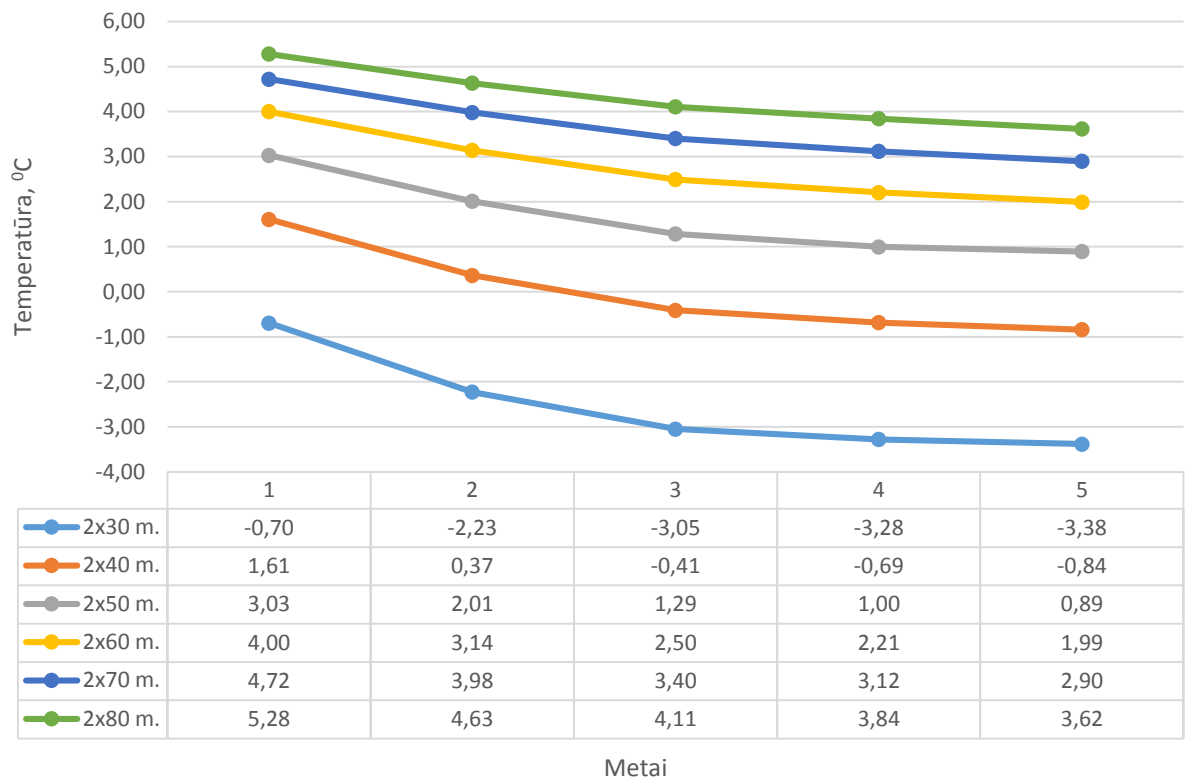
Lapkritis	-6,31	-7,22	-7,82	-8,02	-8,12	Lapkritis	1,15	0,57	0,053	-0,21	-0,41
Gruodis	-7,6	-8,41	-8,98	-9,18	-9,27	Gruodis	0,55	0,025	-0,47	-0,73	-0,93
Gręžinio gylis: 2x40 m.						Gręžinio gylis: 2x70 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis		-6,85	-7,92	-8,24	-8,41	Sausis		-0,12	-0,89	-1,2	-1,43
Vasaris		-6,92	-7,92	-8,23	-8,39	Vasaris		-0,16	-0,88	-1,19	-1,42
Kovas		-5,2	-6,13	-6,43	-6,59	Kovas		0,83	0,15	-0,15	-0,38
Balandis		-1,75	-2,62	-2,91	-3,07	Balandis		2,8	2,16	1,87	1,64
Gegužė		5,13	4,32	4,04	3,88	Gegužė		6,76	6,15	5,86	5,64
Birželis		5,49	4,73	4,45	4,3	Birželis		6,91	6,34	6,05	5,83
Liepa		5,68	4,95	4,69	4,54	Liepa		7,01	6,46	6,18	5,96
Rugpjūtis		5,8	5,11	4,85	4,7	Rugpjūtis		7,08	6,56	6,28	6,06
Rugsėjis	6,93	5,89	5,23	4,98	4,83	Rugsėjis	7,78	7,13	6,63	6,36	6,14
Spalis	5,71	4,82	4,19	3,94	3,79	Spalis	7,08	6,51	6,03	5,77	5,55
Lapkritis	-2,6	-3,39	-3,99	-4,24	-4,38	Lapkritis	2,28	1,76	1,3	1,04	0,83
Gruodis	-3,6	-4,3	-4,88	-5,12	-5,26	Gruodis	1,75	1,28	0,83	0,58	0,37
Gręžinio gylis: 2x50 m.						Gręžinio gylis: 2x80 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis		-3,74	-4,72	-5,05	-5,25	Sausis		1,04	0,35	0,06	-0,18
Vasaris		-3,8	-4,72	-5,04	-5,24	Vasaris		1	0,35	0,063	-0,17
Kovas		-2,43	-3,29	-3,6	-2,8	Kovas		1,87	1,26	0,98	0,74
Balandis		0,33	-0,48	-0,79	-0,98	Balandis		3,6	3,03	2,75	2,52
Gegužė		5,85	5,08	4,78	4,59	Gegužė		7,07	6,52	6,25	6,02
Birželis		6,11	5,38	5,09	4,9	Birželis		7,22	6,7	6,43	6,21
Liepa		6,26	5,57	5,29	5,1	Liepa		7,28	6,78	6,52	6,3
Rugpjūtis		6,36	5,71	5,43	5,25	Rugpjūtis		7,35	6,87	6,61	6,39
Rugsėjis	7,29	6,43	5,81	5,54	5,36	Rugsėjis	7,97	7,39	6,94	6,69	6,46
Spalis	6,32	5,56	4,98	4,71	4,53	Spalis	7,35	6,85	6,41	6,16	5,94
Lapkritis	-0,36	-1,04	-1,59	-1,85	-2,03	Lapkritis	3,15	2,69	2,27	2,02	1,81
Gruodis	-1,13	-1,75	-2,28	-2,54	-2,71	Gruodis	2,66	2,24	1,83	1,59	1,38

Pagal gautus rezultatus sudaroma vidutinių šilumnešio temperatūrų lentelė:

4.5 lentelė. Vidutinės šilumnešio temperatūros

Metai:	1	2	5	10	25
Gylis:					
2x30 m.	-0,70	-2,23	-3,05	-3,28	-3,38
2x40 m.	1,61	0,37	-0,41	-0,69	-0,84
2x50 m.	3,03	2,01	1,29	1,00	0,89
2x60 m.	4,00	3,14	2,50	2,21	1,99
2x70 m.	4,72	3,98	3,40	3,12	2,90
2x80 m.	5,28	4,63	4,11	3,84	3,62

Pagal vidutinės šilumnešio temperatūras (4.5 lentelė), sudaromas temperatūrų priklausomybių keičiantis metams grafikas:



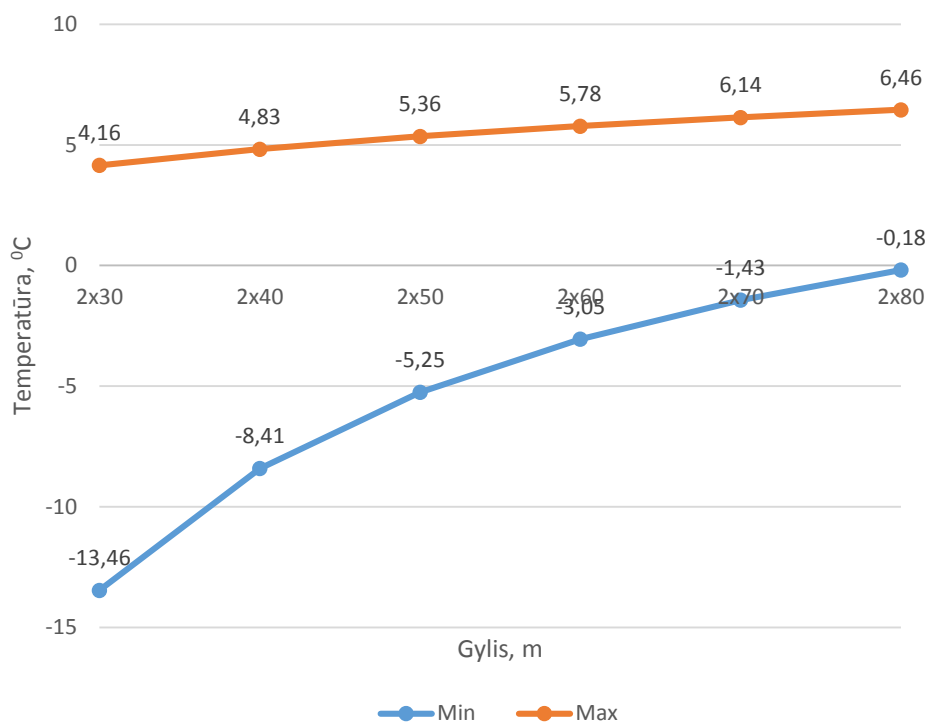
4.3 pav. Šilumnešio temperatūrų priklausomybės keičiantis metams

Kaip ir aname modeliavime, didžiausias temperatūrų pokytis pastebimas kai gręžinio gylis pakeičiamas nuo 50 iki 80 m. Iš rezultatų matyti, kad vidutinės temperatūros skiriasi nuo prieš tai atlikto modeliavimo rezultatų.

Sudaroma minimalių ir maksimalių reikšmių lentelė:

4.6 lentelė. Minimalių ir maksimalių reikšmių lentelė

Gylis	2x30	2x40	2x50	2x60	2x70	2x80
Min	-13,46	-8,41	-5,25	-3,05	-1,43	-0,18
Max	4,16	4,83	5,36	5,78	6,14	6,46



4.4 pav. Minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gręžinio gylio

4.4 pav. matyti temperatūrų minimumas ir maksimumas keičiant gręžinio gylį per nagrinėjamą laikotarpį.

#### 4.3 Viengubas gruntinis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais

4.7 lentelė. Modeliavimo rezultatai (šilumnešio temperatūros)

Gręžinio gylis: 2 U 60 m.						Gręžinio gylis: 2 U 120 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis		-8,16	-9,15	-9,48	-9,7	Sausis		0,64	0,058	-0,17	-0,39
Vasaris		-8,27	-9,19	-9,51	-9,74	Vasaris		0,57	0,027	-0,2	-0,42
Kovas		-6,41	-7,26	-7,58	-7,8	Kovas		1,5	0,99	0,77	0,55
Balandis		-2,62	-3,42	-3,73	-3,95	Balandis		3,39	2,91	2,69	2,48
Gegužė		4,93	4,19	3,88	3,66	Gegužė		7,18	6,73	6,51	6,3
Birželis		5,41	4,71	4,41	4,2	Birželis		7,43	7	6,78	6,57
Liepa		5,66	5	4,71	4,5	Liepa		7,56	7,15	6,94	6,73
Rugpjūtis		5,82	5,2	4,91	4,7	Rugpjūtis		7,64	7,25	7,04	6,84
Rugsėjis	6,97	5,93	5,34	5,06	4,85	Rugsėjis	8,26	7,69	7,32	7,12	6,91
Spalis	5,64	4,78	4,2	3,93	3,72	Spalis	7,58	7,11	6,76	6,56	6,35
Lapkritis	-3,43	-4,17	-4,73	-4,99	-5,19	Lapkritis	3,03	2,62	2,28	2,08	1,88
Gruodis	-4,58	-5,24	-5,77	-6,03	-6,23	Gruodis	2,44	2,07	1,74	1,55	1,35
Gręžinio gylis: 2 U 80 m.						Gręžinio gylis: 2 U 140 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis		-3,86	-4,66	-4,96	-5,2	Sausis		2	1,5	1,29	1,09
Vasaris		-3,95	-4,7	-4,99	-5,23	Vasaris		1,94	1,47	1,26	1,06
Kovas		-2,56	-3,25	-3,54	-3,77	Kovas		2,73	2,29	2,09	1,89
Balandis		0,28	-0,37	-0,65	-0,88	Balandis		4,36	3,94	3,74	3,54
Gegužė		5,95	5,34	5,06	4,84	Gegužė		7,61	7,21	7,02	6,82

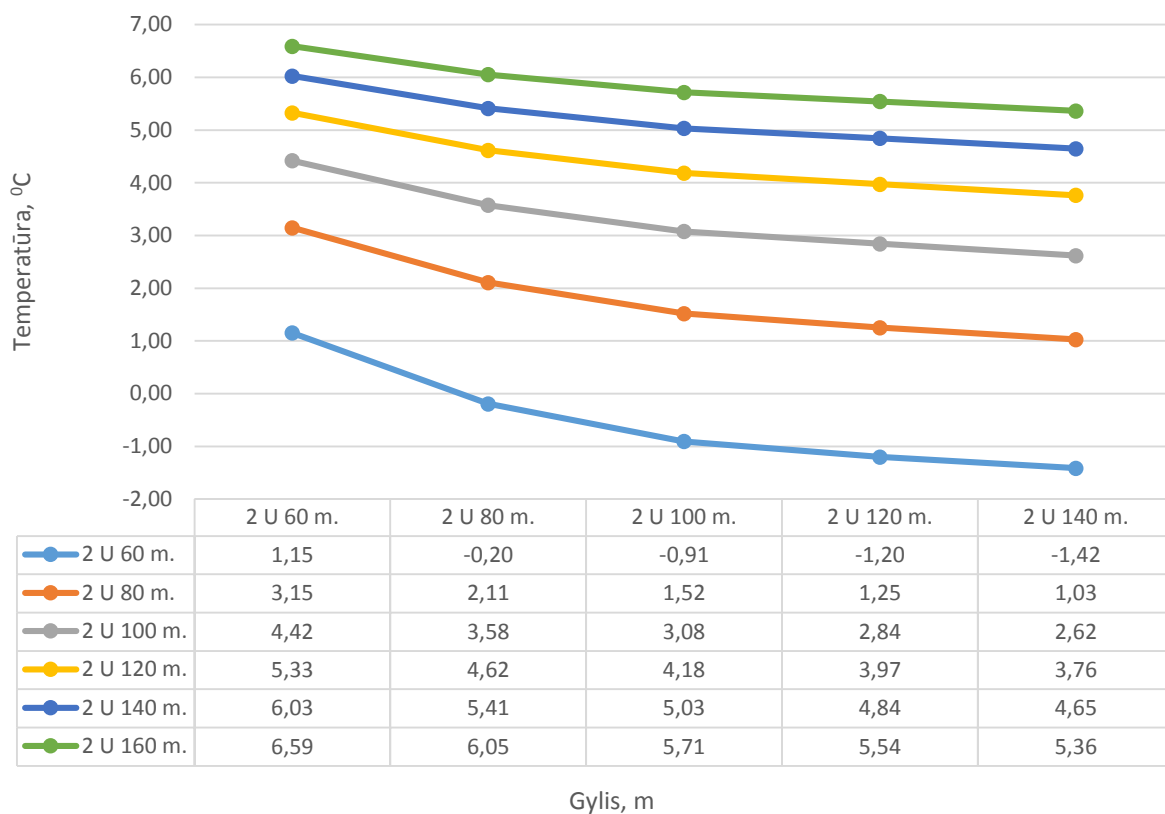
Birželis		6,32	5,73	5,46	5,24	Birželis		7,82	7,44	7,25	7,06
Liepa		6,51	5,95	5,69	5,47	Liepa		7,93	7,57	7,39	7,19
Rugpjūtis		6,63	6,1	5,84	5,62	Rugpjūtis		8	7,66	7,48	7,28
Rugsėjis	7,53	6,71	6,21	5,96	5,74	Rugsėjis	8,54	8,05	7,73	7,54	7,35
Spalis	6,52	5,85	5,36	5,11	4,89	Spalis	7,96	7,55	7,24	7,06	6,87
Lapkritis	-0,29	-0,88	-1,35	-1,59	-1,81	Lapkritis	4,05	3,7	3,4	3,22	3,03
Gruodis	-1,17	-1,69	-2,14	-2,38	-2,59	Gruodis	3,55	3,23	2,94	2,77	2,58
Gręžinio gylis: 2 U 100 m.						Gręžinio gylis: 2 U 160 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis		-1,2	-1,87	-2,13	-2,37	Sausis		3,07	2,62	2,43	2,24
Vasaris		-1,28	-1,91	-2,16	-2,39	Vasaris		3,01	2,59	2,41	2,22
Kovas		-0,16	-0,75	-1	-1,23	Kovas		3,71	3,32	3,13	2,95
Balandis		2,11	1,56	1,31	1,08	Balandis		5,13	4,76	4,58	4,4
Gegužė		6,65	6,13	5,89	5,66	Gegužė		7,97	7,62	7,45	7,27
Birželis		6,95	6,45	6,21	5,99	Birželis		8,16	7,83	7,65	7,47
Liepa		7,1	6,63	6,4	6,17	Liepa		8,26	7,94	7,77	7,59
Rugpjūtis		7,2	6,75	6,52	6,3	Rugpjūtis		8,32	8,01	7,85	7,67
Rugsėjis	7,93	7,26	6,84	6,61	6,39	Rugsėjis	8,79	8,36	8,07	7,9	7,73
Spalis	7,12	6,57	6,16	5,94	5,72	Spalis	8,29	7,93	7,65	7,48	7,31
Lapkritis	1,67	1,18	0,79	0,57	0,36	Lapkritis	4,86	4,55	4,28	4,12	3,95
Gruodis	0,96	0,53	0,15	-0,063	-0,28	Gruodis	4,42	4,14	3,88	3,72	3,55

Pagal gautus rezultatus sudaroma vidutinių šilumnešio temperatūrų lentelė:

4.8 lentelė. Vidutinės šilumnešio temperatūros

Metai:	1	2	5	10	25
Gylis:					
2 U 60 m.	1,15	-0,20	-0,91	-1,20	-1,42
2 U 80 m.	3,15	2,11	1,52	1,25	1,03
2 U 100 m.	4,42	3,58	3,08	2,84	2,62
2 U 120 m.	5,33	4,62	4,18	3,97	3,76
2 U 140 m.	6,03	5,41	5,03	4,84	4,65
2 U 160 m.	6,59	6,05	5,71	5,54	5,36

Pagal vidutines šilumnešio temperatūras (4.8 lentelė), sudaromas temperatūrų priklausomybių keičiantis metams grafikas:



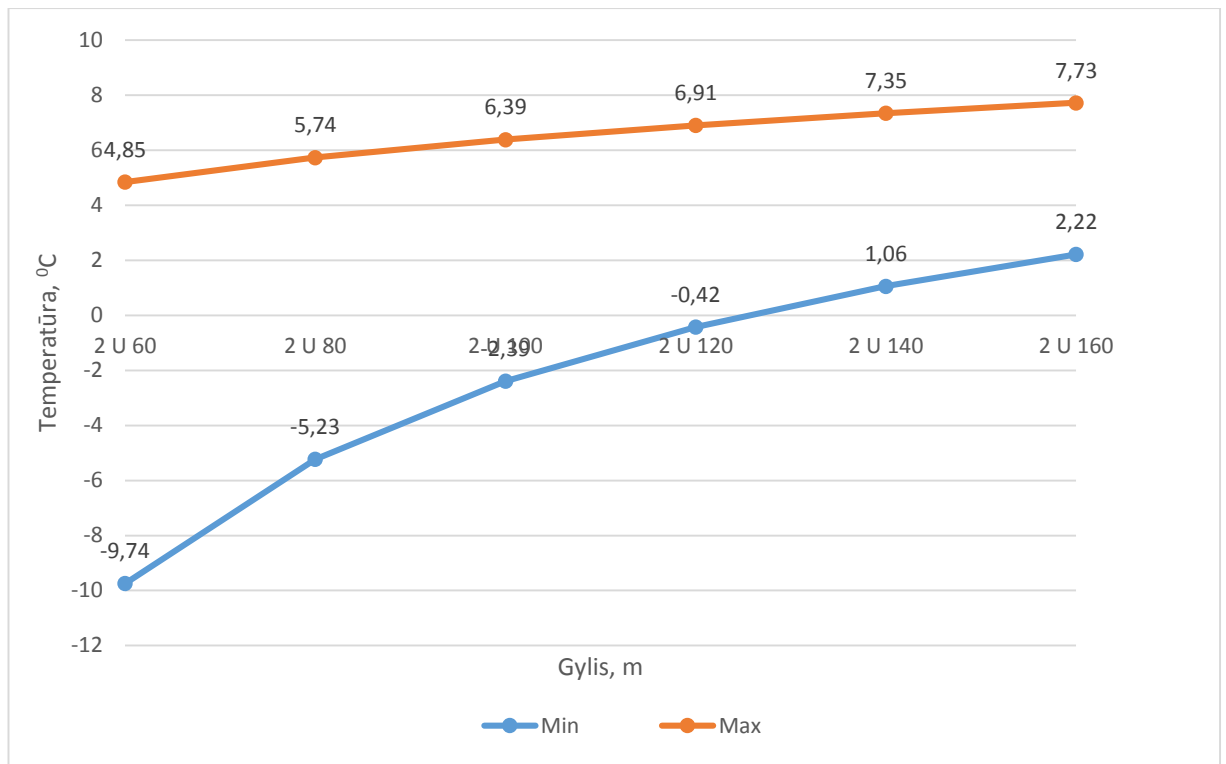
4.5 pav. Šilumnešio temperatūrų priklausomybės keičiantis metams

Iš 4.5 pav. matome, kad didžiausias temperatūrų padidėjimas, kaip ir ankstesniuose modeliuose, pastebimas tada, kai gręžinio gylis padidinamas nuo 60 m iki 80 m.

Sudaroma minimalių ir maksimalių reikšmių lentelė:

4.9 lentelė. Minimalių ir maksimalių reikšmių lentelė

Gylis	2 U 60	2 U 80	2 U 100	2 U 120	2 U 140	2 U 160
Min	-9,74	-5,23	-2,39	-0,42	1,06	2,22
Max	4,85	5,74	6,39	6,91	7,35	7,73



4.6 pav. Minimumų ir maksimumų priklausomybės nuo gręžinio gylio

Lyginant šias (4.6 pav.) priklausomybes, su anksčiau gautomis, pastebimas mažiausias temperatūrų padidėjimas.

#### 4.3 Termodinaminio ciklo efektyvumas

Termodinaminis šilumos siurblio ciklas buvo tiriamas naudojant „CoolPack“ programinės įrangos paketą. Temperatūros, kurios buvo gautos gruntinių šilumokaičių modeliavimo metu, buvo prilygintos prie šilumos siurblio garintuvo temperatūros. Garintuvo (šilumokaičio) šilumos perdavimo efektyvumas nebuvo vertinamas. Priimta, kad šilumos kondensavimosi temperatūra – 45 °C. Taip pat nebuvo vertinamas kondensatoriaus šilumos perdavimo efektyvumas. Šaltnešis R407C buvo parinktas atsižvelgiant į jo populiarumą, jis, ko gero, dažniausiai sutinkamas šaldymo ir šildymo technikoje. Modeliuojant termodinaminį ciklą, izotropinis efektyvumas buvo priimtas 0,75.

CoolPack programinės įrangos paketas leidžia sudaryti termodinaminį ciklą, žinant šaltnešio modelį, garintuvo ir kondensatoriaus temperatūras. Po to, kai termodinaminis ciklas yra sumodeliuotas, galima peržiūrėti visus parametrus, taip pat ir termodinaminio ciklo efektyvumą (COP). Suradus termodinaminį ciklo efektyvumą galima teigti, kad tai yra teorinis mėnesinis šilumos siurblio transformavimo koeficientas. Gauti rezultatai pateikiami 4.10 lentelėje:



4.10 lentelė. Termodinaminio ciklo efektyvumo (COP) rezultatai

Gręžinio gylis: 1 U 60 m.						Gręžinio gylis: 2x30 m.						Gręžinio gylis: 2 U 60 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	2,53	2,38	2,36	2,32	Sausis	-	2,5	2,48	2,47	2,45	Sausis	-	2,82	2,76	2,71	2,67
Vasaris	-	2,71	2,68	2,64	2,6	Vasaris	-	2,68	2,65	2,63	2,6	Vasaris	-	2,95	2,91	2,86	2,83
Kovas	-	2,94	2,9	2,86	2,83	Kovas	-	2,91	2,88	2,85	2,82	Kovas	-	3,22	3,17	3,12	3,08
Balandis	-	3,44	3,4	3,37	3,33	Balandis	-	3,4	3,37	3,35	3,32	Balandis	-	3,67	3,63	3,59	3,54
Gegužė	-	3,98	3,87	3,84	3,81	Gegužė	-	3,93	3,9	3,88	3,84	Gegužė	-	4,04	4	3,96	3,92
Birželis	-	4,06	3,98	3,94	3,91	Birželis	-	4,01	3,98	3,96	3,92	Birželis	-	4,11	4,08	4,05	4,02
Liepa	-	4,1	4,02	3,97	3,94	Liepa	-	4,04	4,01	3,98	3,95	Liepa	-	4,15	4,12	4,09	4,06
Rugpjūtis	-	4,14	4,1	3,94	3,9	Rugpjūtis	-	4,08	4,05	4,02	4	Rugpjūtis	-	4,18	4,14	4,11	4,07
Rugsėjis	4,19	4,05	3,93	3,86	3,83	Rugsėjis	4,14	4	3,96	3,94	3,91	Rugsėjis	4,24	4,1	4,06	4,02	3,96
Spalis	3,32	3,26	3,13	3,08	3,04	Spalis	3,3	3,23	3,2	3,17	3,14	Spalis	3,42	3,41	3,37	3,32	3,28
Lapkritis	2,9	2,88	2,72	2,7	2,68	Lapkritis	2,88	2,86	2,84	2,81	2,78	Lapkritis	3,06	2,98	2,94	2,9	2,84
Gruodis	2,87	2,54	2,47	2,46	2,44	Gruodis	2,86	2,51	2,48	2,45	2,42	Gruodis	3,04	2,63	2,59	2,56	2,51
Gręžinio gylis: 1 U 80 m.						Gręžinio gylis: 2x40 m.						Gręžinio gylis: 2 U 80 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	2,71	2,68	2,62	2,59	Sausis	-	2,69	2,67	2,64	2,61	Sausis	-	2,89	2,86	2,82	2,78
Vasaris	-	2,81	2,76	2,73	2,71	Vasaris	-	2,78	2,75	2,72	2,78	Vasaris	-	3,02	2,96	2,93	2,89
Kovas	-	3,11	3,08	3,05	3,02	Kovas	-	3,09	3,06	3,03	3,01	Kovas	-	3,31	3,28	3,23	3,19
Balandis	-	3,45	3,42	3,38	3,35	Balandis	-	3,42	3,39	3,36	3,33	Balandis	-	3,65	3,61	3,57	3,54
Gegužė	-	3,99	3,95	3,92	3,88	Gegužė	-	3,96	3,93	3,9	3,87	Gegužė	-	4,07	4,03	3,99	3,96
Birželis	-	4,04	4,01	3,98	3,95	Birželis	-	4,01	3,98	3,95	3,92	Birželis	-	4,12	4,08	4,04	4,01
Liepa	-	4,09	4,05	4,02	3,98	Liepa	-	4,07	4,05	4,02	3,99	Liepa	-	4,18	4,15	4,11	4,08
Rugpjūtis	-	4,15	4,11	4,09	4,06	Rugpjūtis	-	4,12	4,09	4,06	4,04	Rugpjūtis	-	4,22	4,19	4,15	4,11
Rugsėjis	4,23	4,06	4,03	4,01	3,97	Rugsėjis	4,19	4,03	4	3,98	3,94	Rugsėjis	4,32	4,15	4,12	4,09	4,06
Spalis	3,41	3,28	3,25	3,21	3,18	Spalis	3,37	3,25	3,22	3,19	3,15	Spalis	3,56	3,35	3,32	3,28	3,25
Lapkritis	3,05	2,89	2,86	2,83	2,8	Lapkritis	3,02	2,86	2,84	2,81	2,78	Lapkritis	3,14	2,98	2,94	2,91	2,86
Gruodis	2,94	2,68	2,65	2,63	2,6	Gruodis	2,9	2,65	2,62	2,58	2,56	Gruodis	3,04	2,78	2,74	2,7	2,66
Gręžinio gylis: 1 U 100 m.						Gręžinio gylis: 2x50 m.						Gręžinio gylis: 2 U 100 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	2,9	2,87	2,84	2,81	Sausis	-	2,87	2,84	2,82	2,79	Sausis	-	2,98	2,94	2,91	2,86
Vasaris	-	3,01	2,98	2,95	2,92	Vasaris	-	2,98	2,95	2,92	2,89	Vasaris	-	3,11	3,08	3,04	3,01
Kovas	-	3,37	3,34	3,3	3,27	Kovas	-	3,35	3,32	3,3	3,27	Kovas	-	3,46	3,43	3,4	3,36

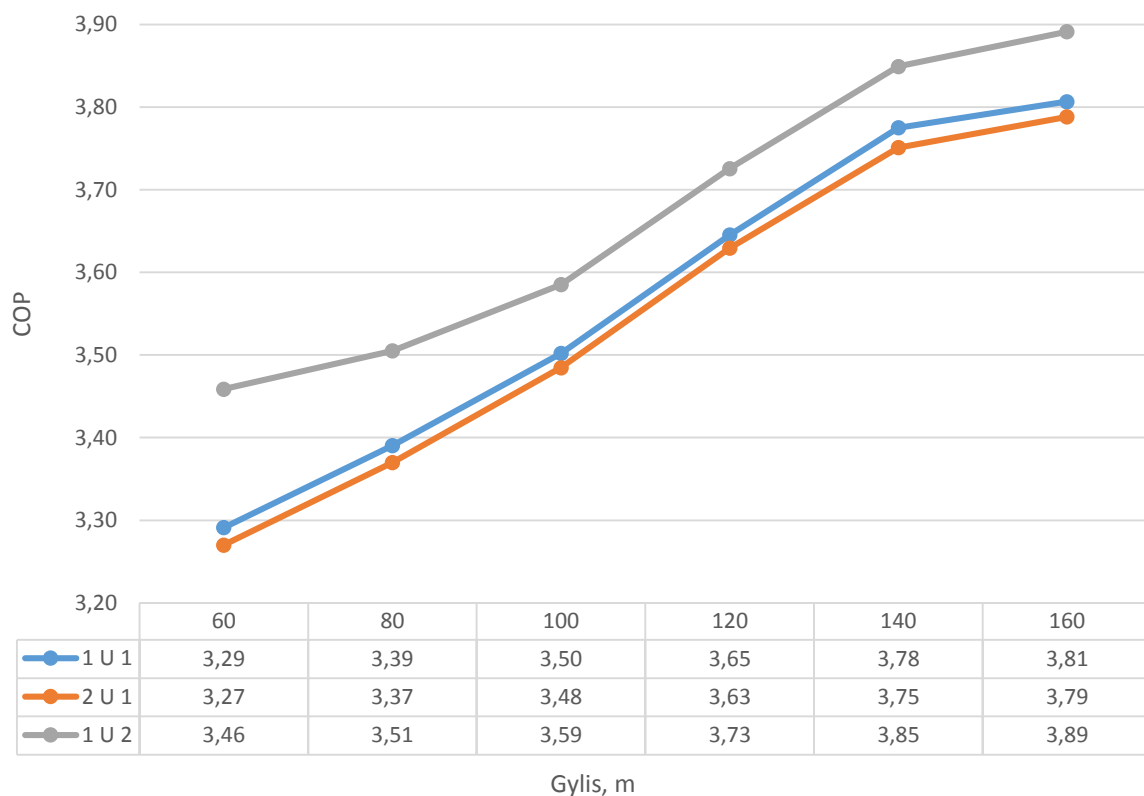
Balandis	-	3,68	3,64	3,61	3,57	Balandis	-	3,65	3,62	3,59	3,56	Balandis	-	3,76	3,72	3,68	3,65
Gegužė	-	4	3,97	3,94	3,9	Gegužė	-	3,97	3,95	3,92	3,88	Gegužė	-	4,07	4,04	4,01	3,95
Birželis	-	4,08	4,05	4,01	3,99	Birželis	-	4,06	4,03	4	3,97	Birželis	-	4,18	4,14	4,1	4,07
Liepa	-	4,1	4,07	4,04	4,01	Liepa	-	4,07	4,04	4,03	4,01	Liepa	-	4,19	4,15	4,12	4,08
Rugpjūtis	-	4,18	4,15	4,12	4,08	Rugpjūtis	-	4,16	4,14	4,12	4,09	Rugpjūtis	-	4,27	4,24	4,21	4,18
Rugsėjis	4,25	4,08	4,04	4,01	3,98	Rugsėjis	4,19	4,05	4,02	3,99	3,96	Rugsėjis	4,3	4,17	4,14	4,12	4,09
Spalis	3,45	3,45	3,41	3,38	3,34	Spalis	3,42	3,43	3,4	3,37	3,35	Spalis	3,56	3,48	3,44	3,4	3,36
Lapkritis	3,15	3,03	3	2,97	2,93	Lapkritis	3,09	3,01	2,99	2,96	2,93	Lapkritis	3,22	3,14	3,1	3,07	3,03
Gruodis	2,89	2,81	2,76	2,73	2,69	Gruodis	2,86	2,79	2,77	2,75	2,72	Gruodis	2,99	2,91	2,87	2,84	2,82
Gręžinio gylis: 1 U 120 m.						Gręžinio gylis: 2x60 m.						Gręžinio gylis: 2 U 120 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	3,1	3,08	3,04	3,01	Sausis	-	3,08	3,05	3,02	3	Sausis	-	3,18	3,15	3,11	3,08
Vasaris	-	3,15	3,12	3,09	3,06	Vasaris	-	3,12	3,1	3,07	3,04	Vasaris	-	3,23	3,19	3,15	3,12
Kovas	-	3,51	3,48	3,45	3,42	Kovas	-	3,49	3,46	3,43	3,4	Kovas	-	3,6	3,56	3,52	3,48
Balandis	-	3,94	3,91	3,88	3,85	Balandis	-	3,9	3,87	3,84	3,81	Balandis	-	4,02	3,98	3,94	3,91
Gegužė	-	4,12	4,09	4,06	4,03	Gegužė	-	4,1	4,07	4,04	4,01	Gegužė	-	4,22	4,18	4,15	4,11
Birželis	-	4,14	4,11	4,09	4,06	Birželis	-	4,12	4,1	4,08	4,05	Birželis	-	4,24	4,21	4,18	4,12
Liepa	-	4,17	4,14	4,11	4,08	Liepa	-	4,15	4,13	4,11	4,08	Liepa	-	4,25	4,21	4,18	4,12
Rugpjūtis	-	4,22	4,19	4,16	4,12	Rugpjūtis	-	4,2	4,18	4,15	4,12	Rugpjūtis	-	4,31	4,28	4,24	4,21
Rugsėjis	4,28	4,15	4,12	4,09	4,06	Rugsėjis	4,26	4,13	4,11	4,08	4,05	Rugsėjis	4,37	4,23	4,2	4,16	4,12
Spalis	3,57	3,61	3,58	3,55	3,52	Spalis	3,54	3,58	3,55	3,52	3,49	Spalis	3,66	3,7	3,66	3,63	3,59
Lapkritis	3,31	3,12	3,09	3,06	3,03	Lapkritis	3,28	3,1	3,08	3,06	3,03	Lapkritis	3,39	3,21	3,18	3,15	3,11
Gruodis	3,62	3	2,97	2,94	2,91	Gruodis	3,6	2,98	2,96	2,94	2,91	Gruodis	3,71	3,11	3,08	3,04	3,01
Gręžinio gylis: 1 U 140 m.						Gręžinio gylis: 2x70 m.						Gręžinio gylis: 2 U 140 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	3,38	3,35	3,32	3,29	Sausis	-	3,36	3,33	3,31	3,29	Sausis	-	3,48	3,45	3,42	3,39
Vasaris	-	3,45	3,42	3,39	3,36	Vasaris	-	3,42	3,39	3,37	3,34	Vasaris	-	3,53	3,49	3,46	3,43
Kovas	-	3,63	3,6	3,57	3,53	Kovas	-	3,61	3,58	3,55	3,52	Kovas	-	3,73	3,69	3,66	3,62
Balandis	-	4,05	4,02	3,99	3,96	Balandis	-	4,03	4,01	3,99	3,96	Balandis	-	4,14	4,1	4,06	4,03
Gegužė	-	4,15	4,12	4,1	4,08	Gegužė	-	4,13	4,1	4,08	4,05	Gegužė	-	4,23	4,2	4,16	4,12
Birželis	-	4,18	4,15	4,11	4,09	Birželis	-	4,16	4,14	4,11	4,08	Birželis	-	4,26	4,22	4,19	4,16
Liepa	-	4,21	4,18	4,15	4,11	Liepa	-	4,19	4,16	4,14	4,11	Liepa	-	4,31	4,28	4,25	4,22
Rugpjūtis	-	4,26	4,33	4,3	4,26	Rugpjūtis	-	4,24	4,22	4,2	4,17	Rugpjūtis	-	4,35	4,31	4,28	4,24
Rugsėjis	4,3	4,18	4,15	4,12	4,09	Rugsėjis	4,27	4,16	4,13	4,1	4,07	Rugsėjis	4,39	4,26	4,23	4,19	4,15

Spalis	3,68	3,85	3,82	3,79	3,76	Spalis	3,66	3,82	3,79	3,76	3,73	Spalis	3,78	3,94	3,9	3,86	3,81
Lapkritis	3,46	3,28	3,25	3,22	3,19	Lapkritis	3,44	3,25	3,22	3,19	3,16	Lapkritis	3,56	3,36	3,32	3,29	3,26
Gruodis	3,81	3,11	3,08	3,05	3,03	Gruodis	3,78	3,08	3,06	3,04	3,01	Gruodis	3,89	3,18	3,15	3,11	3,08
Gręžinio gylis: 1 U 160 m.						Gręžinio gylis: 2x80 m.						Gręžinio gylis: 2 U 160 m.					
Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25	Metai	1	2	5	10	25
Sausis	-	3,46	3,43	3,4	3,37	Sausis	-	3,43	3,4	3,37	3,34	Sausis	-	3,55	3,52	3,48	3,43
Vasaris	-	3,52	3,49	3,46	3,43	Vasaris	-	3,5	3,48	3,45	3,42	Vasaris	-	3,64	3,61	3,57	3,53
Kovas	-	3,71	3,68	3,65	3,62	Kovas	-	3,68	3,65	3,62	3,59	Kovas	-	3,81	3,76	3,73	3,69
Balandis	-	4,08	4,05	4,02	3,99	Balandis	-	4,06	4,03	4,01	3,98	Balandis	-	4,17	4,14	4,09	4,04
Gegužė	-	4,18	4,15	4,12	4,09	Gegužė	-	4,15	4,13	4,11	4,08	Gegužė	-	4,26	4,23	4,19	4,15
Birželis	-	4,19	4,16	4,13	4,1	Birželis	-	4,17	4,15	4,12	4,09	Birželis	-	4,28	4,24	4,21	4,17
Liepa	-	4,2	4,17	4,14	4,11	Liepa	-	4,18	4,16	4,13	4,1	Liepa	-	4,29	4,26	4,23	4,2
Rugpjūtis	-	4,22	4,19	4,16	4,13	Rugpjūtis	-	4,2	4,18	4,16	4,13	Rugpjūtis	-	4,31	4,25	4,21	4,17
Rugsėjis	4,38	4,2	4,17	4,14	4,11	Rugsėjis	4,36	4,18	4,16	4,13	4,1	Rugsėjis	4,49	4,28	4,24	4,21	4,16
Spalis	3,72	3,9	3,87	3,84	3,81	Spalis	3,7	3,88	3,86	3,83	3,8	Spalis	3,9	3,99	3,95	3,91	3,86
Lapkritis	3,51	3,34	3,31	3,28	3,25	Lapkritis	3,48	3,32	3,29	3,26	3,23	Lapkritis	3,61	3,44	3,41	3,37	3,33
Gruodis	3,86	3,16	3,13	3,1	3,07	Gruodis	3,83	3,13	3,1	3,07	3,04	Gruodis	3,98	3,25	3,22	3,19	3,15

Iš lentelės rezultatų matyti, kad didžiausią termodinaminio ciklo efektyvumą, prie vienodų gręžinio gylių turi viengubas gręžinys su dviem U-formos vamzdžiais. Sudarome vidutinių, per visą veikimo laikotarpį, transformacijos koeficientų lentelę:

4.11 lentelė. Vidutiniai, per visą veikimo laikotarpį, transformacijos koeficientai

Gylis, m						
Tipas	60	80	100	120	140	160
1 U 1	3,29	3,39	3,50	3,65	3,78	3,81
2 U 1	3,27	3,37	3,48	3,63	3,75	3,79
1 U 2	3,46	3,51	3,59	3,73	3,85	3,89



4.7 pav. Vidutiniai, per visą veikimo laikotarpį, transformacijos koeficientai

Iš gauto grafiko (4.7 pav.) matyti, kad gautos priklausomybės yra beveik tiesioginės. Viengubo šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais transformacijos koeficientas yra didžiausias.

#### 4.4 Reikalingo gręžinio gylio nustatymas

Reikalingas gręžinio gylis – tai gylis, kuris užtikrintų efektyvų šilumos siurblio darbą per visą nagrinėjamą laikotarpį (25 metus). Nustatome, kad šilumos siurblys bus eksploatuojamas efektyviai, kai jo transformacijos koeficientas bus ne mažesnis už 3,0. Mūsų nagrinėjamas laikotarpis – 25 metai. Tai reiškia, kad transformacijos koeficientas 25 šilumos veikimo metais, per šalčiausią mėnesį, neturi būti mažesnis už mūsų nustatytą transformacijos koeficientą – 3,0.

Pagal COP 4.10 lentelę surandame gręžinio gylį. Kai naudojamas viengubas vertikalus gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu, gręžinio gylis neturi būti mažesnis už 140 m. Kai naudojamas dvigubas šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu, gręžinio gylis neturi būti mažesnis už 140 m. (2x70 m.). Trečiu atveju, kai naudojamas viengubas gręžinys su dviem U-formos vamzdžiais, gręžinio gylis neturi būti mažesnis už 120 m.

#### 4.5 Ekonominis gręžinių vertinimas

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

#### 4.6 Cirkuliacinio siurblio parinkimas

Norint parinkti cirkuliacinį siurblį, reikia žinoti du parametrus: šilumnešio tūrinį debitą, kuris yra lygus 1 l/s (šis dydis buvo užduotas modeliuojant gruntinius šilumokaičius), gruntinio šilumokaičio hidraulinį pasipriešinimą.

Gruntinio šilumokaičio hidraulinis skaičiavimas atliekamas naudojant kompiuterinę programą „Pipe Pressure Loss Calculator“ (vamzdžio slėgio nuostolių skaičiuotuvą). Programa išskirtina tuo, kad hidraulinės trinties koeficientas, kuris reikalingas hidrauliniams nuostoliams apskaičiuoti, nustatomas naudojant trijų skirtingų autorių formules. Skaičiavimams reikalingas šilumnešio klampumas (nustatytas 0,052 P (Puazas)), debitas, vamzdžio skersmuo (26 mm), vamzdžio medžiaga (polipropilenas) ir vamzdžio ilgis. Skaičiavimo rezultatai pateikiami XXX lentelėje:

4.12 lentelė. Hidraulinių nuostolių skaičiavimo rezultatai

Gręžinio tipas ir gylis	Vamzdžio ilgis, m	Debitas, l/s	Slėgio nuostoliai, Pa
1 U 1 140 m.	280	1	60600
2 U 1 2x70 m.	140	0,5	8035
1 U 2 120 m.	240	0,5	15800

Iš 4.12 lentelės matome, kad kai naudojamas viengubas gręžinys su vienu U-formos vamzdžiu, slėgio nuostoliai kelis kartus viršija kituose gręžiniuose gautą rezultatą. Taip yra todėl, nes pažiūrėjus į debito stulpelį lentelėje matyti, kad šiame atvejuje jis yra dvigubai didesnis. Tai yra dėl to, nes naudojamas vienas gręžinys su vienu U-formos vamzdžiu ir, šiuo atveju, debitas nepasidalina.

Pagal gautus rezultatus, naudojant Wilo Select kompiuterinę įrenginių parinkimo programą, parenkame cirkuliacinius siurblius (4.13 lent.)

4.13 lentelė. Parinkti cirkuliaciniai siurbliai

Gręžinio tipas ir gylis	Cirkuliacinio siurblio tipas	Galia, kW	Kaina, € (Lt)
1 U 1 140 m.	WILO TOP RL 30/6,5	0,245	290,32 € (1002,42 Lt)
2 U 1 2x70 m.	WILO STAR RS 25/4	0,048	124,05 € (428,34 Lt)
1 U 2 120 m.	WILO STAR RS 25/6	0,084	172,57 € (595,86 Lt)

#### 4.7 Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai

Tam, kad būtų galima apskaičiuoti cirkuliacinio siurblio eksploatacinius kaštus, reikia žinoti jo elektros energijos poreikius. Poreikių skaičiavimams reikalingas cirkuliacinių siurblių veikimo galingumas bei darbo valandos per 25 darbo metus. Paprasčiausias būdas surasti siurblių veikimo laiką – 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 25 metų laikotarpį.

#### 4.8 Šilumos siurblio galios nustatymas

Statybos techniniame reglamente [14] pastato projektinė šaltinio galia yra apskaičiuojama atsižvelgiant į šaltinio gyvavimo laikotarpį, t.y., siurblio galia bus nustatoma atsižvelgiant į tai, kad jo gyvavimo laikas neturi būti mažesnis už modeliavimo periodą – 25 metus.

Kompresoriaus darbo laikas taip pat prilyginamas prie šilumos siurblio gyvavimo laiko, kadangi, šilumos siurblys bus eksploatuojamas tol, kol veiks kompresorius. Kompresoriaus gyvavimo laikas – 50000 valandų. Todėl, norint, kad šilumos siurblys veiktų 25 metus, kiekvienais metais jis turėtų veikti ne ilgiau kaip 2000 valandų.

Šilumos poreikis pastato šildymui ir karšto vandens ruošimui lygus 23480 kWh. Tada, reikalingas šilumos siurblio galingumas:

$$P = \frac{23480}{2000} = 11,74 \text{ kW}; \quad (4.1)$$

Parinktas Alpha-InnoTec gamybos šilumos siurblys SWC 120/S, kurio galia 11,9 kW. Naudojant parinkto šilumos siurblio galią, paskaičiuojame jo metinį veikimo laiką:

$$t = \frac{23480}{11,9} = 1973 \text{ val.} \quad (4.2)$$

#### 4.9 Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai

Turime apskaičiavę veikimo laiką ir žinome siurblio galingumą, tada galime apskaičiuoti šilumos siurblio elektros energijos poreikį. Elektros energijos kaina lygi 0,129 € (0,445 Lt).

4.14 lentelė. Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai 25 metų laikotarpyje

Gręžinio tipas ir gylis	Cirkuliacinio siurblio tipas	Galia, kW	Veikimo laikas per metus, val.	Eksploataciniai kaštai per 25 metus, € (Lt)
1 U 1 140 m.	WILO TOP RL 30/6,5	0,245	2013	1590,52 € (5491,75 Lt)
2 U 1 2x70 m.	WILO STAR RS 25/4	0,048		311,61 € (1075,92 Lt)
1 U 2 120 m.	WILO STAR RS 25/6	0,084		545,32 € (1882,88 Lt)

#### 4.10 Šilumos siurblio eksploataciniai kaštai

Tam, kad apskaičiuoti šilumos siurblio eksploatacinius kaštus, reikia žinoti šilumos siurblio elektros energijos poreikį. Turėdami mėnesinius šilumos siurblio efektyvumo koeficientus ir mėnesinius pastato šilumos poreikius, galime apskaičiuoti elektros energijos poreikį. Daroma prielaida, kad šilumos siurblys trečiais ir ketvirtais metais dirba su antrojo modeliavimo metais gautu efektyvumo koeficientu, nuo penktų iki devintų metų imtinai priimamas penktais modeliavimo metais gautas šilumos koeficientas. Nuo dešimtųjų iki dvidešimt ketvirtųjų metų imtinai efektyvumo koeficientas išlieka toks pats kaip ir 10 eksploataavimo metais. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 4.14 lentelėje:

4.14 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos poreikiai

Viengubas vertikalus gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu, 140 m.											
Mėnuo	Šilumos poreikis, MWh	Šilumos siurblio efektyvumo koeficientas (COP)					Elektros energijos poreikis, MWh				
		Metai					Laikotarpiai metais				
		1	2	5	10	25	1	2-4	5-9	10-24	25
1	4,16	-	3,38	3,35	3,32	3,29	-	3,69	6,21	17,54	1,26
2	4,07	-	3,45	3,42	3,39	3,36	-	3,54	5,95	16,81	1,21
3	3,48	-	3,63	3,6	3,57	3,53	-	2,88	4,83	13,65	0,99
4	2,42	-	4,05	4,02	3,99	3,96	-	1,79	3,01	8,49	0,61
5	0,41	-	4,15	4,12	4,1	4,08	-	0,30	0,50	1,40	0,10
6	0,41	-	4,18	4,15	4,11	4,09	-	0,29	0,49	1,40	0,10
7	0,41	-	4,21	4,18	4,15	4,11	-	0,29	0,49	1,38	0,10
8	0,41	-	4,26	4,33	4,3	4,26	-	0,29	0,47	1,33	0,10
9	0,41	4,3	4,18	4,15	4,12	4,09	0,10	0,29	0,49	1,39	0,10
10	0,75	3,68	3,85	3,82	3,79	3,76	0,20	0,58	0,98	2,77	0,20
11	3,17	3,46	3,28	3,25	3,22	3,19	0,92	2,90	4,88	13,78	0,99
12	3,33	3,81	3,11	3,08	3,05	3,03	0,87	3,21	5,41	15,29	1,10
Visas reikalingas elektros energijos poreikis, MWh:								157,96			
Eksploataciniai kaštai:								20376 € (70292 Lt)			

4.15 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos poreikiai

Dvigubas vertikalus gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu, 2x70 m.											
Mėnuo	Šilumos poreikis, MWh	Šilumos siurblio efektyvumo koeficientas (COP)					Elektros energijos poreikis, MWh				
		Metai					Laikotarpiai metais				
		1	2	5	10	25	1	2-4	5-9	10-24	25
1	4,16	-	3,36	3,33	3,31	3,29	-	3,71	6,25	17,60	1,26
2	4,07	-	3,42	3,39	3,37	3,34	-	3,57	6,00	16,91	1,22
3	3,48	-	3,61	3,58	3,55	3,52	-	2,89	4,86	13,72	0,99
4	2,42	-	4,03	4,01	3,99	3,96	-	1,80	3,02	8,49	0,61
5	0,41	-	4,13	4,1	4,08	4,05	-	0,30	0,50	1,41	0,10
6	0,41	-	4,16	4,14	4,11	4,08	-	0,30	0,50	1,40	0,10
7	0,41	-	4,19	4,16	4,14	4,11	-	0,29	0,49	1,39	0,10
8	0,41	-	4,24	4,22	4,2	4,17	-	0,29	0,49	1,37	0,10
9	0,41	4,27	4,16	4,13	4,1	4,07	0,10	0,30	0,50	1,40	0,10
10	0,75	3,66	3,82	3,79	3,76	3,73	0,20	0,59	0,99	2,79	0,20
11	3,17	3,44	3,25	3,22	3,19	3,16	0,92	2,93	4,92	13,91	1,00

12	3,33	3,78	3,08	3,06	3,04	3,01	0,88	3,24	5,44	15,34	1,11
Visas reikalingas elektros energijos poreikis, MWh:							158,87				
Eksploataciniai kaštai:							20475 € (70697 Lt)				

#### 4.16 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos poreikiai

Dvigubas vertikalus gruntinis šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais, 120 m.											
Mėnuo	Šilumos poreikis, MWh	Šilumos siurblio efektyvumo koeficientas (COP)					Elektros energijos poreikis, MWh				
		Metai					Laikotarpiai metais				
		1	2	5	10	25	1	2-4	5-9	10-24	25
1	4,16	-	3,18	3,15	3,11	3,08	-	3,92	6,60	18,73	1,35
2	4,07	-	3,23	3,19	3,15	3,12	-	3,78	6,38	18,09	1,30
3	3,48	-	3,6	3,56	3,52	3,48	-	2,90	4,89	13,84	1,00
4	2,42	-	4,02	3,98	3,94	3,91	-	1,81	3,04	8,60	0,62
5	0,41	-	4,22	4,18	4,15	4,11	-	0,29	0,49	1,38	0,10
6	0,41	-	4,24	4,21	4,18	4,12	-	0,29	0,49	1,37	0,10
7	0,41	-	4,25	4,21	4,18	4,12	-	0,29	0,49	1,37	0,10
8	0,41	-	4,31	4,28	4,24	4,21	-	0,29	0,48	1,35	0,10
9	0,41	4,37	4,23	4,2	4,16	4,12	0,09	0,29	0,49	1,38	0,10
10	0,75	3,66	3,7	3,66	3,63	3,59	0,20	0,61	1,02	2,89	0,21
11	3,17	3,39	3,21	3,18	3,15	3,11	0,94	2,96	4,98	14,09	1,02
12	3,33	3,71	3,11	3,08	3,04	3,01	0,90	3,21	5,41	15,34	1,11
Visas reikalingas elektros energijos poreikis, MWh:							163,07				
Eksploataciniai kaštai:							21016 € (72566 Lt)				

Mažiausias elektros energijos poreikis, reikalingas šilumos siurblio veikimui, atsižvelgiant į mėnesinius šilumos siurblio efektyvumo koeficientus, per 25 eksploataavimo metus, yra kai naudojamas viengubas gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu. Įvertiname elektros energijos kainą – 0,129 € (0,445 Lt), lentelės apačioje gauti šilumos siurblio eksploataciniai kaštai.

#### 4.11 Gręžinių įrengimo kaštai

Į gręžinių įrengimo kaštus bus įtraukti žemės gręžimo darbai, taip pat reikalingos medžiagos, šilumnešio ir užpilo kaštai. Vidutinė geoterminių gręžinių vieno metro kaina be medžiagų yra 21 € (72,50 Lt), vamzdžio kaina – 1,65 € (5,70 Lt), šilumnešio ir užpilo kainos priimamos 0,87 € (3,00 Lt), 100 € (345 Lt) už toną (betonito tankis 800 kg/m<sup>3</sup>). 4.17 lentelėje pateikiama reikalingų medžiagų sąmata:

#### 4.17 lentelė. Gręžinių įrengimo kaina

Medžiagos	Vieneto kaina, € (Lt)	1 U 1 140 m.		2 U 1 2x70 m.		1 U 2 120 m.	
		Kiekis	Suma, € (Lt)	Kiekis	Suma, € (Lt)	Kiekis	Suma, € (Lt)
Gręžimas, m	21 € (72,50 Lt)	130	2730 € (9426,14 Lt)	140	2940 € (10151,23 Lt)	120	2520 € (8701,06 Lt)



Vamzdis, m	1,65 € (5,70 Lt)	260	429 € (1481,25 Lt)	280	462 € (1595,19 Lt)	480	792 € (2734,62 Lt)
Šilumnešis, l	0,87 € (3 Lt)	140	121,8 € (420,55 Lt)	150	130,5 € (450,59 Lt)	250	217,5 € (750,98 Lt)
Užpilas, kg	0,1 € (0,345 Lt)	824	82,4 € (284,51 Lt)	880	88 € (303,85 Lt)	602	60,2 € (207,86 Lt)
<b>Viso, € (Lt):</b>			<b>3363 € (11611 Lt)</b>		<b>3620 € (12499 Lt)</b>		<b>3589 € (12392 Lt)</b>

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

#### 4.12 Ekonominio vertinimo rezultatai

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

4.18 lentelė. Ekonominio vertinimo rezultatai

Gręžinio tipas ir gylis	Cirkuliacinio siurblio kaina, € (Lt)	Įrengimo kaina, € (Lt)	Cirkuliacinio siurblio eksploataciniai kaštai per 25 metus, € (Lt)	Šilumos siurblio eksploataciniai kaštai per 25 metus, € (Lt)	Iš viso, € (Lt)
1 U 1 140 m.	290,32 € (1002,42 Lt)	3363 € (11611 Lt)	1590,52 € (5491,75 Lt)	20376 € (70292 Lt)	25619 € (88460 Lt)
2 U 1 2x70 m.	124,05 € (428,34 Lt)	3620 € (12499 Lt)	311,61 € (1075,92 Lt)	20475 € (70697 Lt)	24530 € (84699 Lt)
1 U 2 120 m.	172,57 € (595,86 Lt)	3589 € (12392 Lt)	545,32 € (1882,88 Lt)	21016 € (72566 Lt)	24578 € (84865 Lt)

Pagal atliktus skaičiavimus, dvigubas gruntinis šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu prie parinktų sąlygų yra pranašiausias. Skaičiavimo rezultatų skirtumas su viengubu šilumokaičiu su dviem U-formos vamzdžiais yra 48 € (166 Lt) per 25 metų laikotarpį.

## IŠVADOS

1. Ieškant kompiuterinių modeliavimo programų, su kuriomis būtų galima atlikti gruntinio šilumokaičio analizę, buvo pasirinkta „Earth Energy Designer 3.21“, kadangi, ši programa pasižymi jos veikimo ir naudojimosi paprastumu, galima bandomąją versiją parsisiųsti nemokamai iš interneto, programoje naudojami SI sistemos vienetai, programa išversta į lietuvių kalbą. Programa turi galingą duomenų bazę, kurios pagalba galima modeliuoti vertikalius gruntinius šilumokaičius ne tik Lietuvoje, bet ir daugumoje Europos Sąjungos šalių. Palyginus šią programą su kitomis skaitmeninėmis modeliavimo programomis, ši kompiuterinė programa modeliuoti vertikalius gruntinius šilumokaičius yra pats paprasčiausias ir patogiausias įrankis.
2. Įvedus į modeliavimo programą visus reikiamus duomenis, buvo tiriami trys skirtingi vertikalūs gruntiniai šilumokaičiai: viengubas šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu (1-U-1), viengubas šilumokaitis su dviem U-formos vamzdžiais (1-U-2), dvigubas šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu (2-U-1). Tyrimas buvo atliekamas prie skirtingų gręžinio gylių – 60 m., 80 m., 100 m., 120 m., 140 m., 160 m. visą tarnavimo laikotarpį – 25 metus. Modeliavimo metu gautos temperatūros, eksploatuojant šilumokaitį, buvo paimtos pirmais, antrais, penktais, dešimtais ir dvidešimt penktais eksploatavimo metais. Didžiausia vidutinė viengubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu (1-U-1) pasiekta temperatūra buvo 7,59 °C, viengubo šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais (1-U-2) – 7,73 °C, dvigubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu – 6,46 °C.
3. „CoolPack“ kompiuterine programa buvo gauti šilumokaičių transformacijos koeficientai (COP) prie visų tiriamų gręžinių ilgių. Pagal šiuos transformacijos koeficientus buvo parinkti skirtingi šilumokaičių tipų ilgiai, kurie užtikrintų ilgalaikį šilumos siurblio veikimą. Pasirenkama buvo žiūrrint į šalčiausią mėnesį, paskutiniaisiais eksploatavimo metais, gautą transformacijos koeficientą. Pasirinkti šilumokaičių gręžinių gyliai: viengubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu – 140 m., viengubo šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais – 120 m., dvigubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu – 2x70 m. (du gręžiniai po 70 m.)
4. Atlikus ekonominę analizę nustatyta, kad pats efektyviausias yra dvigubas šilumokaitis su vienu U-formos vamzdžiu. Jo investiciniai kaštai (darbų ir medžiagų), cirkuliacinio siurblio, šilumos siurblio ir eksploataciniai kaštai per visą 25 metų eksploatavimo laikotarpį yra mažiausi - 24530 € (84699 Lt), tačiau, viengubo šilumokaičio su dviem U-formos vamzdžiais investiciniai, cirkuliacinio siurblio, šilumos siurblio ir eksploatavimo kaštai skiriasi nežymiai - 48 € (166 Lt) per 25 metų laikotarpį. Bendra kaina: 24578 €

(84865 Lt). Viengubo šilumokaičio su vienu U-formos vamzdžiu investicinė, cirkuliacinio siurblio, šilumos siurblio ir eksploatacijos kaina - 25619 € (88460 Lt).

## **INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS**

1. Lietuvos nacionalinė energetikos strategija. 2007 m. sausio 26 d., Nr. 11-430. Vilnius [žiūrėta 2014 m. spalio 12 d.]. Prieiga per internetą:  
[http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_l?p\\_id=291371](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=291371)
2. Lietuvos Respublikos energetikos įstatymas. 2002 m. gegužės 16 d., Nr. IX-884. Vilnius [žiūrėta 2014 m. lapkričio 16 d.]. Prieiga per internetą:  
[www.lbda.lt/templates/files/tiny\\_mce/lr\\_energetikos\\_ist..doc](http://www.lbda.lt/templates/files/tiny_mce/lr_energetikos_ist..doc)
3. Geoterminės energetikos perspektyvos Lietuvoje. 2012 m. balandžio 15 d. [žiūrėta 2014 m. spalio 12 d.]. Prieiga per internetą:  
<https://zaliaideja.wordpress.com/2012/04/15/geotermines-energetikos-perspektyvos-lietuvoje/>
4. Valstybinio audito ataskaita. Atsinaujinančių energijos išteklių potencialo naudojimas Lietuvoje. 2010 m. sausio 15 d. Nr. VA-P-20-2-1. Vilnius. [žiūrėta 2014 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.vkontrole.lt/failas.aspx?id=2021>
5. Nauja statyba. Atsinaujinantieji šilumos šaltiniai – už ir prieš. 2008-03. [žiūrėta 2014 m. spalio 18 d.]. Prieiga per internetą:  
[http://www.geotermijosasociacija.lt/dokumentai/035\\_Nauja\\_Statyba\\_Nr.pdf](http://www.geotermijosasociacija.lt/dokumentai/035_Nauja_Statyba_Nr.pdf)
6. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Efektyvus atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimas: šalyje įgyvendinti projektai. 2008. Vilnius. [žiūrėta 2014 m. spalio 12 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.ena.lt/doc\\_atsi/EAEIN\\_2008.pdf](http://www.ena.lt/doc_atsi/EAEIN_2008.pdf)
7. Thermal and Thermo-Mechanical Response of a Geothermal Energy Pile. 19-25 April 2015. [žiūrėta: 2014 m. gruodžio 8 d.]. Prieiga per internetą:  
<https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/28009.pdf>
8. Chris Wood. Energy piles for low-rise buildings – research and heat pump integration. [žiūrėta 2014 m. gruodžio 8 d.]. Prieiga per internetą:  
<http://www.buildingtalk.com/Journals/CompanyDocs/company3463-docid983.pdf>
9. Statybos techninis reglamentas. STR 2.09.02:2005. Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas. 2005 m. birželio 9 d. Nr. D1-289. Vilnius. [žiūrėta 2014 m. gruodžio 3 d.] Prieiga per internetą: [www.am.lt/VI/files/0.312040001264435810.doc](http://www.am.lt/VI/files/0.312040001264435810.doc)
10. WPC 04-13 / WPC 04-13 cool šilumos siurbliai. [žiūrėta 2014 m. gruodžio 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.steltronika.lt/silumos-siurbliai-wpc-cool>
11. Stiebel Eltron katalogas. [žiūrėta 2014 m. gruodžio 1 d.]. Prieiga per internetą:  
<http://www.longlife-world.eu/res/dnl/en/Plama%20heat%20pumps%202009.120.pdf>
12. Energijos gamybos apimčių iš atsinaujinančių energijos išteklių 2008-2025 m. studijos parengimas. Atsinaujinančių energijos šaltinių laboratorija. 2007 m. gruodžio 10 d.

- Kaunas. [žiūrėta 2015 m. vasario 5 d.]. Prieiga per internetą:  
[http://www.ena.lt/Ataskaitos/AEI\\_studija.pdf](http://www.ena.lt/Ataskaitos/AEI_studija.pdf)
13. Vandens vartojimo normos RSN 26-90. 1991 m. birželio 24 d. Nr. 79/76. Vilnius.  
[žiūrėta: 2014 m. gruodžio 17 d.]. Prieiga per internetą:  
[www.am.lt/VI/files/0.400272001164028641.doc](http://www.am.lt/VI/files/0.400272001164028641.doc)
  14. STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui. 2008 m. gegužės 12 d. Nr. D1-248. Vilnius. [žiūrėta 2014 m. gruodžio 3 d.]. Prieiga per internetą:  
<http://www.google.lt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fremontogidas.lt%2Fimages%2Fsildymas-kondicionavimas%2FPastato%2520sildymo%2520sistemos%2520galia.%2520Silumos%2520poreikis%2520sildymui.%2520www.remontogidas.lt.doc&ei=53ZTVZn7BYWUsgG4p4GgBA&usg=AFQjCNH60mgIRJ4oGTROXMavnUZ1IkpXGA&sig2=vdh7vhsVp3N7jn-zDjO2Nw&bvm=bv.93112503,d.bGg&cad=rjt>
  15. STR 2.09.04:2002 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui. 2002 m.
  16. Aleksandras Gluosnis. Atliekinius energijos išteklius naudojančios įrenginiai ir šilumos siurbliai. Žinynas – Kaunas: Technologija, 2004. – 242 p.
  17. T. A. Aleksandravičius, A. Klementavičius, M. Krakauskas. Šilumos siurblių panaudojimo galimybės Lietuvoje – Vilnius: Puntukas, 1996. – 40 p.
  18. V. Martinaitis ir kiti. Techninė termodinamika ir šilumokaita. Aiškinamasis uždavinynas – Vilnius: Technika, 2005. – 427 p.
  19. Gimbutis G ir kiti. Šiluminė technika – Vilnius: Mokslas, 1993. – 333 p.
  20. Vykintas Šuksteris, Rolandas Jonynas. Šilumos siurblio panaudojimo Alytaus daugiabučiame name analizė. 2011. Kaunas. [žiūrėta: 2014 m. gruodžio 19d.]. Prieiga per internetą: [http://www.lsta.lt/files/studijos/2011%20metu/A-60\\_Alytaus%20%C5%A0S%20analize\\_Suksterio.pdf](http://www.lsta.lt/files/studijos/2011%20metu/A-60_Alytaus%20%C5%A0S%20analize_Suksterio.pdf)