



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Šilumos mainų gruntiniuose akumuliatoriuose tyrimas
Magistro baigiamasis projektas

Aistė Mickūnaitė
Projekto autorė

Prof. Tadas Ždankus
Vadovas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Šilumos mainų gruntiniuose akumuliatoriuose tyrimas

Magistro baigiamasis projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Aistė Mickūnaitė
Projekto autorė

Prof. Tadas Ždankus
Vadovas

Doc. Rokas Valančius
Recenzentas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Aistė Mickūnaitė

Šilumos mainų gruntiniuose akumuliatoriuose tyrimas

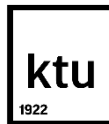
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Aistė Mickūnaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: 6211EX006 DARNŪS IR ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.):
PERTEKLINĖS ŠILUMOS AKUMULIAVIMO GRUNTE GALIMYBIŲ TYRIMAS

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: V25-09-28 (2023-11-30)

(lietuvių k.):
ŠILUMOS MAINŲ GRUNTINIUOSE AKUMULIATORIUOSE TYRIMAS

(anglų k.):
RESEARCH OF HEAT EXCHANGE IN SOIL THERMAL ACCUMULATORS

Pradiniai duomenys darbui:

Baigiamojo projekto dalys:

	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	x
Analitiniai tyrimai	x
Skaitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį):

Vadovas:
(indėlis 100 %)

Prof. Dr. Tadas Ždankus
pareigos, vardas, pavardė

Patvirtinta
elektroniniu būdu

Studentas:

Aistė Mickūnaitė
vardas, pavardė

Patvirtinta
elektroniniu būdu

Mickūnaitė, Aistė. Šilumos mainų gruntiniuose akumuliatoriuose tyrimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Tadas Ždankus; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptių grupė: inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: šilumos akumuliatoriai, šilumos plitimas, gruntas, šilumos laidumas, šilumos kaupimas, eksperimentas.

Kaunas, 2024. 60 p.

Santrauka

Baigiamojo darbo tikslas – ištirti grunto šilumos kaupimo savybes naudojant laboratorinį ir lauko stendus.

Grunto šilumos laidumas yra kompleksinis parametras, priklausantis nuo daugelio veiksnių, įskaitant vandens kiekį, sausąjį tankį, grunto sudėtį ir dalelių dydį. Pastebėta, kad drėgname arba vandeniui prisotintame grunte šilumos laidumas yra didesnis nei sausame grunte. Tyrimai skirtingose geografinėse vietovėse rodo, kad gilesniuose sluoksniuose grunto temperatūra nusistovi, mažiau paveikiama paviršinių veiksnių ir tai gali turėti įtakos šilumos kaupimo sistemų efektyvumui.

Atlikti bandymai laboratorinėmis ir lauko sąlygomis nustatant kaip greitai gruntas įšyla, sulaiko šilumą ir per kiek laiko atvėsta. Atliekami du laboratoriniai tyrimai keičiant užpildo sudėtį. Naudojami užpildai: sausas smulkios frakcijos žvyras ir sausas smulkios frakcijos žvyras su akmenimis. Bandymai lauke atliekami penkių mėnesių laikotarpyje, taip stebint kaip greitai gruntas įšyla priklausant nuo lauko oro temperatūros ir sezono.

Sauso smulkios frakcijos žvyro užpildas su akmenimis pasižymi greitesniu šilumos perdavimu nei užpildas be akmenų. Įkaitinti užpildą su akmenimis užtruko ilgiau, tačiau įkraunamos šilumos kiekis buvo tik 2,38% didesnis nei užpildo be akmenų.

Nusistovėjęs šilumos tankis nuo paviršiaus į gruntą varijuoja priklausomai nuo mėnesio. Kovo mėnesį šilumos tankis yra didžiausias, nes skirtumas tarp nustatytos kaitinamojo paviršiaus 20 °C temperatūros ir 1,0 m gylio grunto temperatūros yra didžiausias.

Lauko stendo tyrimas parodė, kad oro temperatūra turi įtakos grunto temperatūrai, ypač paviršiniuose sluoksniuose. Kovo mėnesį matyti ryškus šilumos perdavimo skirtumas tarp paviršiaus ir gilesnių grunto sluoksnių.

Mickūnaitė, Aistė. Research Of Heat Exchange in Soil Thermal Accumulators. Master's Final Degree / supervisor prof. dr. Tadas Ždankus; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field group: Engineering Sciences.

Keywords: thermal accumulators, heat diffusion, soil, thermal conductivity, heat storage, experiment.

Kaunas, 2024. 60 p.

Summary

The aim of the final project is to investigate the thermal storage properties of soil using laboratory and field stands.

Thermal conductivity of soil is a complex parameter dependent on various factors, including water content, dry density, soil composition, and particle size. It has been observed that in moist or water-saturated soil, thermal conductivity is higher compared to dry soil. Studies in different geographical locations indicate that in deeper layers, the soil temperature stabilizes, is less affected by surface factors, and this may influence the efficiency of heat storage systems.

Laboratory and field experiments were conducted to determine how quickly the soil heats up, retains heat, and cools down. Two laboratory tests were performed by altering the composition of the fill material. The fills used were dry fine-grained gravel and dry fine-grained gravel with stones. Field experiments were conducted over a period of five months, observing how quickly the soil heats up depending on outdoor air temperature and the season.

The fill with stones in dry fine-grained gravel exhibited faster heat transfer than the fill without stones. Heating the fill with stones took longer, but the amount of absorbed heat was only 2.38% higher than the fill without stones.

The steady-state heat density from the surface to the soil varies depending on the month. In March, the heat density is the highest because the difference between the established 20 °C temperature of the heating surface and the 1.0 m depth soil temperature is the greatest.

The field stand experiment showed that air temperature influences soil temperature, especially in surface layers. In March, a significant difference in heat transfer is observed between the surface and deeper soil layers.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Grunto fizikinės savybės	12
1.2. Grunto šiluminės savybės.....	12
1.2.1. Grunto šilumos difuziškumas	13
1.2.2. Grunto šilumos perdavimo būdai	14
1.3. Šilumos kaupimo būdai	17
1.4. Šilumos energijos talpos.....	18
1.5. Šilumos laidumas ir šilumos praradimas grunte.....	19
1.6. Grunte įgilinti pastatai	19
1.7. Antžeminių ir požeminių pastatų energijos sąnaudos	21
1.8. Gruntas-vanduo šilumos siurblių sistema.....	23
1.9. Grunto šilumos kaupimo sistema	23
1.9.1. Grunto šilumos kaupimo sistemos veikimo analizės skaitmeninis modeliavimas	23
1.9.2. Grunto šilumos kaupimo sistemos veikimo analizės realaus modelio paruošimas	25
1.9.3. Grunto šilumos kaupimo sistemos CFD modeliavimo ir realaus eksperimento palyginimas.....	26
2. Tyrimo metodika	27
2.1. Laboratorinio stendo tyrimo metodika	27
2.1.1. Laboratorinio stendo tyrimo eiga	30
2.2. Stendo lauke tyrimo metodika.....	32
3. Tyrimų rezultatai.....	34
3.1. Laboratorinio stendo rezultatai	34
3.1.1. Laboratorinio stendo su sausu smulkios frakcijos žvyro užpildu rezultatai.....	34
3.1.2. Laboratorinio stendo su sausu smulkios frakcijos žvyro ir akmenų užpildu rezultatai.....	35
3.2. Lauko stendo bandymo rezultatai.....	37
3.2.1. Rezultatai kovo mėnesį.....	37
3.2.2. Rezultatai balandžio mėnesį	41
3.2.3. Rezultatai gegužės mėnesį.....	44
3.2.4. Rezultatai birželio mėnesį	46
3.2.5. Rezultatai liepos mėnesį	48
3.2.6. Rezultatų apibendrinimas	49
Išvados	54
Literatūros sąrašas	55
Priedai.....	60
1 priedas. „SMART BUILT ENVIROMENT“ konferencijos dalyvavimo sertifikatas.....	60

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Šilumos energijos kaupimo būdai [21].....	17
2 lentelė. Šilumos energijos kaupimo būdų saugojimo tankio palyginimas [22]	17
3 lentelė. Pastatų, naudotų tiriamajam darbui, charakteristikos [29]	20
4 lentelė. Suminės šilumos perdavimo koeficientas sumodeliuotose antžeminiuose ir požeminiuose pastatuose [30].....	22
5 lentelė. Pagrindiniai šilumos kaupimo modelio termofiziniai duomenys naudojami eksperimento metu [41]	24
6 lentelė. Tikrojo ir sumažintos versijos modelių parametrų palyginimas [41].....	24
7 lentelė. Įjungimo ir išjungimo laiko palyginimas tarp realaus ir sumažintos versijos modelių [41]	25
8 lentelė. Esami ir apskaičiuoti duomenys laboratoriniam tyrimui naudojant smulkios frakcijos sauso žvyro užpildą	35
9 lentelė. Esami ir apskaičiuoti duomenys laboratoriniam tyrimui naudojant smulkios frakcijos sauso žvyro su akmenimis užpildą	36
10 lentelė. Lauko bandymų surinktų duomenų suvestinė	51
11 lentelė. Apskaičiuoti lauko stendo tyrimų šiluminės įkrovos ir srauto tankio rezultatai	53
12 lentelė. Apskaičiuoti vidutiniai lauko stendo tyrimų šiluminės įkrovos ir srauto tankio rezultatai	53

Paveikslų sąrašas

1 pav. Duomenų rinkinio pavyzdžių smėlio, dumblo ir molio tekstūrinis paskirstymas [15]	13
2 pav. Vidutinės išmatuotos šiluminės difuzijos kreivės [15].....	14
3 pav. Mėnesinių vidutinis grunto temperatūros profilis 2015 m. duomenimis; Egiptas, Aleksandrija [17]	15
4 pav. Mėnesinių vidutinis grunto temperatūros profilis 2012–2014 m. duomenimis; Grenlandija [18]	15
5 pav. Kinijos miestuose išmatuota gruntų temperatūra 3,2 m gylyje metų bėgyje [19].....	16
6 pav. Paros ciklų grunto temperatūra įvairiuose gyliuose; duomenys atitinka vidutinių platumų klimato juostą [16].....	16
7 pav. Sezoninių ciklų šilumos skverbimosi 0,1 m ir 1 m gyliuose grafikai tipiškame dirvožemyje; duomenys atitinka vidutinių platumų klimato juostą [16].....	17
8 pav. TES pilnas kaupimo ciklas [22]	18
9 pav. Šilumos perdavimo kelias grunte be vandens ir su vandeniu [16].....	19
10 pav. Kintamųjų parametų metinio energinio poreikio analizė; koreliacija nuo neigiamo poveikio (-1 žalia spalva) iki teigiamo (1 raudona spalva) [29].....	21
11 pav. Vidutinės gyvenamojo namo energijos sąnaudų pasiskirstymas Graikijoje 2016 metais [30]	22
12 pav. Eksperimentinė įranga šilumos kaupimo sistemos tyrimui [41]	25
13 pav. Modeliavimo ir eksperimento rezultatų palyginimas pagal įleidimo ir išleidimo skysčio 40 °C temperatūrą [41]	26
14 pav. Laboratorinis stendas.....	27
15 pav. Laboratorinio stendo schema naudojant sausą smulkios frakcijos žvyro užpildą.....	28
16 pav. Laboratorinio stendo schema naudojant sausą smulkios frakcijos žvyro ir akmenų užpildą.....	29
17 pav. Laboratorinio stendo duomenų kaupiklis (kairėje) ir kaitinamojo pagrindo su išvedžiotu kaitinimo vamzdeliu schema (dešinėje)	30
18 pav. Užpildytas laboratorinis stendas sausu smulkios frakcijos žvyru	31
19 pav. Laboratorinio stendo schema: kairėje stendas su sauso smulkios frakcijos žvyro užpildu, dešinėje – su sauso smulkios frakcijos žvyro ir akmenimis užpildu	31
20 pav. Kairėje akmenų išdėstymas pirmajame užpildo sluoknyje laboratoriniam tyrimui, dešinėje – akmenų su temperatūros jutikliais padėtis stendo viduje	31
21 pav. Temperatūros jutiklių pozicija akmenyse	32
22 pav. Kaitinimo kabelio išvedžiojimo schema ant „OBS“ plokštės	32
23 pav. Stendo lauke schema	33
24 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro užpildo temperatūrų kitimas laike (1)	34
25 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro užpildo temperatūrų kitimas laike (2)	35
26 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro su akmenimis užpildo temperatūrų kitimas laike (1)	36
27 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro su akmenimis užpildo temperatūrų kitimas laike (2)	37
28 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, kai yra įjungiamas kaitinamasis paviršius; duomenų surinkimo data 2023-03-10.....	38
29 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; (1) duomenų surinkimo data 2023-03-10; (2) duomenų surinkimo data 2023-03-13	39
30 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis paviršius yra išjungiamas (1); duomenų surinkimo data 2023-03-20.....	40

31 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis pairšius yra išjungiamas (2); duomenų surinkimo data 2023-03-26.....	41
32 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-04-11	42
33 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-04-11; Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis pairšius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-04-18	43
34 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-05-16	44
35 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-05-16.....	45
36 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis pairšius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-05-23.....	45
37 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-06-15	46
38 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-06-15.....	47
39 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis pairšius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-06-25.....	47
40 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-07-12	48
41 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-07-12.....	49
42 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis pairšius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-07-19.....	49
43 pav. Grunto temperatūrų priklausomybė nuo gylio pirmaisiais žiemos, pavasario ir vasaros mėnesiais	50
44 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama – mėnesių suvestiniai -1 m gylio grunto temperatūros duomenys.....	52
45 pav. Laiko priklausomybė nuo temperatūros skirtumo tarp 20 °C ir pradinės grunto temperatūros -1,0 m gylyje.....	52

Įvadas

Didėjant žmonių skaičiui didėja ir energijos naudojimo poreikis. Nors iškastinio kuro atsargos sparčiai mažėja, jų poreikis išlieka toks pat ir net didesnis. Todėl yra ieškoma naujų būdų kaip šią išgaunamą energiją, kuri ne tik neatsinaujina, bet ir kenkia aplinkai, pakeisti. Pastaraisiais metais kalbama ir įvairiai naudojama atsinaujinanti energija. Nuo nedidelių saulės elektrinių ant įprastų gyvenamųjų namų stogų, iki vėjo jėgainių parkų jūroje, taip pradedamas keisti iškastinis kuras. Atsinaujinanti energija – tai žingsnis į švaresnę ir sveikesnę aplinką.

Naudojant atsinaujinančios energijos šaltinius mažinamos ir energijos sąnaudos. Viena iš atsinaujinančių šaltinių sistema – šilumos gavimas iš grunto. Šią šilumą galima gauti įgilinus pastatą į gruntą ar naudojant šilumos siurblius gruntas-vanduo.

Tikslas – ištirti grunto šilumos kaupimo savybes įvairiais metų mėnesiais bei sukurti ir taikyti savybes gerinančius intarpus, t. y. įvairias medžiagas, į gruntą.

Uždaviniai:

1. atlikti literatūros analizę apie šilumos įkrovos, akumuliacijos ir panaudos grunte atvejus, žemės akumuliatorių konstrukcijas, įkrovos metodų temperatūros pasiskirstymą grunte, šilumos nuostolius į gruntą šilumos sklaidos grunto tūryje;
2. ištirti šilumos įkrovą į gruntą laboratorinėmis sąlygomis naudojant skirtingą intarpų sudėtį;
3. ištirti šilumos įkrovą į gruntą lauko sąlygomis skirtingais mėnesiais;
4. suformuluoti praktines rekomendacijas, išvadas.

Darbo aktualumas. Atsižvelgus į 2015 m. rugsėjo mėn. priimto dokumento „Keiskime mūsų pasaulį: Darnaus vystymosi darbotvarkė iki 2030 metų“ iškeltus darnaus vystymosi tikslus yra siekiama užtikrinti darnų vystymąsi. Šiame darbe yra nagrinėjama grunto termoakumuliacija, kuri prisidėtų prie darnaus vystymosi tikslų, tokių kaip prieinama ir švari energija (darnaus vystymosi tikslas Nr. 7), atsakinga vartojimas ir gamyba (tikslas Nr. 12), klimato apsauga (tikslas Nr. 13).

1. Literatūros apžvalga

1.1. Grunto fizikinės savybės

Gruntas pasižymi įvairiomis fizikinėmis savybėmis, kurios daro įtaką grunto charakteristikoms. Grunto fizikinės savybės apima parametrai, tokie kaip grunto maistinių medžiagų ir vandens judėjimas, aeracija, jo temperatūra, maistinių medžiagų apykaita ir įvairių augalų šaknų augimas. Visi šie veiksniai daro įtaką ne tik derliaus augimui, bet ir aplinkos kokybei [1, 2, 3]. Didėjantis masės tankis dėl didesnio grunto suspaudimo sumažina porų tūrį, dėl to mažėja vandens infiltracija, mažėja grunto temperatūra, didėja aeracija bei mažėja maistinių medžiagų apykaita. Taip pat padidėja grunto denitryfikacija [2]. Denitryfikacija, tai procesas, kuriame nitrato azotas redukuojamas iki nitratų, amoniako ar laisvojo azoto. Šis procesas dažniausiai yra sukeliamas denitrifikuojančių bakterijų. Šios bakterijos yra paplitusios dirvožemyje, vandens telkinių dumblyje ir mėšle. Tačiau būtent šios bakterijos žalingos žemės ūkiui, nes jos gali paversti dirvožemio nitratus kitais azoto junginiais ir mažinti dirvožemio derlingumą [4]. Kita vertus, padidėjusi dirvožemio agregacija gerina ne tik vandens ir maistinių medžiagų judėjimą, bet ir mažina grunto eroziją, padidina augalų augimą [1, 3]. Dar vienas svarbus grunto rodiklis – molio koncentracija. Ši koncentracija didina dirvožemio vandens ir maistinių medžiagų kaupimą [5].

Tačiau šios fizikinės savybės nėra naudingos tik žemės ūkio sričiai. Dirvožemio tekstūra, vandens kiekis ir drėgmė bei dirvožemio organinė sudėtis yra svarbiausios savybės kalbant apie šilumos akumuliaciją grunte [6]. Dirvožemio tekstūra apima smėlio, dumblo ir molio dalelių santykius dirvožemyje. Šių organinių medžiagų kiekis atitinkamai daro įtaką grunto gebėjimui kaupti šilumos energiją. Vanduo pasižymi didele šilumos talpa, todėl gali lėtai sugerti ir atiduoti šilumą [7]. Grunte esančios organinės medžiagos taip pat padidina grunto gebėjimą laikyti vandenį ir agregaciją, kuri skatina šilumos perdavimą ir šilumos kaupimą [8].

1.2. Grunto šiluminės savybės

Šiluminės savybės nusako grunto gebėjimą sugerti, perduoti ir kaupti šilumą grunte. Pagrindinės dirvožemio šiluminės savybės – tūrinė šiluminė talpa, šiluminis laidumas ir šiluminis difuziškumas [9].

Grunto šiluminė talpa priklauso nuo įvairių faktorių. Šie faktoriai gali būti skirstomi į dvi grupes: natūraliai būdingų ir išoriškai valdomų savybių. Natūralios kilmės savybės apima mineralinę ir organinę grunto sudėtį, o vandens kiekis ir grunto tankumas priskiriamas prie išoriškai valdomų. Vandens kiekis yra labai svarbus komponentas, nusakantis grunto šiluminės savybes. Tuo pačiu metu jis yra sunkiausiai valdomas [10]. Vandens kontrolė grunte tiesiogiai priklauso nuo grunto fizikinių savybių. Pavyzdžiui, molingame smulkios tekstūros dirvožemyje yra daug porų, kurios sandariai sulaiko daug vandens. Tuo tarpu smėlingame dirvožemyje vanduo prasiskverbia pro daleles [11].

Kaip ir grunto šiluminė talpa, taip ir grunto šilumos laidumas priklauso nuo panašių dirvožemio savybių. Pagrindiniai dirvožemio šilumos laidumo veiksniai: vandens kiekis grunte, sausasis tankis, grunto sudėtis, dalelių dydis ir pan [12]. Šilumos laidumas grunte drėgnomis ar vandeniui prisotintomis sąlygomis yra daug didesnis nei sausomis ar beveik sausomis sąlygomis [13]. Tai reiškia, kad vandens kiekio dirvožemyje įtaka yra svarbi. Priešingai, grunto tankio įtaka šilumos laidumui yra gana nereikšminga. Padidėjus tankiui, padidėja lietimosi taškų skaičius tarp dalelių. Tačiau šių sąlyčio taškų skaičius nežymiai padidina šilumos laidumą [13].

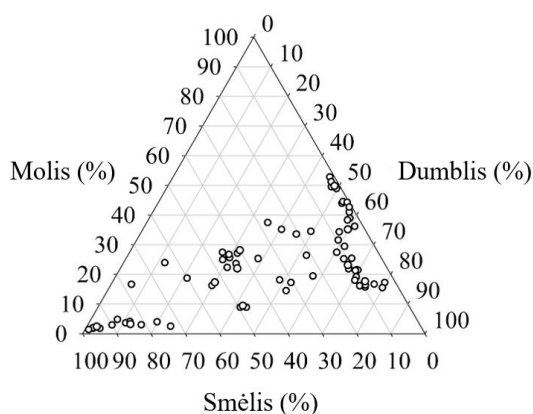
Šilumos difuziškumas atspindi grunto gebėjimą perduoti šilumą ir keisti temperatūrą, kai šiluma tiekama arba išimama. T. y. kuo didesnis grunto šiluminis difuziškumas, tuo storesnis yra žemės sluoksnis, kuriame yra fiksuojami paros ir sezoniniai temperatūrų svyravimai. Taip pat, pastebimi ir mažesni temperatūros svyravimai žemės paviršiuje [14].

1.2.1. Grunto šilumos difuziškumas

2018 m. Tatiana Arkhangelskaya ir Ksenia Lukyashchenko įvertino dirvožemių šiluminę difuziją esant skirtingiems vandens kiekiams pagal lengvai prieinamus duomenis apie dirvožemio struktūrą, tūrinį tankį ir organinės anglies kiekį. Tyrimams buvo imami dirvožemio mėginiai iš Sudalio regiono, Maskvos regiono, Kamenajos stepės ir Adygėjos. Kamenajos stepėse buvo imamas 70 mm aukščio ir 50 mm skersmens dirvožemio mėginys, o Sudalio, Maskvos regionų ir Adygėjos vietovėse buvo imami 100 mm aukščio ir 38 mm skersmens mėginiai [15].

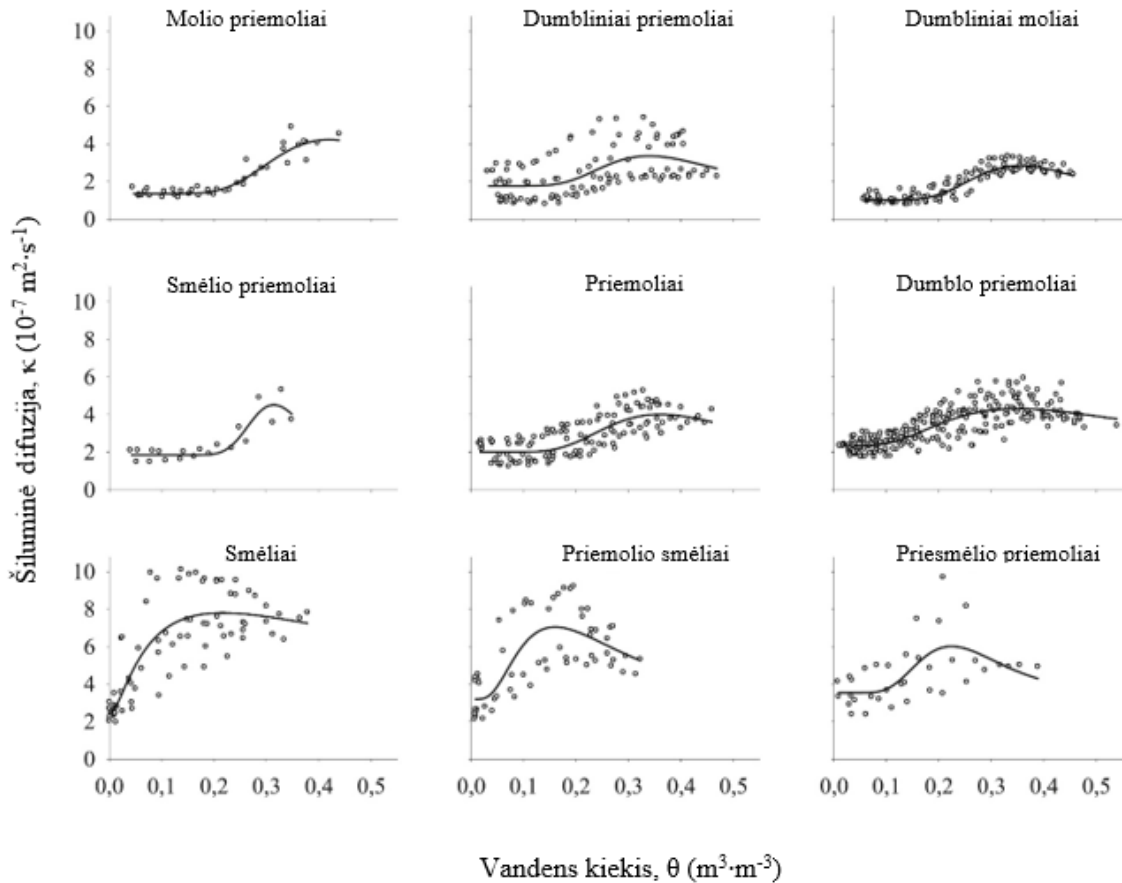
Norint išmatuoti dirvožemio šiluminę difuziją, buvo atlikta eksperimentas, naudojant nepastovios būsenos metodą. T. y. buvo naudojama termopora, kurios viena jungtis buvo dirvožemio mėginio centre, o kita – išorėje. Paruoštas mėginys buvo paliktas per naktį 18-20 °C kambario temperatūroje. Kitu žingsniu, mėginys buvo įmerktas į 25 °C pastovios temperatūros vandens vonią su termopora, kurios kilpos įtampa buvo registruojama kas 8-10 min. Ši įtampa buvo proporcinga temperatūrų skirtumui tarp dirvožemio mėginio centro ir vandens vonios. Būtent temperatūros kitimo greitis buvo naudojamas dirvožemio šiluminiam difuziniam koeficientui apskaičiuoti [15].

Eksperimento metu buvo naudojami 77 mėginiai. Iš 77 mėginių buvo sugrupuotos 9 dirvožemio grupės pagal tekstūrą: dumblinis priemolis, smėlio priemolis, priemolis, priemolio smėlis, smėlis, smėlingas priemolis, molio priemolis, dumblinis molis, molis. Smėlio, dumblo ir molio diapazonai duomenų bazės rinkinyje buvo 1–97, 2–80 ir 1–52 % tekstūrinio pasiskirstymo (žr. 1 pav.). Drėgnasis tūrinis tankis svyravo nuo 860 iki 1820 kg·m⁻³, organinė anglis – nuo 0,1 iki 6,5 %. Nestabilios būsenos metodu išmatuotų mėginių šiluminė difuzija svyravo nuo 0,77 iki 10,09 x 10⁻⁷ m²·s⁻¹ [15].



1 pav. Duomenų rinkinio pavyzdžių smėlio, dumblo ir molio tekstūrinis pasiskirstymas [15]

Atlikus eksperimentą buvo sukaupti duomenys. Arkhangelskaya ir Lukyashchenko išvadose rašė, kad skirtingų dirvožemių šiluminis difuziškumas labai skyrėsi. Priklausomai nuo vandens kiekio, jis skyrėsi 2, 3 ar net 5 kartus. Šiluminės difuzijos ir vandens kiekio priklausomybės kreivės buvo skirtingos: smailios kreivės labiau būdingos priemolio, o sigmoidinės kreivės – priemolio (žr. 2 pav.). Mažiausias šiluminis difuziškumas ir mažiausias jų kintamumo nuo dirvožemio drėgmės diapazonas buvo gautas dubliniams moliams, turintiems didelį organinės anglies kiekį [15].

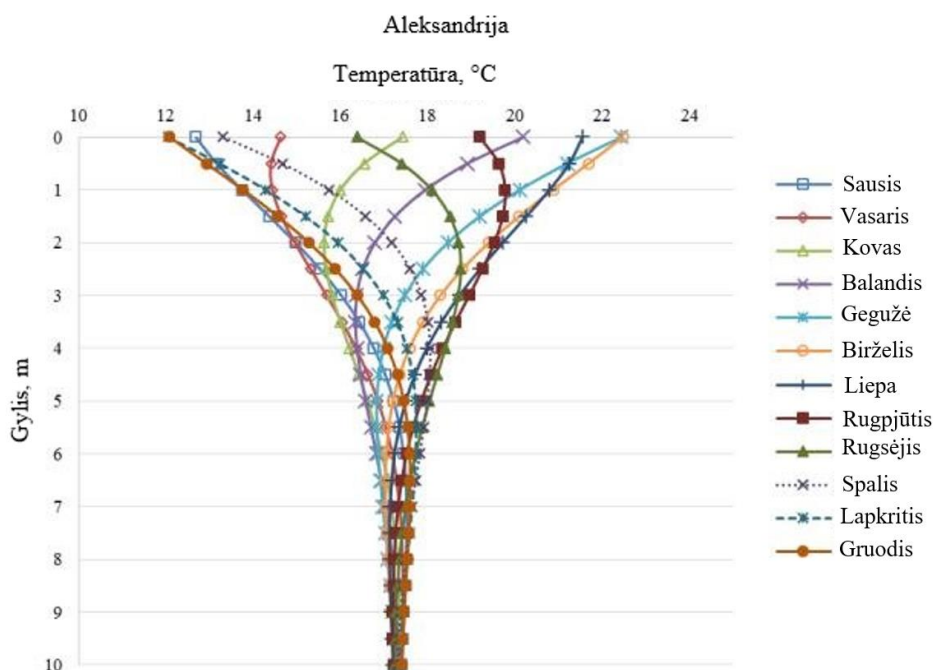


2 pav. Vidutinės išmatuotos šiluminės difuzijos kreivės [15]

1.2.2. Grunto šilumos perdavimo būdai

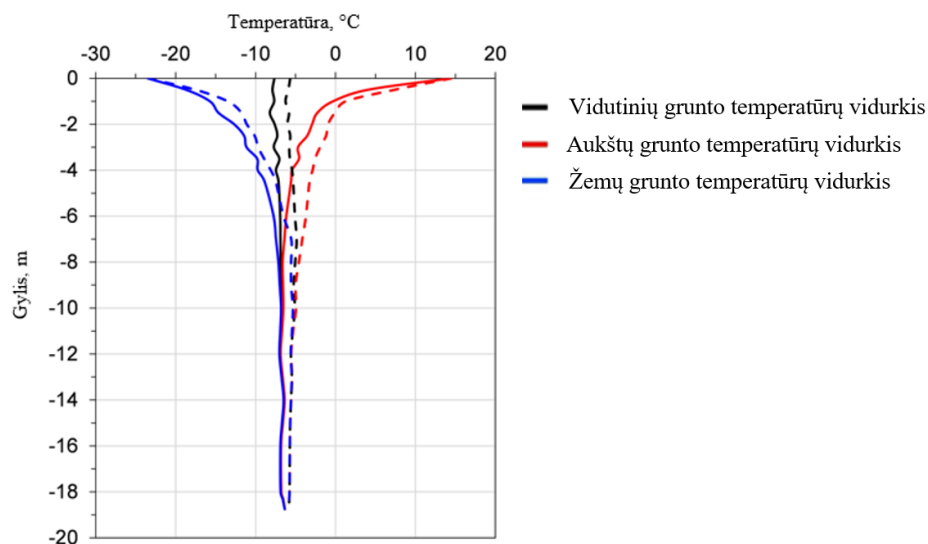
Yra keletą būdų kaip galima perduoti šilumą gruntui. Šiluma gali būti perduodama laidumu, spinduliavimu ir konvekcija su oro ar vandens srautu. Dažniausiai grunte šilumos perdavimo būdas sutinkamas – laidumas. Viršutiniuose grunto sluoksniuose temperatūra priklauso nuo oro temperatūros ir meteorologinių sąlygų. Šiltesnėse klimato zonose grunto paviršinė temperatūra bus aukštesnė negu šaltesnėse klimato zonose. Gilėjant temperatūra pradeda nusistovėti, kadangi gruntą veikiantys paviršiniai veiksniai daro įtaką tik viršutiniuose dirvožemio sluoksniuose. Gilesniuose dirvožemio sluoksniuose esantis vanduo ir oro tarpai konvekcijos būdu perduoda šilumą juos supančiam gruntui [16].

Remiantis įvairiais tyrimais buvo matomas panašus temperatūrų nusistovėjimas grunte. Vienas tyrimas buvo atliktas 2015 metais Egipte, Aleksandrijos, Kairo, Luksoro, Asijuto, Sohago ir Minjos miestuose. Egipte vyrauja molingo smėlio, smėlingo molio ir molio grantai. Kadangi Egiptas yra subtropinio ir tropinio klimato juostoje, vidutinė oro temperatūra ištisus metus yra aukštesnė nei +10 °C. Šiame tyrime buvo nubrėžtas Aleksandrijos miesto vidutinė mėnesių grunto temperatūros profilis (žr. 3 pav.). Iš jo galima matyti, kad gilėjant grunto sluoksniui, nesvarbu kokia yra oro temperatūra skirtingais mėnesiais, temperatūra nusistovi ties +17,5 °C laipsnių 10 metrų gylyje [17].



3 pav. Mėnesinių vidutinis grunto temperatūros profilis 2015 m. duomenimis; Egiptas, Aleksandrija [17]

Kitas tyrimas atliktas 2018 metais šiaurės rytų Grenlandijoje. Jame aptariamos 2012–2014 metų vidutinės grunto temperatūros, kurios išmatuotos iki 20 metrų gylio. Grenlandija yra arktinėje ir subarktinėje klimato juostoje, joje vyrauja vidutinė oro temperatūra nuo $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnių. Kaip matoma 4 pav. vidutinė grunto temperatūra nusistovi gilesniuose sluoksniuose. Nusistovėjusi temperatūra siekia apie $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnių 10 m gylyje ir nekinta gilesniuose grunto sluoksniuose [18].

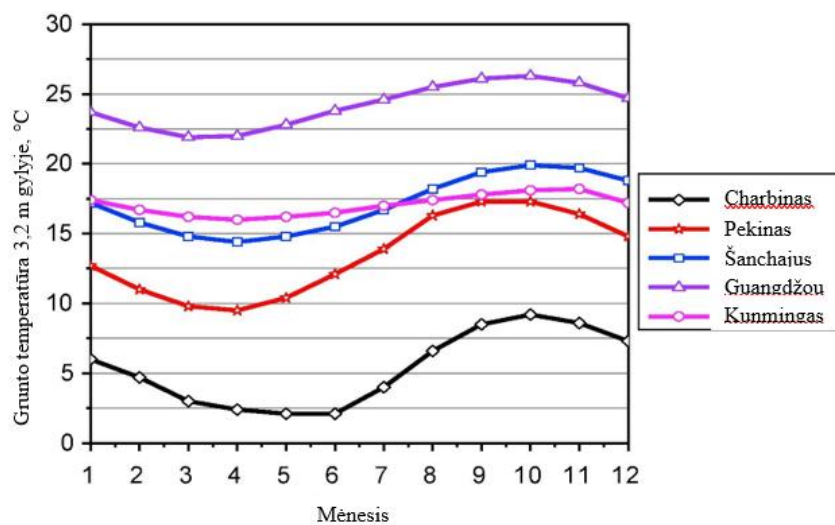


4 pav. Mėnesinių vidutinis grunto temperatūros profilis 2012–2014 m. duomenimis; Grenlandija [18]

Iš abiejų tyrimų, kurie buvo atlikti skirtingose klimato juostose, matoma, kad gilesniuose grunto sluoksniuose grunto temperatūra nekinta taip, kaip paviršiniuose sluoksniuose. Tai reiškia, kad nesvarbu kokia tai geografinė vietovė, jos grunto temperatūra universaliai nusistovi ties 10 metrų gyliu.

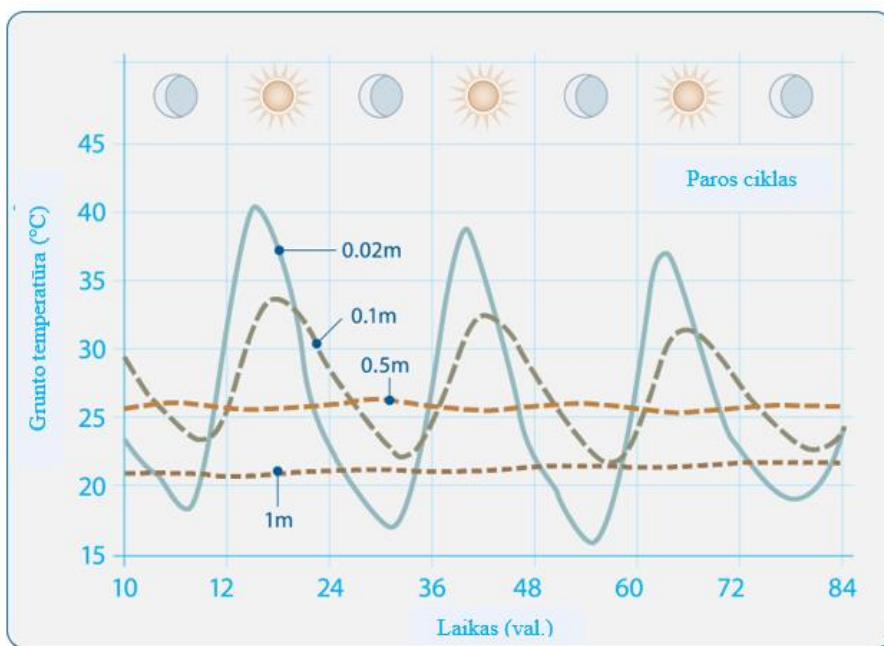
Dar vienas grunto temperatūrų matavimo tyrimas buvo atliktas 2018 m. Kinijoje. Shi et al. išmatavo grunto temperatūrą 3,2 m gylyje penkiuose Kinijos miestuose, kurie yra išsidėstę skirtinguose

penkiose klimato zonose. Pasirinkti miestai buvo: Charbinas, Pekinas, Šanchajus, Guandžou ir Kunmingas. Iš 5 pav. matoma, kad šiauriausiame mieste Charbine grunto temperatūra yra žemiausia, o piečiausiame mieste Guandžou yra aukščiausia, palyginus su kitais miestais. Nors temperatūros yra skirtingos, galima matyti panašias sigomoidines kreives tarp visų miestų grunto temperatūrų [19].

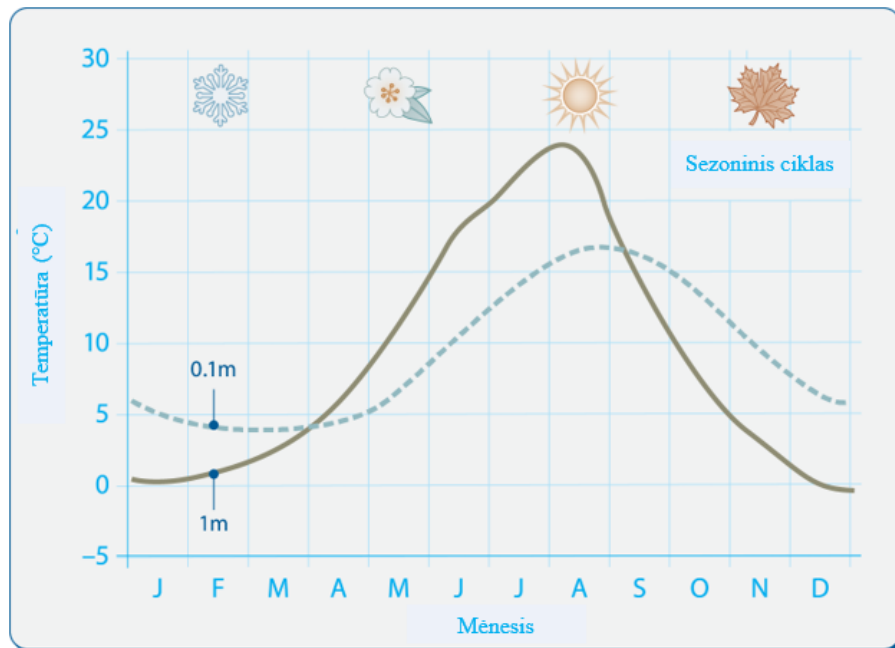


5 pav. Kinijos miestuose išmatuota grunto temperatūra 3,2 m gylyje metų bėgyje [19]

Grunto paviršiaus temperatūra taip pat charakterizuojama į dienos (žr. 6 pav.) ir sezono ciklus (žr. 7 pav.). Šie tiesiogiai priklauso nuo meteorologinių sąlygų, tokių kaip debesuotumas, šiluma, šaltis, įšalas, krituliai ir t. t. Dienos ciklai paveikia tik grunto viršutinių sluoksnių temperatūrą, kaip matoma iš 6 pav. 0,02 m gylio sluoksnio temperatūra svyruoja nuo 17 iki 40 °C, atitinkamai parodydama dienos ir nakties laiko skirtumus. Gilėjant šios temperatūros nusistovi ir grafiškai sunku pamatyti dienos ir nakties laiko temperatūrų skirtumus [16].



6 pav. Paros ciklų grunto temperatūra įvairiuose gyliuose; duomenys atitinka vidutinių platumų klimato juostą [16]



7 pav. Sezoninių ciklų šilumos skverbimosi 0,1 m ir 1 m gyliuose grafikai tipiškame dirvožemyje; duomenys atitinka vidutinių platumų klimato juostą [16]

1.3. Šilumos kaupimo būdai

Šilumos kaupimas, tai procesas, kuriuo yra efektyviai saugoma perteklinė šiluma ir panaudojama kitoms naudojamoms sistemoms [20]. Šilumos energijos kaupimo būdai yra skirstomi į pagrindines tris kategorijas: juntamąją (*angl. sensible*), latentinę (*angl. latent*) ir termocheminę (žr .1 lentelę).

1 lentelė. Šilumos energijos kaupimo būdai [21]

Šilumos energijos kaupimas/ akumuliacija						
Juntamoji šiluma		Latentinė šiluma		Termocheminė šiluma		
Skysčiuose	Kietose medžiagose	Kietose medžiagose – skysčiuose	Skysčiuose – dujose	Sorbcijos kaupimas		Cheminis kaupimas
				Absorcijos kaupimas	Adsorbcijos kaupimas	

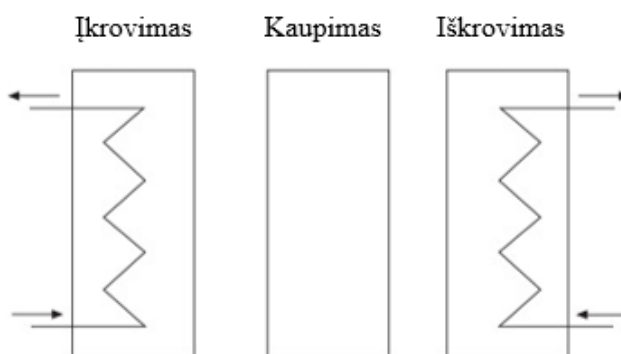
2 lentelė. Šilumos energijos kaupimo būdų saugojimo tankio palyginimas [22]

Šilumos energijos kaupimo tipas	Medžiaga	Sukauptos energijos kiekis, MJ/m ³	Sukauptos energijos kiekis, kJ/kg	Pastabos
Juntamoji šiluma	Granitas	50	17	$\Delta T=20^{\circ}\text{C}$
	Vanduo	84	84	$\Delta T=20^{\circ}\text{C}$
Latentinė šiluma	Vanduo	306	330	$T_{\text{melting}}=0^{\circ}\text{C}$
	Parafinas	180	200	$T_{\text{melting}}=5^{\circ}\text{C}-130^{\circ}\text{C}$
	Hidratuota druska	300	200	$T_{\text{melting}}=5^{\circ}\text{C}-130^{\circ}\text{C}$
	Druska	600-1500	300-700	$T_{\text{melting}}=300^{\circ}\text{C}-800^{\circ}\text{C}$
Cheminės reakcijos	H ₂ dujos (oksiduotos)	11	120 000	300K, 1bar

Šilumos energijos kaupimo tipas	Medžiaga	Sukauptos energijos kiekis, MJ/m ³	Sukauptos energijos kiekis, kJ/kg	Pastabos
	H ₂ dujos (oksiduotos)	2160	120 000	300K, 200bar
	H ₂ skystis (oksiduotos)	8400	120 000	20K, 1bar
	Gamtinės dujos	32	-	300K, 1bar
	Benzinas	33 000	43 200	-

1.4. Šilumos energijos talpos

Šiluminės energijos talpų (ŠETS; *angl. thermal energy storage*) sistemos saugoja šilumą arba šaltį, o vėliau šią sukauptą energiją panaudoja nustatytoms reikmėms. Sukauptą šilumą (ar šaltį) galima vėliau panaudoti kitoje vietoje negu yra numatyta talpa, kitokios temperatūros ar galios, negu ji buvo pirmiau sukaupta. Pagrindinis šilumos energijos talpos tikslas – sumažinti disbalansą tarp energijos gamybos ir energijos naudojimo [23]. ŠETS sistema suteikia galimybę saugoti sukauptą energiją ir ją panaudoti vėlesniam laikui. Tai apima tris etapus: talpos įkrovą, saugojimą ir iškrovimą (žr. 8 pav.).



8 pav. TES pilnas kaupimo ciklas [22]

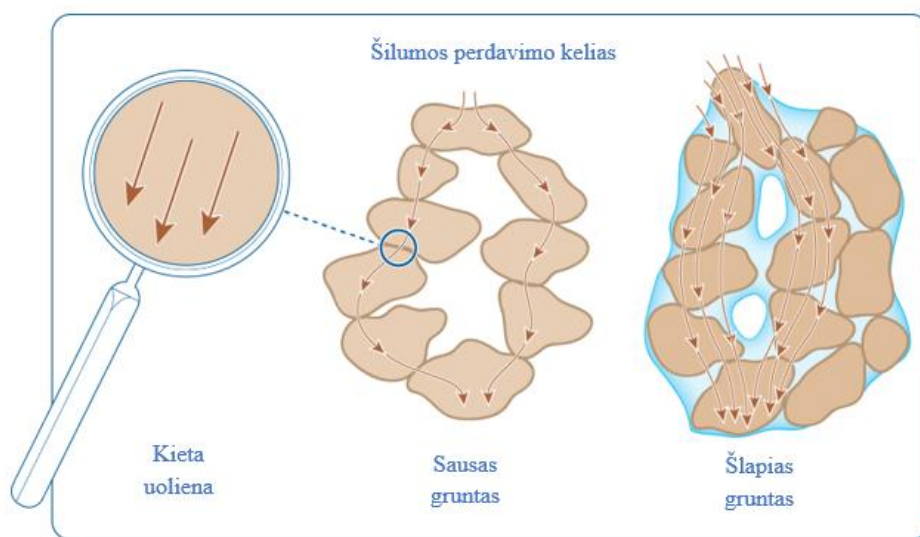
Energijos kaupimo talpos yra dviejų rūšių: aktyvios ir pasyvios. Aktyvioji šilumos kaupimo sistema apibūdinama kaip priverstinė šilumos perdavimo konvekcija į saugojamą medžiagą. Būtent ši saugojama medžiaga cirkuliuoja per šilumokaitį, saulės priėmiklį ar garų generatorių. Saugojamos medžiagos charakteristikos priklauso nuo sistemos tipo. Tai gali būti cirkuliuojantis skystis (pvz.: vanduo, propileno glikolis) ar dujos (pvz.: vandens garai) sistemoje ir pan. Pasyvios sistemos laikomos tokios sistemos, kurios nekaupia energijos, o talpą naudoja kaip pereinamąjį etapą įkrovimui ar iškrovimui [24].

Projektuojant šilumos energijos kaupimo talpas reikalinga atsižvelgti į medžiagas, pasižyminčias dideliu energijos tankiu, į šilumos perdavimo savybes tarp šilumos perdavimo skysčio ir į energijos kaupimui naudojamas medžiagos, mechanines ir chemines medžiagų savybes, kuo mažesnius šilumos nuostolius per saugojimo laikotarpį bei lengvą valdymą. Taip pat atsižvelgiama į veikimo principą ir į sistemos taikymą. Apskaičiuojami reikalingi maksimalūs kaupimo krūviai, nominali temperatūra ir entalpijos kritimai [25].

Kaupiant šilumos energiją taip pasiekama efektyvesnė naudojama energija, mažinamas CO₂ kiekis, tarša gamtai ir mažinamos sistemų veikimų kainos. Naudojant kaupimo talpas sistema nuosekliau ir patikimiau veikia ilgo laikotarpio atžvilgiu [25].

1.5. Šilumos laidumas ir šilumos praradimas grunte

Viena svarbiausių šilumos perdavimo savybė – šilumos laidumas. Šilumos laidumas apibrėžiamas kaip šilumos kiekio perdavimas per medžiagą iš aukštesnės temperatūros zonos į žemesnę. Šis procesas stengiasi išlyginti temperatūrinį skirtumą tarp besiliečiančių medžiagų [16].



9 pav. Šilumos perdavimo kelias grunte be vandens ir su vandeniu [16]

Kai sezoninis grunto šilumos kaupimas vykdomas aukštomis temperatūromis yra prarandama dalis šilumos, kuri prisideda prie šilumos balansavimo vykdomoje sistemoje. Grunte šiluma perduodama kondukcijos būdu. Kiti šilumos perdavimo būdai, tokie kaip konvekcija, spinduliavimas ir garo difuzija taip pat, nors ir nežymiai, prisideda prie šilumos praradimo reiškinių. Įvairūs grunto sudėties faktoriai, kaip vandens kiekis, tankis, mineralų kiekis, temperatūra ir struktūra lemia gebėjimą perduoti šilumą. Pavyzdžiui, kai sumažinami tarpai tarp grunto dalelių, padidėja šilumos perdavimas tarp grunte esančių dalelių. Jei tarp tų pačių dalelių cirkuliuoja vanduo jis pagreitina šilumos perdavimą grunte, kadangi vanduo yra net 20 kartų geresnis šilumos laidininkas negu oras (žr. 9 pav.) [26].

Atsižvelgus į šilumos nuostolius būtent dėl šilumos laidumo, šilumos nuostoliai yra skirstomi į: pastovios būsenos, periodinio svyravimo per metinį ciklą ir laikino temperatūros lauko sukūrimo aplink kaupimo talpą [27]. Būtent ta šiluma, kuri prasiskverbia pro talpos ribas yra laikoma kaip jos nuostoliai. Svarbiausi nereguliarūs šilumos nuostoliai pasireiškia sistemos 2–10 metų veikimo periode. Kuo didesnė šilumos talpa, tuo ilgesnis laikinojo laikotarpio sukurti šilumos nuostoliai. Nusistovėjus sistemai, jos šilumos nuostoliai taip pat nusistovi ir tampa pastovios būsenos [26].

1.6. Grunte įgilinti pastatai

Grunte įgilinti pastatai nėra naujovė, jų statyba pradėta prieš šimtmečius, o jų pavyzdžių randama visam pasaulyje. Požeminiai pastatai, lyginant su antžeminiais pastatais, pasižymi geresniu šilumos ir vėsinimo energijos sąnaudų naudojimu [28]. Šių energijos sąnaudų skaičiavimus atliko ir aprašė

straipsniuose įvairūs tyrinėtojai. Vieni iš jų – Choi ir Karti. Straipsnyje pateikiamas sprendimas apie optimalaus šilumos izoliacijos paskirstymo būdus požeminių konstrukcijų paviršiuose. Taip siekiama sumažinti metinį šilumos perdavimą žemės paviršiui. Rezultatai apžvelgiami palyginus pilnai ir nepilnai įgilintus pastatus. Išvados teigė, kad optimaliai paskirsčius izoliacijos medžiagas grunte įgilintuose pastatuose galima sutaupyti iki 35% šilumos nuostolių [29].

Požeminių pastatų energijos taupymo potencialus įvertino ir Drokelaar et al. Tyrimas atliekamas trimis etapais: pirminis apdorojimas, skaičiavimas ir galutinis apdorojimas. Pirminio apdorojimo etape apibrėžiami įvesties parametrai, tokie kaip vėdinimo greitis, sienų laidumas. Iš viso buvo panaudotos 200 konfigūracijos, kurios apskaičiuotos 540 atvejams. Atvejai priklausė nuo pastato padėties (po žeme arba virš žemės), klimato (iš viso 15 skirtingų klimato zonų), pastato funkcijos (iš viso 6 pastato funkcijos) bei pastato gylio (pasirinkti 3 gyliai). Skaičiavimo etape metinė energijos paklausa skaičiuojama naudojant mėnesinį metodą (EN-ISO 13790). Galutinio apdorojimo žingsnyje analizuojami skaičiavimai ir kintamųjų parametru įtaka rezultatams [29].

Klimatas buvo parenkamas pagal Köppen-Geiger klasifikavimą. Analizei naudojami 15 iš 30 miestų su atitinkamais klimatais. Atvejų konfigūravimui pasirinktos 6 pastato funkcijos: gyvenamoji, edukacinė, gydomoji, sporto, pramoninė, administracinė. Visų pastatų charakteristikos nurodytos 3 lentelėje. Požeminio pastato įgilinimui pasirenkami trys gyliai: 2 m, 5 m ir 10 m. [29].

3 lentelė. Pastatų, naudotų tiriamajam darbui, charakteristikos [29]

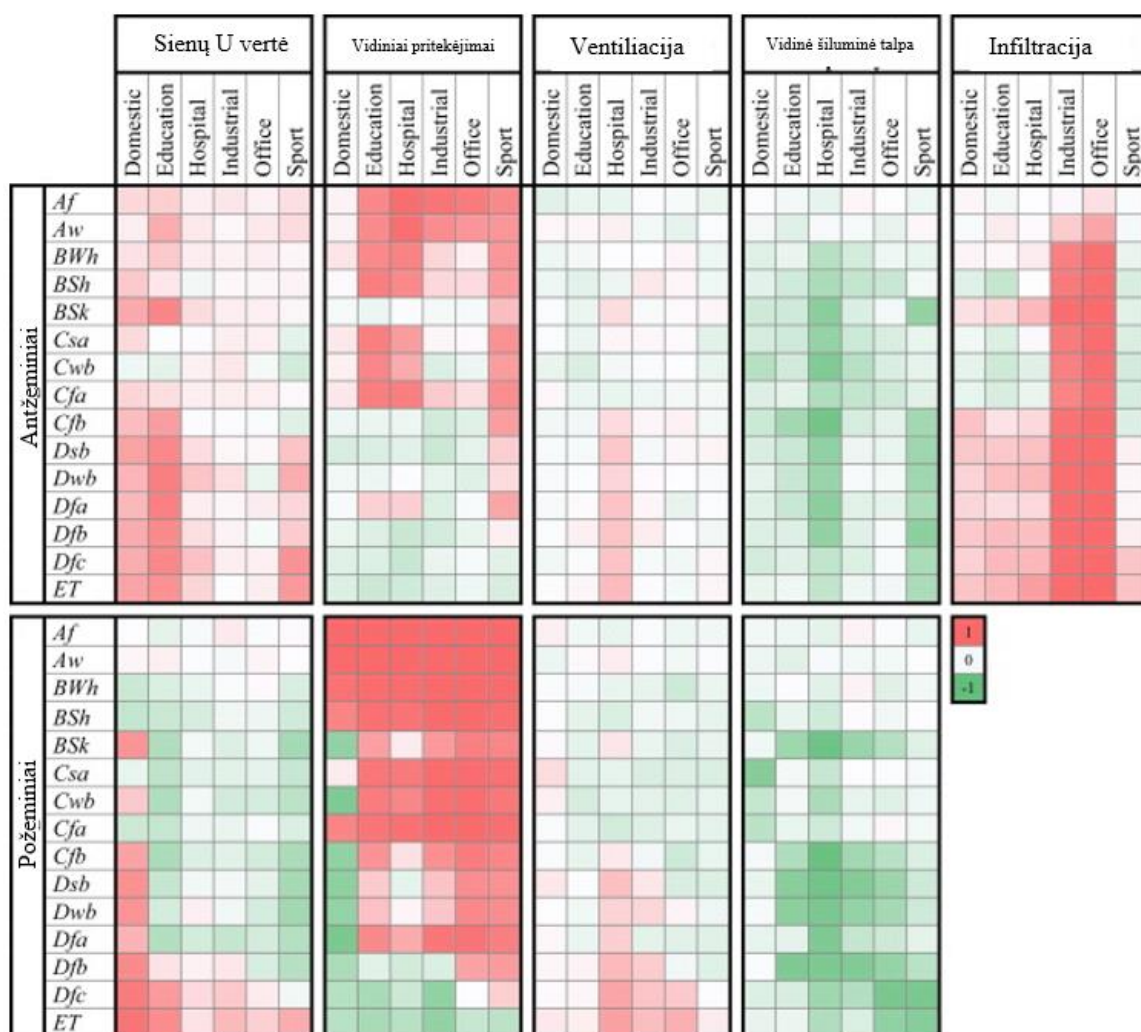
Charakteristika	Gyvenamasis pastatas	Edukacinis pastatas	Ligoninė	Sporto paskirties pastatas	Pramoninis pastatas	Administracinis pastatas
Apgyvendinimo tankumas, m ² /žm	60	10	30	20	20	20
Plotis, m ²	120	19 592	22 422	1500	5000	46 320
Aukštų sk.	3	2	5	1	1	12
Aukšto aukštis, m	2,8	4	4,3	7,6	8,5	4
Kraštinių santykis (EW/NS)	1,2	1,3	1,3	1,2	2,2	1,5

Atliekant požeminio pastato skaičiavimus priimama, kad jame nėra langų ir nėra infiltracijos. Atliekant antžeminio pastato skaičiavimus neįtraukiami šešėliavimo objektai, tačiau langams priimami šilumos pritekėjimai nuo saulės per langus [29].

Atlikus skaičiavimus iš rezultatų buvo matoma, kad metiniai energijos poreikiai kito nežymiai priklausant nuo įgilinimo, jie skyrėsi vidutiniškai apie 2 kWh/m² (per metus). Todėl tolimesniems rezultatų apibendrinimams imamas tik 10 m požeminio pastato įgilinimas. Iš gautų rezultatų galima matyti, kad pastatai, kuriuose nėra daug prietaisų, gyventojų ar objektų, kurie skleidžia šilumą, turi didesnę potencialią energijos taupymui šiltesniuose klimatuose, o tuo tarpu pastatai, kuriuose yra daug prietaisų, žmonių, didesnis energijos taupymas pasireiškia šaltesniuose klimatuose. Antžeminiuose pastatuose šiltesnio klimato vietovėse energijos sąnaudos tiesiogiai priklauso nuo meteorologinių

sąlygų bei lango ir sienų santykio. Šaltesniuose vietovėse, pastato energijos sąnaudos priklauso nuo naudojamų medžiagų U verčių ir infiltracijos kiekio [29].

Visų šių parametru įtaka energijos efektyvumui yra susijusi viena su kita. Koreliacijas tarp pastato funkcijos, vietovės ir kitų tyrimui naudojamų charakteristikų parodyta 10 pav., kurioje spalvine gama pavaizduoti teigiamos ir neigiamos koreliacijos. Didžiausią energijos suvartojimo sumažinimas matomas gyvenamosios, pramoninės ir administracinės paskirties pastatuose, kuriuose vidutiniškai sutaupoma apie 70% energijos vartojimo nepriklausant, kurioje klimato zonoje pastatas yra numatytas. Ligoninių, edukacinių ir sporto paskirties pastatų vidutiniškas energijos sutaupymas svyravo tarp 25–40 %. Didesnis energijos taupymo potencialas matomas vidutinių platumų ir poliarinių sričių klimatuose, galima vidutiniškai 66 % sutaupyti naudojamos energijos. Būtent šiose klimato zonose matomas požeminių pastatų statymo potencialas. Kitose klimato zonose vidutinis energijos sutaupymo procentas yra šiek tiek mažesnis – 42 % [29].

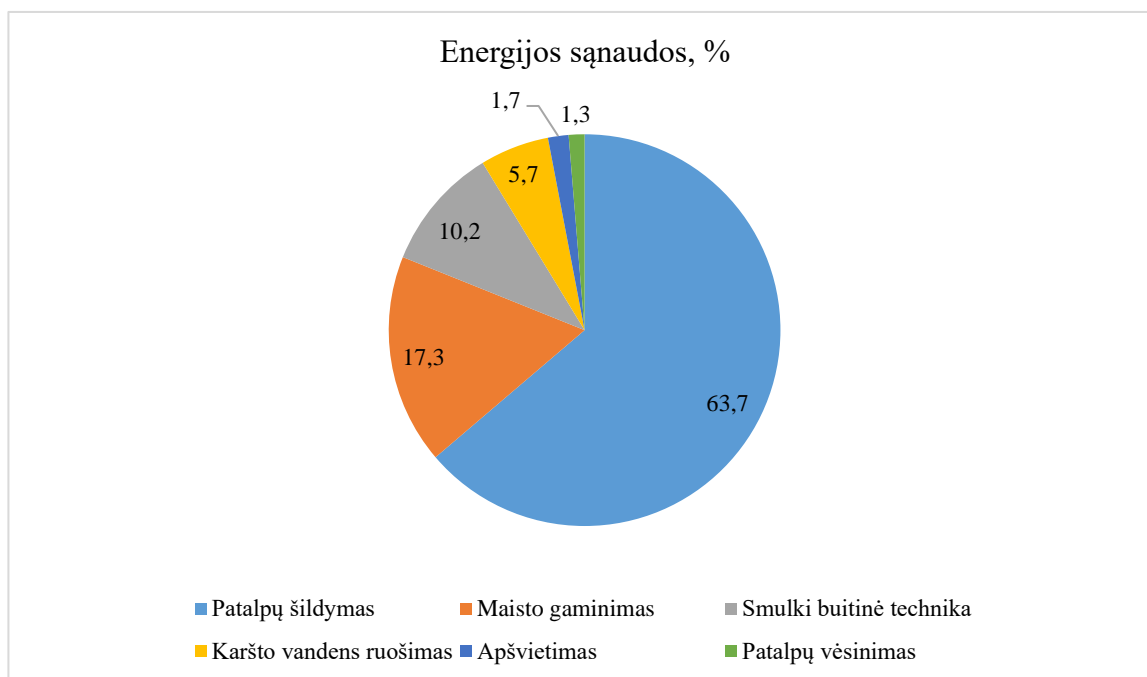


10 pav. Kintamųjų parametru metinio energinio poreikio analizė; koreliacija nuo neigiamo poveikio (-1 žalia spalva) iki teigiamo (1 raudona spalva) [29]

1.7. Antžeminių ir požeminių pastatų energijos sąnaudos

Pastatų energijos sąnaudos yra svarbus klausimas kalbant apie darnaus vystymosi tikslus. Paprastų gyvenamųjų namų energijos sąnaudos susideda iš patalpų šildymo ir vėsinimo, karšto vandens ruošimo, maisto gaminimo, apšvietimo ir kitų elektronikos prietaisų. Pagal 11 pav. pavaizduotoje

skritulinėje diagramoje galima matyti, kad Graikijoje 2016 metais didžiausią energijos sąnaudos dalį sudaro patalpų šildymas. Tai stebina, kad šilto klimato šalis sunaudoja tiek daug energijos šildymui. Taip yra todėl, kad Graikijoje esantys seni pastatai, kuri sudaro 41 %, nėra izoliuoti [30].



11 pav. Vidutinės gyvenamojo namo energijos sąnaudų pasiskirstymas Graikijoje 2016 metais [30]

Taigi iškyla klausimas, ar šalyse, tokiose kaip Graikija, požeminių pastatų statyba sumažintų energijos sąnaudas ar ne. Pagrindinė teigiama požeminių pastatų savybė – energijos sąnaudų sumažinimas. Taip pat galima maksimaliai išnaudoti esamą statybos plotą ar statyti pakankamai sudėtingose vietose, tokiose, kur vyrauja dideli nuolydžiai. Statant požeminius pastatus, galima sutaupyti ir naudojamų medžiagų, kadangi iškastą gruntą galima panaudoti antrą kartą. Požeminiai pastatai taipogi pasižymi didesniu ekstremalių oro sąlygų, gaisrų ir žemės drebėjimų atsparumu [30].

Papada et al. Palygino dviejų pastatų, antžeminio ir požeminio, energijos sąnaudas skirtinguose Graikijos regionuose. Abu pastatai dalinasi vienodomis pastato charakteristikomis. Tyrimui atlikti buvo pasirinktos keturi Graikijos miestai keturiose pagrindinėse klimato zonose: Chanija, Atėnai, Salonikai ir Kozanė [30].

Sumodeliavus šiuos pastatus skirtingose vietovėse buvo gauti šilumos perdavimo koeficiento rezultatai parodyti 4 lentelėje. Matoma, kad antžeminio pastato šilumos perdavimo koeficientas yra žymiai didesnis palyginus su požeminiu pastatu, nepaisant kokia tai klimato zona. Mažesni šilumos perdavimo koeficientai reiškia mažesnę šilumos srautą, kas atitinkamai mažina energijos nuostolius [30].

4 lentelė. Suminės šilumos perdavimo koeficientas sumodeliuotose antžeminiuose ir požeminiuose pastatuose [30]

Miestas	Antžeminis pastatas	Požeminis pastatas	Procentinis padidėjimas antžeminiams pastatams
Chanija	278,724	199,054	+40%
Atėnai	253,924	188,124	+35%

Miestas	Antžeminis pastatas	Požeminis pastatas	Procentinis padidėjimas antžeminiams pastatams
Salonikai	235,974	179,984	+31%
Kozanė	221,024	173,344	+28%

1.8. Gruntas-vanduo šilumos siurblių sistema

Gruntas-vanduo šilumos siurbliai (GVŠS) – tai efektyvi ir atsinaujinanti technologinė sistema, kuri sumažina pastato energijos sąnaudas ir CO₂ emisijas [31]. Palyginus šią sistemą su oro ir vandens šilumos siurbliais, GVŠS sistema pasižymi aukštesniu COP (našumo koeficientu) ir stabiliau funkcionuoja su vėsinimo ir šildymo sistemomis pastate. Gruntas galimas naudoti kaip šilumos šaltinis šaltuoju sezonu ir šilumos šalintuvas šiltuoju sezonu [32].

Tačiau pasiekti šilumos balansą dirvožemyje vienai GVŠS sistemai yra sudėtinga, dėl grunto šilumos laidumo, nesvarbu, ar tai trumpalaikio ar ilgalaikio poveikio. Įvairūs tyrimai parodė, kad grunto temperatūros disbalansas gali sukelti svyravimus, pabloginti sistemos veikimą ir sumažinti šildymo patikimumą laikui bėgant [33]. Ilgalaikiam GVŠS darbui įtakos turi grunto šiluminis disbalansas, kuris daugiausiai susijęs su dideliais sezoniniais pastatų šildymo ir vėsinimo apkrovų skirtumais [34].

Vietovėse, kuriose vyrauja poreikis vėsinti, vasaros sezono mėnesiais į gruntą išleidžiamas didelis šilumos kiekis, todėl dirvožemio temperatūra smarkiai pakyla, o tai sumažina grunto šilumines savybes [35]. Vietovėse, kuriose vyrauja šildymo poreikis, vyksta atvirkštinis procesas, žiemą iš grunto gaunama šiluma palyginus su vasaros laiku išleidžiamą šilumą yra didesnė, todėl palapsniui mažėja grunto temperatūra ir mažėja naudojamos sistemos COP [36].

1.9. Grunto šilumos kaupimo sistema

Šiomis dienomis tradiciniai energijos ištekliai senka ir juos pakeičia atsinaujinančios energijos sistemų technologijos. Tačiau ir atsinaujinančios energijos šaltiniai susiduri su iššūkiais, tokiais kaip energijos gaminimo nestabilumas, priklausantis nuo išorės veiksnių [37]. Norint užtikrinti nuolatinį atsinaujinančios energijos veikimą, būtina kaupti energiją sistemose [38]. Atsinaujinančios energijos kaupimas gali būti pasiektas įvairiais būdais, įskaitant požeminio vandeningojo sluoksnio šilumos kaupimą, didelių rezervuarų kaupimą ir dirvožemio šilumos kaupimo sistemas. Tarp jų, dirvožemio šilumos kaupimas yra svarbus šilumos energijos kaupimo būdas, ypač saulės sezoninėse šilumos kaupimo sistemose [39]. Ne šildymo sezono metu sugeneruota saulės kolektoriaus šiluma yra kaupiama grunte, o šildymo sezono metu sukaupta šiluma tampa šaltiniu šildymui [40].

Saulės energijos utilizavimas susiduria su iššūkiais dėl jos nestabilumo pobūdžio [37]. Vienas iš būdų tai išspręsti – saulės energijos saugojimas energijos kaupimo sistemoje [38]. Atsižvelgiant į temperatūrą ir sezonines sąlygas (žiemą ar vasarą), dideli šiluminės energijos kiekiai, esantys natūraliuose rezervuaruose, tokiuose kaip ežerai, požeminiai šaltiniai ar tvenkiniai, gali būti surinkti ir saugomi vėlesniam naudojimui [41].

1.9.1. Grunto šilumos kaupimo sistemos veikimo analizės skaitmeninis modeliavimas

Abbas et al. tiriamajame darbe atliko CFD (*angl. computational fluid dynamics*) modelio modeliavimą bei eksperimentą ištirti dirvožemio šilumos kaupimo galimybes. Eksperimentui surenkamas realus sumažintas modelis laboratorijoje. Kelių vamzdžių šilumos kaupimo modelis

susideda iš 9 U formos vamzdžių grupių, skysčio vamzdeliuose ir užpylimo medžiagų, t. y. grunto [41]. Kiekvienos modelio dalies termofizinė savybės nurodytos 5 lentelėje.

5 lentelė. Pagrindiniai šilumos kaupimo modelio termofiziniai duomenys naudojami eksperimento metu [41]

Pavadinimas	Tankis, kg/m ³	Šilumos laidumas, W/ m°C	Specifinė šiluminė talpa, J/ kg°C
Dirvožemis	1670	1,20	2463
Užpildymo medžiaga	2650	2,25	1320
Skystis	998,20	0,60	4182
U formos vamzdelis	950	0,46	2100

Centrinės dalies modelyje supilamas šilumą kaupiantis gruntas, o išorinėje pusėje – buferinis gruntas. Šis naudojamas tam, kad būtų sumažinta pastovios temperatūros įtaka modelio skaičiavimo rezultatams [41]. Kitų eksperimentų metu gauti duomenys parodė, kad sekliame dirvožemyje, iki 10 m gylio, temperatūros pokytį grunte labai veikė aplinkos temperatūra. Tačiau gilesniame dirvožemyje nei 10 m grunto temperatūra metų eigoje kito nežymiai ir buvo panaši į vietinės vidutinės metinės temperatūros vertės [17]. Todėl Abbas et al. atsižvelgiant į sekliojo ir giluminio grunto temperatūros pokyčių santykį buvo pasirinktas metodas su mastelio koeficientu lygiu 20 [41].

Tyrimui atlikti naudojami du modeliai: tikrojo dydžio ir sumažintas realus modelis. Abu modeliai modeliuojami naudojant CFD analizės programinę įrangą. Tikrojo dydžio modelio gylis yra 20 m. Įkasto vamzdžio ilgis – 16 m, o vamzdžio skersmuo – 40 mm. Antrasis modelis yra sumažinamas pagal pasirinktą mastelio koeficientą, t. y. visi realaus modelio parametrai yra sumažinti 20 kartų. Abu modeliai yra eksploatuojami ilgą laikotarpį, išplečiant darbo sąlygas iki ilgalaikio šilumos saugojimo ištikus metus. Abiejų modelių skaičiavimo rezultatai yra lyginami ir analizuojami [41]. Dviejų modelių parametrų palyginimas vaizduojamas 6 lentelėje.

6 lentelė. Tikrojo ir sumažintos versijos modelių parametrų palyginimas [41]

Modelio projektavimo parametrai	Vienetas	Tikrasis dydis	Sumažintas dydis
Šilumos kaupimo modelio ilgis	m	20	1
Šilumos kaupimo modelio plotis	m	12	0,6
Įgilinimo gylis	m	16	0,8
Įgilinto vamzdžio ilgis	m	16	0,8
Radialinis atstumas iki šilumos kaupimo grunto	m	2	0,1
Buferinio grunto radialinis atstumas	m	2	0,1
Vamzdžių atstumas	m	2	0,1
Vamzdžio vidinis diametras	m	0,040	0,002

Remiantis ankstesniais Abbas et al. modeliavimo darbais pasirenkamos regiono sąlygos, kuriose vyrauja karštos vasaros ir šaltos žiemos. Todėl šilumos saugojimo laikotarpis pasirenkamas nuo kovo iki spalio mėnesio, o šildymo laikotarpis nuo lapkričio iki vasario mėnesio. Tyrimui yra naudojama saulės kolektorių sukaupta šiluma, todėl dienomis, kai švitinimo intensyvumas yra nustatytos normos ar didesnis – sistema įjungžiama. Gauti sumažinto modelio rezultatai yra įrašomi į realaus dydžio CFD modelio skaičiavimo parametrus, juos padidinant 20 kartų. Taip yra sutrupinamas realaus dydžio

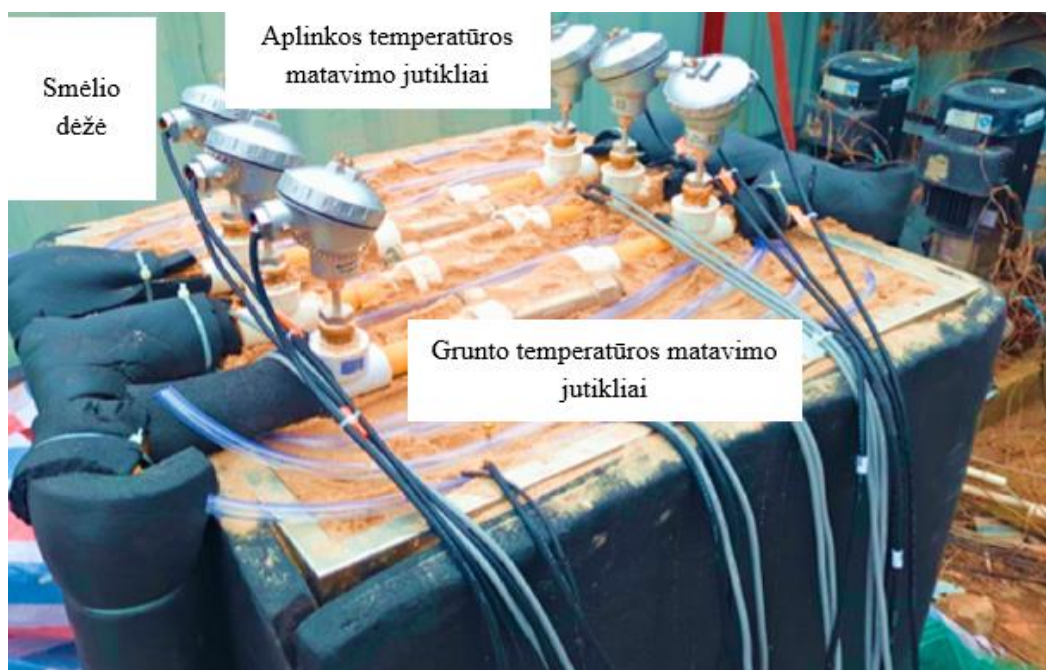
modelio CFD modeliavimo laikas net 400 kartų, nekeičiant modeliavimo skaičiavimo žingsnių. Naudojant sumažinto dydžio modelį, jo įjungimas ir išjungimas trunka apie 1 val. 48 min. Jei būtų naudojami realių matmenų modelis, modelio įjungimo ir išjungimo laikotarpis modelio erdvėje padidėtų iki 720 val. Tai reiškia, kad naudojant įprastą kompiuterį skaičiavimai turėtų bent 2 savaites [41]. Šie laiko palyginimai yra nurodyti 7 lentelėje.

7 lentelė. Įjungimo ir išjungimo laiko palyginimas tarp realaus ir sumažintos versijos modelių [41]

Veikimo stadija	Vienetas	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis
Įjungimas (realaus dydžio)	val.	257	296	324	339	345	331	304	230
Išjungimas (realaus dydžio)	val.	463	424	396	381	375	389	416	490
Įjungimas (sumažinto dydžio)	min.	38,55	44,40	48,60	50,85	51,75	49,65	45,60	34,50
Išjungimas (sumažinto dydžio)	min.	69,45	63,60	59,40	57,15	56,25	58,25	58,35	73,50
Oro temperatūra	°C	8,64	14,13	19,29	23,14	27,54	27,76	23,97	18,67

1.9.2. Grunto šilumos kaupimo sistemos veikimo analizės realaus modelio paruošimas

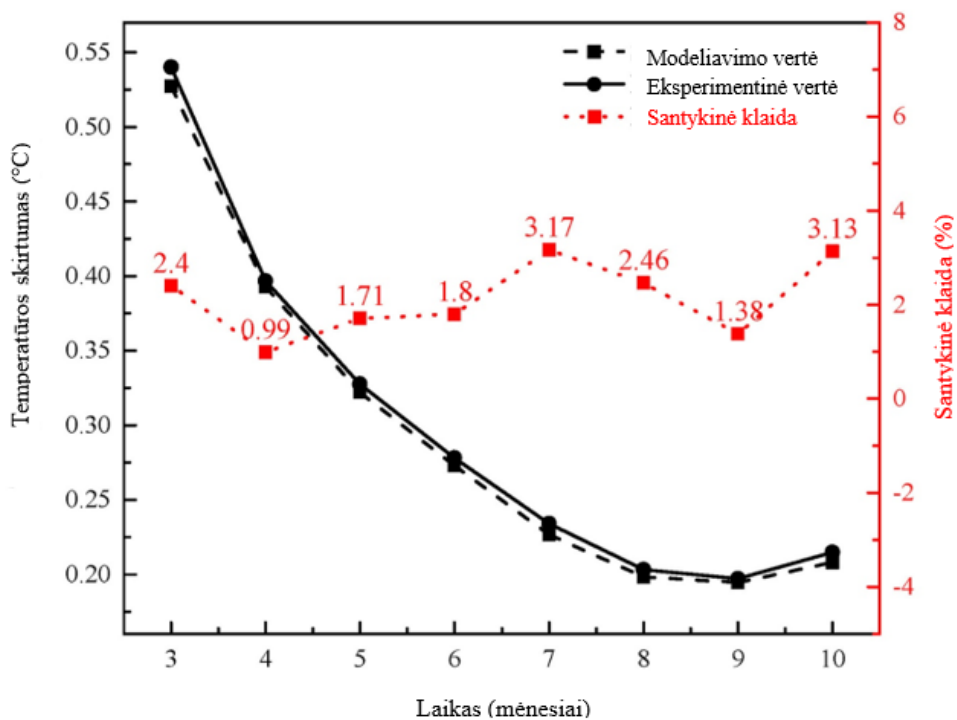
Eksperimentinės sistemos įrenginį sudaro trys pagrindinės dalys: smėlio dėžės korpusas, įgilintas vamzdis šilumokaitis, cirkuliacinė vamzdynų sistema ir duomenų rinkimo sistema (žr. 12 pav.). Smėlio dėžės matmenys naudojami tokie patys kaip CFD sumažinto modelio, kurie nurodyti 6 lentelėje. Smėlio dėžei naudojamas smulkus laboratorini smėlis. Naudojamų medžiagų termofizinės savybės nurodytos 5 lentelėje. Matavimo jutikliai rinko duomenis apie grunto temperatūrą, šilumos srautą, skysčio temperatūrą, paviršiaus temperatūrą ir vamzdyje esantį srautą. Eksperimentinio projekto rezultatai buvo lyginami su CFD modelio analizės rezultatais, taip patikrinant ar CFD modelio duomenys sutampa su realaus eksperimento duomenimis [41].



12 pav. Eksperimentinė įranga šilumos kaupimo sistemos tyrimui [41]

1.9.3. Grunto šilumos kaupimo sistemos CFD modeliavimo ir realaus eksperimento palyginimas

Atlikus CFD modeliavimus ir realų eksperimentą gauti duomenys yra palyginami (žr. 13 pav.). Kairė vertikali ašis 13 paveiksle rodo temperatūros skirtumą tarp įėjimo ir išėjimo angos, o dešinė vertikali šis – santykinę jų paklaidą. Tiesi juoda linija parodo eksperimentines vertes, o punktyrinė – modeliavimo vertes. Atsižvelgiant į raudoną punktyrinę liniją, kuri nurodo santykinę klaidą tarp modeliavimo ir eksperimento verčių, galima matyti, kad ji nėra didelė. Didžiausia santykinę klaidą pasiekė 3,17 % liepos mėnesio duomenimis [41].



13 pav. Modeliavimo ir eksperimento rezultatų palyginimas pagal įleidimo ir išleidimo skysčio 40 °C temperatūrą [41]

2. Tyrimo metodika

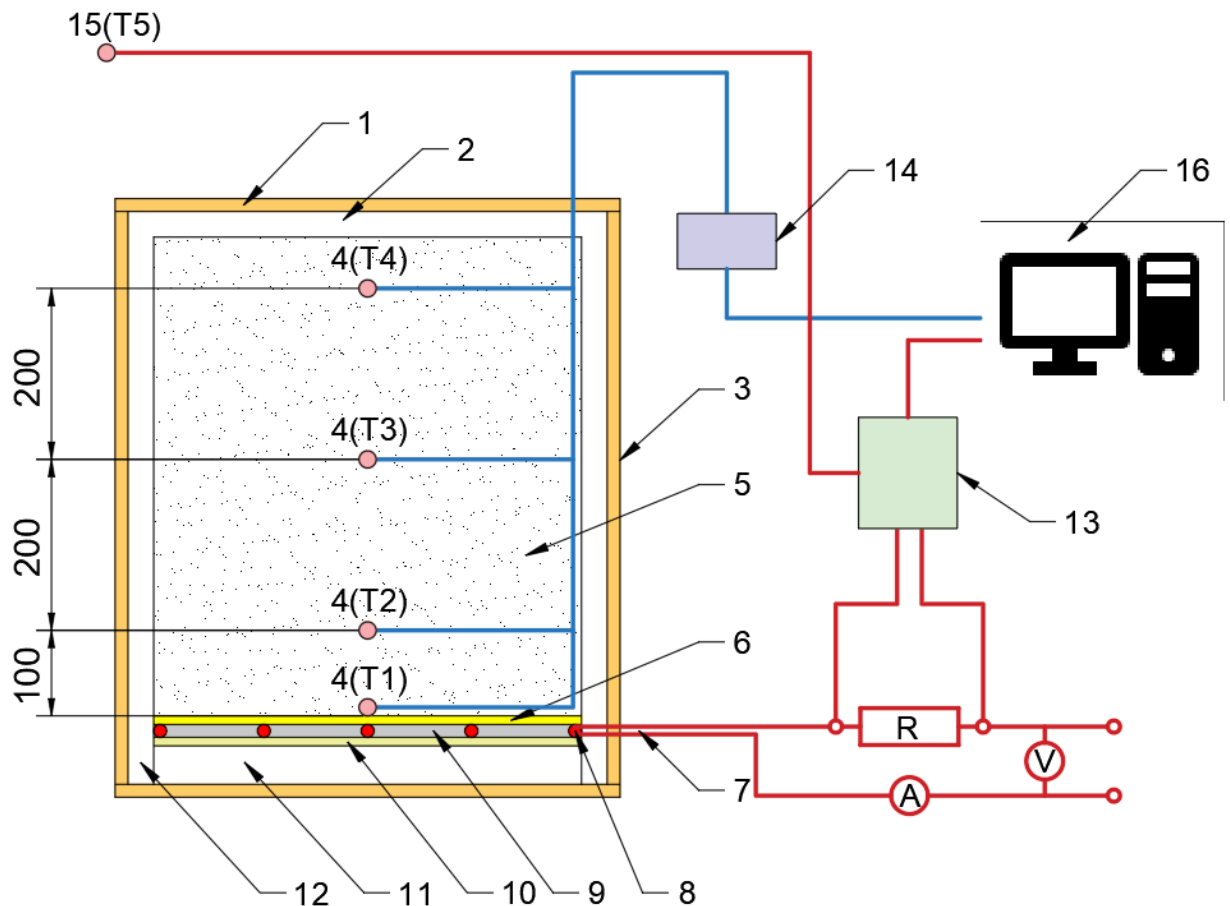
Tyrimui atlikti pasirinkti du eksperimentiniai bandymai naudojant laboratorijos ir lauko sąlygų standus. Eksperimentų tyrimais siekiama ištirti šilumos sklaidą grunte bei šilumos įkrovimo procesą. Laboratorijos sąlygomis siekiama tirti šilumos sklaidą keičiant užpildo sudėtį, o lauko sąlygomis stebima šilumos sklaida skirtingais mėnesiais.

2.1. Laboratorinio stendo tyrimo metodika

Laboratorinio tyrimo metu atliekami du eksperimentiniai bandymai naudojant skirtingus užpildus, o jų rezultatai yra palyginami tarpusavyje. Bandymo atlikimui naudojamas stendas laboratorijoje (žr. 14 pav.).



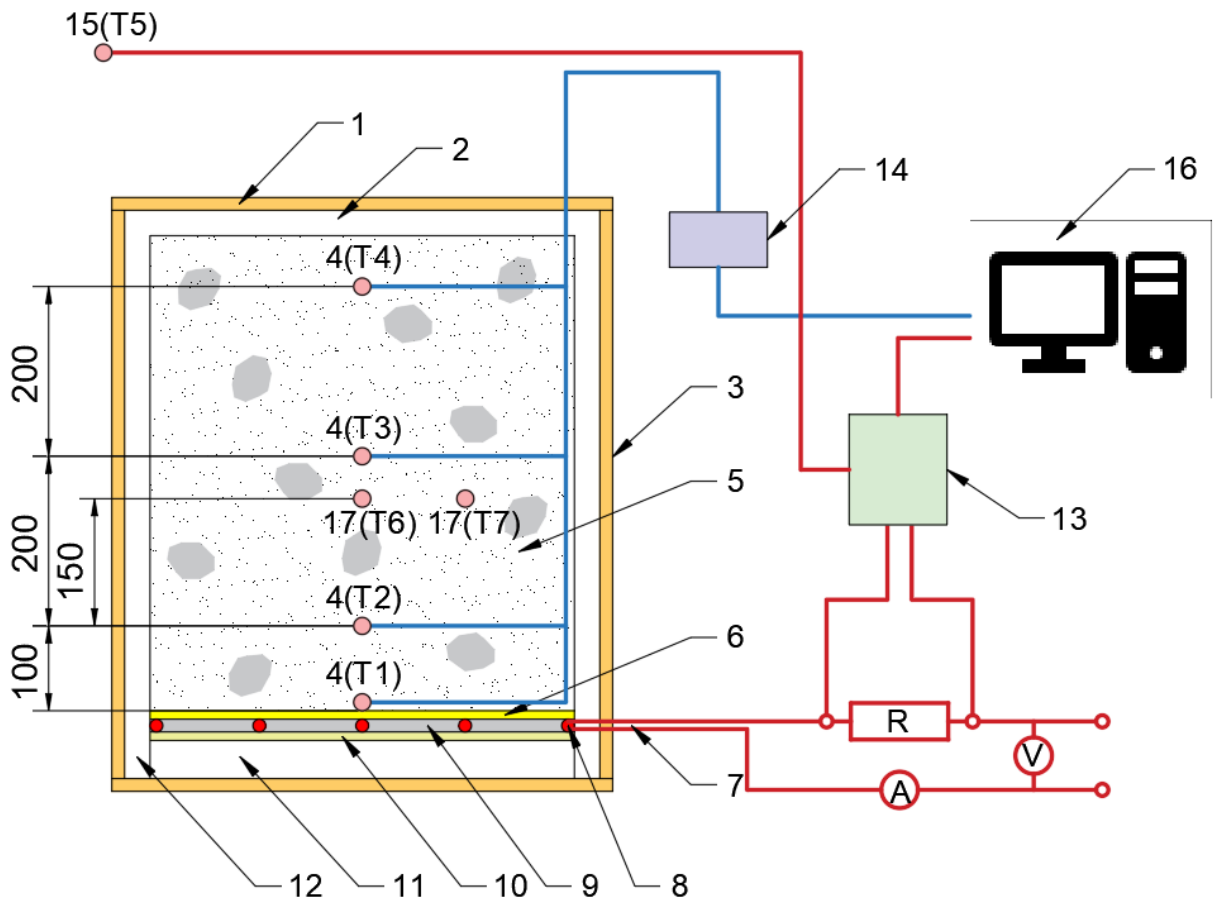
14 pav. Laboratorinis stendas



15 pav. Laboratorinio stendo schema naudojant sausą smulkios frakcijos žvyro užpildą

Laboratorinio stendo schemos žymėjimas (žr. 15 pav.):

1. Dangtis;
2. Dangčio/ viršaus izoliacija;
3. Stendo korpusas;
4. Termovaržos, temperatūros jutikliai grunte, T1, T2, T3, T4;
5. Gruntas/ užpildas;
6. Kaitinamasis paviršius;
7. Kaitinimo laido maitinimas;
8. Kaitinimo vamzdelis;
9. Didelio šiluminio laidumo užpildas;
10. Kaitinamo elemento pagrindas;
11. Dugno termoizoliacija;
12. Šonų termoizoliacija;
13. Duomenų kaupiklis patalpos temperatūrai ir įtampai fiksuoti;
14. Duomenų kaupiklis bandinio temperatūrai fiksuoti;
15. Patalpos oro temperatūros jutiklis, T5;
16. Kompiuteris.

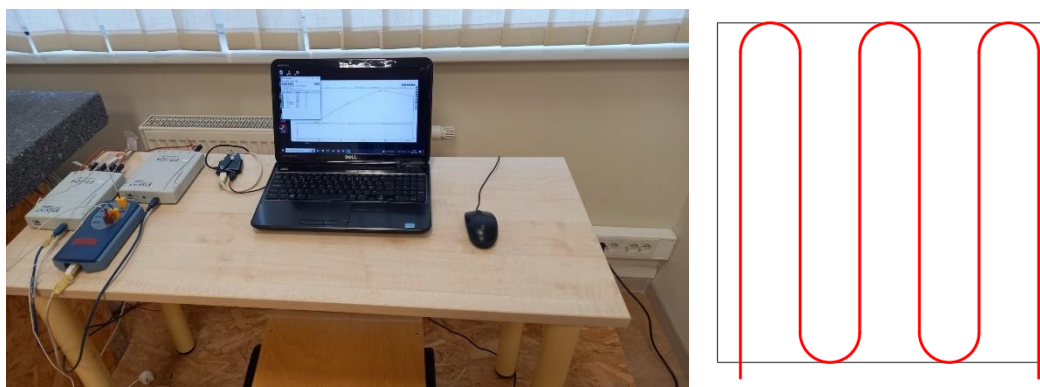


16 pav. Laboratorinio stendo schema naudojant sausą smulkios frakcijos žvyro ir akmenų užpildą

Laboratorinio stendo schemos žymėjimas (žr. 16 pav.):

1. Dangtis;
2. Dangčio/ viršaus izoliacija;
3. Stendo korpusas;
4. Termovaržos, temperatūros jutikliai grunte, T1, T2, T3, T4;
5. Gruntas/ užpildas;
6. Kaitinamasis paviršius;
7. Kaitinimo laido maitinimas;
8. Kaitinimo vamzdelis;
9. Didelio šiluminio laidumo užpildas;
10. Kaitinamo elemento pagrindas;
11. Dugno termoizoliacija;
12. Šonų termoizoliacija;
13. Duomenų kaupiklis patalpos temperatūrai ir įtampai fiksuoti;
14. Duomenų kaupiklis bandinio temperatūrai fiksuoti;
15. Patalpos oro temperatūros jutiklis, T5;
16. Kompiuteris;
17. Termovarža, temperatūrinis jutiklis akmenyje, T6, T7 (žr. 21 pav.).

Kaitinimo pagrindo gamybai naudojama 24 mm storio faneros plokštė, kurios matmenys – 50x50 cm. Ant faneros plokštės uždedamos dvi tokių pačių matmenų aliuminio skardos 1 mm plokštės, ant kurių „gyvatėle“ išvedžiojamas kaitinimo vamzdelis (žr. 17 pav.). Naudojamas 3,2 m ilgio, 8,5 mm skersmens kaitinimo elementas, kurio galia siekia 3 kW.



17 pav. Laboratorinio stendo duomenų kaupiklis (kairėje) ir kaitinamojo pagrindo su išvedžiotu kaitinimo vamzdeliu schema (dešinėje)

Sukonstruotos dėžės dugne visu plotu paklojama aliuminio folija. Ant aliuminio folijos uždedamas kaitinimo pagrindas. Dėžės sienos ir dugnas yra izoliuojamas 5 cm storio putų polistirenu EPS70. Ant šoninių termoizoliacijos sienų markeriu pažymimos vietos, nurodančios temperatūros jutiklių išdėstymo gylį dėžėje. Pažymimi 4 aukščiai matuojant nuo dėžės dugno: 0 cm (dugno apačia), 10 cm, 30 cm ir 50 cm. Temperatūros nuskaitymui naudojamos PT1000 termovaržos.

Termovaržų duomenys kaupiami naudojant duomenų daugojimo įrenginį *Data Logger PT-104*. Šildymo vamzdelio jungtyse įtampa matuojama *ESCORT 3136A* multimetru, antruoju įvesties kanalu. Sumontuoto šildymo įrenginio galia $P = 410 \pm 10 \text{ W}$.

Laboratorinio eksperimento metu kaitinimo vamzdelis yra įjungiamas ir paliekamas veikti tol, kol užpildas ties 0 cm aukštyje esančia termovarža pasiekia 100 °C temperatūrą. Pasiekus nustatytą temperatūrą, kaitinimo vamzdelis yra išjungiamas. Išjungus kaitinamąjį paviršių stebimas užpildo vėsimas įvairiuose termovaržų aukščiuose.

2.1.1. Laboratorinio stendo tyrimo eiga

Pirmajam bandymui stendas yra užpildomas sausu smulkios frakcijos žvyru (žr. 19 pav.). Užpildas į stendą pilamas tolygiai, taip užtikrinant, kad termoporų padėtis nėra pajudinta. Taip pat suamžinama oro tarpų atsiradimų tikimybė. Užpildas pilamas keturiais etapais. Pirmuoju etapu užpilamas stendo dugnas, antruoju – užpilama pirmoj 50 cm gylyje esanti termovarža. Trečiuoju ir ketvirtuoju etapu užpilama 30 cm gylio ir 10 cm gylio termovaržos. Užpildyta visa dėžė yra uždaroma dangčiu ir taip pradedami eksperimentiniai tyrimai.

Pasirenkamas smulkintos frakcijos žvyras, kurio tankis yra $\rho = 1420 \text{ kg/m}^3$.

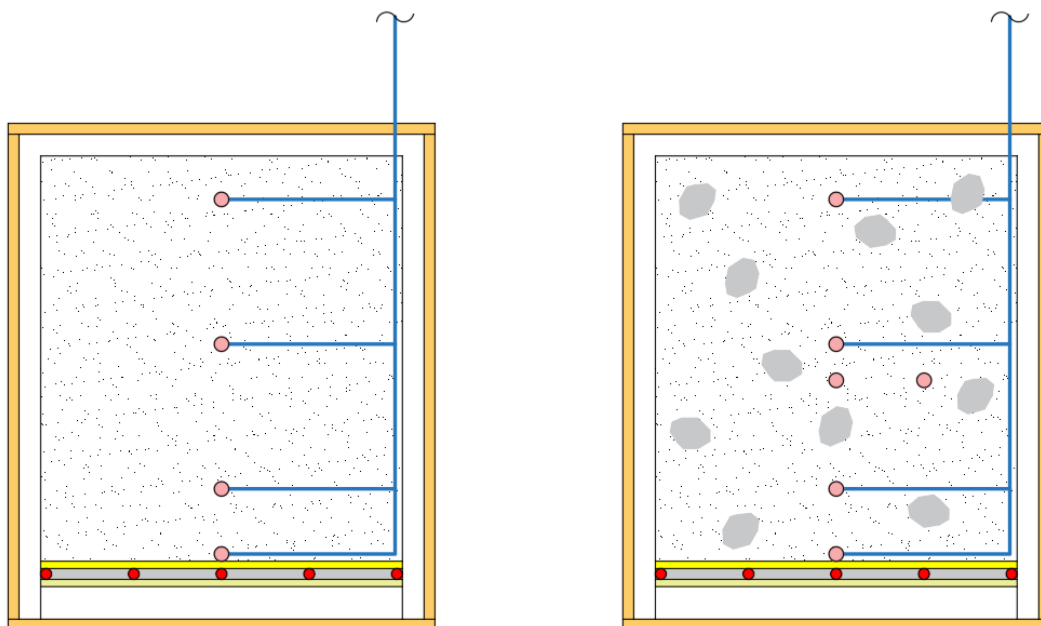
Apskaičiuojamas reikalingas smulkios frakcijos žyro kiekis:

$$V = a \cdot b \cdot c = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Čia: V – tūris, m^3 ; a – ilgis, m ; b – plotis, m ; c – aukštis, m .



18 pav. Užpildytas laboratorinis stendas sausu smulkios frakcijos žvyru



19 pav. Laboratorinio stendo schema: kairėje stendas su sauso smulkios frakcijos žvyro užpildu, dešinėje – su sauso smulkios frakcijos žvyro ir akmenimis užpildu

Antrajam bandymui pakeičiama užpildo sudėtis. Užpildui naudojamas smulkus frakcinis žvyras su akmenimis. Naudojami lauko akmenys, kurių matmenys 7x10x6,5 cm. Kaip ir pirmajame bandyme, užpildas yra tolygiai paskirstomas stendo viduje: pilamas 5 cm storio smulkaus frakcijos žvyro sluoksnis ir sudedami akmenys taip, kad jie nesiliestų tarpusavyje. Akmenys yra užpilami žvyru, o ant naujo žvyro sluoksnio dedamas kitas akmenų sluoksnis. Taip užpildomas visas stendas.



20 pav. Kairėje akmenų išdėstymas pirmajame užpildo sluoknyje laboratoriniam tyrimui, dešinėje – akmenų su temperatūros jutikliais padėtis stendo viduje

Papildomai į du akmenis įdedami temperatūrų jutikliai. Šie įmontuojami akmenų viduje, o ties mažos angos įėjimu jos izoliuojamos. Akmenys stende padedami 25 cm aukštyje (vienas stendo viduryje, kitas šalimais).

Dedamų akmenų į laboratorinį stendą svoris siekė 33,85 kg, kas sudarė 19,07% užpildo sudėties.

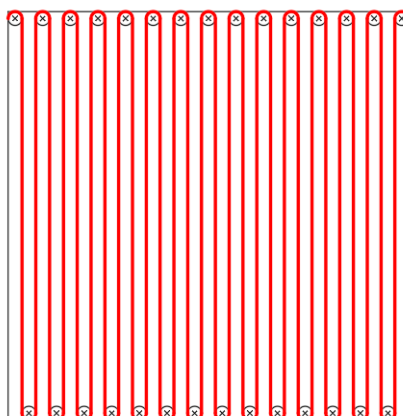


21 pav. Temperatūros jutiklių pozicija akmenyse

2.2. Stendo lauke tyrimo metodika

Lygiagrečiai atliekami tyrimai naudojant stendą lauke (žr. 23 pav.) Lietuvos oro sąlygomis. Duomenys kaupiami 2023 m. kovo, balandžio, gegužės, birželio ir liepos mėnesiais.

Kaitinamojo paviršiaus gamybai naudojama 50x50 cm matmenų „OBS“ plokštė, ant kurios visu plotu išvedžiojamas CTAV-18, 24 m, 420 W kaitinio kabelis (žr. 22 pav.). Prie kaitinamojo pagrindo viršaus pritvirtinamas 1 mm storio skardos lakštas. Ties lakšto viduriu priklijuojama pirmoji termovarža, kuri tiesiogiai liesis su grunto paviršiumi ties 1 m gyliu. Ant kaitinamojo paviršiaus viršaus uždedamas termoizoliacinis 100 mm storio EPS70N putplasčio sluoksnis.



22 pav. Kaitinimo kabelio išvedžiojimo schema ant „OBS“ plokštės

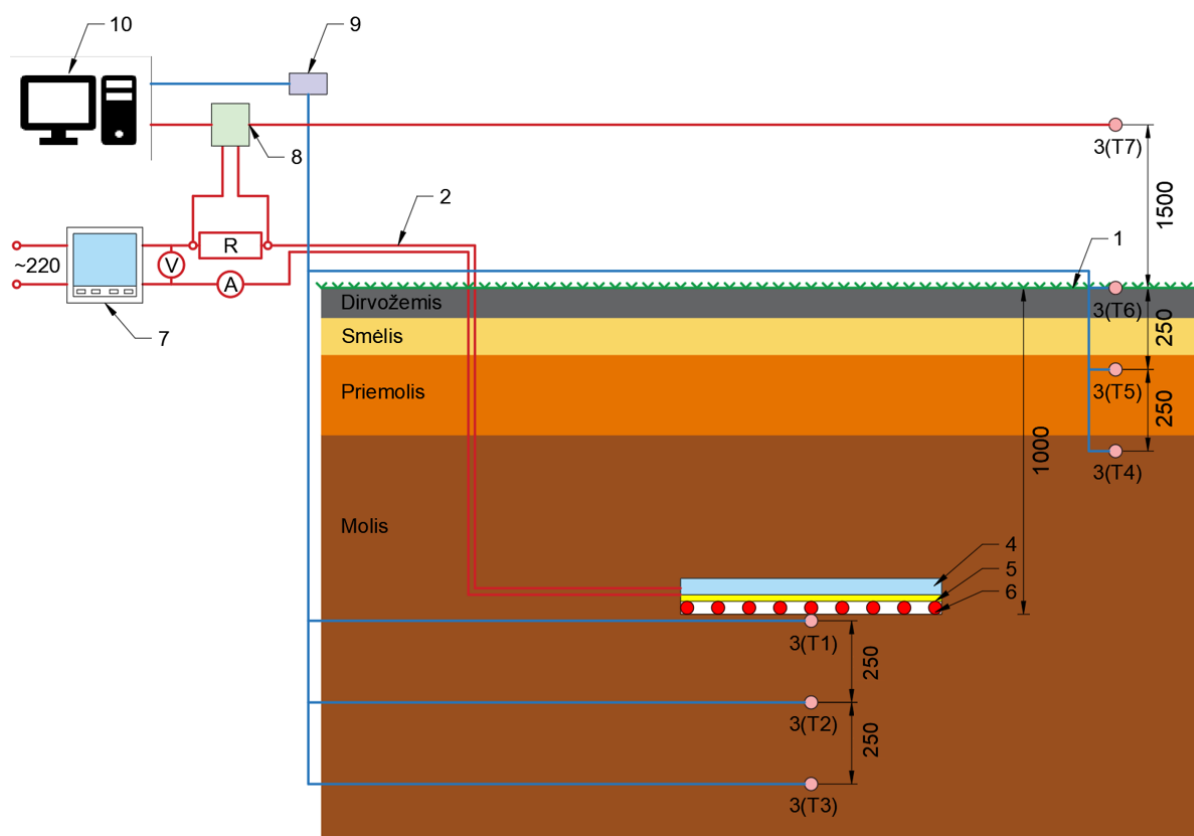
Lauko stendui iškasama duobė. Pirmiausia sudedami temperatūros jutikliai 1,25 ir 1,5 m gyliuose. Ties 1 m padedama dar viena termovarža, ant kurios uždedamas kaitinamasis paviršius. Sudėjus temperatūros jutiklius ir kaitinamąjį paviršiu, šie yra užkasami (žr. 23 pav.).

Iškasus duobę yra pastebima, kad pasirinktoje lauko stendo vietoje vyrauja keturios gruntų rūšys: dirvožemis, smėlis, priemolis ir molis.

Apie 3 metrus nuo kaitinamojo paviršiaus vietos įkasami dar du temperatūrų jutikliai: 0,25 ir 0,5 m gyliuose. Oro temperatūrai fiksuoti įrengiama termovarža 1,5 m aukštyje. Ši termovarža papildomai apsaugoma nuo tiesioginių saulės spindulių ir kritulių.

Kaitinimo paviršiaus maitinimui nutiesiamas laidas, o multimetru reguliuojama elektros srovė ir įtampa. Naudojant universalaus proceso reguliatorių kontroliuojamas šilumos dydis. Visi duomenys renkami kompiuteriu.

Eksperimento metu yra įjungimas kaitinimo kabelis ir tam tikrą laiką palaiko 20 °C temperatūra 1 m gylio grunto sluoksnyje. Stebima kaip kinta temperatūra gilesniuose ir šoniniuose grunto sluoksniuose. Kai temperatūra nebekinta grunte, kaitinimo kabelis yra išjungiamas. Taip stebimas grunto vėsimas laike.



23 pav. Stendo lauke schema

Lauko stendo schemos žymėjimas (žr. 23 pav.):

1. Žemės paviršius;
2. Kaitinimo laido maitinimas;
3. Termovaržos, temperatūros jutikliai grunte (T1, T2, T3, T4, T5, T6) ir ore (T7);
4. Termoizoliacija;
5. Kaitinamasis paviršius (skarda);
6. Kaitinimo laidas;
7. Temperatūros reguliatorius;
8. Duomenų kaupiklis temperatūrai ir įtampai fiksuoti;
9. Duomenų kaupiklis grunto temperatūrai fiksuoti;
10. Kompiuteris.

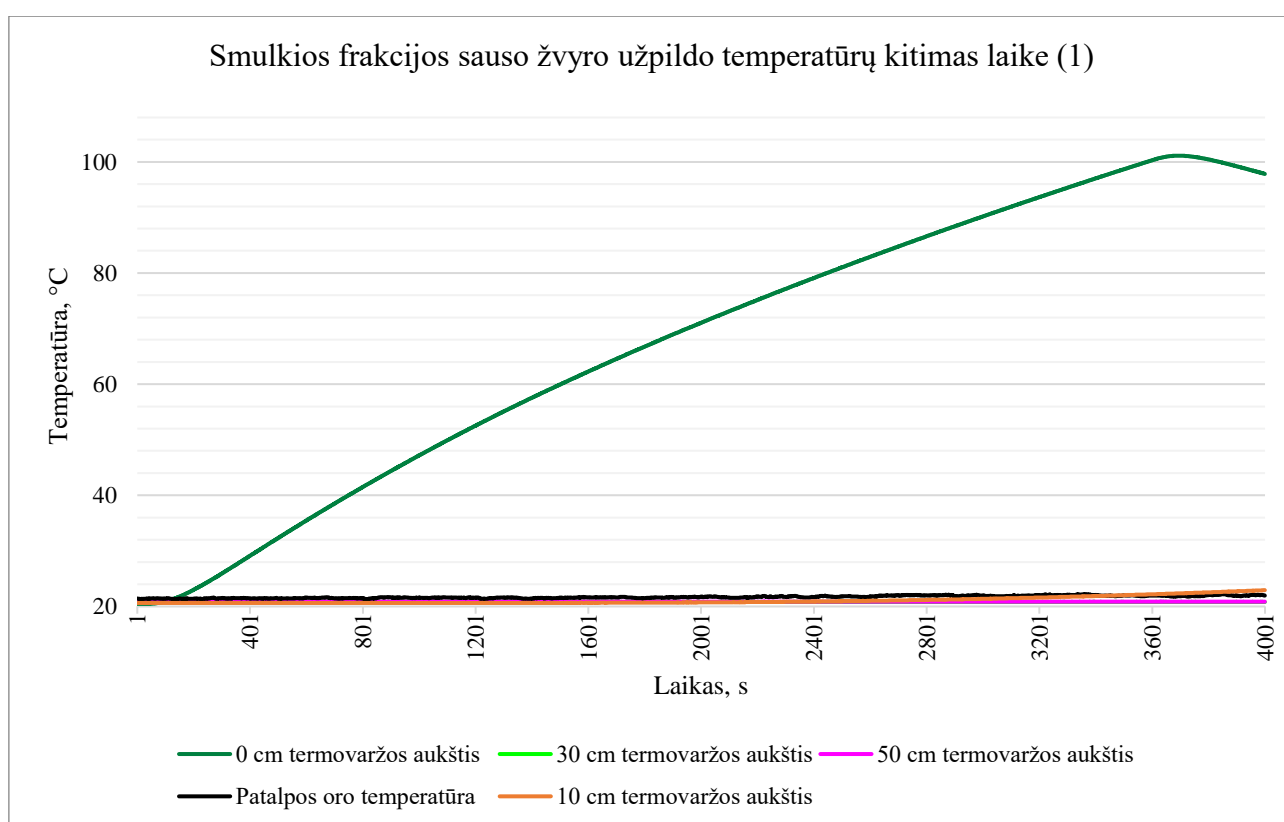
3. Tyrimų rezultatai

3.1. Laboratorinio stendo rezultatai

3.1.1. Laboratorinio stendo su sausu smulkios frakcijos žvyro užpildu rezultatai

Pirmasis bandymas atliktas 2023 m. gegužės 4 d. 11:30 val. Bandymui naudojamas smulkios frakcijos sausas smėlis, kurio pradinė temperatūra yra lygi 20,4 °C. Laboratorinio stendo viršus papildomai izoliuojamas 10 cm neoporo putplasčiu.

Tyrimo metu įjungimas kaitinimo paviršius ir jo veikimas paliekamas tol kol ties 0 cm esančia termovarža užpildas pasiekia 100 °C temperatūrą. Pasiekus nustatytą temperatūrą kaitinimo paviršius, kurio galia $P=750$ W, yra išjungiamas, o stendas paliktas vėsti. 100 °C užpildo temperatūra pasiekta vienos valandos bėgyje, t. y. per $t = 3582$ s = 59: 42 min. Tyrimo rezultatai pirmąją tyrimo valandą pavaizduoti diagramoje (žr. 24 pav.).



24 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro užpildo temperatūrų kitimas laike (1)

0 cm aukštyje temperatūros matavimo jutikliui užfiksavus 100 °C temperatūrą, kaitinimo paviršius yra išjungiamas. Po išjungimo matomas nežymus temperatūros augimas. 10, 30 ir 50 cm termovaržų aukščiuose grunto temperatūra pradeda kilti panašiu laiku – po 15 min. Grunto temperatūros kitimas yra pakankamai nežymus palyginus su 0 cm aukštyje užfiksuota grunto temperatūra tokiu pačiu laiku. Grunto temperatūra pradeda sparčiau kilti 10 cm aukštyje po 40 min nuo tyrimo pradžios. 30 ir 50 cm aukštyje grunto temperatūra pradeda didėti po 3 val. 45 min, kai kaitinimo paviršius yra išjungtas.

Nuo tyrimo pradžios praėjus 69 val. grunto temperatūra išlieka pastovi visuose grunto sluoksniuose ties 23–24 °C temperatūra (žr. 25 pav.). Praėjus 92 val. 30 min (3 paras 20 val. 30 min) grunto

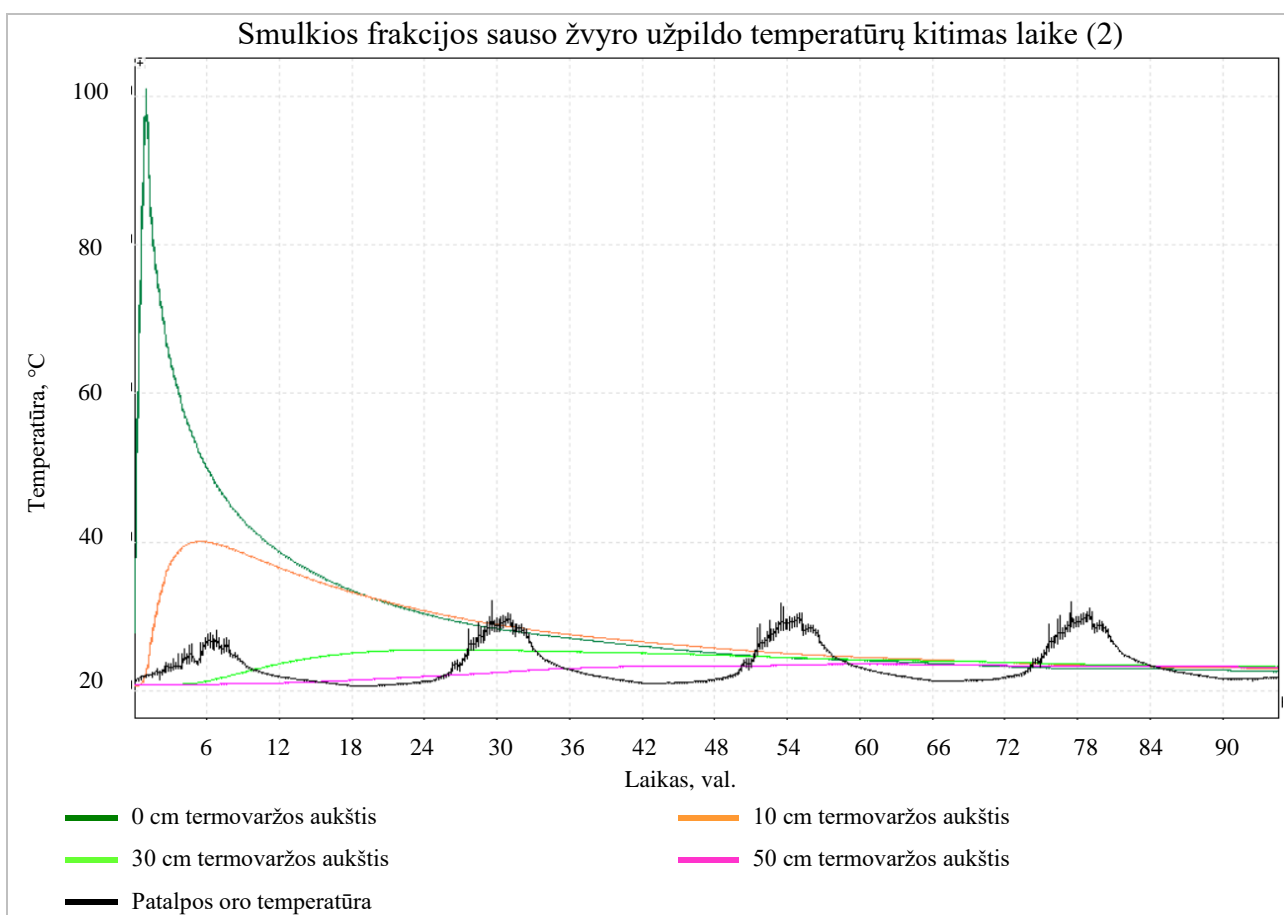
temperatūra nekito. Kadangi temperatūra nekito, bandymas buvo papildomai paliktas dar 72 val. (3 paroms), po kurių pastebimas 1 °C kritimas.

Apskaičiuojamas panaudotas šilumos kiekis grunto įkrovimui [42]:

$$E_{\xi} = P \cdot t_{i\xi} = 750 \cdot 3852 = 2686500 \text{ J} = 2686,5 \text{ kJ} \quad (2)$$

8 lentelė. Esami ir apskaičiuoti duomenys laboratoriniam tyrimui naudojant smulkios frakcijos sauso žvyro užpildą

Duomenys	Vertė
Kaitinimo kabelio įjungimo laikas, $t_{i\xi}$	3582 s
Kaitinimo vamzdelio galia, P	750 W
Įkrautas šilumos kiekis, E_{ξ}	2686,5 kJ
Kaitinimo paviršiaus plotas, A	0,25 m ²

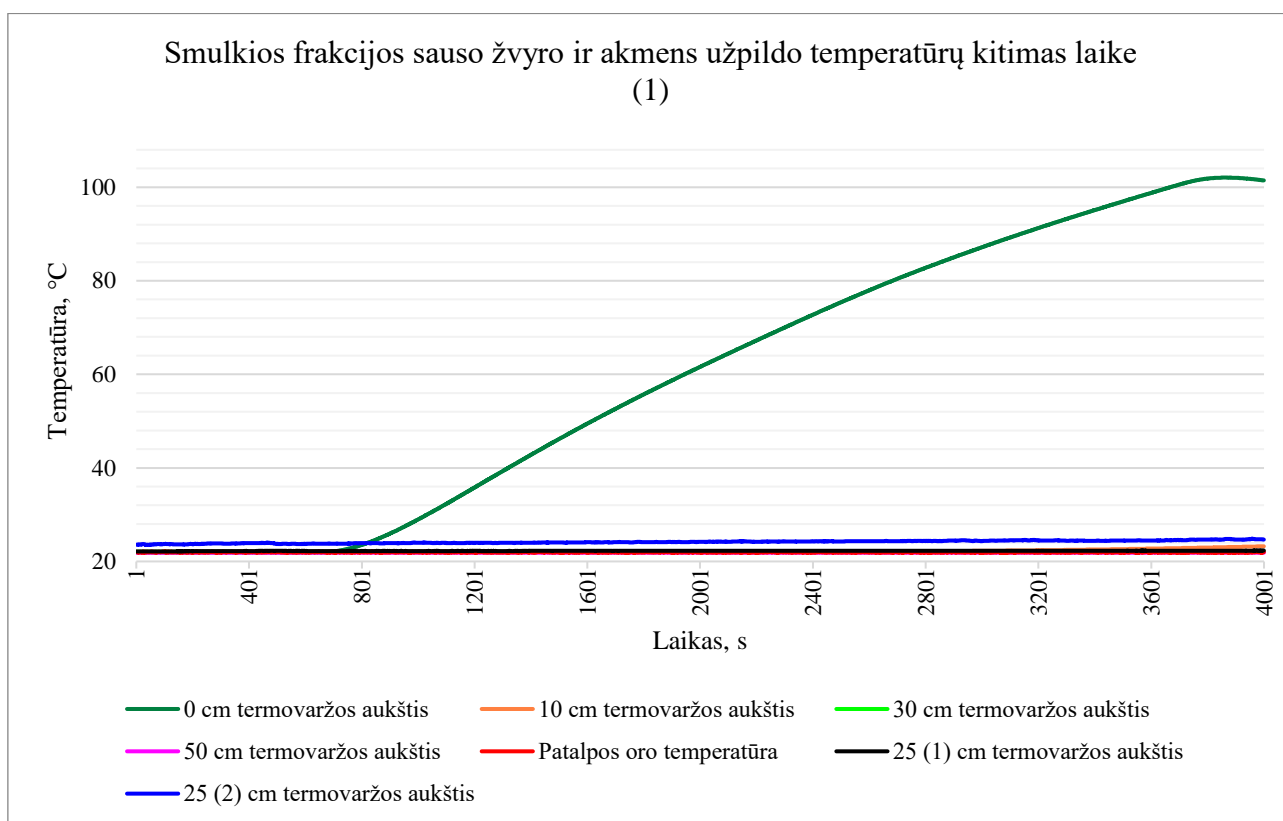


25 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro užpildo temperatūrų kitimas laike (2)

3.1.2. Laboratorinio stendo su sausu smulkios frakcijos žvyro ir akmenų užpildu rezultatai

Antrasis bandymas atliktas 2023 m. gruodžio 4 d. 13:34 val. Bandymui naudojamas smulkios frakcijos sausas žvyras ir akmenys. Užpildo pradinė temperatūra 0 cm aukštyje yra lygi 21,9 °C, centrinio akmens – 22,08 °C, šoninio akmens – 22,12 °C. Stendo viršus papildomai izoliuojamas 10 cm neoporo putplasčiu.

Tyrimo metu užpildas 100 °C temperatūrą, kaip ir per pirmąjį tyrimą, pasiekia vienos valandos bėgyje, t. y. per $t = 3669 \text{ s} = 60:01 \text{ min}$. Tyrimo rezultatai pavaizduoti diagramoje (žr. 26 pav.).



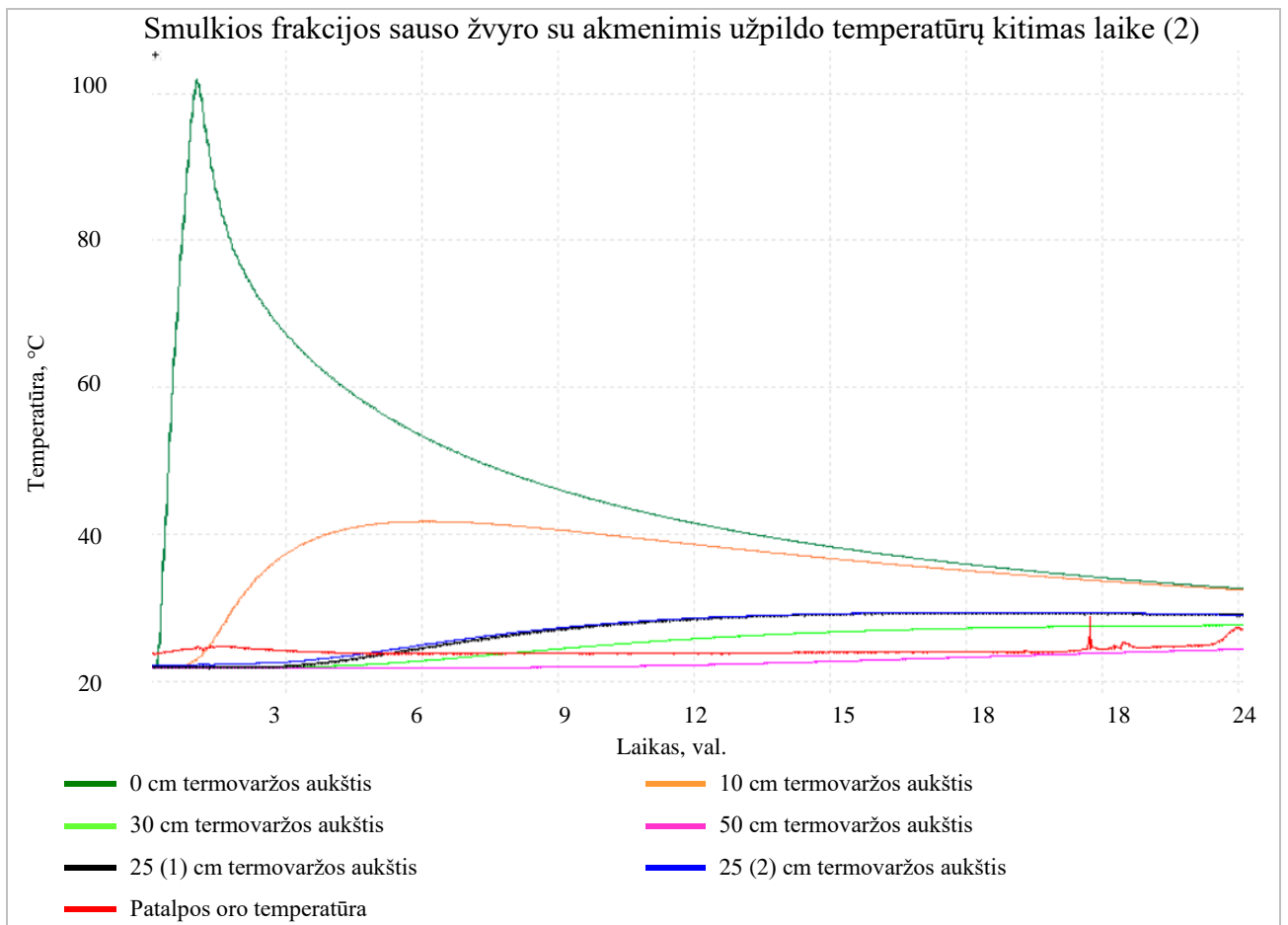
26 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro su akmenimis užpildo temperatūrų kitimas laike (1)

Termovaržai, ties 0 cm aukščiu, pasiekus nustatytą 100 °C temperatūrą kaitinimo paviršius yra išjungiamas. Išjungus kaitinimo paviršius, matomas nežymus 2 °C temperatūros kilimas. Kituose aukščiuose temperatūrų jutikliai fiksuoja temperatūros pakitimą po 2 valandų nuo kaitinamojo kabelio išjungimo. 10 cm aukštyje užpildo temperatūra pasiekia 41 °C praėjus 5-6 val.

Pritvirtintos termovaržos akmenyse 25 cm aukštyje temperatūros kilimą fiksuoja po 1,5 val. kai kaitinimo paviršius yra išjungtas. Temperatūra ties šiuo aukščiu pakyla iki 27 °C ir nekinta. 30 cm aukštyje užpildo temperatūros kilimas panašus kaip 25 cm aukštyje, tik temperatūra fiksuojama porą laipsnių žemesnė. 50 cm aukštyje temperatūra porą laipsnių pakyla po 9 val. nuo eksperimento pradžios.

9 lentelė. Esami ir apskaičiuoti duomenys laboratoriniam tyrimui naudojant smulkios frakcijos sauso žvyro su akmenimis užpildą

Duomenys	Vertė
Kaitinimo kabelio įjungimo laikas, t_{is}	3669 s
Kaitinimo vamzdelio galia, P	750 W
Įkrautas šilumos kiekis, E_s	2751,75 kJ
Kaitinimo paviršiaus plotas, A	0,25 m ²



27 pav. Smulkios frakcijos sauso žvyro su akmenimis užpildo temperatūrų kitimas laike (2)

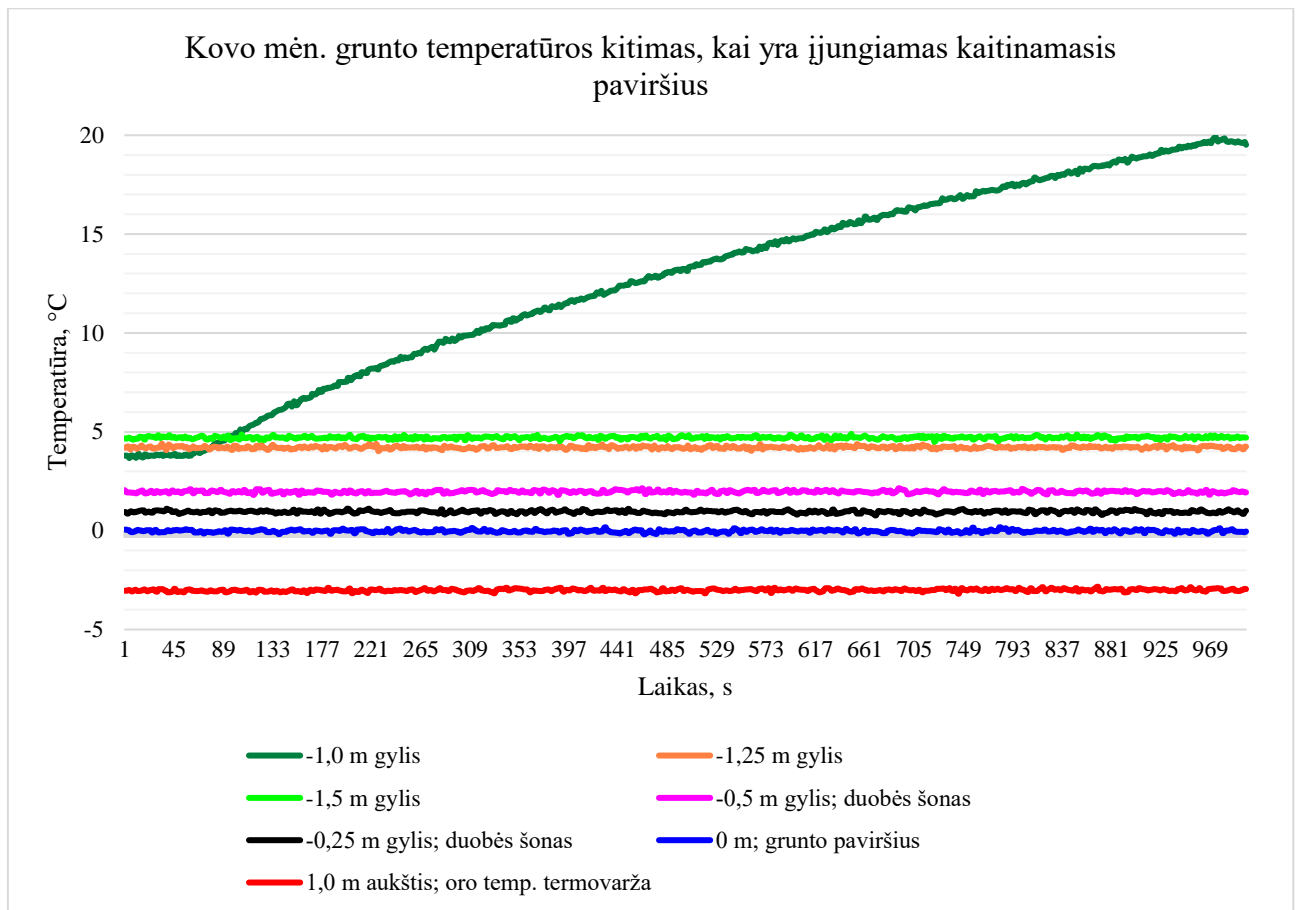
3.2. Lauko stendo bandymo rezultatai

Lauko stendo bandymo duomenys buvo kaupiami 2023 m kovo–liepos mėnesiais. Bandymai atliekami trimis etapais: įjungiamas kaitinamasis paviršius ir laukiama kol termovarža, kuri pritvirtinta prie kaitinamojo paviršiaus -1,0 m gylyje, pasiekis 20 °C temperatūrą; kaitinamasis paviršius yra išjungiamas ir įjungiamas, taip palaikant nustatytą 20 °C temperatūrą; kaitinamasis paviršius yra išjungiamas ir taip stebimos grunto atvesimo temperatūros.

3.2.1. Rezultatai kovo mėnesį

Pirmasis lauko bandymas atliktas kovo mėn. 10 dieną 19:32 val. Šios dienos oro temperatūra siekė $T_{oro} = -3,05$ °C, paviršinio grunto – $T_{pav.} = 0,06$ °C ir 1 m gylio grunto – $T_1 = 3,79$ °C. Pradedant bandymą įjungiamas kaitinamasis paviršius, kurio galia siekia 420 W. Kaitinamo kabelio įtampa paliekama įjungta tol, kol gruntas -1,0 m gylyje pasiekia 20 °C. Pasiekus 20 °C temperatūrą, kaitinamasis paviršius yra įjungiamas ir išjungiamas automatiškai, taip neleidžiant nukristi nustatytai temperatūrai.

Gruntas -1,0 m gylyje pirmą kartą pasiekia ~20 °C temperatūrą per $t = 973$ s = 16:13 min, 19:48 val. laiku. Šis momentas pavaizduotas diagramoje (žr. 28 pav.). Pasiekus nustatytą temperatūrą ji toliau yra palaikoma.



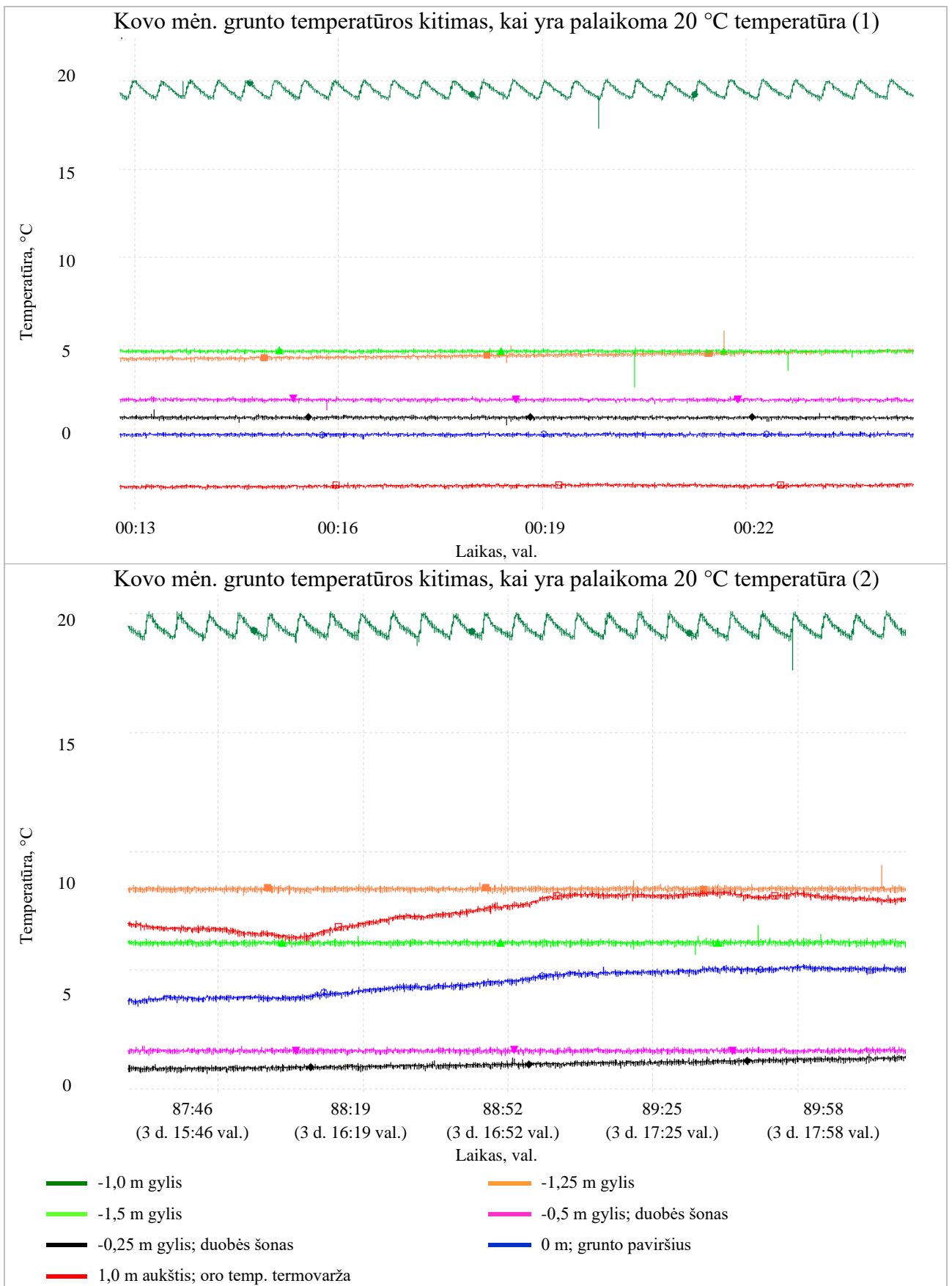
28 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, kai yra įjungiamas kaitinamasis paviršius; duomenų surinkimo data 2023-03-10

Pirmąją bandymo valandą buvo atlikta 16-ą įkrovų. Pirmasis įkrovimas buvo ilgiausias – jis truko 963 s. Antras įkrovimas truko – 73 s, trečiasis – 60 s. Laiko intervalai įkrovų metu mažėjo iki 40 s vienai įkrovai. Grunto temperatūrai nusistovint įtampų įjungimo ir išjungimo intervalai sumažėjo iki 9 įkrovų per valandą. Iš viso kaitinamojo paviršiaus veikimas tęsėsi $t = 862837$ s, t. y. apie 10 parų.

Pirmąją bandymo dieną -1,25 m gylyje temperatūros pakilimas pastebėtas $t = 2:46 - 4:10$ val. laiko diapazone. Temperatūra šiuo laiku pakilo $0,5$ °C. Taip pat temperatūra pradeda kilti ir gilesniame -1,5 m grunto sluoksnyje ties $t = 11$ val. laiko riba. Tęsiantis tyrimui, šių sluoksnių temperatūros tolygiai didėja (žr. 29 pav. (1)).

Nuo bandymo pradžios praėjus $t = 315900$ s, t. y. po trijų parų, pradeda kilti grunto temperatūra ties -0,25 m gylio termovarža (žr. 29 pav. (2)). Sekančią dieną -0,5 m gylyje esantis temperatūros jutiklis taip pat fiksuoja temperatūros padidėjimą.

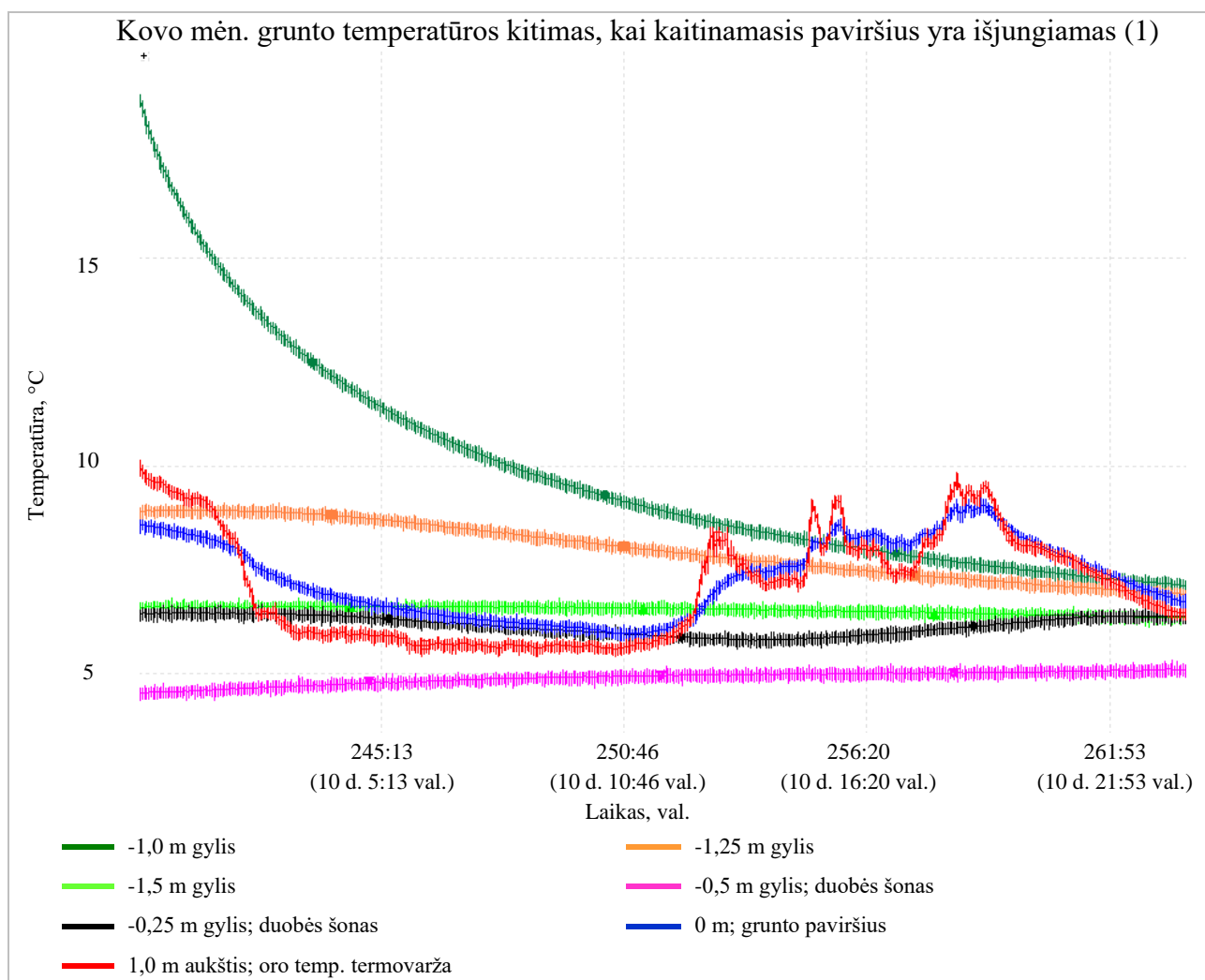
Ketvirtąją bandymo dieną -1,25 ir -1,5 m gyliuose temperatūra nusistovi ir tolimesnėse bandymo dienose nedidėja. Viso likusio bandymo metu -1,25 m gylyje temperatūros jutiklis rodo $T_{1,25} = \sim 8,5$ °C, o -1,5 m – $T_{1,5} = \sim 6,3$ °C.



29 pav. Bandyto lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; (1) duomenų surinkimo data 2023-03-10; (2) duomenų surinkimo data 2023-03-13

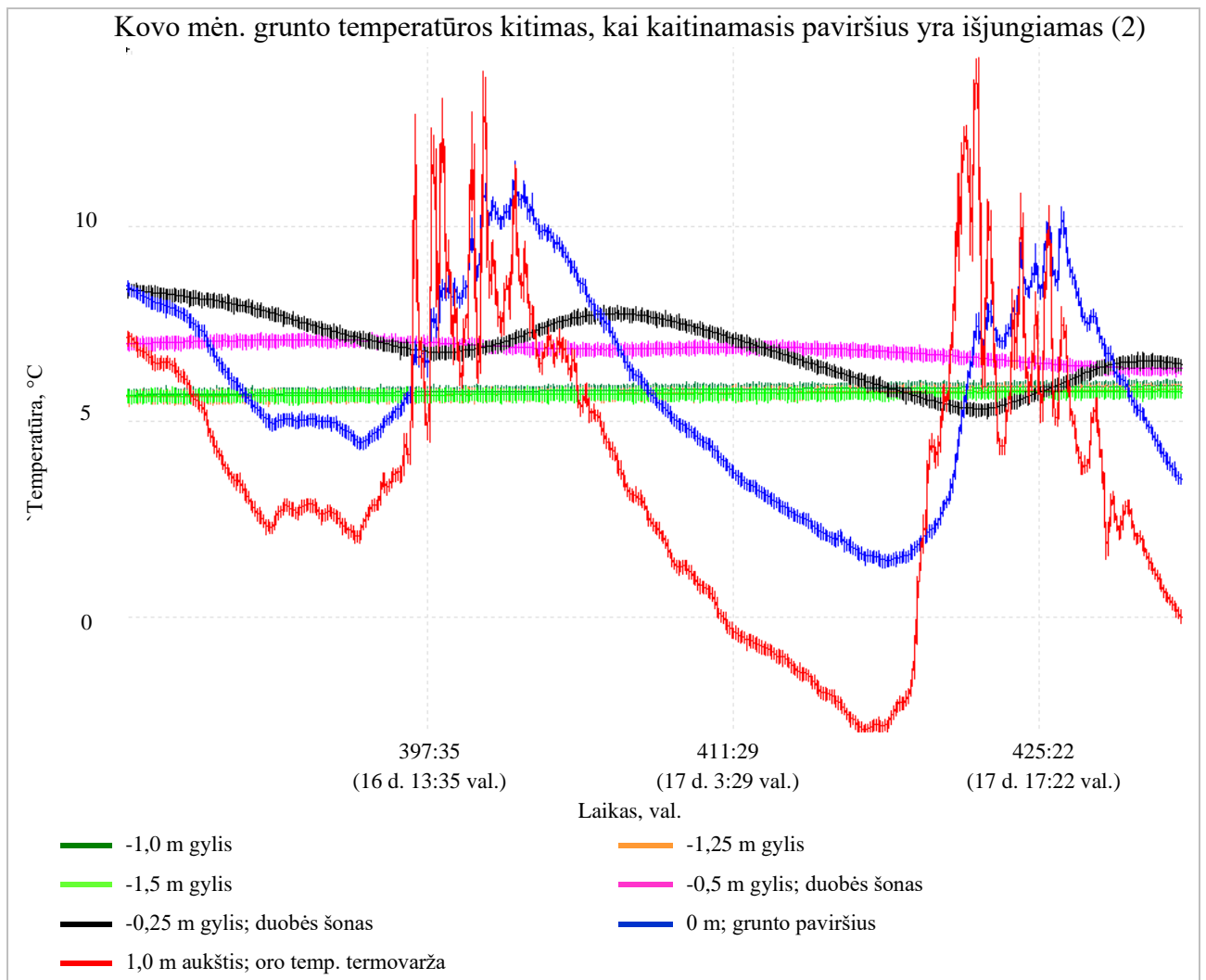
-0,25 ir -0,5 m gyliuose temperatūros nenusistovi. Šis nepastovumas atsiranda dėl dienos ir nakties temperatūrų ciklų. Kadangi termovaržos yra arti paviršiaus, jos yra tiesiogiai paveikiamos oro temperatūrų skirtumų.

Po 10 dienų kaitinamasis paviršius yra išjungiamas. Taip dar 10 dienų kaupiami duomenys apie temperatūrų pasiskirstymą įvairiuose grunto sluoksniuose. Išjungus įtampą iš karto matomas temperatūros kritimas -1,0 m gylyje. Per 24 val. temperatūra nukrito 12 °C. Grunto temperatūra -1,25 m gylyje 4 valandas išliko tokia pati (~8,5 °C), toliau ji palaipsniui sumažėjo iki 6,9 °C. -1,5 m gylyje temperatūra praėjus dienai nepakito ir išliko ~6,5 °C (žr. 30 pav.).



30 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis paviršius yra išjungiamas (1); duomenų surinkimo data 2023-03-20

Įvairių grunto sluoksnių temperatūrų suvienodėjimas pradamas pastebėti 12-ą tyrimo dieną. -1,0; -1,25 ir -1,5 m gyliuose grunto temperatūra nukrenta iki ~6 °C ir nekinta likusio tyrimo metu. -0,25 ir -0,5 m gyliuose temperatūra kinta pagal oro dienos ir nakties temperatūras, todėl šių temperatūrų pastovaus nusistovėjimo nepastebima (žr. 31 pav.).

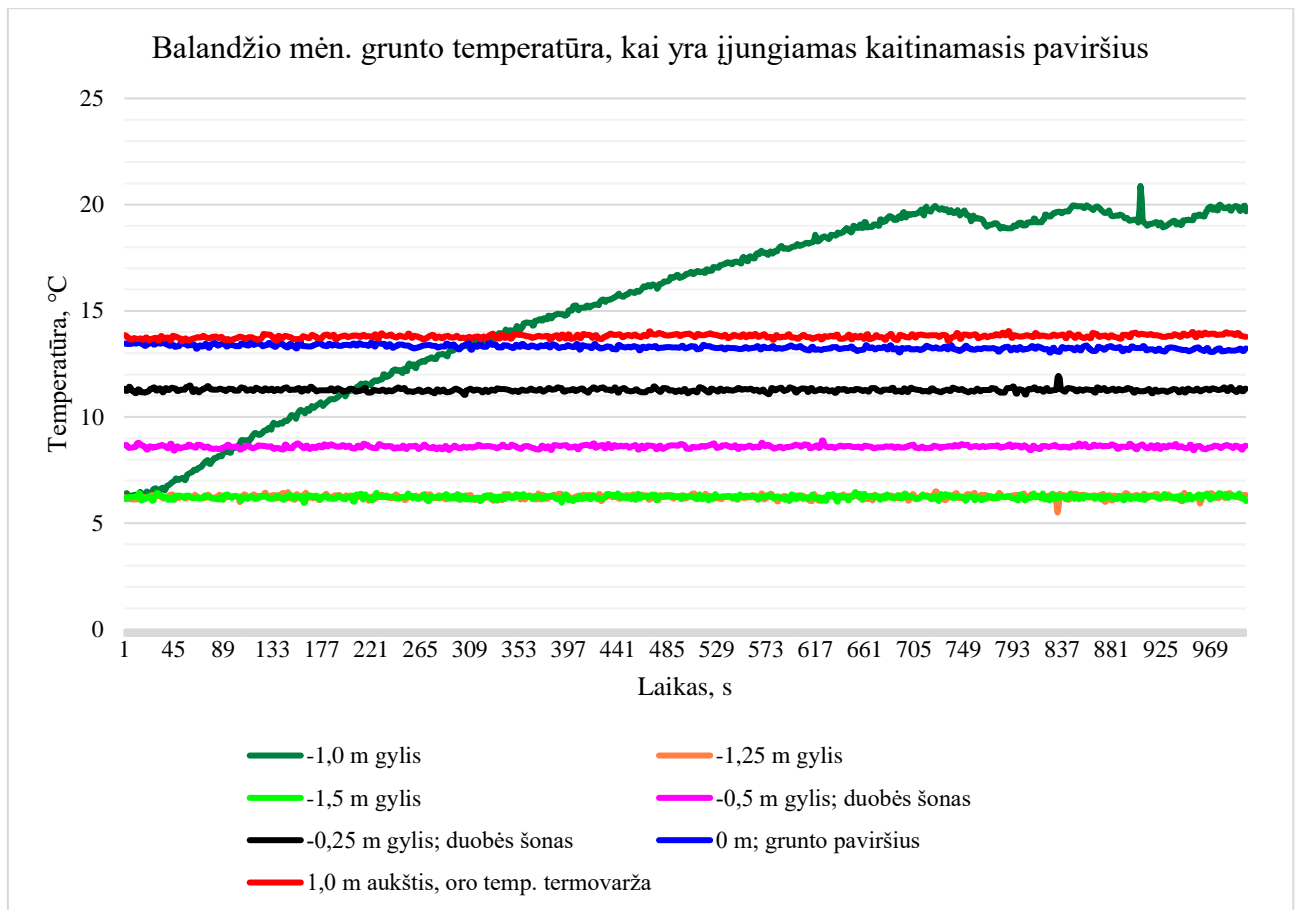


31 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis paviršius yra išjungiamas (2); duomenų surinkimo data 2023-03-26

3.2.2. Rezultatai balandžio mėnesį

Antrasis lauko bandymas pradėtas balandžio mėn. 11 dieną 19:00 val. Šiuo metu oro temperatūra siekė $T_{oro} = 13,9 \text{ }^\circ\text{C}$, paviršinio grunto – $T_{pav.} = 13,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ir 1 m gylio grunto – $T_1 = 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Įjungus kaitinamąjį paviršių gruntas -1,0 m gylyje pirmą kartą pasiekia $20 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrą per $t = 703 \text{ s} = 11:43 \text{ min}$, 19:12 val. laiku. Šis momentas pavaizduotas diagramoje (žr. 32 pav.).

Bandymo pradžioje buvo atlikta 16-ą įkrovų per pirmąją valandą. Pirmasis įkrovimas truko 707 s, kiti – 66-46 s. Nusistovėjus grunto temperatūrai -1,0 m gylyje intervalai sumažėjo iki 7 įkrovų per valandą, o viena įkrova truko apie 35 s. Kaitinamasis paviršius iš viso buvo įjungiamas ir išjungiamas $t = 605078 \text{ s}$, t. y. 7 dienas.



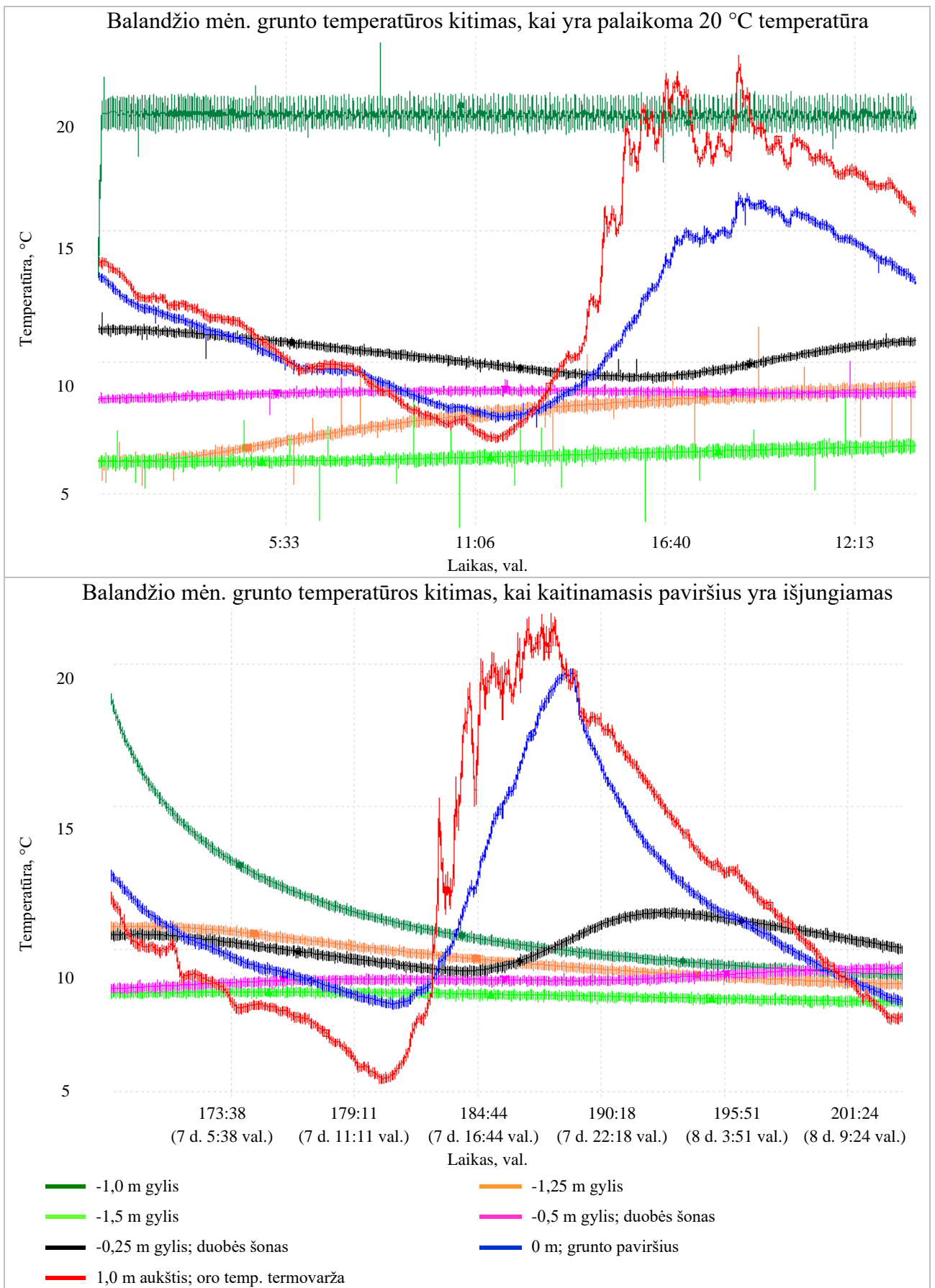
32 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-04-11

Tą pačią bandymo dieną matomas grunto temperatūrų padidėjimas -1,25 ir -1,5 m gyliuose. Praėjus $t = 2$ val 46 min didėja grunto temperatūra ties -1,25 m gylio temperatūros jutikliu, o po $t = 11$ val. 6 min didėjimas fiksuojamas -1,5 m gylyje.

Per penkias dienas -1,25 m gylyje esanti grunto temperatūra pakilo nuo 6,31 °C iki 10,63 °C, o -1,5 m gylyje – nuo 6,15 °C iki 8,44 °C (žr. 33 pav.). Termovaržos esančios -0,25 ir -0,5 m gyliuose, kaip ir kovo mėnesį, fiksavo temperatūros svyravimus, kurie tiesiogiai priklausė nuo oro temperatūros.

Septynias dienas veikiantis kaitinamasis paviršius yra išjungiamas ir taip papildomai 14 dienų yra stebimi temperatūrų pasiskirstymai grunte. Praėjus parai po įtampos nutraukimo, temperatūra -1,0 m gylyje nukrito iki 9,5 °C. Grunto temperatūra -1,25 m gylyje išliko 10,8 °C, tačiau po 6 val. ji palaipsniui sumažėjo iki 8,8 °C. Gruntas -1,5 m gylyje išliko 8,4 °C temperatūros praėjus daugiau nei 24 val. (žr. 33 pav.).

Praėjus 31 val. -1,0; -1,25 ir 1,5 m gyliuose temperatūros nusistovėjo, o jų jutikliai rodė: $T_1 = 8,5$ °C, $T_{1,25} = 8,2$ °C ir $T_{1,5} = 7,7$ °C.

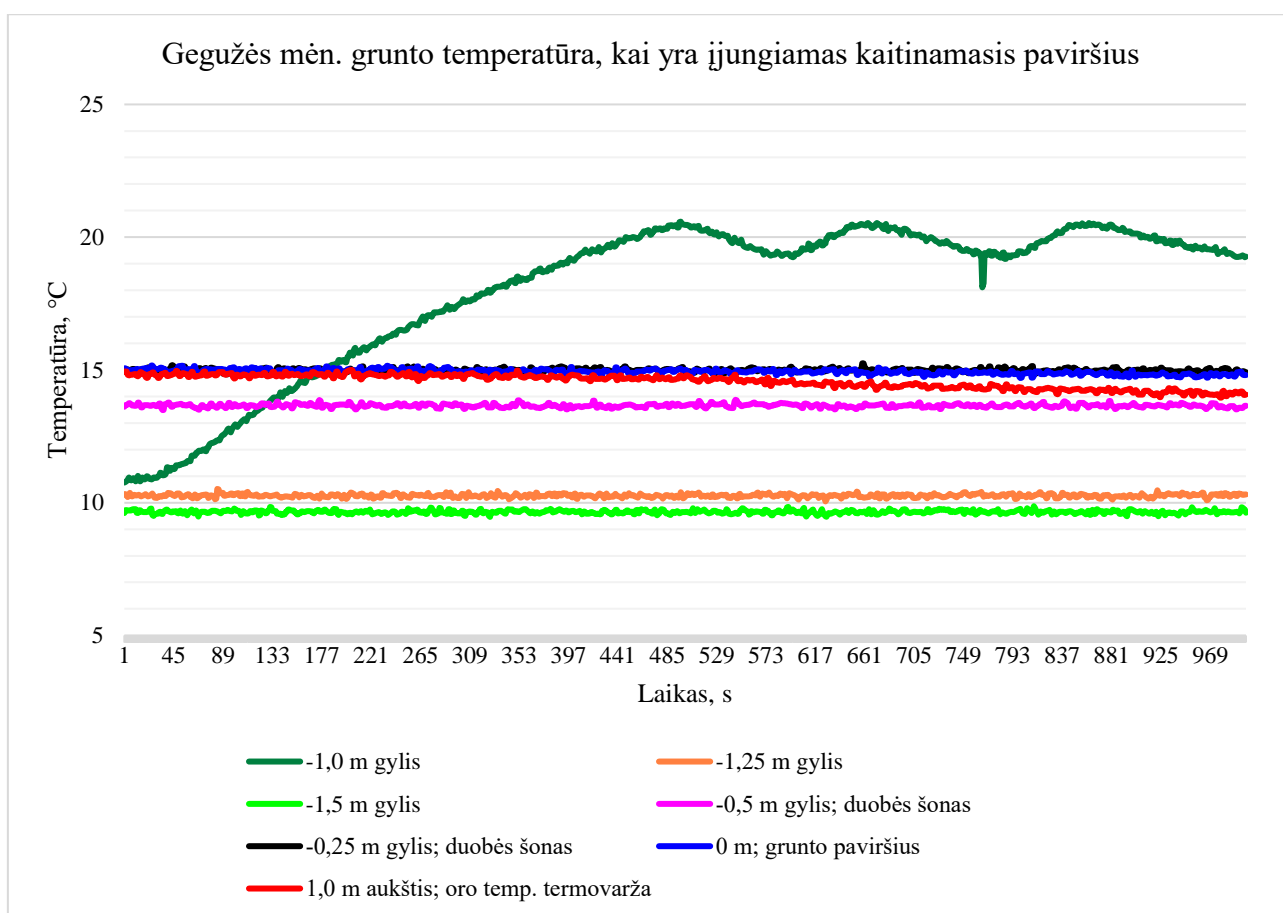


33 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-04-11; Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis paviršius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-04-18

3.2.3. Rezultatai gegužės mėnesį

Trečiasis lauko bandymas pradėtas gegužės mėn. 16 d. 20:34 val. Bandymo metu oro temperatūra buvo $T_{\text{oro}} = 14,94 \text{ }^\circ\text{C}$, paviršinio grunto – $T_{\text{pav.}} = 15,06 \text{ }^\circ\text{C}$ ir 1 m gylio grunto – $T_1 = 10,76 \text{ }^\circ\text{C}$. Atlikus pirmąją įkrovą -1,0 m gylyje gruntas išyla iki $20 \text{ }^\circ\text{C}$ per $t = 453 \text{ s} = 7:33 \text{ min}$ (žr. 34 pav.).

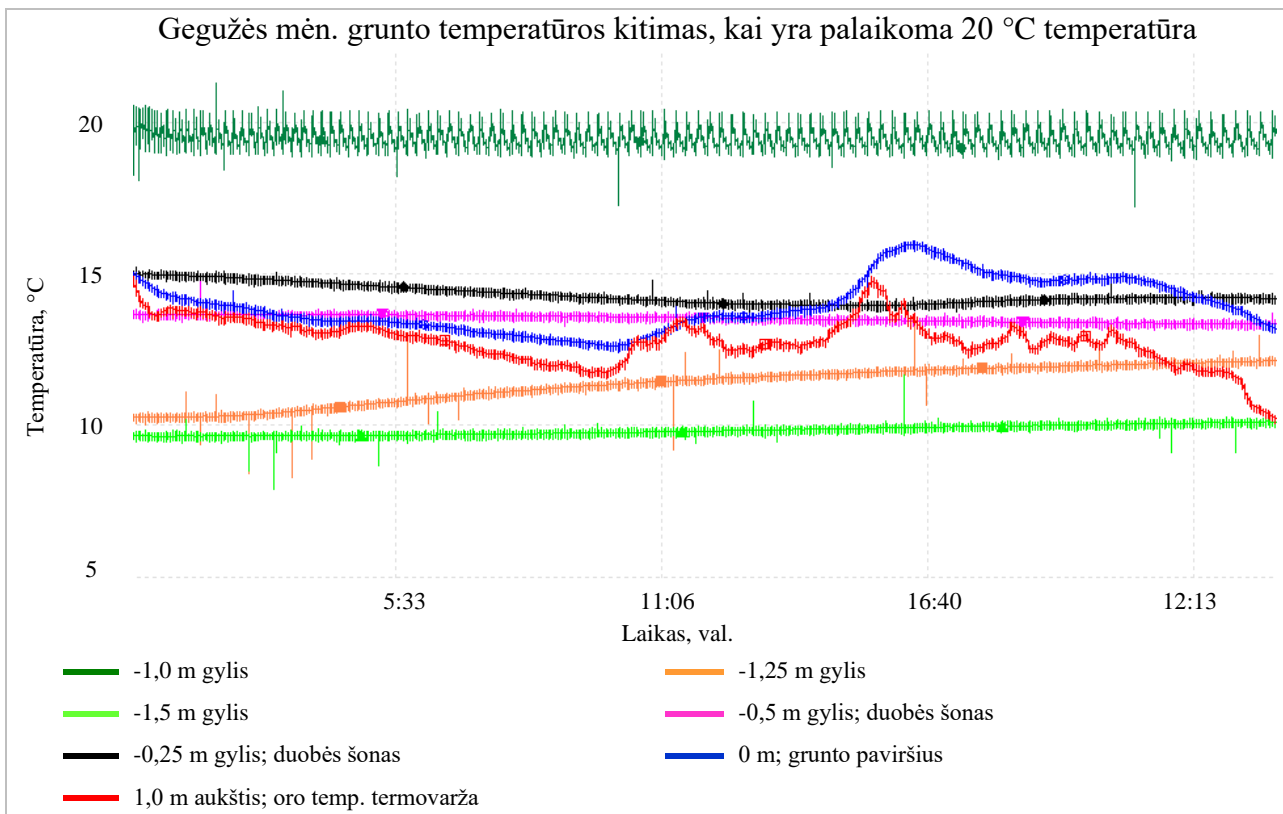
Pirmosios valandos bėgyje atlikta 10 įkrovų, iš kurių pirmasis įkrovimas truko 471 sekundes. Kiti įkrovimai truko 70-50 s mažėjimo tvarka. Išilus gruntui įkrovimų skaičius sumažėjo iki 3 kartų per valandą. Bandymas su įjungtu kaitinamuoju paviršiumi tęsėsi $t = 604660 \text{ s}$, t. y. 7 dienas.



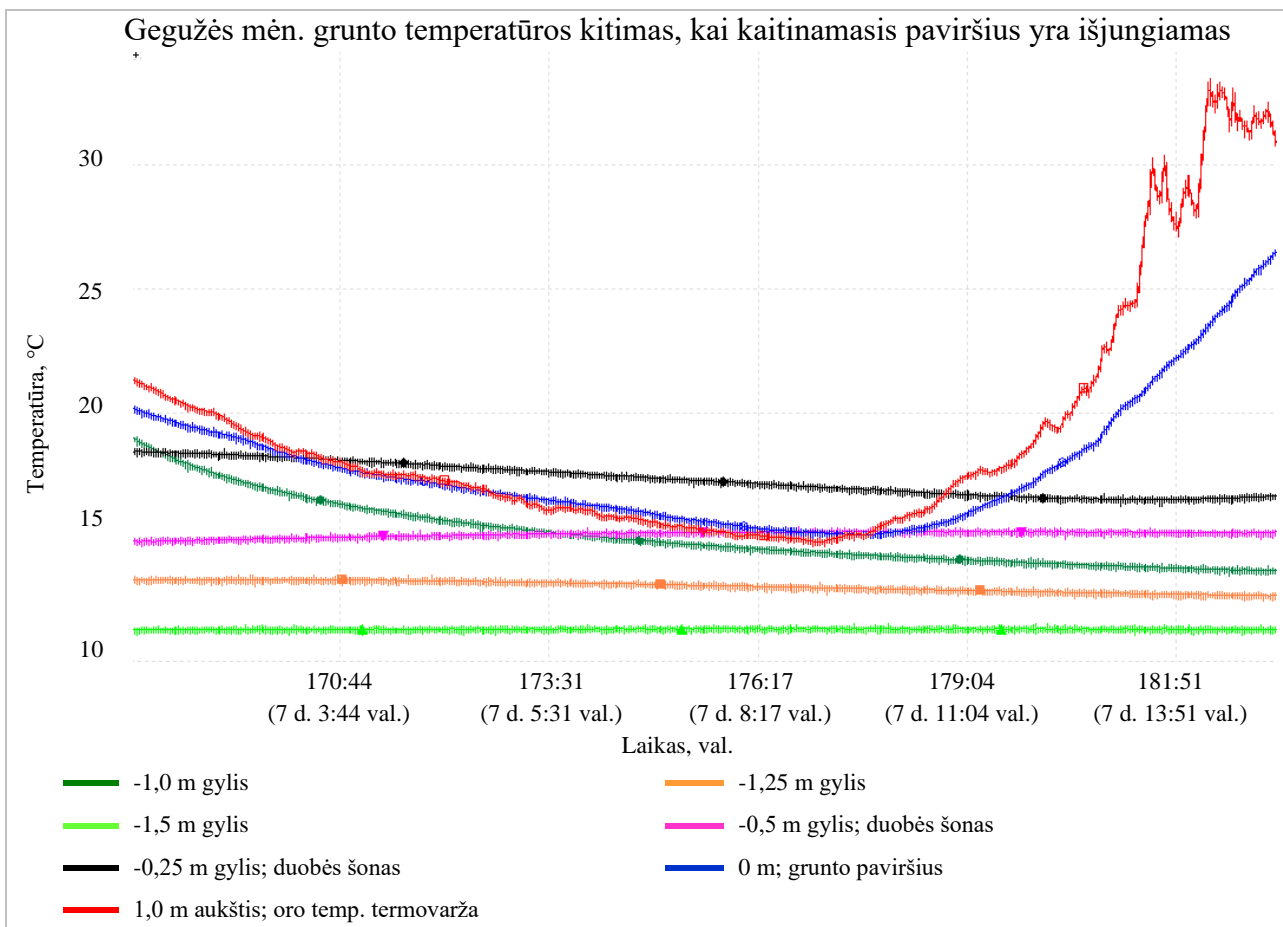
34 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-05-16

Praėjus 1,5 val. nuo bandymo pradžios pastebimas temperatūros kilimas -1,25 m gylyje, o po 10 val. pradeda kilti temperatūra ir -1,5 m grunto gylyje. Kadangi oro temperatūros gegužės mėnesį viršijo $20 \text{ }^\circ\text{C}$, esančios termovaržos -0,25 ir -0,5 m gyliuose tiesiogiai reagavo į oro temperatūras, o ne kaitinamojo paviršiaus veikimą.

Viso bandymo metu temperatūros jutikliai -1,25 ir -1,5 m gyliuose užfiksavo poros laipsnių pakilimą: $T_{1,25} = 10,32 \text{ }^\circ\text{C}$ pakilo iki $13,32 \text{ }^\circ\text{C}$, o $T_{1,5} = 9,61 \text{ }^\circ\text{C}$ iki $11,31 \text{ }^\circ\text{C}$ (žr. 35 pav.). Išjungus kaitinamąjį paviršių duomenys renkami 10,5 parų. 15 val. bėgyje -1,0 m gylyje grunto temperatūra nukrito iki $13,66 \text{ }^\circ\text{C}$, o temperatūros -1,25 ir -1,5 m gyliuose kito nežymiai ir atitinkamai išliko $13,2\text{-}12,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ir $11,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ribose (žr. 36 pav.). Gegužės 30 dieną grunto temperatūros nebekito, o jutikliai atitinkamuose gyliuose rodė: $T_1 = 13,4 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{1,25} = 12,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ir $T_{1,5} = 11,9 \text{ }^\circ\text{C}$.



35 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-05-16

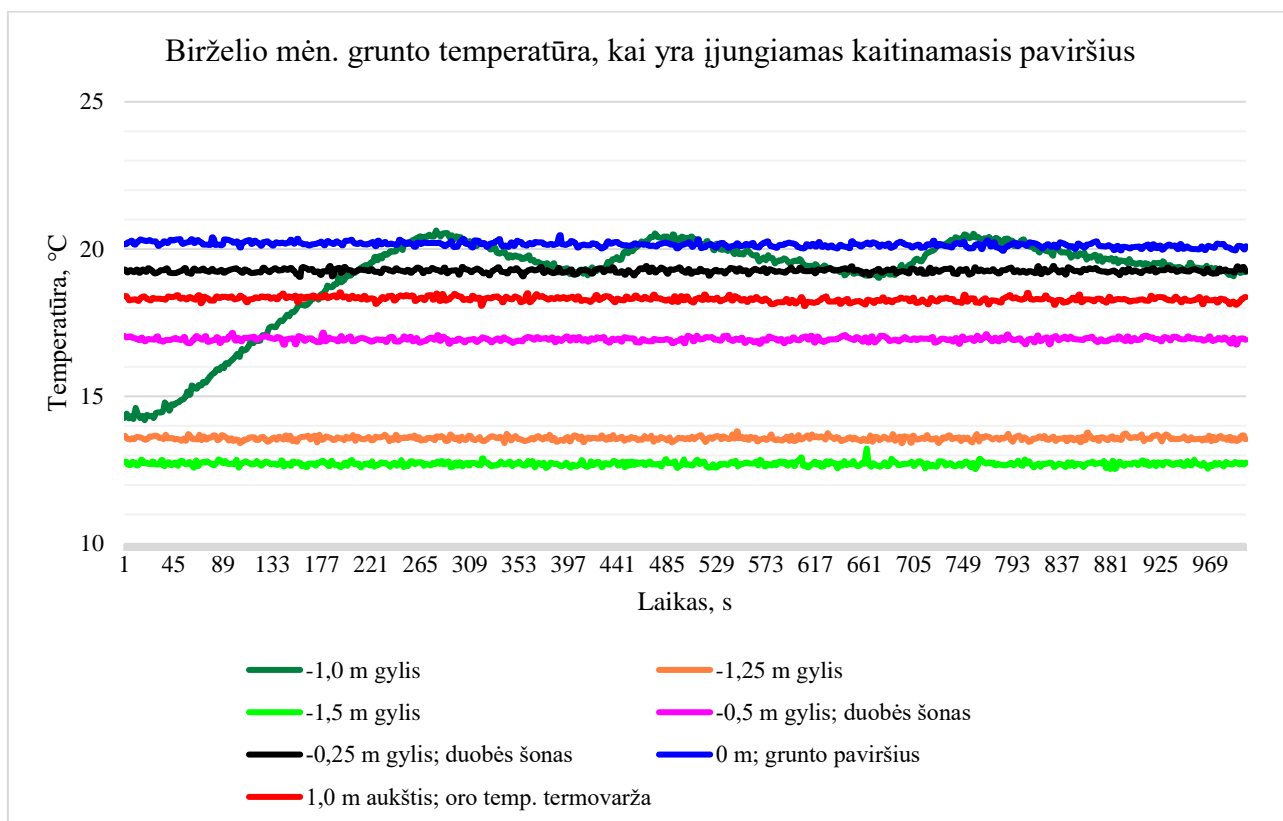


36 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis paviršius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-05-23

3.2.4. Rezultatai birželio mėnesį

Ketvirtojo bandymo pradžia įvyko birželio mėn. 15 d. 19:30 val. Šiuo metu oro temperatūros jutiklis rodė $T_{\text{oro}} = 18,41 \text{ }^\circ\text{C}$, paviršinio grunto – $T_{\text{pav.}} = 20,16 \text{ }^\circ\text{C}$ ir 1 m gylio grunto – $T_1 = 14,27 \text{ }^\circ\text{C}$. Įjungus kaitinamąjį paviršių -1,0 m gylyje gruntas įšyla iki $20 \text{ }^\circ\text{C}$ per $t = 243 \text{ s} = 4:03 \text{ min}$ (žr. 37 pav.).

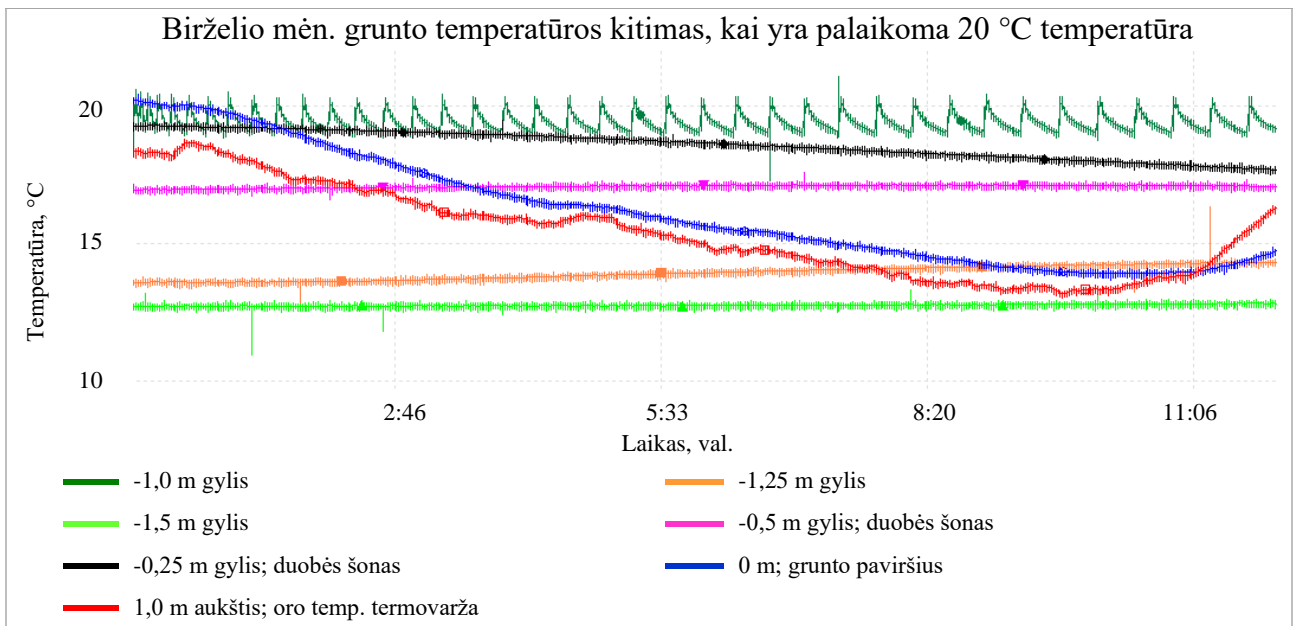
19:30-20:30 laiku atliktos 7 įkrovos, iš kurių pirmoji truko 247 sekundes. Kiti įkrovimai truko po 58-46 s mažėjimo tvarka. Išilus gruntui įkrovimų skaičius sumažėjo iki 2 kartų per valandą. Iš viso grunto šildymo bandymas truko $t = 649560 \text{ s}$, t. y. 7,5 dienas.



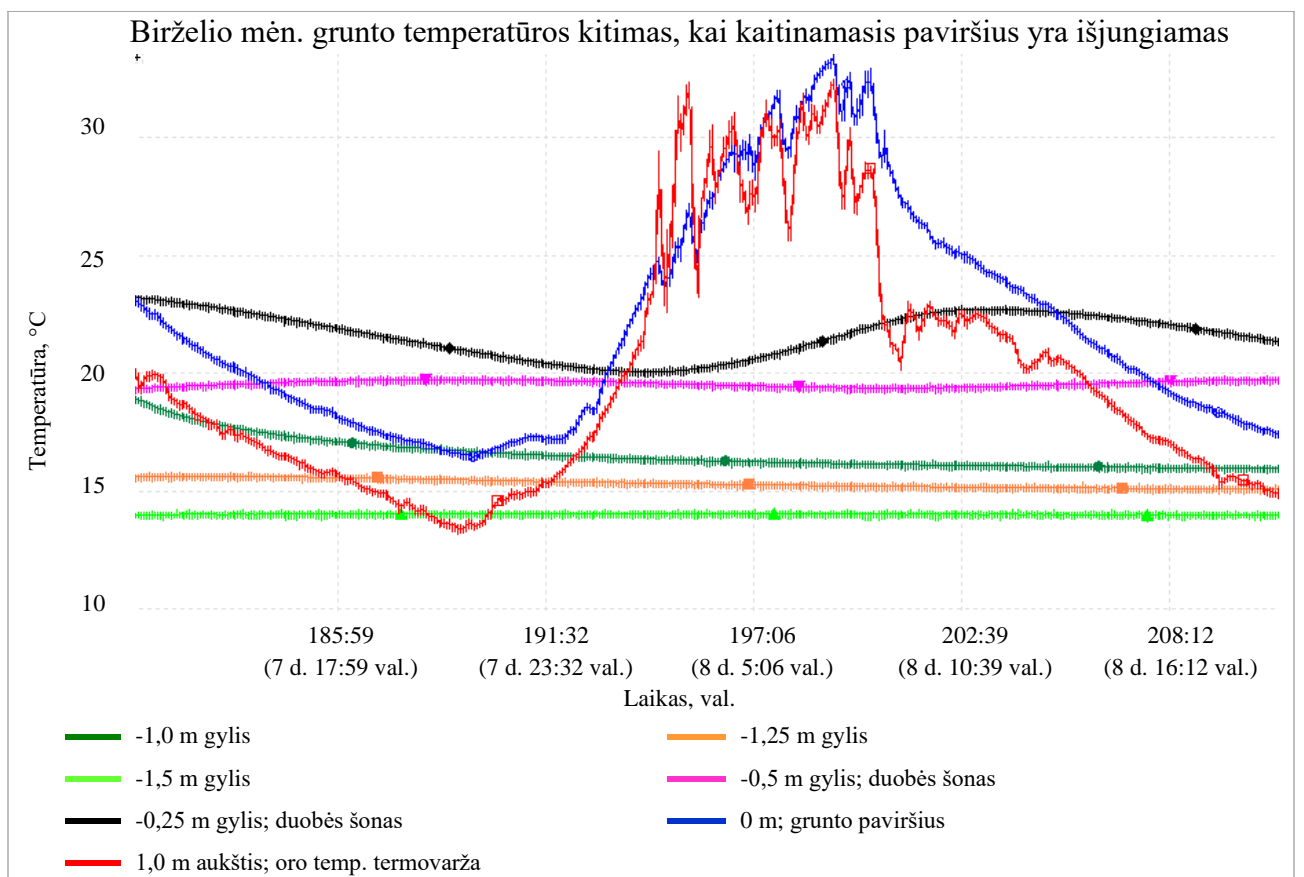
37 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-06-15

Praėjus 2 val. nuo kaitinamojo paviršiaus įjungimo pastebimas nežymus temperatūros kilimas -1,25 m gylyje. Vyraujančios aukštos oro temperatūros birželio mėnesį tiesiogiai darė įtaką -0,25 ir -0,5 m gylio grunto sluoksniuose, todėl jos atitinkamai svyravo priklausomai nuo tuo metu esančios oro temperatūros. Tai galima pastebėti 39 pav.

Viso bandymo metu temperatūros jutikliai -1,25 ir -1,5 m gyliuose, kaip ir gegužės mėn., užfiksavo poros laipsnių pakilimą: $T_{1,25} = 13,66 \text{ }^\circ\text{C}$ pakilo iki $15,56 \text{ }^\circ\text{C}$, o $T_{1,5} = 12,78 \text{ }^\circ\text{C}$ iki $13,95 \text{ }^\circ\text{C}$ (žr. 38 pav.). Po kaitinamojo paviršiaus išjungimo duomenys renkami 7 paras. Po 34 val. gilesniuose grunto sluoksniuose temperatūros nebekinta ir išlieka tokios pačios viso stebėjimo metu: -1,0 m gylyje grunto temperatūra nukrito iki $15,8 \text{ }^\circ\text{C}$, o temperatūros -1,25 ir -1,5 m gyliuose išliko $14,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ir $14,1 \text{ }^\circ\text{C}$ (žr. 39 pav.).



38 pav. Bandyto lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-06-15

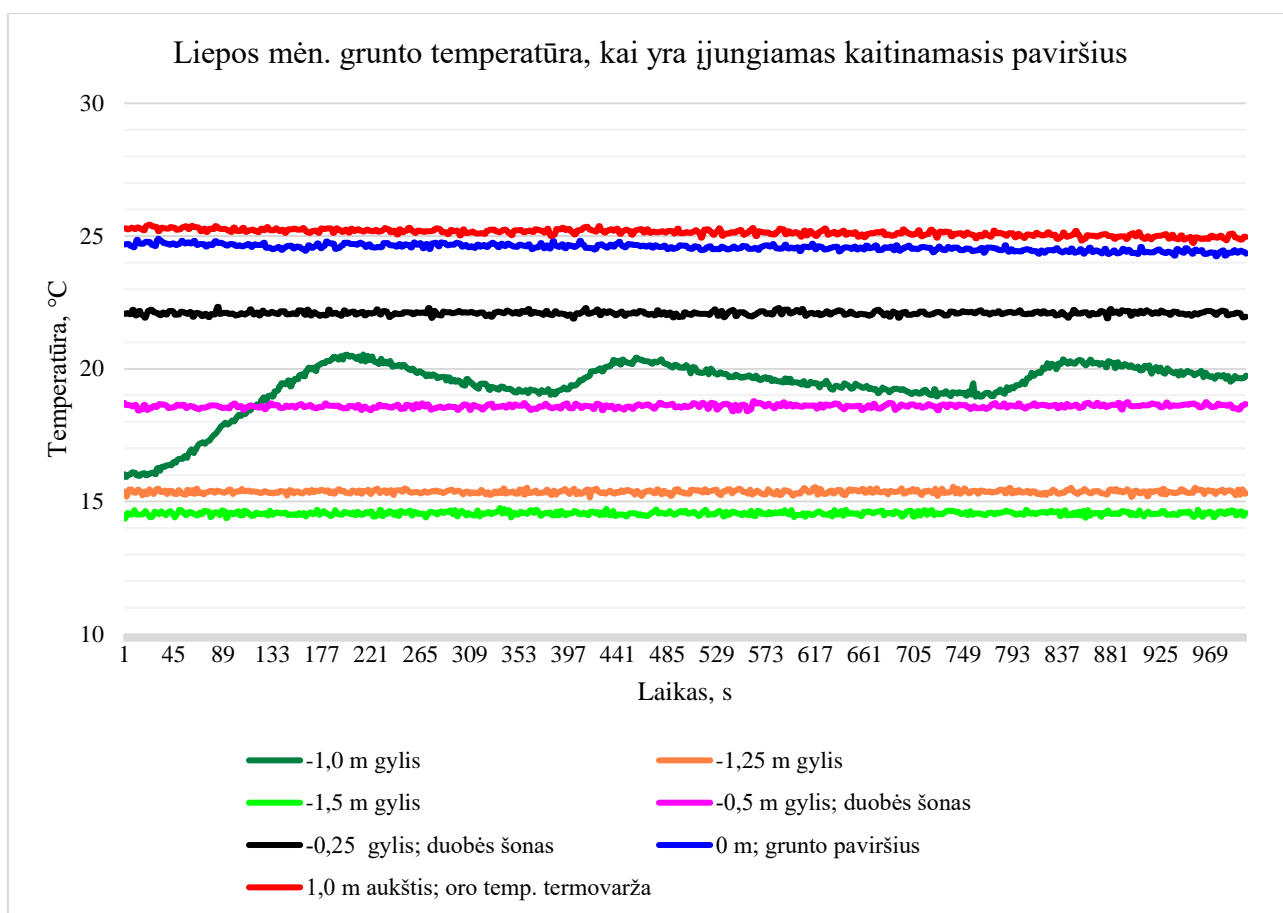


39 pav. Bandyto lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis paviršius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-06-25

3.2.5. Rezultatai liepos mėnesį

Penktasis bandymas prasidėjo liepos mėn. 12 d. 19:31 val. Oro temperatūros jutiklis rodė $T_{\text{oro}} = 25,29\text{ }^{\circ}\text{C}$, paviršinio grunto – $T_{\text{pav.}} = 24,68\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir 1 m gylio grunto – $T_1 = 16,03\text{ }^{\circ}\text{C}$. Įjungus kaitinamąjį paviršių -1,0 m gylyje gruntas įšyla iki $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ per $t = 164\text{ s} = 2:44\text{ min}$ (žr. 40 pav.).

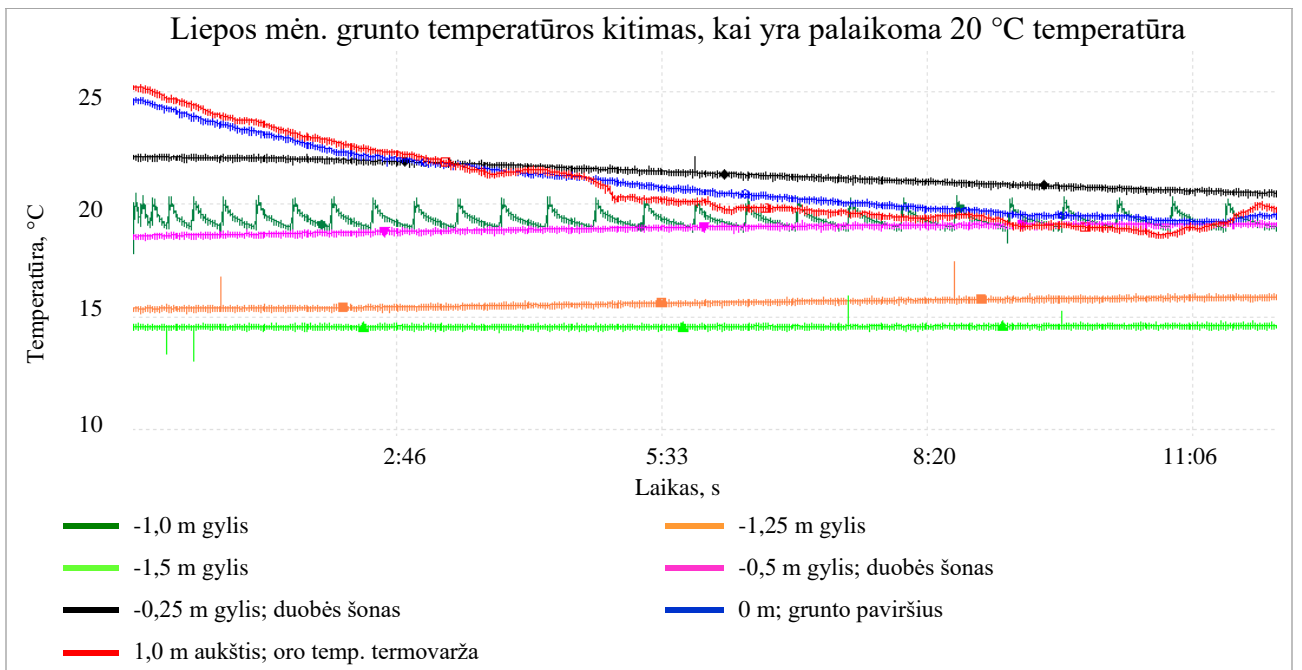
Pirmąją bandymo valandą atliktos 6 įkrovos, pirmoji iš jų truko 162 sekundes. Kiti įkrovimai truko po 51-42 s mažėjimo tvarka. Išilus gruntui įkrovimų skaičius sumažėjo iki 1 karto per valandą. Iš viso grunto šildymo bandymas truko $t = 607988\text{ s}$, t. y. 7 dienas.



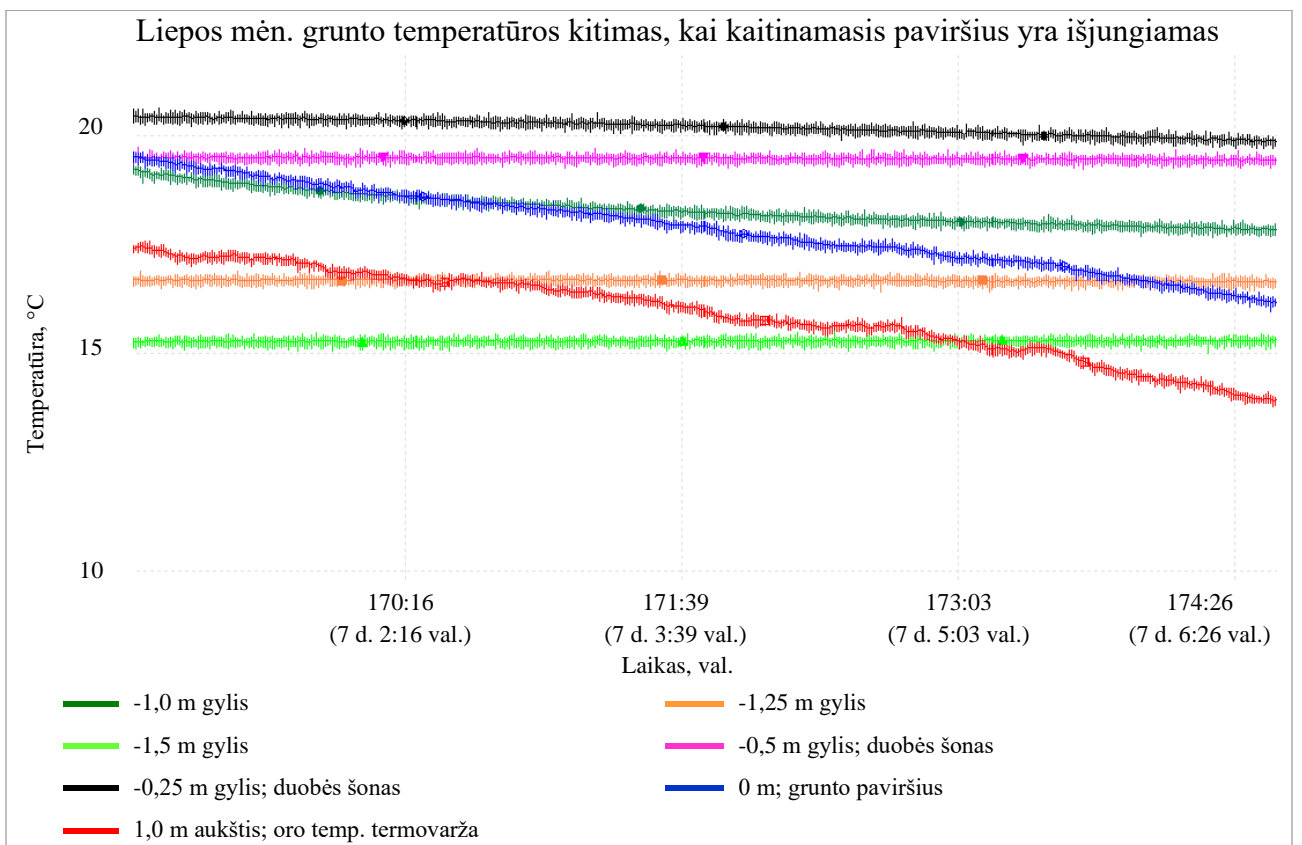
40 pav. Bandymo lauko sąlygomis pradžios diagrama, duomenys surinkti 2023-07-12

Po pusantros valandos nuo bandymo pradžios -1,25 m gylyje pastebimas nežymus temperatūros padidėjimas, kuris toliau tolygiai auga. Vyraujančios aukštos oro temperatūros vasaros mėnesiais tiesiogiai darė įtaką -0,25 ir -0,5 m gylio grunto sluoksniuose, todėl kaitinamojo paviršiaus poveikio nėra pastebima.

Viso bandymo metu temperatūros jutikliai -1,25 ir -1,5 m gyliuose, kaip ir gegužės bei birželio mėn., užfiksavo poros laipsnių pakilimą: $T_{1,25} = 15,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakilo iki $16,67\text{ }^{\circ}\text{C}$, o $T_{1,5} = 14,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $15,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (žr. 41 pav.). Po kaitinamojo paviršiaus išjungimo duomenys stebimi 12,5 parų. Po 49 val. gilesniuose grunto sluoksniuose temperatūros nebekinta: -1,0 m gylyje grunto temperatūra nukrito iki $16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, o temperatūros -1,25 ir -1,5 m gyliuose išliko $15,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $15,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (žr. 42 pav.).



41 pav. Bandyto lauko sąlygomis diagrama, kai yra palaikoma 20 °C temperatūra; duomenų surinkimo data 2023-07-12

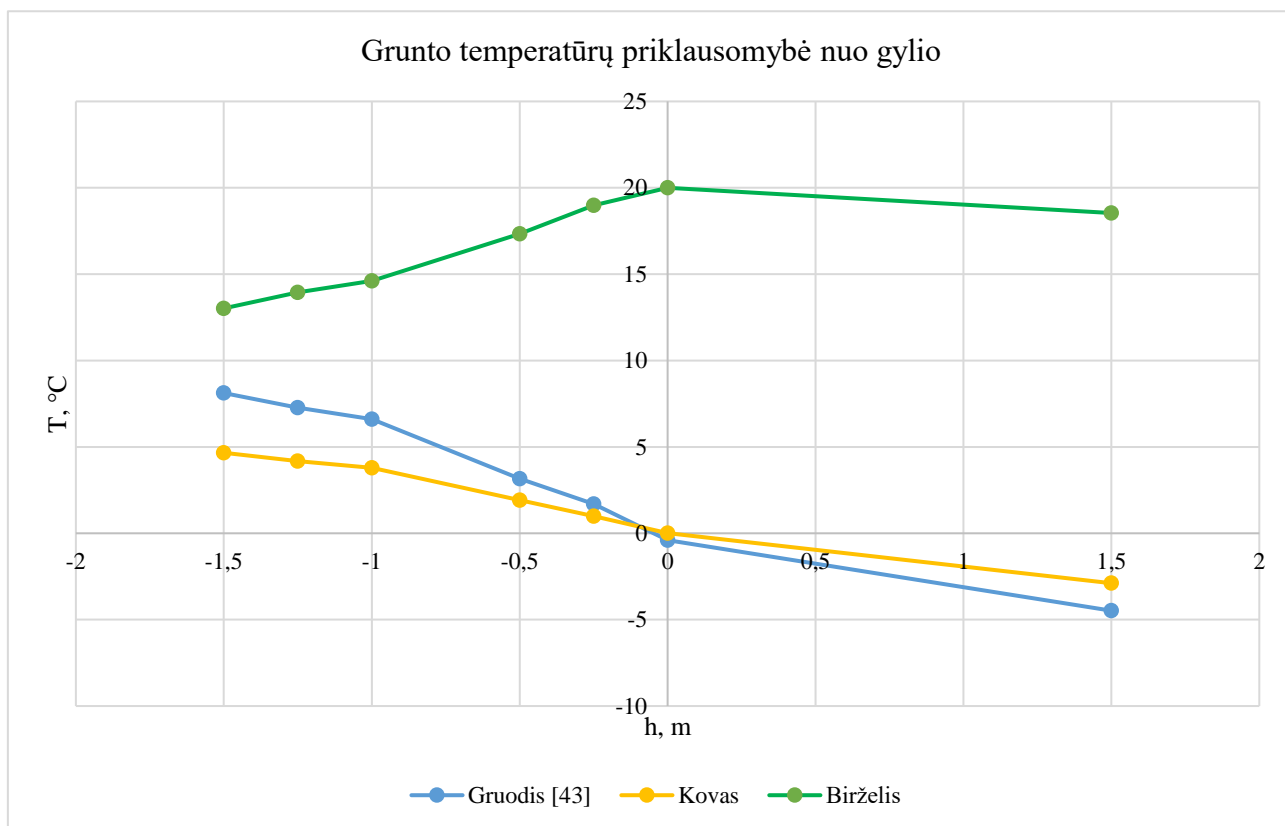


42 pav. Bandyto lauko sąlygomis diagrama, kai kaitinamasis paviršius yra išjungiamas; duomenų surinkimo data 2023-07-19

3.2.6. Rezultatų apibendrinimas

Prieš eksperimento pradžią buvo pamatuojamos esamos grunto temperatūros neįjungus kaitinamojo paviršiaus. Buvo stebima oro temperatūros įtaka gruntui. Grunto temperatūrų priklausomybei nuo

gylis pasirinkti pirmieji žiemos, pavasario ir vasaros sezonų mėnesiai (žr. 43 pav.). Gruodžio mėnesio duomenys imami iš ankstesnių metų magistro baigiamojo darbo [43]. Kadangi tyrimai padaryti aukštesnei temperatūrai, reikiami duomenys yra apskaičiuojami palyginimui. Iš diagramos matoma, kad šaltojo sezono mėnesiais grunto temperatūra yra didesnė negu paviršiaus ar oro temperatūra.



43 pav. Grunto temperatūrų priklausomybė nuo gylio pirmaisiais žiemos, pavasario ir vasaros mėnesiais

Stebint penkių mėnesių temperatūros kitimus įvairiuose grunto sluoksniuose pastebima, kad kaitinamasis paviršius didžiausią įtaką daro -1,0 m gylyje, t. y. prie pat kaitinamojo paviršiaus. Grunto šiluma perduodama ir į -1,25 ir -1,5 m gylius per tam tikrą laiką, priklausant nuo tuo metu esančios pradinės grunto temperatūros. Šaltesnio sezono mėnesiuose pastebimas šilumos perdavimas ir tolimesniuose temperatūros jutikliuose, esančiuose -0,25 ir -0,5 m gyliuose, nutolusiuose per 3 m nuo kaitinamojo paviršiaus. Tačiau šiltesniuose mėnesiuose oro temperatūros įtaka paviršiniams sluoksniams buvo tiesioginė, todėl nebuvo matomas šilumos perdavimas naudojant kaitinamąjį paviršių. Gruodžio mėnesio trūkstami duomenys yra apskaičiuojami interpoliacijos metodu. Visų mėnesių lauko bandymo duomenys yra suvedami į 10 lentelę.

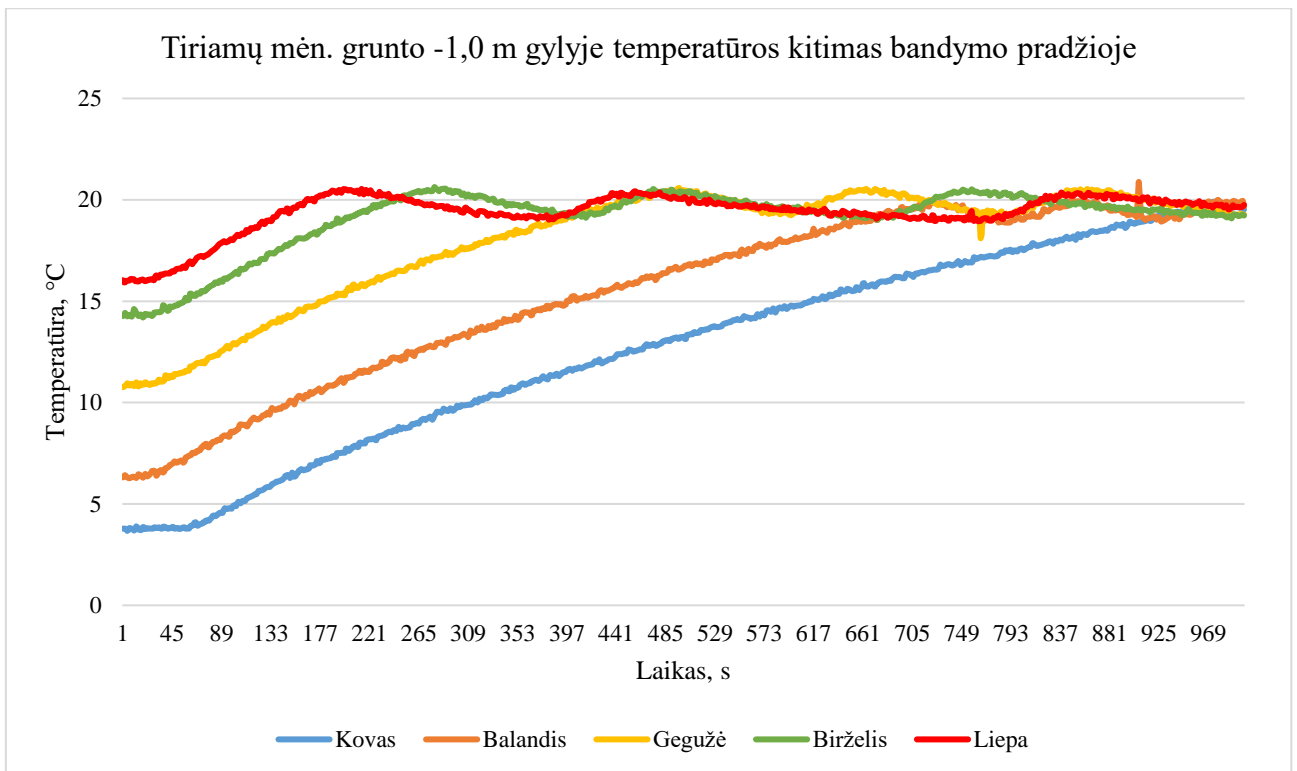
10 lentelė. Lauko bandymų surinktų duomenų suvestinė

Mėnesis		Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Gruodis [43]
Bandymo trukmė	Kaitinamojo pav. įjungimo data	03-10	04-11	05-16	06-15	07-12	2022-12-09
	Kaitinamojo pav. išjungimo data	03-20	04-18	05-23	06-25	07-19	-
Oro temperatūra bandymo pradžioje, °C		-3,05	13,85	14,94	18,41	25,29	-4,48
Vidutinė mėnesio oro temperatūra, °C [44]		2,5	8,1	12,3	17,1	17,6	-2,6
Paviršinio grunto temperatūra bandymo pradžioje, °C		0,06	13,46	15,06	20,16	24,68	-0,4
1,0 m gylio temperatūra bandymo pradžioje, °C		3,79	6,31	10,76	14,27	16,03	6,6
1,25 m gylio temperatūra bandymo pradžioje, °C		4,2	6,22	10,32	13,66	15,37	7,28
1,5 m gylio temperatūra bandymo pradžioje, °C		4,66	6,15	9,6	12,78	14,36	8,12
0,5 m gylio, duobės šone temperatūra bandymo pradžioje, °C		2,04	8,68	13,61	17,05	18,72	3,15
0,25 m gylio, duobės šone temperatūra bandymo pradžioje, °C		0,95	11,33	15,04	19,31	22,07	1,7
Laikas, per kurį pasiekiami 20 °C temperatūra -1,0 m gylyje, s		973	709	453	243	164	692 ¹

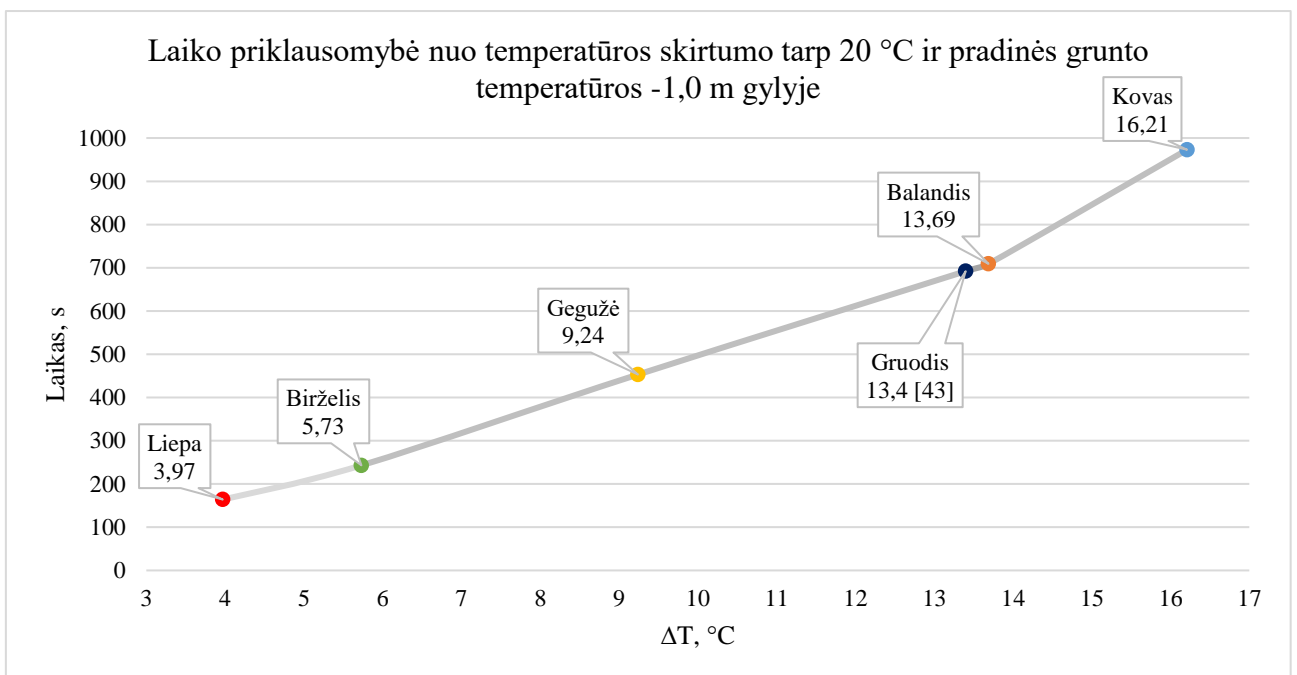
Lėčiausiai gruntas -1,0 m gylyje įkaitinamas iki 20 °C temperatūros kovo mėnesį, o greičiausiai – liepos mėnesį (žr. 44 pav.). Taip yra todėl, kad šilčiausio mėnesio metu ne tik oro, bet ir grunto pradinės temperatūros buvo aukščiausios lyginant su kitais bandymo mėnesiais. Tai reiškia, kad kuo šiltesnis gruntas, tuo mažesnio šilumos kiekio reikia jam sušildyti iki nustatytos temperatūros.

Suvedus duomenis, matoma tiesinės funkcijos laiko priklausomybė nuo temperatūros skirtumo tarp 20 °C ir pradinės grunto temperatūros -1,0 m gylyje (žr. 45 pav.).

¹ Duomenys apskaičiuoti linijinės interpoliacijos metodu.



44 pav. Bandymo lauko sąlygomis diagrama – mėnesių suvestiniai -1 m gylio grunto temperatūros duomenys



45 pav. Laiko priklausomybė nuo temperatūros skirtumo tarp 20 °C ir pradinės grunto temperatūros -1,0 m gylyje

Kiekvieno mėnesio pirmosioms 4 valandoms apskaičiuojamas šilumos srauto tankis (q_{ikr}), naudojant šias formules:

$$P_{\text{ikr}} = \frac{E_{\text{š}}}{t}, W \quad (3)$$

$$q_{\text{ikr}} = \frac{P_{\text{ikr}}}{A}, W/m^2 \quad (4)$$

Apskaičiuoti lauko stendo tyrimo rezultatai vaizduojami 11 lentelėje.

11 lentelė. Apskaičiuoti lauko stendo tyrimų šiluminės įkrovos ir srauto tankio rezultatai

Laiko intervalas	Vidutinis šilumos srauto tankis ($q_{\text{ikr}}, W/m^2$)				
	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa
Pirmoji valanda	769,5	641,2	436,3	525,0	180,1
Antroji valanda	269,7	208,6	125,5	83,1	39,7
Trečioji valanda	222,6	188,1	123,7	83,5	59,3
Ketvirtoji valanda	196,0	168,5	103,1	61,6	40,1
Šiluminės įkrovos galia 4 val. intervale, kW	0,36	0,30	0,20	0,12	0,08

Nusistovėjus grunto temperatūrai apskaičiuojamas vidutinis vienos valandos ir paros šilumos srauto tankis.

12 lentelė. Apskaičiuoti vidutiniai lauko stendo tyrimų šiluminės įkrovos ir srauto tankio rezultatai

Mėnesis	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa
Vidutinis vienos valandos šilumos srauto tankis, W/m^2	128,8	116,7	83,1	40,6	0,01
Vidutinė paros šiluminės įkrovos galia, kW	0,78	0,70	0,50	0,24	0,12

Išvados

1. Grunto šilumos laidumas priklauso nuo įvairių faktorių, įskaitant vandens kiekį, sausąjį tankį, grunto sudėtį ir dalelių dydį. Pastebėta, kad šilumos laidumas yra didesnis drėgname arba vandeniui prisotintame grunte lyginant su sausu gruntu. Grunto temperatūros tyrimai atlikti skirtingose geografinėse vietovėse rodo, kad gilesniuose sluoksniuose grunto temperatūra nusistovi ir yra mažiau paveikiama paviršinių veiksnių. Tai gali turėti svarbią reikšmę šilumos kaupimo sistemų efektyvumui.
2. Sauso smulkios frakcijos žvyro užpildas, kurio tūris $V = 0,125 \text{ m}^3$, pasižymi greitesniu šilumos perdavimu nei sauso smulkios frakcijos žvyro užpildas su akmenimis (akmenys sudarė 19,07 % užpildo tūrio). Užpildą su akmenimis užtruko įkaitinti 87 sekundes ilgiau nei užpildą be akmenų. Tai reiškia, kad užpildo su akmenimis įkraunamos šilumos kiekis E_s yra 2,38% didesnis negu užpildo be akmenų.
3. Nagrinėjant nusistovėjusį šilumos tankį lauko stendo tyrime nuo 20 °C pastovios kaitinamojo pagrindo paviršiaus temperatūros į gruntą buvo nustatyta, kad didžiausio kiekio reikia kovo mėnesį, kai ΔT didžiausias. Balandžio mėnesį kovo mėnesio atžvilgiu jis sudarė 89,7 %, gegužę – 64,1 %, birželį – 30,8 %, liepą – 15,4 %.
4. Atlikus lauko stendo tyrimą pastebima oro temperatūros įtaka grunto temperatūrai priklausomai nuo grunto gylio. Tiesiogiai oro temperatūra ir saulės spinduliuotė veikė 0,25 ir 0,5 m gylio grunto sluoksnius. Gilesniuose grunto sluoksniuose išoriniai veiksniai veikia tik praėjus ilgesniam laiko periodui, t. y. mėnesiui.
5. Grunto gebėjimas kaupti šilumą atveria galimybes naudoti grunto termo-akumulatorius kaip šilumos šaltinį. Šis šilumos kaupimo įrenginys gali būti naudojamas siekiant padidinti šilumos siurblių efektyvumą. Akumuluota šiluma iš grunto gali būti efektyviai panaudojama, kai reikia šildyti pastatą arba pasiekti pageidaujamą temperatūros lygį. Taip pat, grunto termo-akumulatoriaus pritaikymas sumažina įgilintų ir požeminių pastatų išorinių atitvarų šilumos nuostolius į gruntą. Tai sumažina priklausomybę nuo tradicinių energijos šaltinių, prisidedant prie tvarumo principų įgyvendinimo.

Literatūros sąrašas

1. BLANCO-CANQUI, H. and BENJAMIN, J.G. *Quantifying and Modeling Soil Structure Dynamics.* , 2013 [žiūrėta 2023-03-19]. *Impacts of Soil Organic Carbon on Soil Physical Behavior*, p. 11-40. Prieiga per: <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel3.c2> ISBN 9780891189572. DOI: 10.2134/advagricsystmodel3.c2.
2. LOGSDON, S.D. and KARLEN, D.L. Bulk Density as a Soil Quality Indicator during Conversion to no-Tillage. *Soil and Tillage Research.* 2004, **78**(2), 143-149. [žiūrėta 2023-03-19]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704000376>. ISSN 0167-1987. DOI: 10.1016/j.still.2004.02.003.
3. MADDONNI, G.A., URRICARIET, S., GHERSA, C.M. and LAVADO, R.S. Assessing Soil Quality in the Rolling Pampa, using Soil Properties and Maize Characteristics. *Agronomy Journal.* 1999, **91**(2), 280-287. [žiūrėta 2023-03-19]. Prieiga per: <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100020017x>. ISSN 0002-1962. DOI: 10.2134/agronj1999.00021962009100020017x.
4. SKIBA, U. *Encyclopedia of Ecology.* S.E. JØRGENSEN and B.D. FATH eds., Oxford: Academic Press, 2008 *Denitrification*, p. 866-871 ISBN 9780080454054.
5. NORKAEW, S., MILES, R.J., BRANDT, D.K. and ANDERSON, S.H. Effects of 130 Years of Selected Cropping Management Systems on Soil Health Properties for Sanborn Field. *Soil Science Society of America Journal.* 2019, **83**(5), 1479-1490. [žiūrėta 2023-03-19]. Prieiga per: <https://doi.org/10.2136/sssaj2019.03.0086>. ISSN 0361-5995. DOI: 10.2136/sssaj2019.03.0086.
6. NG, W., MALONE, B., MINASNY, B. and JEON, S. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* Elsevier, 2022 *Near and Mid Infrared Soil Spectroscopy* ISBN 9780124095489.
7. UPADHYAY, S. and RAGHUBANSHI, A.S. *Urban Ecology.* P. VERMA, P. SINGH, R. SINGH and A.S. RAGHUBANSHI eds., Elsevier, 2020 [žiūrėta 2023-03-19]. *Chapter 16 - Determinants of Soil Carbon Dynamics in Urban Ecosystems*, p. 299-314. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128207307000161> ISBN 9780128207307. DOI: 10.1016/B978-0-12-820730-7.00016-1.
8. NEMES, A., RAWLS, W.J. and PACHEPSKY, Y.A. Influence of Organic Matter on the Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Science Society of America Journal.* 2005, **69**(4), 1330-1337. [žiūrėta 2023-03-19]. Prieiga per: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0055>. ISSN 0361-5995. DOI: 10.2136/sssaj2004.0055.
9. ABU-HAMDEH, N.H. Thermal Properties of Soils as Affected by Density and Water Content. *Biosystems Engineering.* 2003, **86**(1), 97-102. [žiūrėta 2023-03-23]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511003001120>. ISSN 1537-5110. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00112-0.
10. WIERNEGA, P.J., NIELSEN, D.R. and HAGAN, R.M. Thermal Properties of Soil Based upon Field and Laboratory Measurements. *Soil Science Society of America Proceedings.* 1969, **33**, 354-360. [žiūrėta 2023-03-19].
11. A.P. CHRISTIANSEN, et al. *Soils - Part 2: Physical Properties of Soil and Soil Water.* [žiūrėta 2023-04-21]. Prieiga per: <https://passel2.unl.edu/view/lesson/0cff7943f577>.

12. ZHANG, N. and WANG, Z. Review of Soil Thermal Conductivity and Predictive Models. *International Journal of Thermal Sciences*. 2017, **117**, 172-183. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1290072916315228>. ISSN 1290-0729. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.03.013.
13. NAN, Z., XINBAO, Y., ASHEESH, P. and PUPPALA ANAND, J. Thermal Conductivity of Quartz Sands by Thermo-Time Domain Reflectometry Probe and Model Prediction. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2015, **27**(12), 04015059. Prieiga per: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001332](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001332). DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001332.
14. ROXY, M.S., SUMITHRANAND, V.B. and RENUKA, G. Estimation of Soil Moisture and its Effect on Soil Thermal Characteristics at Astronomical Observatory, Thiruvananthapuram, South Kerala. *Journal of Earth System Science*. 2014, **123**(8), 1793-1807. Prieiga per: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84924117665&doi=10.1007%2fs12040-014-0509-x&partnerID=40&md5=ec86e1006d5b54ab10e23f8f83338407>. DOI: 10.1007/s12040-014-0509-x.
15. ARKHANGELSKAYA, T. and LUKYASHCHENKO, K. Estimating Soil Thermal Diffusivity at Different Water Contents from Easily Available Data on Soil Texture, Bulk Density, and Organic Carbon Content. *Biosystems Engineering*. 2018, **168**, 83-95. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511016305621>. ISSN 1537-5110. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.06.011.
16. SELKER, J. and OR, D. Soil Hydrology and Biophysics. , 2019, DOI: 10.5399/osu/1142.
17. SERAGELDIN, A.A., K.ABDELRAHMAN, A., ALI, P.D.E., Ahmed Hamza H., et al. Soil Temperature Profile for some New Cities in Egypt: Experimental Results and Mathematical Model. , 2015,.
18. RASMUSSEN, L.H., et al. Modelling Present and Future Permafrost Thermal Regimes in Northeast Greenland. *Cold Regions Science and Technology*. 2018, **146**, 199-213. [žiūrēta 2023-03-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X17301805>. ISSN 0165-232X. DOI: 10.1016/j.coldregions.2017.10.011.
19. SHI, L., et al. Optimizing the Thermal Performance of Building Envelopes for Energy Saving in Underground Office Buildings in various Climates of China. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018, **77**, 26-35. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779817309586>. ISSN 0886-7798. DOI: 10.1016/j.tust.2018.03.019.
20. POMIANOWSKI, M., HEISELBERG, P. and ZHANG, Y. Review of Thermal Energy Storage Technologies Based on PCM Application in Buildings. *Energy and Buildings*. 2013, **67**, 56-69. [žiūrēta 2023-03-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813005033>. ISSN 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.08.006.
21. JRADI, M., VEJE, C. and JØRGENSEN, B.N. Performance Analysis of a Soil-Based Thermal Energy Storage System using Solar-Driven Air-Source Heat Pump for Danish Buildings Sector. *Applied Thermal Engineering*. 2017, **114**, 360-373. [žiūrēta 2023-03-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116338595>. ISSN 1359-4311. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.12.005.

22. CABEZA, L.F. *Comprehensive Renewable Energy*. A. SAYIGH ed., Oxford: Elsevier, 2012 3.07 - *Thermal Energy Storage*, p. 211-253 ISBN 9780080878737.
23. ALVA, G., LIN, Y. and FANG, G. An Overview of Thermal Energy Storage Systems. *Energy*. 2018, **144**, 341-378. [žiūrēta 2023-03-21]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421732056X>. ISSN 0360-5442. DOI: 10.1016/j.energy.2017.12.037.
24. GIL, A., et al. State of the Art on High Temperature Thermal Energy Storage for Power Generation. Part 1—Concepts, Materials and Modellization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, **14**(1), 31-55. [žiūrēta 2023-03-21]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001774>. ISSN 1364-0321. DOI: 10.1016/j.rser.2009.07.035.
25. CABEZA, L.F., et al. *Advances in Thermal Energy Storage Systems (Second Edition)*. L.F. CABEZA ed., Woodhead Publishing, 2021 1 - *Introduction to Thermal Energy Storage Systems*, p. 1-33 ISBN 9780128198858.
26. GABRIELSSON, A., BERGDAHL, U. and MORITZ, L. Thermal Energy Storage in Soils at Temperatures Reaching 90°C. *Journal of Solar Energy Engineering*. 2000, **122**(1), 3-8. [žiūrēta 2023-03-20]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1115/1.556272>. ISSN 0199-6231. DOI: 10.1115/1.556272.
27. SLIWA, T., LEŚNIAK, P., SAPIŃSKA-ŚLIWA, A. and ROSEN, M.A. Effective Thermal Conductivity and Borehole Thermal Resistance in Selected Borehole Heat Exchangers for the Same Geology. *Energies*. 2022, **15**(3) [žiūrēta 2023-03-20]. ISSN 1996-1073. DOI: 10.3390/en15031152.
28. CHOI, S. and KRARTI, M. Thermally Optimal Insulation Distribution for Underground Structures. *Energy and Buildings*. 2000, **32**(3), 251-265. [žiūrēta 2023-03-22]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778800000517>. ISSN 0378-7788. DOI: 10.1016/S0378-7788(00)00051-7.
29. VAN DRONKELAAR, C., CÓSTOLA, D., MANGKUTO, R.A. and HENSEN, J.L.M. Heating and Cooling Energy Demand in Underground Buildings: Potential for Saving in various Climates and Functions. *Energy and Buildings*. 2014, **71**, 129-136. [žiūrēta 2023-03-22]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813008104>. ISSN 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.12.004.
30. PAPADA, L., KATSOULAKOS, N. and KALIAMPAKOS, D. Fighting Energy Poverty by Going Underground. *Procedia Engineering*. 2016, **165**, 49-57. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816340954>. ISSN 1877-7058. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.734.
31. CUI, Y., et al. Techno-Economic Assessment of the Horizontal Geothermal Heat Pump Systems: A Comprehensive Review. *Energy Conversion and Management*. 2019, **191**, 208-236. [žiūrēta 2023-03-23]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890419304303>. ISSN 0196-8904. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.04.018.
32. BRYŚ, K., BRYŚ, T., SAYEGH, M.A. and OJRZYŃSKA, H. Subsurface Shallow Depth Soil Layers Thermal Potential for Ground Heat Pumps in Poland. *Energy and Buildings*. 2018, **165**, 64-75. [žiūrēta 2023-03-23]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817338884>. ISSN 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.01.015.

33. YOU, T., LI, X., CAO, S. and YANG, H. Soil Thermal Imbalance of Ground Source Heat Pump Systems with Spiral-Coil Energy Pile Groups Under Seepage Conditions and various Influential Factors. *Energy Conversion and Management*. 2018, **178**, 123-136. [žiūrēta 2023-03-23]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418311270>. ISSN 0196-8904. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.10.027.
34. SAALY, M. and MAGHOUL, P. Thermal Imbalance due to Application of Geothermal Energy Piles and Mitigation Strategies for Sustainable Development in Cold Regions: A Review. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2019, **4**(1), 39. [žiūrēta 2023-03-23]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s41062-019-0224-1>. ISSN 2364-4184. DOI: 10.1007/s41062-019-0224-1.
35. BECKERS, K.F., AGUIRRE, G.A. and TESTER, J.W. Hybrid Ground-Source Heat Pump Systems for Cooling-Dominated Applications: Experimental and Numerical Case-Study of Cooling for Cellular Tower Shelters. *Energy and Buildings*. 2018, **177**, 341-350. [žiūrēta 2023-03-23]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818304444>. ISSN 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.08.005.
36. NARANJO-MENDOZA, C., OYINLOLA, M.A., WRIGHT, A.J. and GREENOUGH, R.M. Experimental Study of a Domestic Solar-Assisted Ground Source Heat Pump with Seasonal Underground Thermal Energy Storage through Shallow Boreholes. *Applied Thermal Engineering*. 2019, **162**, 114218. [žiūrēta 2023-03-23]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431119313031>. ISSN 1359-4311. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114218.
37. BEHAR, O. Solar Thermal Power Plants - A Review of Configurations and Performance Comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018, **92**, 608-627. [žiūrēta 2023-04-18]. Prieiga per: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046832162&doi=10.1016%2fj.rser.2018.04.102&partnerID=40&md5=722b776ed180ad4d1a9c1afa06d3e1de>. DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.102.
38. LIU, G., et al. Effects of Different Sizes and Dispatch Strategies of Thermal Energy Storage on Solar Energy Usage Ability of Solar Thermal Power Plant. *Applied Thermal Engineering*. 2019, **156**, 14-22. [žiūrēta 2023-04-18]. Prieiga per: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85064260468&doi=10.1016%2fj.applthermaleng.2019.04.041&partnerID=40&md5=accf34cd38d6ec2ab7cab14e37390dba>. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.04.041.
39. MUSTAFA OMER, A. Ground-Source Heat Pumps Systems and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008, **12**(2), 344-371. [žiūrēta 2023-04-18]. Prieiga per: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-36749048841&doi=10.1016%2fj.rser.2006.10.003&partnerID=40&md5=2a7ee2586a449d45e75e43ce02bfd53a>. DOI: 10.1016/j.rser.2006.10.003.
40. SONI, S.K., PANDEY, M. and BARTARIA, V.N. Ground Coupled Heat Exchangers: A Review and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, **47**, 83-92. [žiūrēta 2023-04-18]. Prieiga per: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84925308038&doi=10.1016%2fj.rser.2015.03.014&partnerID=40&md5=da3f3fa6dbb6998faed8bbf4125e738c>. DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.014.
41. ABBAS, Z., et al. Performance Analysis of Seasonal Soil Heat Storage System Based on Numerical Simulation and Experimental Investigation. *Renewable Energy*. 2021, **178**, 66-78. [žiūrēta 2023-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121009009>. ISSN 0960-1481. DOI: 10.1016/j.renene.2021.06.034.

42. GIMBUTIS, G., KAJUTIS, K., KRUKONIS, V., et al. Šiluminė Technika. Vilnius: Mokslas, 1993, 333 p.
43. SABALIAUSKAS, S. Termo - akumuliacijos ir šilumos nuostolių į gruntą tyrimas. 2022. [žiūrėta 2023-11-20]
44. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos. *2023 M. Liepos Mėn. Apžvalga.*, 2023 [žiūrėta 2023-10-15]. Prieiga per: <http://www.meteo.lt/2023-liepa>.

Priedai

1 priedas. „SMART BUILT ENVIROMENT“ konferencijos dalyvavimo sertifikatas



faculty of civil
engineering and
architecture



CERTIFICATE

Aistė Mickūnaitė

Has participated in Student scientific conference
„SMART BUILT ENVIRONMENT“
on 24 November 2023

Delivered the presentation:
Research of Heat Exchange in Soil Thermo-accumulators

Dean of the Faculty of Civil
Engineering and Architecture

Prof. Dr. Andrius Jurelionis

STUDENT SCIENTIFIC CONFERENCE