



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS
HIDROGEOLOGIJOS IR INŽINERINĖS GEOLOGIJOS KATEDRA**

Gintarė Kačiušytė

Hidrogeologija ir inžinerinė geologija
Magistro baigiamasis darbas

**ŠILUMINIAM LAIDUMUI GRUNTE ĮTAKOS TURINTYS
VEIKSNIAI SEKLIOSIOSE GEOTERMINĖSE SISTEMOSE,
VILNIAUS MIESTE**

Darbo vadovas (-ė)
prof. dr. Vardas Pavardė

(leidimas ginti, data, parašas)

Darbo įteikimo data _____
Registracijos Nr. _____

Vilnius, 2020



VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES
DEPARTMENT OF HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

Gintarė Kačiušytė

Hydrogeology and Engineering Geology
Master thesis

**FACTORS INFLUENCING THERMAL CONDUCTIVITY OF
GROUND IN SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS IN VILNIUS**

Scientific adviser
prof. dr. Jurga Arustienė

(permission to defend, date, signature)

Date of submission _____

Registration No. _____

Vilnius 2020

Turinys

Įvadas	5
1. GEOTERMINĖ ENERGIJA IR JOS NAUDOJIMAS	7
1.1 Geoterminė energija	7
1.2 Geoterminės energijos klasifikavimas.....	8
1.3 Seklioji geoterminė energija ir jos panaudojimas	9
1.4 Vertikalūs grunto šilumos kolektoriai	11
1.5 Lietuvos geoterminis laukas.....	13
2. ŠILUMINIAI GRUNTO PARAMETRAI IR JŲ NUSTATYMAS	17
2.1 Šilumos mainai grunte.....	17
2.1.1. Šiluminio laidumo koeficientas.....	18
2.2. Šilumos mainai kolektoriuje.....	19
2.3 Šilumos atsako testas TRT	19
2.2 TRT testų vertinimo teorija	23
3. VILNIAUS MIESTO ŠILUMINIŲ GRUNTO PARAMETRŲ VERTINIMAS.....	26
3.1 Vilniaus miesto geologinės ir geomorfologinės sąlygos	26
3.2 Vilniaus miesto geoterminių sąvybių ištirtumas, duomenų šaltiniai	29
3.3 TRT testų rezultatų apdorojimas	29
4. VILNIAUS MIESTO ŠILUMINĖS GRUNTO SAVYBĖS IR SEKLIOSIOS GEOTERMIJOS ENERGIJOS NAUDOJIMO POTENCIALAS.....	33
4.3 Šiluminių parametru priklausomybės.....	35
4.3 Saugus sekliosios geoterminės energijos naudojimas	41
4.3. Sekliosios geoterminės energijos naudojimo potencialas ir rekomendacijos.....	43
IŠVADOS	44
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	45
SANTRAUKA	48
SUMMARY	49
PRIEDAI	50
1Priedas.....	51

Įvadas

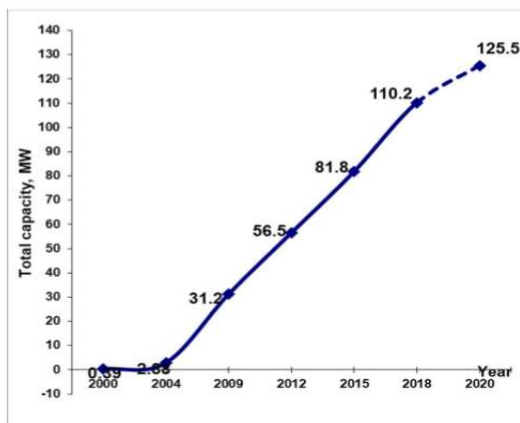
Atsinaujanti energija – energija, kurios atsiradimą ir atsinaujinimą sąlygoja gamtiniai procesai ir reiškiniai. Atsinaujinantieji energijos ištekliai (vėjas, saulė, hidroelektra, vandenynų energija, geoterminė energija, biomasė ir biokuras) yra alternatyva iškastiniam kurui, kuri padeda mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, įvairinti energijos tiekimą ir mažinti priklausomybę nuo nepatikimos ir nestabilios iškastinio kuro rinkos (ypač naftos ir dujų). Taip alternatyvūs energijos šaltiniai yra pristatomi Europos parlamento puslapyje (Ciucci, 2020, EU parlamentas).

Pastaraisiais metais priimta daug ES teisės aktų, kuriais skatinama naudoti atsinaujinančiuosius energijos išteklius. 2009 m. ES vadovai nustatė tikslą ne vėliau kaip 2020 m. užtikrinti, kad 20 proc. ES suvartojamos energijos būtų gaunama iš atsinaujinančiųjų energijos išteklių. 2018 m. sutarta siekti tikslo iki 2030 m. užtikrinti, kad 32 proc. ES suvartojamos energijos būtų gaunama iš atsinaujinančiųjų energijos išteklių. Šiuo metu vyksta diskusijos dėl būsimos politikos programos laikotarpiui po 2030 m. (Ciucci, 2020, EU parlamentas).

Lietuva taip pat parengė Nacionalinio energetikos ir klimato srities (NEKS) veiksmų 2021-2030 m. planą, kuriuo sieks iki 2030 m. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas 9 proc., palyginti su 2005 m., energijos vartojimo intensyvumą – bent 1,5 karto, palyginti su 2017 m., ir padidinti atsinaujinančių energijos išteklių dalį visoje energetikoje net iki 45 proc. (LR aplinkos ministerija, 2019).

Taigi, augant sąmoningumui apie klimato atšilimą ir kitas aplinkosaugines problemas susijusias su iškastinio kuro naudojimui, susidomėjimas atsinaujinančiais energijos šaltiniais, kaip alternatyva, didėja. Viena iš labiausiai augančių sričių – geoterminis šildymas.

Geoterminė - žemės gelmių energija, plačiai naudojama visame pasaulyje. Švedija šiuo metu yra dominuojanti valstybė Europos sąjungoje vertinant pagal geoterminės energijos naudojimą. Lietuva yra ne išimtis. 2019 m. Europos geoterminės energijos kongrese, pristatytame pranešime (Šliaupa ir kt., 2019) pateikti duomenys ir apie bendrą instaliuotą galią Lietuvoje iš geoterminių gręžinių sistemų ir prognozes (1 pav.), kurios atspindi sparčią šios srities plėtrą šalyje.



1 pav. Bendra įrengtų geoterminių gręžinių sistemų galia 2000-2018 m. ir 2020 m. prognozė (Šliaupa ir kt., 2019).

Lietuvoje, LGT duomenimis, per metus naujai įrengiama apie 600 geoterminių sistemų. Įrengiant geoterminio šildymo sistemą būtina teisingai įvertinti jos eksploatavimo režimus, siekiant užtikrinti stabilų jos darbą ir nepažeisti geologinės aplinkos. Tam naudojamas in situ TRT – terminės/šilumos atsako testas, kurio metu gauti duomenys, pasitarnauja projektuojant efektyvias ir aplinkai draugiškas geotermines sistemas. Šiuo darbu siekiama įvertinti kokie veiksniai ir faktoriai labiausiai įtakoja grunto šiluminį laidumą ir apibendrinti Vilniaus miesto geoterminį potencialą analizuojant TRT testų duomenis.

Darbo aktualumas

Vilniaus miesto savivaldybė siekdama prisidėti prie Lietuvos Respublikos tikslo didinti atsinaujinančių energijos šaltinių vartojimą sudarė Atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) planą, kurio tikslas pasiekti, kad 2020 m. AIE dalis bendrajame galutinės energijos balanse sudarytų 36,1 proc. Sekliųjų geoterminių gręžinių įrengimas yra viena iš sparčiai augančių atsinaujinančios energetikos sričių, tačiau atliktų tyrimų siekiant iširti jos potencialą beveik nėra. Labiausiai šia sritimi domisi privačios verslo įmonės, tačiau prie privačiai atliktų tyrimų, turinčių svarbios praktinės reikšmės, prieiga gana sudėtinga. Duomenys, kurie yra kaupiami ataskaitų forma, Lietuvos geologijos tarnyboje, yra pavieniai ir neapibendrinti. Mokslinių publikacijų kalbant apie sekliąją geotermiją šalies mastu taip pat labai nedaug. Šis magistro baigiamasis darbas galėtų būti vienas iš kelių pradinių, jau žengtų, žingsnių šios srities populiarinimui iš geologinės visuomenės pusės.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Tikslas: Įvertinti TRT testuose pateiktų šiluminio laidumo verčių sekliosiose geoterminėse sistemose pasiskirstymą Vilniaus miesto teritorijoje ir jas formuojančius veiksnius.

Uždaviniai:

- 1) Atlikti mokslinės literatūros, susijusios su sekliąja geotermija ir TRT testo atlikimo principais apžvalgą ir analizę;
- 2) Naudojant atliktų TRT testų duomenis įvertinti šilumos laidumo pasiskirstymą ir jo priklausomybes nuo išorinių ir vidinių veiksnių;
- 3) Įvertinti Vilniaus miesto geoterminį potencialą ir jo pasiskirstymą Vilniaus mieste;
- 4) Išskirti teritorijas, kuriose geoterminių gręžinių sistemų įrengimas galėtų turėti neigiamos įtakos požeminiam vandeniui ir pateikti rekomendacijas.

Naudoti šaltiniai

Lietuvos geologijos tarnybos fondo TRT testų bei požeminio vandens gręžinių duomenys, šilumos siurblių tiekėjo UAB „Tenko Baltic“ privačių tyrimų duomenys.

Darbo struktūra

Magistro baigiamąjį darbą sudarytas iš įvado, 4 skyrių, išvadų, literatūros šaltinių bei grafinių priedų.

Padėka

Nuoširdus ačiū už pagalbą ir motyvaciją magistrinio darbo metu skiriamas darbo vadovei Jurgai Arustienei.

1. GEOTERMINĖ ENERGIJA IR JOS NAUDOJIMAS

1.1 Geoterminė energija

Geoterminė energija (lot. geo „žemė“+ therme „šiluma“) – gilesniųjų žemės sluoksnių (įskaitant ir karštus požeminio vandens telkinius) šiluminė energija. Tai yra natūrali Žemės gelmių šiluma.

Šią energiją generuoja Žemės vidutiniuose sluoksniuose vykstantys branduoliniai ir gravitaciniai procesai. Žemės paviršiaus link ši energija sklinda kondukcijos ir konvekcijos būdu arba dėl skystos magmos, kylančios iš giliųjų sluoksnių, intruzijos į Žemės plutą. Didžiausi geoterminės energijos išteklių yra giliai po žeme be matomų požymių žemės paviršiuje, tačiau kai kuriose Žemės vietose ši energija prasiveržia į paviršių ugnikalnių, geizerių ar karštųjų srovių pavidalu. Dėl technologinių apribojimų ne visur šie išteklių gali būti panaudoti energijos gamybai (Pūtys, 2012).

Geoterminės energijos šaltinis yra Žemės gelmėse nuolat atsinaujinanti radioaktyviųjų elementų (urano, radžio, torio ir kt.) skilimo energija bei mantijos šiluma iš vidaus ir saulės energija iš viršaus (LR, 2011).

Žemės gelmės, vertikaliame pjūvyje, turi temperatūrinį zoniškumą. Tai lemia išoriniai ir vidiniai veiksniai, kurie skirstomi į endogeninius ir egzogeninius. Žemės gelmių egzogeninė zona, kurioje jaučiamas atmosferos klimato ir jo sezoniškumo poveikis, vadinama kaičių temperatūrų zona. Giliau šios zonos slūgso pastovių temperatūrų zona, kur temperatūra per metus yra santykinai pastovi ir gilėjant didėja pagal geoterminį gradientą.

Ši atsinaujinančios energijos rūšis turi daug privalumų: nepriklauso nuo sezoniškumo, palyginti nesudėtingas išgavimas, neturi įtakos kraštovaizdžiui, yra neišsenkanti ir ekologiška. Gelmių šilumą galima panaudoti įvairiais būdais: šildymui, elektros energijos gamybai, balneologijoje, kelių, lėktuvų nusileidimo takų sniego tirpinimui ir pan. Taip pat labai svarbu, kad geoterminė energija gali įsisavinti tiek individualus vartotojas, tiek ir stambios įmonės, tuo suteikiant lankstumo rinkoje (Šliaupa S., 2008).

Gilioji geoterminė energija naudojama jau senokai – pirmoji eksperimentinė geoterminė cirkuliacinė sistema buvo įrengta dar 1963 m Paryžiuje, kurios galia 1985 m. jau siekė 450 MW. (Pūtys, 2017). Tuo tarpu sekliosios geoterminės energijos įsisavinimas prasidėjo 20-ojo amžiaus viduryje, atsiradus šilumos siurbliams kurie įgalina pasisavinti energiją iš žemos temperatūros (< 40°C) uolienu ar vandens.

2019 metų IRENA (angl. International Renewable Energy Agency) duomenimis pasaulyje bendras instaliuotas galingumas iš geoterminių jėgainių ir sistemų siekia 13 329 MW. Pirmaujančios šalys panaudojime yra JAV, Filipinai, Indonezija, Turkija. Šiuo metu yra saugiau nei 70 šalių kuriuos išgauna ir naudoja geoterminę energiją pasaulyje, iš jų 26 naudojančios ją elektros energijos išgavimui.

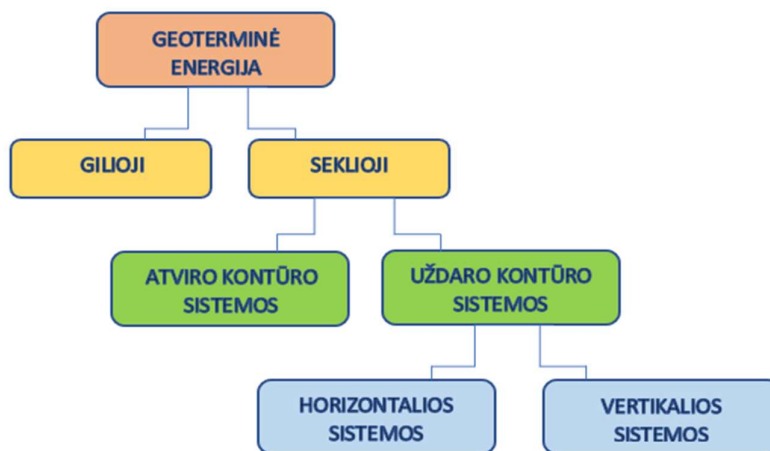
Lietuvoje geoterminių išteklių naudojimas taip pat nebėra naujovė. Nuo 2004 m. iki 2017 m. Klaipėdos mieste veikė pavyzdinė geoterminė jėgainė (UAB „Geoterma“), tiekianti šiltą vandenį

Klaipėdos šiluminiams tinklams. Sekliosios geotermijos sritis taip pat spačiai populiarėja ir tiek privatūs namų ūkiai tiek įmonės vis dažniau renkasi aplinkai draugišką ir patogų sprendimą.

1.2 Geoterminės energijos klasifikavimas

Geoterminė energija gali būti klasifikuojama pagal įvairius kriterijus: temperatūros, gylio žemės gelmėse, ištirtumo laipsnio, panaudojimo paskirties ir kt. Apibendrintas ir dažniausiai taikomas klasifikavimas atvaizduotas 1.1 pav.

Klasifikuojant pagal gylį, kur aptinkama geoterminė energija, naudojamos sąvokos: gilioji ir seklioji. Riba tarp sekliosios ir giliosios geotermijos sričių nėra griežtai apibrėžta: įvairūs autoriai nurodo skirtingas ribas. Lietuvos sąlygomis ši riba išryškėja pagal eksploatacijai naudojamus sluoksnius. Giliosios geotermijos sritis prasideda aukštesnės temperatūros devono vandeningaisiais sluoksniais, slūgsančiais kelių šimtų metrų gylyje, ir driekiasi gilyn. Seklioji (žemos temperatūros) energija išgaunama maždaug iki 150 metrų gylio (www.lgt.lt).



1.1 pav. Geoterminės energijos klasifikavimas (Meho, 2013).

Geoterminė energija taip pat dažnai klasifikuojama pagal panaudojimo sritį, temperatūrą bei prieinamumą ir įsisavinimo pobūdį (1.1 lentelė).

1.1 lentelė sekliųjų išteklių klasifikavimas

Pagal panaudojimo sritį	Pagal temperatūrą	Pagal prieinamumą ir įsisavinimo pobūdį
<ul style="list-style-type: none"> • elektros energijai gaminti; • tiesiogiai šildyti; • šildymui naudojant šilumos siurblius; 	<ul style="list-style-type: none"> • aukštos temperatūros (150 °C); • vidutinės temperatūros (100–150 °C); • žemos temperatūros (30–100 °C). 15 <p>(Goosen ir kt., 2010)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • žemės (gruntų) energiją (seklieji geoterminiai ištekliai); • artezinių vandeningųjų sluoksnių hidrogeoterminę energiją (hidrogeoterminiai ištekliai); • karštų sausų uolienų (petrogeoterminę) energiją • magmoje akumuliuotą energiją (Giedraitienė ir Pūtys, 2012)

Sekliosios geotermijos sritis pagal naudojamas technologijas klasifikuojama į dvių pobūdžių sistemas (1.2 pav.):

- Atviro kontūro sistemos – naudojamas požeminis vanduo arba paviršiniai vandens telkiniai;
- Uždaro kontūro sistemos – naudojami skirtingi grunto šilumos kolektoriai;

Plačiau sekliosios geoterminės sistemos bus aptariamoms kitame skyriuje.

1.3 Seklioji geoterminė energija ir jos panaudojimas

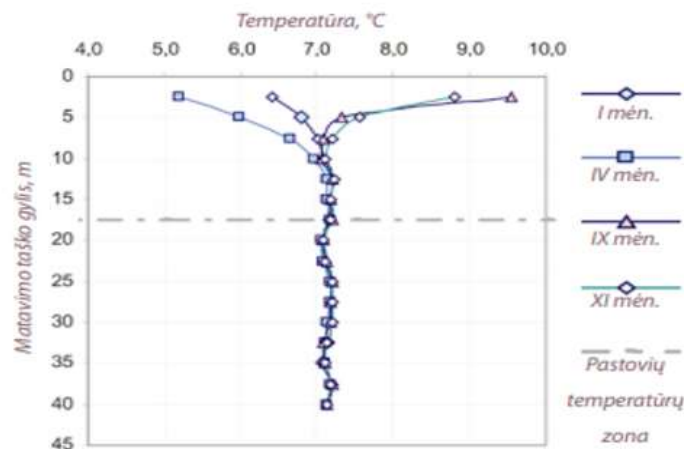
Seklioji geoterminė energija tai, šiluminė energija, kuri paimama iš negiliai nuo paviršiaus slūgsančio grunto ir vandeningų sluoksnių. Seklioji geotermija apima skirtingas ribas įvairiose pasaulio šalyse. Pavyzdžiui, Slovėnijoje ir Austrijoje seklią geoterminę energiją laikoma žemės gelmių energija išgaunama iš gręžinių, kurių gylis siekia ne daugiau nei 300 m, Vokietijoje – 400 m, Šveicarijoje – 500 m. Lietuva ne išimtis, aiškiai apibrėžimo kur yra sekliosios ir giliosios geotermijos ribos nėra, tačiau LGT vertina jog „seklieji (žemos temperatūros) energija išgaunama maždaug iki 150 metrų gylio“. Sekliaisiais geoterminiais ištekliais laikoma podirvinė geoterminės energijos dalis, kurią galima teisėtai ir ekonomiškai išgauti iš natūralaus arba įšildyto grunto bei negiliai slūgsančio subspūdinio vandens (Čyžienė, 2012).

Sekliesiems geoterminiams ištekliams įtakos turi keli reiškiniai ir faktoriai:

- Atmosferiniai krituliai;
- Saulės radiacija;
- Šilumos pernešimas kartu su požeminiu vandeniu;
- Šilumos kiekis, kurį vertikaliai šilumokaičiui perduoda grunto masyvas.

Sekliuosius išteklius formuoja kietųjų uolienuų ir jose esančių požeminio vandens suminė šiluminė energija, kuri tiek kondukcijos, tiek ir advekcijos būdu perduodama geoterminės sistemos kontūro šilumnešiui ir po to – šilumos siurbliui. Seklių geoterminių sistemų pagrindą sudaro žemų - vidutinių temperatūrų naudojimas šildymui ir vėsinimui. Šios temperatūros natūraliai aptinkamos viršutiniuose geologiniuose sluoksniuose. Šilumą galima akumuliuoti iš visų gruntų, tačiau jos kiekis skiriasi ir priklauso nuo grunto savybių. Didžiausias galimos išgauti energijos kiekis aptinkamas vandens prisotiname grunte, mažiausias – sausame grunte. Šis kiekis matuojamas specifine ištraukiamąja galia arba kitaip vadinamu šilumos energijos srautu q_E . Šilumos energijos srautas išreiškiamas W/m^2 (Žemės gelmėms) arba W/m (geoterminio šilumokačio ilgio vienetui).

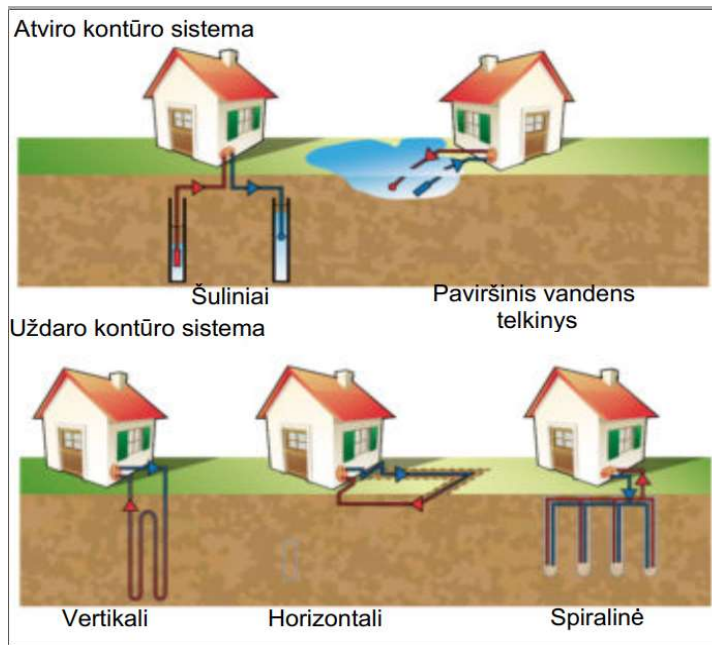
Seklieji geoterminiai ištekuliai skirstomi į pastoviųjų temperatūros zonos išteklius (50-150 m gylyje) ir kaičiųjų temperatūrų zonos (1,2-20 m) išteklius. Lietuvos geologijos tarnybos (toliau LGT) duomenimi nustatyta, kad metinių temperatūros svyravimų zonos gylis šalyje svyruoja nuo 17,5 iki 30,0 m. Pasiekus 17,5 m ir giliau temperatūra stabilizuojasi ir išlieka $7\text{ }^\circ\text{C}$. (Giedraitienė ir Pūtys, 2016) (1.2 pav).



1.2 pav. Temperatūros kaita vertikaliame pjūvyje Lietuvoje (Giedraitienė ir Pūtys, 2016).

Pagrindiniai du šios energijos panaudojimo būdai, kuriuos išskiria Sanner: (Sanner, 2001)

- Požeminėms šiluminės energijos saugykloms;
- Grunto šilumos kolektorių sistemoms (uždaro ir atviro kontūro (1.3 pav));



1.3 pav. Atviro ir uždaro kontūro sistemos (<https://iwae.com>)

Pasirenktant tinkamą grunto šilumos kolektorių sistemą turi būti atsižvelgiama į keletą faktorių:

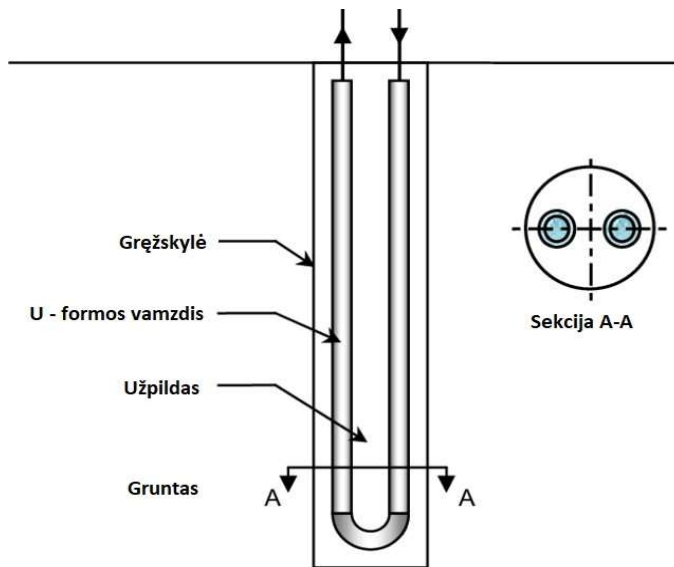
geologines ir hidrogeologines sąlygas, sklypo plotą (ypač svarbu horizontalioms sistemoms), pastato energetinius poreikius (Sanner, 2001).

Dabartinį sekliosios geoterminės energijos populiarumą lemia prieinamumas, vis tobulėjančios šilumos siurblių technologijos, nesudėtinga sistemos priežiūra ir ekologiškumo faktoriai.

1.4 Vertikalūs grunto šilumos kolektoriai

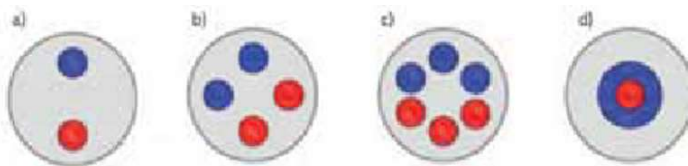
Vertikalūs grunto šilumos kolektoriai, juose cirkuliuojančio šilumnešio pagalba, pasiima šiluminę energiją iš vandeningų sluoksnių bei grunto ir yra tiesiogiai sujungti su geoterminiu šilumos siurbliu pastate. Vertikalūs grunto šilumos kolektoriai yra vieni dažniausiai naudojamų geoterminėse gręžinių sistemose. Dažniausia to priežastis – vietos sklype taupymas. Vertikalių geoterminių gręžinių eksploatacijai reikalinga palyginus nedidelė erdvė: gręžinio apsaugos zona apima nedidelę 1 m spindulio juostą aplink gręžinį, taip likęs sklype plotas gali būti išnaudotas kitoms reikalingoms horizontalioms komunikacijoms ar statiniams įrengti.

Kolektorius susideda iš 2-jų vertikalių 40 mm skersmens plastikinių vamzdžių ir pagrindo, kurie gamykliškai sujungti sudaro kilpos formą – U tipą (pav. 1.4). Šie šilumokaičiai talpinami į gręžinį, kurio skersmuo 161 mm. Taip pat yra naudojami ir keturgubi (dvigubo U-tipo) kolektoriai, kurių efektyvumas vertinamas 17 %-3% didesnis nei viengubo.



1.4 pav. Vertikalaus viengubo U-formos kolektoriaus schema (Sharqawy ir kt., 2009).

Kolektorius susideda iš 2-jų vertikalių 40 mm skersmens plastikinių vamzdžių ir pagrindo, kurie gamykliškai sujungti sudaro kilpos formą. Šie šilumokaičiai talpinami į gręžinį, kurio skersmuo 161 mm. (patikslinti). Taip pat yra naudojami ir keturgubi (dvigubo U-tipo) kolektoriai, kurių efektyvumas vertinamas 17 %-37 % didesnis nei viengubų. (Valantinavičius, 2011).



1.5 pav. Galimas vamzdžių išdėstymas gręžskylėje a) viengubas b) dvigubas c) trigubas d) paprastas vienašis (Meho, 2013).

Gręžskylė užpildoma specialiu užpildu, taip įtvirtinant kolektorius gręžinyje. Plačiausiai naudojamas bentonito - molio užpildas, kuris pasižymi geromis šiluminėmis savybėmis, tačiau gana dažnai yra cementuojamas, siekiant suteikti tvirtumo ir apsaugoti nuo išplovimo, ir taip praranda dalį šiluminio laidumo. Dažnas pasirinkimas dėl pigiausios kainos yra žvirgždo užpildas, nors ir pasižymi prasčiausiomis šiluminėmis savybėmis.

Svarbu užtikrinti vandeningų sluoksnių izoliavimą ir apsaugą nuo požemino vandens pertekėjimo iš vieno vandeningo sluoksnio į kitą ir gerus šiluminės energijos mainus tarp žemės gelmių ir šilumokaičiu cirkuliuojančio šilumnešio (LR, 2015). Dažniausiai naudojami šilumnešiai kolektoriuje yra: vandens ir propilengliukolio 30% ir etilengliukolio ir vandens mišinys 30%.

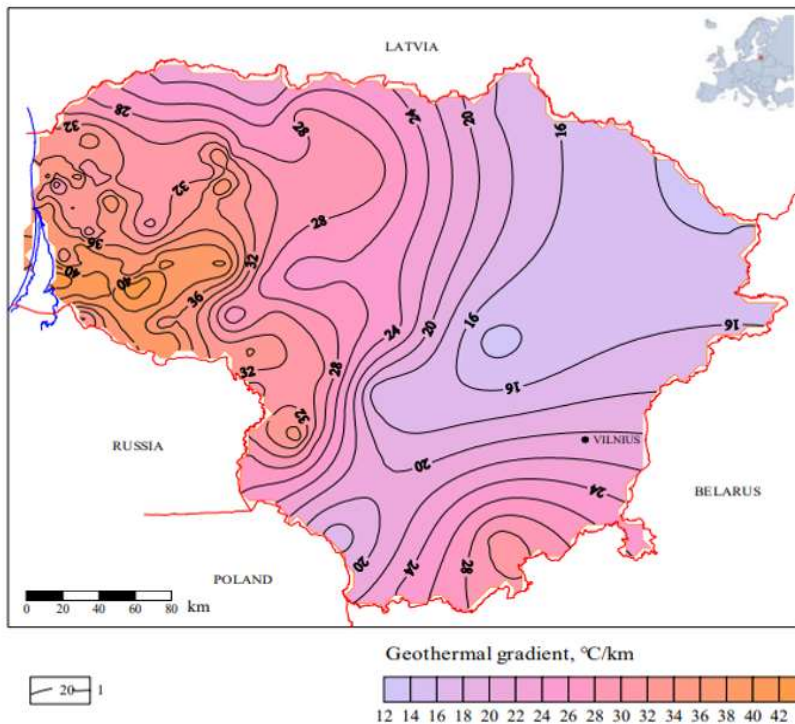
Kolektoriaus vamzdžių išdėstymas gręžskylėje, bei užpildas yra svarbūs ir gręžinio šiluminę varžą R_b įtakojantys veiksniai į kuriuos būtina atsižvelgti projektavimo metu.

1.5 Lietuvos geoterminis laukas

Pirmieji duomenys apie Žemės gelmių šilumą Lietuvoje buvo pradėti rinkti gręžiant pirmuosius giluminius gręžinius, daugiausiai ieškant naftos. Geoterminius tyrimus nuo 1987 m. pradėjo Lietuvos geologijos institutas. Bendradarbiaudami su Sankt Peterburgo Kalnų institutu mokslininkai kompleksiskai (įvairiais metodais) įvertino geologines ir technines ekonomines Vakarų Lietuvos geoterminės anomalijos sąlygas (Suveizdis ir Rastenienė, 2005).

Daugiausiai atliktų tyrimų Lietuvoje yra susiję su Vakarų geoterminė anomalija ir galimu jos panaudojimu, bei Centrinėje Lietuvoje tiriant galimas naftos išgavimo perspektyvas atlikti įvairūs geologinių sluoksnių temperatūriniai matavimai. Duomenis buvo galima rasti tik Lietuvos geologijos tarnybos fonduose bei senose ataskaitose, 2001-2001 m. jie buvo įskaitmeninti ir šių duomenų pagrindu sudarytas Lietuvos geoterminių žemėlapių atlasas (28 žemėlapiai) (1.6 pav).

Kitus sisteminius tyrimus nuo devinto dešimtmečio pabaigos Lietuvoje plėtojo Suveizdis, Zinevičius, Makarevičius, Rastenienė, Šliaupa ir kt.

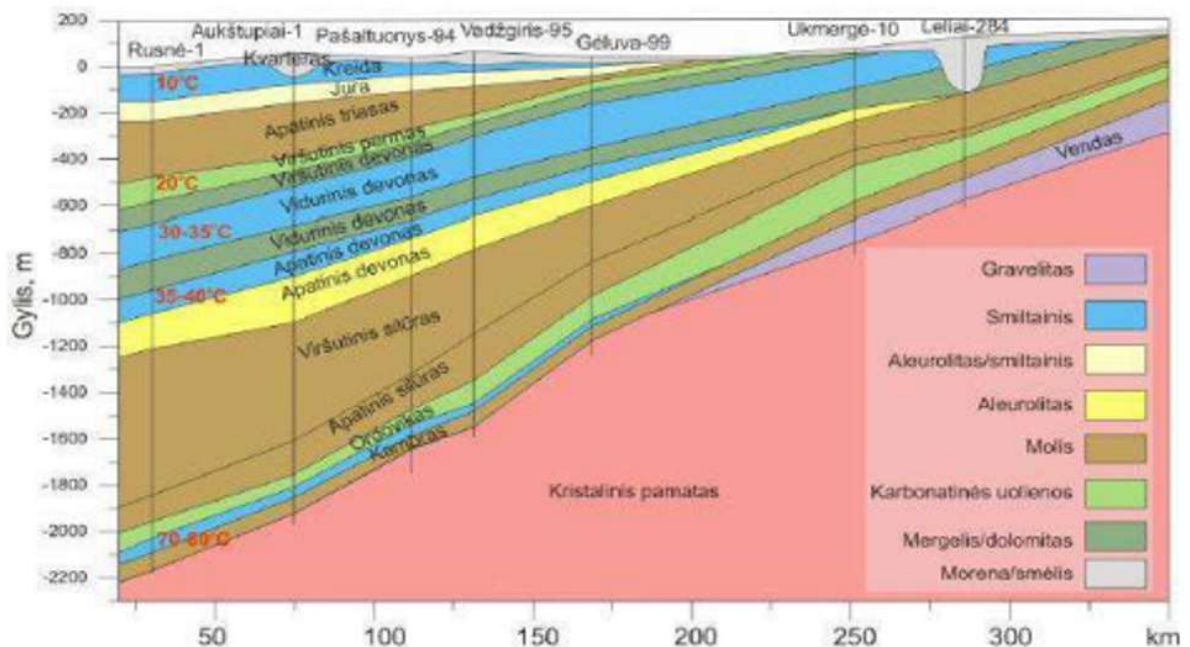


1.6 pav. Lietuvos geoterminio gradiento žemėlapis (Rastenienė ir Puronas, 2015).

Lietuvoje ištirta virš 300 kristalinio pamato bandinių, nustatyta, kad Vakarų Lietuvos uolienos generuoja gerokai daugiau šilumos, nei Rytu Lietuvoje. Vidutinis Žemės šilumos srauto intensyvumas Rytu Europos platformoje yra 42 mW/m². Vakarų Lietuvoje, o ypač pietinėje jos dalyje, gręžiniuose buvo nustatytas gerokai didesnis šilumos srautas siekiantis 70-80 mW/m², o kai kuriuose gręžiniuose net 90-100 mW/m² (Šliaupa, 2008).

Lietuvos geoterminę anomaliją lemia kristalinio pamato sudėtis. Pagrindine Žemės šilumos dalį (įvairiais skaičiavimais nuo 45 iki 90%) sudaro šiluma, kuria generuoja uolienose esančių elementų, tokių kaip K, Th, U, radioaktyvus skilimas.

Pasak S. Šliaupos, labiausiai pasiekiamas visoje Lietuvos teritorijoje giluminės energijos potencialas yra išsidėstęs Kambro vandeningame sluoksnyje (vidutinės temperatūros geoterminiai vandenys, kuriuos galima panaudoti centralizuotai tiekiamos šilumos gamybai). Perspektyviu įvertintas plotas, kuriame temperatūra viršija 30oC. Ši izoterma praeina Marijampolės-Kauno-Kupiškio linija. Tad, perspektyviame plote yra tokie stambūs šilumos vartotojai, kaip Šiauliai, Klaipėda, Raseiniai, Tauragė, Telšiai, Plungė, Akmenė ir kt. Ypatingai geros geoterminės sąlygos yra centrinėje ir ypač pietinėje Vakarų Lietuvos dalyje, kur temperatūra viršija 80oC. Tai Klaipėda, Gargždai, Šilutė, kiti smulkesni šilumos vartotojai. Taip pat kiti stambūs geoterminiai kolektoriai yra – apatinio ir viršutinio devono vandeningi sluoksniai, labiau pasiekiami Vakarinėje Lietuvos dalyje (pav. 1.7).



1.7 pav. Lietuvos geologinis pjūvis vakarai-rytai (Šliaupa, 2008).

Labai plačiai aprašomas ir įvertintas Vakarų Lietuvos geoterminis potencialas S.Šliaupos 2008 parengtame tiriamajame darbe „Vakarų Lietuvos regione esančių geoterminės energijos resursų potencialo išaiškinimas ir pagrindimas, bei galimybės jų panaudojimui energijos gamybai“.

Taip pat svarbu paminėti, jog nuo 2004 iki 2017 metų Klaipėdoje veikė 18 MW projektinio galingumo geoterminė stotis „Geoterma“, kuri tiekė karštą vandenį Klaipėdos miestui. Ji buvo įsteigta daugiau kaip demonstracinis objektas – be komercinės funkcijos, stotis atliko ir šilumos energijos Lietuvoje testavimo funkcijas, sprendžiant geologinius, inžinerinius ir kitus klausimus ir tuo pačiu sudarant prielaidas naujų stočių efektyviam įrengimui.

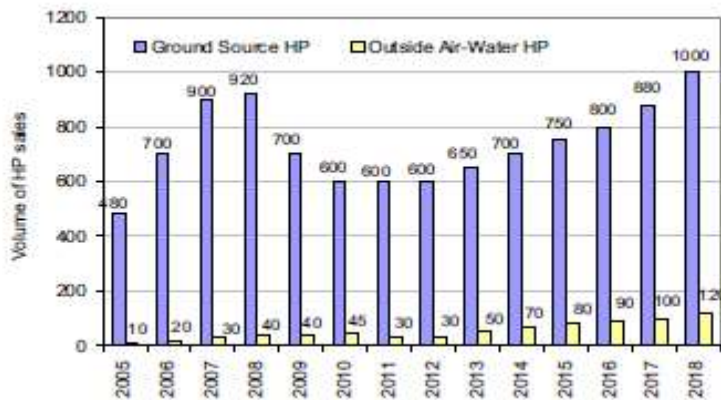
Giliajai geoterminei energijai įsisavinti ir efektyviai ją panaudoti yra reikalingi dideli kaštai, specifiniai technologiniai sprendimai, bei geros geologinės ir techninės žinios šioje srityje. Lietuva,

nors ir turi didžiulį potencialą šiam energijos tipui išgauti šiuo metu nevykdo jokių su tuo susijusių projektų.

Visiškai priešingos tendencijos vyrauja Lietuvos sekliosios geotermijos sektoriuje. Pirmieji geoterminiai šilumos siurbliai, skirti sekliosioms geoterminėms sistemoms panaudoti namų ūkiuose, Lietuvoje pradėti montuoti 2000 m. 2016 m. apklausus oficialius didžiųjų užsienio šilumos siurblių gamintojų atstovybes paaiškėjo, kad Lietuvoje kiekvienais metais parduodama 500-700 šilumos siurblių, kurių didžioji dalis 9-12 kW galios (Palaitis, 2016). Lietuvos geologijos tarnyba atsižvelgdama į sekliosios geotermijos augimą rinkoje, 2015 m. parengė geoterminių gręžinių projektavimo, įrengimo ir likvidavimo tvarkos aprašą ir tai pat pradėjo registruoti esamas ir naujai įrengtas geoterminių gręžinių sistemas. Šiuo metu, LGT balandžio mėnesio duomenimis, Lietuvoje yra užregistruotos 822 geoterminės gręžinių sistemos (Geo naujienos, 2020).

Lietuvoje ji plačiausiai naudojama tiek individualių namų ūkiuose, tiek administracinių, mokslo ar kultūros paskirties pastatų šildymui ir vėdinimui. Pagrindinė priežastis yra kainos ir atsiperkamumo santykis, kita – ekologiškumas, bei energijos tausojimas.

Gaigalas ir kt., 2016 metais straipsnyje „A review on Heat Pumps implementation in Lithuania in compliance with the National Energy Strategy and EU policy“ apžvelgė Lietuvą kitų šalių kontekste šilumos siurblių pardavimuose ir įrengimuose, bei nustatė ateities tendenciją iki 2018 m. (1.8 pav..), kuri dabartiniais duomenimis tokia ir yra.



1.8 pav. Šilumos siurblių Lietuvoje pardavimas ir ateities tendencijos (Gaigalas, 2016).

Tiesa, daug tyrimų susijusių su sekliąja geotermija Lietuvoje nebuvo atlikta. Sekliųjų geoterminių išteklių naudojimo pastatams šildyti ir vėsinti potencialas apytikriai įvertintas labiau inžineriniu ir techniniu jo panaudojimo požiūriu, o geologiniu požiūriu šie ištekliai detalčiau nėra nagrinėti. Sekliųjų geoterminių išteklių srityje paminėtini 3 darbai: M. Valantinavičiaus 2011 m. magistro baigiamasis darbas „Sekliojo geoterminio šildymo sistemų vertikalios kolektoriaus kompiuterinis modeliavimas. Kuriame nustatoma, jog dvigubo U-formos kolektoriaus šilumos srautas yra 17–37% didesnis nei viengubo. Taip pat svarbus darbas apžvelgiantis labiau technologinę pusę yra J. Šuksterio ir kt. sudaryta ataskaita „Požeminės šiluminės energijos panaudojimo pastatų šildymui ir vėsinimui šalyje galimybių įvertinimas ir rekomendacijų dėl šios energijos panaudojimo minėtiems tikslams parengimas“. Naujausiu darbu apie sekliuosius išteklius laikoma A. Indriulionio

2019 m. disertacija „Ivairiasluoksnių kvartero nuogulų šilumos perdavimo modelis ir šilumos parametrų vertinimas vertikaliais šilumos kolektoriais”.

LGT hidrogeologijos skyrius (autoriai J. Giedraitienė, P. Pūtys) 2011 m. parengė leidinį „Požeminio vandens aktyviosios apytakos zonos hidrogeotermija“, kuriame atlikta žemos temperatūros požeminio vandens naudojimo šiluminei energijai išgauti galimybių studija. 2017 m. baigtas projektas „Sekliosios Žemės gelmių geoterminės energijos išteklių skaičiavimo metodikos parengimas“.

Lietuvoje taip pat veikia Lietuvos geotermijos asociacija (LGA) - tarptautinę veiklą vykdanči laidisvanoriška mokslinė organizacija, kuri į savo veiklą įtraukia visuomeninius fizinių bei juridinių asmenų organizuojamus geoterminius projektus bei programas, bei „Žaliųjų pastatų“ taryba, kuri skatina atsinaujinančių išteklių naudojimą pastatuose, tarp jų ir sekliąją geotermiinę energiją.

Nagrinėjant sekliosios geoterminės energijos panaudojimo galimybes teritoriniu aspektu, šios energijos panaudojimo galimybės yra ribojamos saugomų teritorijų plotuose, konkrečios vietovės grunto savybių bei praeinančių inžinerinių komunikacijų.

2. ŠILUMINIAI GRUNTO PARAMETRAI IR JŲ NUSTATYMAS

2.1 Šilumos mainai grunte

Šilumos mainai arba energijos perdavimas - tai savaiminis šilumos plitimas kūne, kuris vyksta dėl temperatūrų skirtumų tarp skirtingų kūnų. Šilumos srauto tankis proporcingas temperatūros gradientui ir nukreiptas jo mažėjimo kryptimi. Šilumos kiekis, kurį pasiima ar išspinduliuoja kūnas apskaičiuojamas:

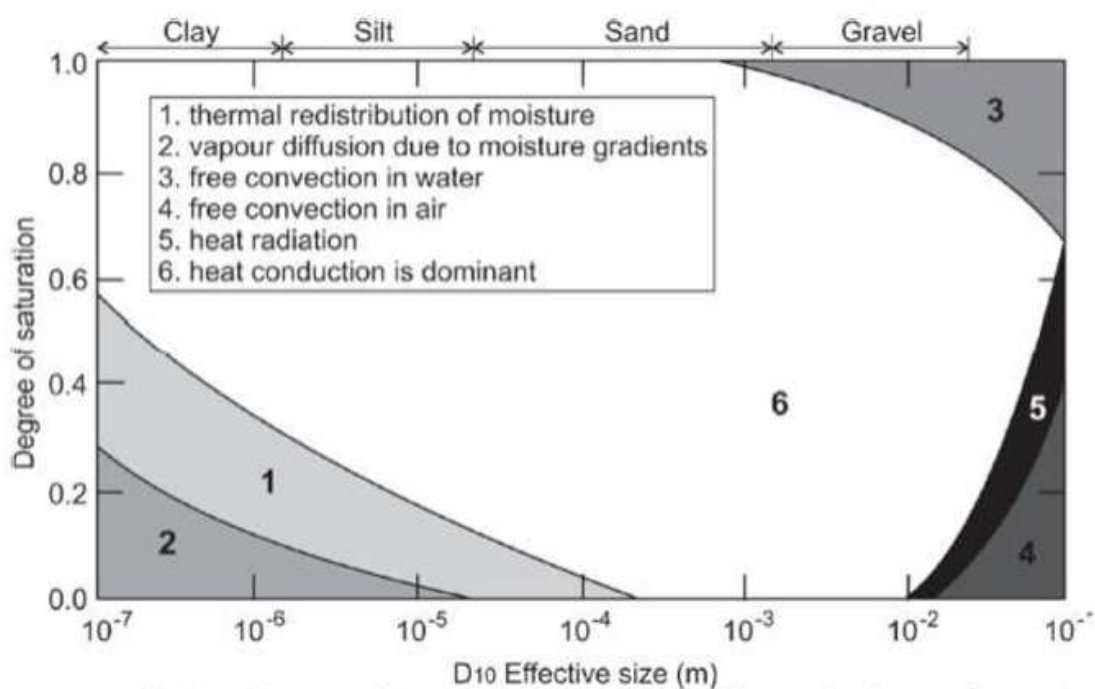
$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (1)$$

Čia: Q – Šilumos kiekis [J] c – savitoji šiluminė talpa [J/kg·K] m – masė [kg] ΔT - temperatūrų skirtumas [K]

Šiluma gali būti pernešta trimis skirtingais būdais:

- Šiluminio laidumo
- Konvekcijos
- Spinduliavimo

Kietuose kūnuose, taip pat grunte, ryškiausiai pasireiškia šilumos mainai dėl šiluminio laidumo (2.1 pav). Skysčiuose ir dujose svarbiausi pernašos procesai yra konvekcija – vertikaliuose kolektoriuose tai šilumokaityje vykstantis šimunešio skysčio temperatūros pernešimas.



2.1 pav. Šilumos pernešimo mechanizmai ir jų priklausomybė nuo grunto tipo ir grunto drėgmės (Cervera, 2014)

Remiantis 2.1 pav. - dominuojantis šilumos pernešimo mechanizmas grunte yra šiluminis laidumas, o kiti mechanizmai pasireiškia tik esant specifinėms sąlygoms ir tik tam tikruose grunto tipuose.

2.1.1. Šiluminio laidumo koeficientas

Medžiagos savybę praleisti šilumą apibūdina **šiluminio laidumo koeficientas λ** , vertinamas $W/m \cdot K$. Kuo λ vertė didesnė, tuo geresnėmis šiluminio laidumo savybėmis pasižymi medžiaga.

Pagrindiniai būdai, kuriais galima nustatyti šilumos laidumo koeficientą, yra *tiesioginiai* – TRT testo metu, arba *netiesioginiai* apskaičiuojamas pagal atitinkamas formules, kai yra žinomi kiti terminiai parametrai: savitoji šilumos talpa, uolienos ar vandens tankis, temperatūros laidumas.

Grunto ar uolienos šiluminis laidumas priklauso nuo jos savybių:

- tankio;
- mineralinės grunto sudėties;
- vandens dalies grunte - drėgnio (šilumos laidumas vandens prisotintame grunte yra ženkliai didesnis, nei sausoje);
- poringumo (didėjant grunto poringumui šiluminis laidumas mažėja);

2.1 lentelėje pateiktos daugiausiai papilusių gruntų šiluminių laidumų vertės, kurias remdamasis literatūros šaltiniais pateikė LGT savo leidinyje „ Žemės gelmių geoterminės energijos (sekliosios) išteklių skaičiavimo metodikos parengimas “ 2017, autorius P. Pūtys.

2.1 lentelė. Uolienų (gruntų) terminiai parametrai

Uoliena arba mineralas	Šilumos laidumas $W/m \cdot K$	Savitoji šilumos talpa $kJ/kg \cdot K$
Konglomeratas	1,0 – 5,0	0,7–0,85
Žvirgždas sausas	0,4	–
Smėlingas dumblas	1,0–1,8	1,0–2,1
Smėlis sausas	0,7–6,5	–
Smėlis drėgnas	1,1–7,4	–
Aleuritingas molis	0,98–1,1	2,4–2,5
Aleurolitas	0,4–3,8	0,8–1,7
Molis sausas	0,1–0,2	–
Molis drėgnas	0,4–3,0	0,8–3,6
Argilitas	0,2–3,0	0,7–1,0
Molio skalūnas	0,2–3,0	0,7–1,0
Diatomitas	0,5	–
Klintys	0,9–4,4	0,4–1,7
Dolomitas	1,6–6,5	0,6–1,5
Mergelis	0,5–3,6	0,6–3,1
Anhidritas	2,5–5,8	0,5–0,6
Durpės sausas	0,1	–
Durpės drėgnos	0,5	–

Šiluminio laidumui TRT testuose vertinti naudojami skaičiavimai ir formulės pateiktos skyriuje 2.2

2.2. Šilumos mainai kolektoriuje

Šilumos mainų procesas priklauso nuo kolektoriaus tipo, gręžinio gylio, skersmens ir atstumo tarp kolektorių vamzdžių, vamzdžių šiluminių parametrų, šilumnešio tipo, jo tekėjimo greičio, užpildo šiluminių parametrų. Taip pat galima skirti stacionarius ir nestacionarius darbo režimus. Pagrindinis parametras aprašantis kolektoriaus šilumines savybes yra kolektoriaus šiluminė varža.

Gręžinio šiluminę varžą lemia šilumnešio konvekcinė ir vamzdžio sienelės varža, bei užpildo laidumo varža. Formulė (1)

$$\sum R = R_{conv} + R_{cond} + R_{grout} + R_{soil}$$

Kur:

R- gręžinio varža; R_{conv} – šilumnešio konvekcinė varža, R_{cond} - vamzdžio sienelės varža, R_{grout} - užpildo varža, R_{soil} – grunto varža.

Kiekvienai varžai suskaičiuoti yra pritaikyti matematiniai metodai ir specialios formulės.

Vykstant šilumos mainams tarp kietos ir skystos medžiagos, šiluma dažniausia perduodama konvekcijos būdu. Judančio fluideo dalelės susidūrusios su kieto kūno paviršiumi įkaista arba atvėsta ir susimaišo tarpusavyje. Tokiu būdu, priverstinės konvekcijos atveju, šiluma fluideo tūryje pasiskirsto daug greičiau, nei šiluminio laidumo būdu. Pagal Niutono vėsimo dėsnį, šilumos srautas proporcingas temperatūrų skirtumui ties fluideo ir paviršiaus lietimosi riba.

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

kur T_s - paviršiaus temperatūra, T_∞ - fluideo temperatūra, h - konvekcijos perdavimo koeficientas (šilumos perdavimo koeficientas) $W/m^2 \cdot K$.

2.3 Šilumos atsako testas TRT

Projektuojant didelės galios geoterminio šildymo sistemas svarbu tinkamai įvertinti ir prognozuoti jų efektyvumą ilgamečiam naudojimui. Lietuvoje tai reglamentuota „Geoterminių gręžinių projektavimo, įrengimo ir likvidavimo tvarkos aprašu“, kurį 2015 m. parengė Lietuvos geologijos tarnyba. Šiame dokumente nurodoma būtinybė atlikti geofizinius tyrimus sklypo geologinei sąrangai nustatyti ir uolienų šiluminio laidumo tyrimus didesnėms nei 30 kW nominalios galios geoterminių gręžinių sistemoms. Šiam tikslui įgyvendinti naudojamos įvairios kompiuterinės modeliavimo programos ir TRT šilumos atsako testas (angl. Thermal Response Test) - metodas šilumos laidumui nustatyti *in situ* sąlygomis.

TRT testai yra naudojami siekiant iširti statybų aikštelės potencialą įsirengti efektyvią geoterminio šildymo sistemą. Nustatant šiluminį laidumą ir gręžskylės varžą, kurios naudojamos

įvertinti geoterminių sistemų diegimo galimybes ir užtikrinti, jog projektuojama sistema bus tinkamos galios pastato energetiniams poreikiams patenkinti. (Hemmingway ir kt., 2012)

TRT testo metodika ir teorija buvo pradėta vystyti dar aštuntajame dešimtmetyje. Mogensen 1983 m., tarptautinės konferencijos Švedijoje metu, buvo pirmasis mokslininkas pristatęs terminės reakcijos testą, kaip metodą, kuriuo galima nustatyti grunto šiluminį laidumą ir šiluminį pasipriešinimą (ang. Thermal resistance) geoterminio gręžinio gręžskylėje, *in situ*. (Gehlin, 2002). 1995 m. Lulea Technologijos universitete, Švedijoje, buvo sukurta pirmoji mobili įranga, matuojanti šiluminius parametrus gręžinyje iki 100 m gylio. Panašūs darbai savarankiškai buvo vykdomi 1996 m. Oklahomos valstijos universitete. Pirmasis terminės reakcijos testas Vokietijoje buvo atliktas 1999 m. (Sanner, 2005).

Švedijoje naudojant anksčiau minėtą pirmąjį TRT testo aparatą pasitaikė jog dažna gręžskylė testo metu buvo užpildyta požeminiu vandeniu, todėl tai leido įvertinti ne tik šiluminį laidumą, bet ir gruntinio vandens srauto ir natūralios konvencijos poveikį. Ši mobili įranga tapo populiari visame pasaulyje ir su patobulinimais naudojama iki šiol.

Šiek tiek kitoks įrenginys TRT testui atlikti buvo sukonstruotas ir išbandytas Nyderlanduose 1999 m. Pagrindinis skirtumas, jog vietoj elektrinės varžos kaitintuvo (angl. electric resistance heater) buvo panaudotas šilumos siurblys siekiant sumažinti temperatūrą šilumokaityje. Tačiau šio metodo trūkumai susiję su dinamiu šilumos siurblio elgesiu ir nuolatinio šilumos šaltinio poreikiu neleido šiam metodui plačiai paplisti. 2002 m. Lundo universiteto, dr. Signhild Gehlin daktaro disertacijoje „Thermal response test method development and evaluation“ buvo plačiai apžvelgta TRT testų istorija, metodika ir vertinimas. 2008 m. atliktas pagrindinis TRT testo patobulinimas – įrenginys su optiniu kabeliu.



(a)



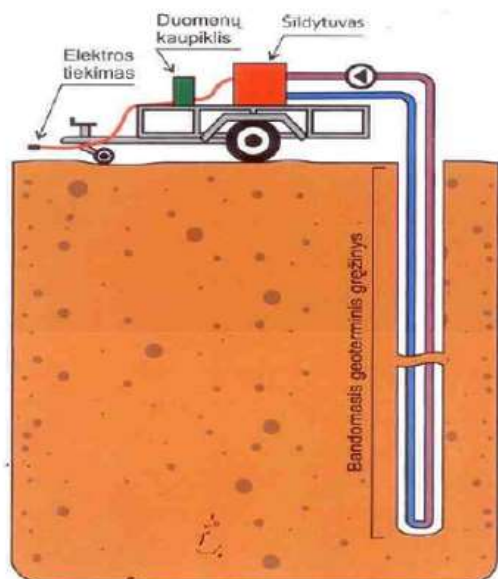
(b)

2.2 pav. Pirmieji mobili TRT testų įranga a) Švedijoje b) JAV (Gehlin, 2002)

TRT testo tikslas - imituojant realios geoterminės sistemos siurblių darbą gauti kokybiškus duomenis, reikalingus šiluminiams parametrų (efektyviajam šilumos laidumui ir šiluminei varžai) nustatyti ir įvertinti geologines sąlygas, kur įrengti geoterminiai gręžiniai.

TRT aparatūrą sudaro elektriniai kaitinimo elementai, kurių pagalba šildomas cirkuliuojantis skystis, temperatūros ir skysčio matavimo davikliai, elektrinis siurblys, skirtas skysčio judėjimui kolektoriumi skatinti, bei duomenų kaupimo sistema. Aparatūra eksperimento metu kaupia oro lauko ir skysčio temperatūros, skysčio cirkuliacijos greičio, elektrinių ventiliatorių veikimo duomenis

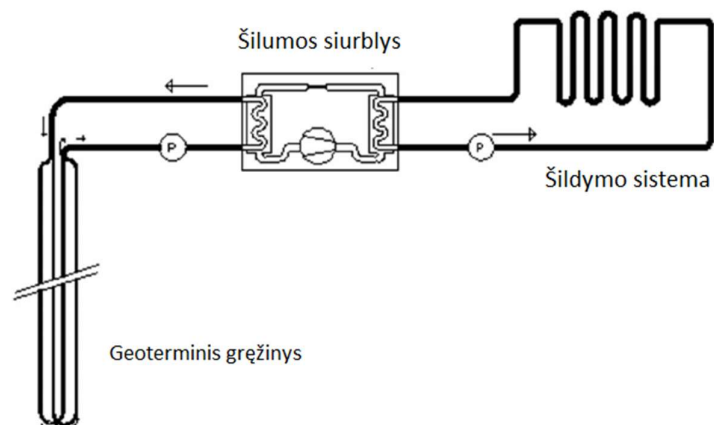
kompiuteryje (2.3 pav) (Indriulionis, 2019). Tyrimai atliekami sertifikuota įranga ir sertifikuota kompiuterine programa. Viena iš dažniausiai naudojamų yra EED – Earth energy designer.



2.3 TRT testo įrangos modelis (Indriulionis, 2019)

Testo metu į išgręžtą gręžskylę su jau sumontuotais šilumokaičiais tiekiamas iš anksto apibrėžtas ir numatytas šilumos kiekis ir išmatuojami cirkuliacinio skysčio (šilumnešio) temperatūros pokyčiai, elektros energijos sąnaudų ir hidraulinių charakteristikų kitimo bėgant laikui duomenys (Palaitis, 2016).

Žemės gelmėse įrengtame gręžinyje uždaru cirkuliacijos ciklu cirkuliuoja šilumnešis, kurio temperatūra žemesnė už gelmių, - tokiu būdu sukuriama temperatūrinio lauko gradientas ir šiluma natūraliai pradeda judėti iš aukštesnės temperatūros gelmių „šalto“ gręžinio link. Jame cirkuliuojančio skysčio pagalba šiluma transportuojama į šilumos siurblių, kur sukauptas santykinai didelis kiekis žemesnės temperatūros šiluminės energijos yra transformuojama į mažesnę kiekį, tačiau aukštesnės temperatūros šiluminę energiją, kuri naudojama šildyti, vėsinti ar karštam vandeniui ruošti (Palaitis, 2019). Paveikslas 2.4 vaizduoja šį procesą.

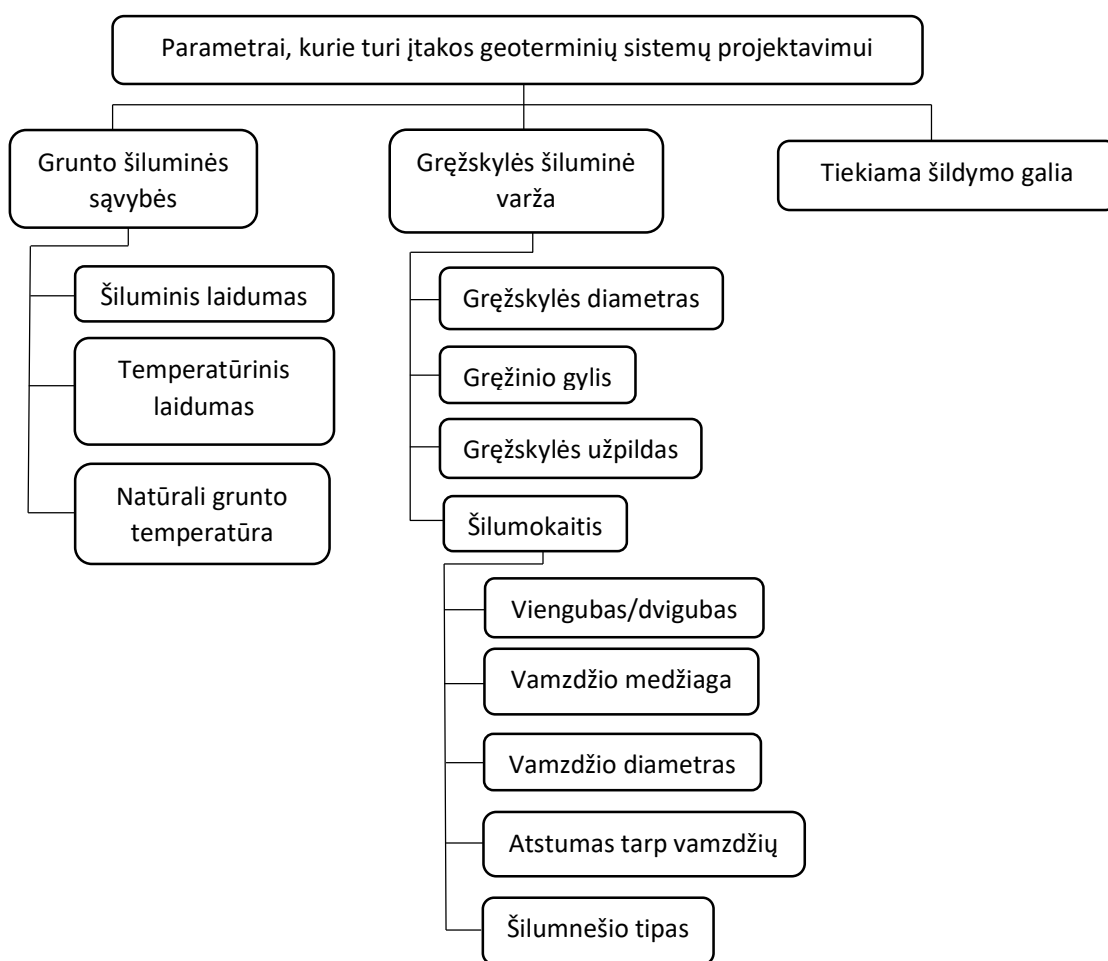


2.4 Geoterminės šildymo sistemos veikimo principas su vertikaliu gręžiniu (Dicer ir Sanner, 2001).

Apibendrinta TRT testo eiga atrodo taip:

1. Mechaninio gręžimo metu įvertinama sklypo geologinė sąrangą (atsižvelgiama į vandeningų sluoksnių slūgsojimo gylį).
2. Gręžskylėje su jau sumontuotais šilumokaičiais atliekamas šilumos atsako testavimas;
3. Pagal gautus duomenis analitiniais matematiniais metodais nustatomi apibendrinti geologinės storumės šiluminiai parametrai;
4. Atsižvelgiant į pastato energetinius poreikius kompiuterinėmis programomis modeliuojamas gręžinių išdėstymas sklype, bei reikalingos sistemos dydis.

Panayiotis D. ir kt. 2017 m. publikuotame straipsnyje išskyrė parametrus, kurie turi įtakos geoterminių sistemų projektavimui (2.5 pav.) Viena iš sudedamųjų – grunto šiluminės savybės, kurios nustatomos TRT testų metu.



2.5 pav. Parametrai, kurie turi įtakos geoterminių gręžinių sistemų projektavimui (Panayiotis D. ir kt, 2017)

2.2 TRT testų vertinimo teorija

Ankstesniame skyriuje aprašytas TRT testo veikimo principas ir jo svarba, tačiau neatsiejama ir labai svarbi dalis yra duomenų vertinimas ir jų analizė po testo atlikimo.

Šilumos atsako testo metu gaunami šie duomenys:

1. Šiluminis laidumas gręžskylėje (λ , W/m*K);
2. Šiluminė varža (R_b , m*K/ W);
3. Natūrali grunto temperatūra gręžskylėje ($^{\circ}$ C);
4. Požeminio vandens įtaka (gali turėti labai svarbų efektą projektuojant sistemas) (Hemmingway ir kt., 2012).

P. Hemmingway ir M. Long savo straipsnyje „Design and development of a low-cost thermal response rig“ 2012 m. nurodo, jog visos vertinimų teorijos turi būti paremtos Furjė šilumos laidumo dėsnio (1.1 formulė). Furjė dėsnis yra pagrindas šilumos atsako testavimui. Apibendrinant dėsnis nurodo, kad temperatūros atsakas iš šildomos arba aušinamos medžiagos tam apibrėžtame plote yra proporcingas jos šiluminiam laidumui. (Hemmingway ir kt., 2012)

$$\vec{q} = -\lambda \Delta T \quad (2.1)$$

Čia:

q - šilumos srautas (W/m²);

λ – šilumos laidumas (W/m*K);

ΔT – temperatūrinis gradientas ($^{\circ}$ C).

Žemės šiluminės savybės gali būti išskaičiuojamos naudojantis įvairiais šilumos perdavimo modeliais: analitiniu linijiniu metodu (LSM), cilindrinio modeliu ir kitais skaitiniais metodais (skaitmeniniu vienmačiu, dvimačiu ir trimačiu).

Sanner ir kt. 2005 m. Geoterminės energijos kongrese pristatytame straipsnyje („Thermal Response Test—Current Status and World-Wide Application“) teigia, jog paprasčiausiais būdas vertinti šiluminio atsako testų duomenis yra linijinio srauto teorijos panaudojimas. Ši teorija buvo panaudota 1940 m. apskaičiuojant šilumos siurblių jėgainės įrenginių sukeltus temperatūrinius pokyčius grunte bėgant laikui. (Sanner ir kt., 2005). Taigi, Kelvino (Kelvin) linijinio šaltinio teorijos lygtis transformuojama ir atrodo taip: (2.2)

$$k = \frac{Q}{4\pi H \lambda_{eff}} \quad (2.2)$$

Kur:

k – vidutinės šilumnešio temperatūros priklausomybės nuo laiko logaritmo kreivės polinkio kampas;

Q – injekuojamas šilumos energijos kiekis;

H – tiriamo geoterminio gręžinio gylis;

λ – apibendrintas šiluminis laidumas (įskaičiuojant požeminio vandens įtaką, užpildo laidumą ir t.t);

Formulė transformuojama norint suskaičiuoti šiluminį laidumą (2.3). Šiluminis laidumas yra apibūdinamas kaip medžiagos savybė praleisti šilumą.

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{Q}{4\pi H k} \quad (2.3)$$

Tiesa, ši formulė taikoma tik tuomet, kai išpildoma ši sąlyga:

$$t > \frac{5r_b^2}{\alpha}$$

t - laikas (s);

r_b - gręžinio spindulys (m);

α - terminė difuzija (m^2/s).

Kitus metodus plačiau aprašė ir palygino Gehlin ir Hellström savo darbe „Comparison of four models for thermal response test evaluation“.

Kita reikšmė nustatoma šilumos atsako testo metu yra gręžskylės šiluminė varža R_b . Šios varžos vertė parodo temperatūros kritimą tarp natūralaus grunto ir šilumnešio skysčio vamzdžiuose. Taip pat galima apskaičiuoti R_b pagal naudojamus matmenis ir medžiagas (pvz., naudojant modeliavimo programą EED) (Sanner ir kt. 2005).

Gręžskylės šiluminė varža yra sudėtinis dydis priklausantis nuo kitų varžų, kaip minėta skyriuje 2.2. Taip pat bendrajai varžai skaičiuoti naudojami šios vertės formulėje:

$$R_b = \frac{\Delta T}{q'} = \frac{T_f - T_{bhw}}{q'}$$

Čia:

T_{bhw} gręžinio sienelės temperatūra;

T_f - vidutinė kolektoriaus skysčio temperatūra (šalto ir šilto šilumnešio temperatūrinis vidurkis);

q' – suminės šilumos srautas vamzdžio ilgio vienetui;

Plačiau gręžskylės varžos skaičiavimo metodas yra aprašomas Lamarche ir kt. straipsnyje „Evaluation of the Internal and Borehole Resistances during Thermal Response Tests and Impact on Ground Heat Exchanger Design“.

Kadangi šio darbo tikslas nėra matematinių modelių sudarymas ir geoterminių gręžinių sistemos modeliavimas todėl į formulių išvedimus plačiau nėra gilinimasi.

TRT testo duomenys dažnai lyginami su netiesioginiu būdu įvertiniais. Gręžskylės gręžimo metu dažniausiai atliekamas geofizinis tyrimas, sudaroma karotazo kreivė. Interpretuojant kreives vertinami smėlingų darinių vietos pjūvyje ir jų procentinė dalis visame gręžinyje. Toliau pagal koreliacinę priklausomybę randamas tikėtinas šilumos laidumo koeficientas. Turint išankstinius duomenis apie atskirų litologinių darinių šilumos laidumo reikšmes, galima nustatyti apibendrintą šilumos laidumo koeficientą visai stovymeį pagal geologinių sluoksnių proporcijas šioje stovymeįje (Palaitis, 2013). Tokie supaprastinti skaičiavimai, vietoj TRT testo, dažniausiai taikomi įrengiant mažas geotermines sistemas (namų ūkio), nes tikslumas yra labai nedidelis dėl nevienodų smėlingų darinių sudėties ir šiluminių laidumų.

Nagrinėjant TRT duomenis ir procesus vykstančius geoterminėje sistemoje, reikalingos specializuotos programos. Viena iš tokių programų, pritaikyta uždarojo vertikaliojo geoterminio gręžinio energijos srauto modeliavimui, yra EED (Earth Energy Designer), sukurta Švedijoje. EED remiasi parametru studija ir skaitiniu modeliu (SMB), kurio rezultatas – energijos srauto analitinis skaičiavimas naudojant g-funkciją, kai atsižvelgiama į gręžskylės parametrus ir geometriją (Pūtys, 2017).

Idriulionis A. 2019 m. savo daktaro disertacijoje „Ivairiasluoksnių kvartero nuogulų šilumos perdavimo modelis ir šilumos parametru vertinimas vertikaliais šilumos kolektoriais“ skyriuje 1.6 apžvelgė programinės įrangos priemones, kuriuos yra naudojamos vertikalų šilumos kolektorių modeliavimui naudojantis TRT testų rezultatais.

Lietuvoje taip pat daugiausiai naudojama yra EED (angl. Earth Energy Designer“ kompiuterinė programa.

3. VILNIAUS MIESTO ŠILUMINIŲ GRUNTO PARAMETRŲ VERTINIMAS

3.1 Vilniaus miesto geologinės ir geomorfologinės sąlygos

Vilniaus apylinkės pasižymi sudėtinga geologine sandara bei hidrogeologinėmis sąlygomis (Klimas ir kt., 1995; Klimas, 2006). Pastarąsias komplikuoja raižytas vietovės reljefas – žemės paviršiaus altitudžių skirtumas tarp aukštumų ir Neries slėnio Vilniaus apylinkėse siekia 150–170 m.

Vilniaus ir jo apylinkių reljefą suformavo du pleistoceno ledynai ir jų tirpsmo vandenys. Į pietryčius nuo miesto plytinčio plokščiakalnio (plato) ir Medininkų aukštumų reljefą sukūrė viduriniojo pleistoceno ledynas, o plytinčio į šiaurės vakarus nuo miesto dešiniojo Neries kranto reljefą (Aukštaičių aukštumas) galutinai formavo paskutinysis viršutinio pleistoceno ledynas. Tarp jų giliai įsirežęs Neries slėnis galutinai susiformavo jau poledynmečiu. Šio slėnio gylis Vilniaus apylinkėse siekia 150,0–170,0 m. Dabartiniame Neries slėnyje yra susiformavusios devynios terasos, iš kurių trys žemiausios yra priskiriamos akumuliaciniam tipui, t.y., jas dengia sąnašinis smėlis, kuriame gausu gruntinio vandens, o aukštesnės – priklauso egzaraciniam, t.y., išgraužų, išplovų tipui, nes jų paviršių tik vietomis dengia smėlingos vandeningos nuogulos. Kadangi terasų pakopų aukštis neretai viršija 10,0 m, tai vos ne kiekvienoje terasoje formuojasi gana savarankiškas gruntinio vandens sluoksnis. (UAB „DGE“ ataskaita, 2018).

Kvartero storymės sandara yra taip pat sudėtinga.

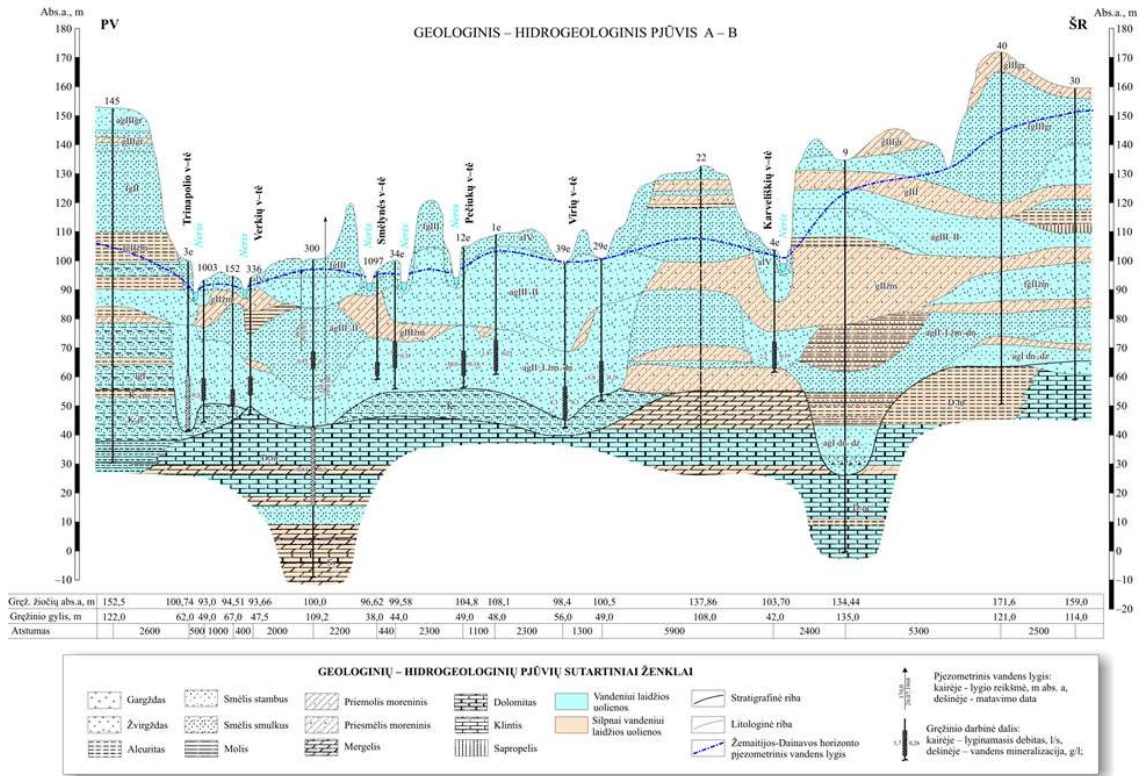
Gėlas požeminis vanduo viršutinėje geologinio pjūvio dalyje Vilniaus mieste ir apylinkėse aptinkamas kvartero amžiaus smėlio ir žvirgždo sluoksniuose bei lėšiuose, sudarančiuose gruntinį ir keletą (iki 6) spūdinių tarpmoreninių vandeningųjų sluoksnių. Bendras kvartero darinių storis miesto teritorijoje kinta nuo 40–60 m Neries slėnyje iki 150 m Aukštaičių aukštumose (dešiniajame Neries krante) ir 200 m Medininkų aukštumose (kairiajame Neries krante). Be to, gėlas požeminis vanduo dar yra sporadiškai paplitęs giliau slūgsančiose kreidos bei devono ir viršutinės silūro pjūvio dalies uolienose (Klimas, 2006; Klimas, Plankis, 2006).

Vilniaus mieste požeminio vandens mitybos ir iškrovos sritys yra labai arti viena kitos. Gruntinio vandens Vilniaus apylinkėse galima aptikti visur. Mitybos srityse – aukštumose – jis slūgso labai giliai, vietomis net 30–40 m gylyje. Aukštesnėse Neries terasose jis taip pat slūgso gan giliai – dažnai 10–20 m gylyje, o apatinėse terasose gruntinis vanduo paprastai randamas mažesniame kaip 10 m gylyje.

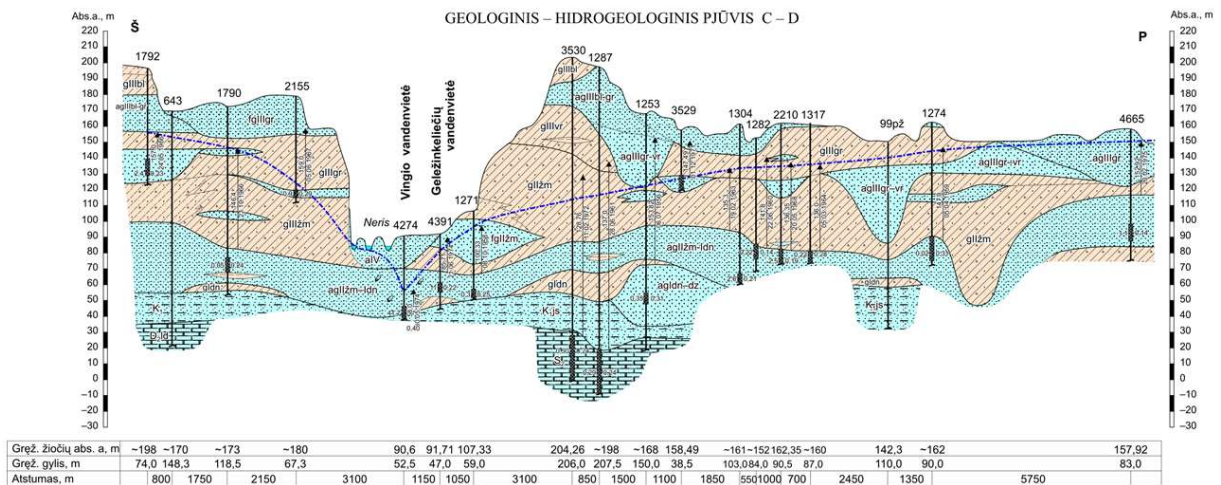
Kvartero nuogulose aukštumų srityje aptinkama iki 6 spūdinių vandeningųjų sluoksnių (5–30 m storio smėlio-žvirgždo sluoksniai), atskirtų moreninio priemolio ir priesmėlio sluoksniais, o Neries slėnyje dažniausiai išlieka tik vienas ar du tokie vandeningieji sluoksniai. Iš jų tik apatinis, tradiciškai vadinamas Žemaitijos-Dainavos sluoksnis (agl IIžm-dn) turi didelę praktinę reikšmę – tai yra pagrindinis Vilniaus vandenviečių eksploatuojamas sluoksnis (Gregorauskas ir Klimas, 2014).

Vandensparų (priemolio arba priesmėlio sluoksniai), skiriančių vieną nuo kito kvartero vandeninguosius sluoksnius, storis taip pat yra labai kaitus (nuo 0 iki 50 m). Daugelyje vandenviečių, esančių prie Neries, pagrindinį vandeningąjį sluoksnį nuo upės ir gruntinio vandens daugiau ar mažiau

izoluoja išlikę priemolio, priemolio sluoksniai (Bukčiai, Vingis, Smėlynė, Pečiukai, Karveliškės, Nemenčinė). Dėl minėto dėsningo vandeningųjų darinių dalies bendroje kvartero storumėje mažėjimo tolstant nuo Neris slėnio ta pačia kryptimi didėja eksploatuojamojo Žemaitijos-Dainavos vandeningojo sluoksnio izoliuotumas nuo gruntinio ir paviršinio vandens (N.Vilnia, Tuputiškės, Pūčkoriai, Sereikiškės) (Gregorauskas ir Klimas, 2014). Bendrą suprantimą apie Vilniaus miesto geologiją ir hidrogeologiją perteikia pjūviai 3.1 ir 3.2 paveiksluose.



3.1 pav. Geologinis hidrogeologinis pjūvis A-B (Gregorauskas ir Klimas, 2014).



3.2 pav. Geologinis hidrogeologinis pjūvis C-D (Gregorauskas ir Klimas, 2014).

Vilniaus miestas geomorfologiškai yra išsidėstęs keturių geomorfologinių sričių keturiuose geomorfologiniuose rajonuose (3.3 pav.) (Guobytė, 2014). Neries terasos klonis skiria pietrytinę miesto dalį Ašmenos senųjų moreninių aukštumų dalį – kalvyne ir šiaurvakarinę, Dzūkų pakraštinės moreninės aukštumos Sudervės moreniniame kalvyne. Šiaurės rytuose miesto teritorija apima Rytų Lietuvos žemumų srities Vilijos moreninės-limnoglacialinės lygumos pakraštį, o pietvakariuose Dainavos fluvioglacialinių lygumų srities fluvioglacialinės lygumos dalį. (Guobytė, 2014).

Reljefo formų požiūriu čia yra stačiais šlaitais izoliuotas erozinis kalvynas (Sapieginė); terasuoti pakopiškai žemėjantys Neries ir Vilnios suformuoti šlaitai, sudarantys natūralų amfiteatrą (Senamiestis); plynaukštė (Naujamiestis); Vilnios kanjonas (Rasos ir Užupis); iš pietų ir vakarų miestą juosia moreninės aukštumos (Morkunienė, 2015)



3.3 pav. Vilniaus miesto teritorijos geologinis-geomorfologinis rajonavimas (Guobytė, 2014)

3.2 Vilniaus miesto geoterminių savybių iširtumas, duomenų šaltiniai

Vilniaus mieste, šalies sostinėje, besiplečiant statybos sektoriui ir kylant naujiems didelių pastatų projektams sekliosios geotermijos gręžinių įrengimas taip pat didėja. Pagal Statybos techninį reglamentą STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas" A++ klasės siekiantiems pastatams yra išskeltas reikalavimas: 7.8. pastate (jo dalyje) sunaudota energijos dalis iš atsinaujinančių išteklių turi atitikti Reglamento 2 priedo 89 punkto reikalavimus, t. y. didžiąją sunaudojamos energijos dalį turi sudaryti atsinaujinančių išteklių energija. Tarp populiariausiųjų pasirinkimų - geotermija.

Vilniaus mieste specialių tyrimų nustatyti geotermines ir šilumines geologinių sluoksnių savybes atlikta nebuvo. Keletas tyrimų susijusių su sekliąją geotermija vykdyti šalies mastu, paliečia ir Vilniaus miesto teritoriją.

2012 metais buvo publikuotas LGT Hidrogeologijos skyriaus (autoriai J. Giedraitienė, P. Pūtyš) leidinys „Požeminio vandens aktyviosios apytakos zonos hidrogeotermija“, kur į požeminio vandens monitoringo tinklą patenka ir Vilniaus mieste esančios stotys. 2015 m. buvo sudarytas gruntinio vandens temperatūrinis žemėlapis. 2014 m. parengtame „Vilniaus miesto savivaldybės atsinaujinančių išteklių energijos naudojimo plėtros veiksnių plane“ (UAB Cowi), trumpai minima, jog turimų duomenų kiekis apie sekliąją geotermiją yra labai nedidelis, bei jog „sekliosios geoterminės energijos potencialo vertinimas teorinių skaičiavimų pagrindu savivaldybės lygmeniu neduoda patikimų rezultatų, nes iš grunto išgaunamos energijos kiekis labai priklauso nuo grunto tipo (sausas, nebus; drėgnas, vientisas; šlapias vientisas) bei gręžinio gylio.“

2019 m. dr. Audrius Indriulionis parengė doktorantūros darbą „Įvairiasluoksnių kvartero nuogulų šilumos perdavimo modelis ir šilumos parametrų vertinimas vertikaliais šilumos kolektoriais“, kuriame tiriamasis objektas buvo Vilniaus miesto Visorių mikrorajone esanti statybų aikštelė, kurioje buvo numatytas šildymas sekliąją geotermine energija ir remiantis TRT testo duomenimis modelis.

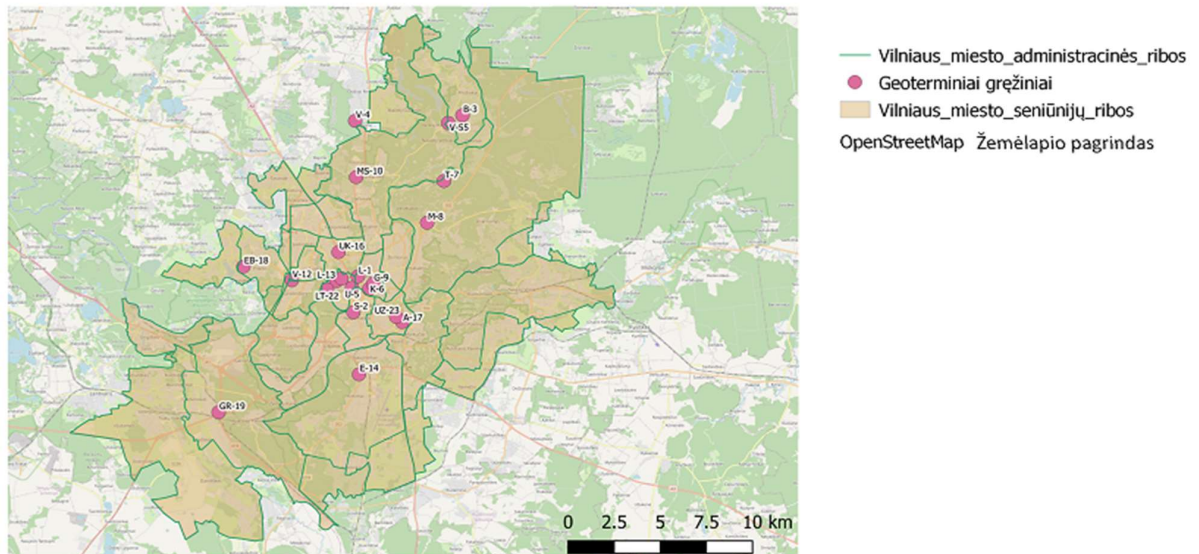
Lietuvoje šiuo metu TRT testus atlieka tik viena įmonė UAB „Hidro Geo Consulting“. Kuri ataskaitų forma, teikia duomenis į Lietuvos geologijos tarnybos fondus. Tiesa, dalis jų turi peržiūros apribojimus, todėl šiame magistriniame darbe buvo remtasi tik viešai prieinamomis ataskaitomis.

Šiame magistro baigiamajame darbe buvo naudotasi TRT testų esančių Lietuvos geologijos tarnybos fonduose duomenimis, privačių tyrimų ataskaitomis iš šilumos siurblių tiekėjų, bei literatūros šaltiniuose nurodytomis savybėmis ir konstantomis.

3.3 TRT testų rezultatų apdorojimas

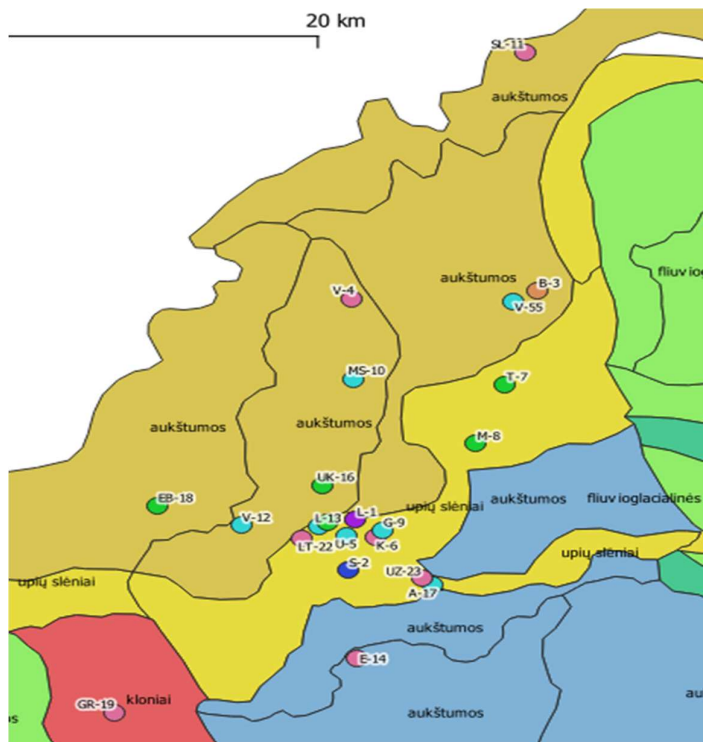
Magistro darbe naudoti 22-jų TRT testų atliktų Vilniaus mieste duomenys. Geoterminių gręžinių, kurių tyrimų ataskaitos buvo prieinamos, išsidėstymą Vilniaus miesto teritorijoje parodo 3.2. pav. Tyrimų vietos yra išsidėstę netolygiai, koncentruojasi centrinėje miesto dalyje, rytinėje ir pietinėje miesto dalyse, jų visai nėra. Daugiausiai tai įtakoja didelių biurų, administracinių pastatų

statybos paplitimas miesto centre, TRT testai atlikti didesnėms nei 30 kW sistemoms. Dalis testų atlikta užsienio įmonių, privačiais užsakymais.



3.2 pav. Bandomųjų geoterminių gręžinių išsidėstymas Vilniaus mieste

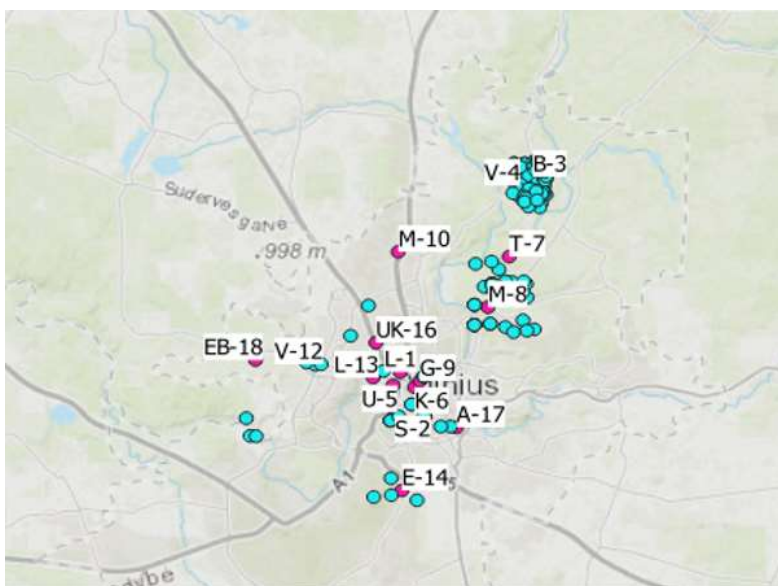
Geomorfologiniu požiūriu TRT testai buvo atlikti 9 gręžiniuose, kurie yra Vilniaus aukštumose, vienas klonio srityje (GR - 19), visi kiti Vilnios lygumų, upės slėnyje. Atvaizdavimas pateiktas ištraukoje iš Qgis programa sudaryto žemėlapis (pav. 3.3).



3.3 pav. Bandomųjų gręžinių išsidėstymas geomorfologiniu požiūriu

Ataskaitose taip pat buvo pateikti geologiniai gręžinių stulpeliai ir, dalyje iš jų, geofizikos tyrimų duomenys, naudoti geologinei sąrangai nustatyti. Kadangi, kai kurie duomenys yra gana prieštaringi ir geologinė sąranga aprašyta labai paviršutiniškai buvo sudaryta atskira duomenų bazė iš Lietuvos geologijos tarnyboje registruotų, aplink esančių, vandens gręžinių. Naudojantis šalimais esančių vandens gręžinių duomenimis, geoterminių gręžinių geologinio pjūvio aprašymai buvo patikslinti pagal panašaus gylio storumės litologiją ir vandeningumą. Ataskaitų, kuriose šalia geoterminio gręžinio pjūvio buvo pateikta geofizika (kreivės), duomenys laikytini tiksliausiais. Sudaryti gręžinių geologiniai stulpeliai pridėti prie priedų Nr. 1, 2 ir 3.

Aplink esančių vandens gręžinių išsidėstymas pavaizduotas pav. 3.4. Naudojantis Qgis atviro kodo programa gręžiniai pagal koordinatas „užnešti“ ant Vilniaus miesto žemėlapis 3.4 pav.



3.4 pav. Vandens gręžinių aplink bandomuosius gręžinius išsidėstymas

Analizuojant šiluminių parametrų priklausomybes daug remtasi Palaičio Ž. ir Satkūno J. straipsnyje „Geologinių pjūvių sudėties ir šiluminio laidumo vertės koreliacija“ 2016 m. išskirtomis priklausomybėmis, nes tai yra vienintelis tokio pobūdžio tyrimas atliktas Lietuvoje. Tyrime buvo vertinama gręžinio gylio, grunto smėlingumo ir molingumo įtaka šiluminiam laidumui, bei pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje.

Taip pat iš turimų duomenų buvo ieškoma kitų priklausomybių ir vertinama vandeningo sluoksnio storio ir statinio vandens lygio įtaka, bei vidinių sistemos parametrų - gręžskylės užpildo, gręžinio sienelės storio, šilumnešio tipo ir gręžskylės diametro įtaką apibendrintam šiluminiam laidumui gręžskylėje.

Padalinus tiriamųjų gręžinių pjūvį pagal litologiją ir vandeningumą kiekvienam jų buvo apskaičiuotas apibendrintas šiluminis laidumas. Pagal Vokietijos inžinierių sukurtą ir visame pasaulyje naudojamą rekomendaciją VDI 4640 geoterminių gręžinių įrengimui, kiekvienai uolienai buvo priskiriamas dydis vadinamas – specifine ištraukiamąja galia (kitur šilumos energijos srautu) q_E , kuri matuojama W/m (pav. 3.5) Remiantis šiais duomenis kiekvienam gręžiniui, visai jo geologinei sturymei apskaičiuota bendra q_E ir įvertinta koreliacija su apibendrintu šiluminiu laidumu.

Galima specifinė dvigubos U formos vamzdinių zonų ištraukiamoji galia q_E (pagal VDI 4640, 2 lapą)

Pagrindas	Specifinė ištraukiamoji galia q_E , W/m
Bendrosios orientacinės vertės	
Blogas gruntas (sausos nuosėdos) ($\lambda < 1,5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	20
Normalus tankiųjų uolienų gruntas ir prisotintos vandens nuosėdos ($1,5 \leq \lambda \leq 3,0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	50
Tankiosios didelio šiluminio laidumo uolienos ($\lambda > 3,0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	70
Atskiros uolienos	
Žvyras, smėlis (sausis)	< 20
Žvyras, smėlis (vandeniu)	55-65
Molis, priemolis (drėgnas)	30-40
Kalkakmenis (masyvus)	45-60
Smiltainis	55-65
Rūgštūs magmatitai (pvz., granitas)	55-70
Šarminiai magmatitai (pvz., bazaltas)	35-55
Gneisas	60-70

3.5 pav. q_E vertės pagal VDI 4640 rekomendaciją.

Naudojant TRT testų duomenis priklausomybių ir pasiskirstymo vizualizacijoms sudaryti, rezultatai buvo apdoroti Microsoft Excel programa taikant „duomenų glotninimo“ (angl. data smoothing) funkciją.

Sudarant Vilniaus miesto geoterminio potencialo ir teritorijų su potencialia rizika įrengiant geoterminius gręžinius vizualizacijoms buvo naudotasi Qgis ir Mapinfo programomis.

4. VILNIAUS MIESTO ŠILUMINĖS GRUNTO SAVYBĖS IR SEKLIOSIOS GEOTERMIJOS ENERGIJOS NAUDOJIMO POTENCIALAS

4.1 Šiluminių parametų pasiskirstymas

Remiantis testuose pateiktais duomenimis buvo sudaryta duomenų bazė ir įvertinta, kurių parametų verčių yra pakankamai norint rasti priklausomybes ir įvertinti pasiskirstymo tendencijas. Pagrindiniai parametrai ir duomenų bazės ištrauka matoma 4.1 pav.

Gręžinys	x	y	Gylis, m	šiluminis laidumas λ , W/m*K	efektyvioji gręžinio šilumos varža Rb K/W/m	naturali grunto temperatūra, °C	vandeningo sluoksnio storis, m	šilumokačio diametras, mm	šilumokačio sienelės storis, mm	Šilumnešis	Gręžskylės užpildas
L-1	6E+06	6E+05	91	4,5	0,0812	9	33	40	2,3	vanduo	nepateikta
S-2	6E+06	6E+05	152	2,9	0,123	10,1	70	40	3,7	vanduo	Žvirždo molio mišinys
B-3	6E+06	6E+05	154	3,35	0,09	8,4	60	40	3,2	propilengliukolis	Smulkios žvyrgždas su bentonitu-moliu
V-4	6E+06	6E+05	90	2,09	0,095	7,1	38	40	2,4	vanduo	molio bentonito mišinys
V-55	6E+06	6E+05	150	2,21	0,095	8,3	45	40	2,4	vanduo	molio bentonito mišinys smulkios
U-5	6E+06	6E+05	90	2,27	0,086	9,1	30	40	3,7	propilengliukolis	žvyrgždas su
K-6	6E+06	6E+05	96	2,11	0,088	8,7	25	40	3,7	vanduo	Žvirždo molio mišinys
T-7	6E+06	6E+05	70	2,72	0,094	8	31	40	3,7	propilengliukolis	nepateikta
M-8	6E+06	6E+05	105	2,72	0,1135	8	17	40	3,7	propilengliukolis	Žvirždo molio mišinys
G-9	6E+06	6E+05	81	2,44	0,095	10,3	33	40	3,7	etilengliukolis	Žvirždo molio mišinys
Moksl-10	6E+06	6E+05	150	2,21	0,155	7,1	18	40	3,7	propilengliukolis	molio bentonito mišinys
V-12	6E+06	6E+05	120	2,28	nepateikta	9,4	20	40	3,2	etilengliukolis	molio bentonito mišinys
L-13	6E+06	6E+05	100	2,35	nepateikta	8,8	22	40	nepateikta	vanduo	nepateikta
E-14	6E+06	6E+05	150	2,07	nepateikta	9,3	12	40	nepateikta	etilengliukolis	molio bentonito mišinys
UK-16	6E+06	6E+05	150	2,8	0,1	9,2	38	40	nepateikta	etilengliukolis	molio bentonito mišinys
A-17	6E+06	6E+05	80	2,25	nepateikta	8,7	20	40	nepateikta	vanduo	nepateikta
EB-18	6E+06	6E+05	120	2,56	nepateikta	10,1	26	40	2,4	vanduo	nepateikta
GR-19	6E+06	6E+05	110	2	0,2331	8,5	21	40	2,4	propilengliukolis	Žvirždo molio mišinys
DG-20	6E+06	6E+06	140	2,84	0,1198	9,2	55	40	3,7	propilengliukolis	Žvirždo molio mišinys
V-21	6E+06	6E+05	95	2,72	0,1125	8	29	40	3,7	propilengliukolis	Žvirždo molio mišinys
LT-22	6E+06	6E+05	75	1,99	0,1249	8,6	22	40	3,7	propilengliukolis	Žvirždo molio mišinys
UZ-23	6E+06	6E+05	100	2,16	0,2311	9,2	28	40	3,4	propilengliukolis	Žvirždo molio mišinys

4.1 pav. TRT testų duomenų bazė

Atsižvelgiant į TRT testų ataskaitų duomenis bandomųjų geoterminių gręžinių gylis yra nuo 75 iki 150 m. gylio. Šiluminis laidumas (λ) kinta nuo 1,98 iki 4,5 W/m*K (4.1 lentelė).

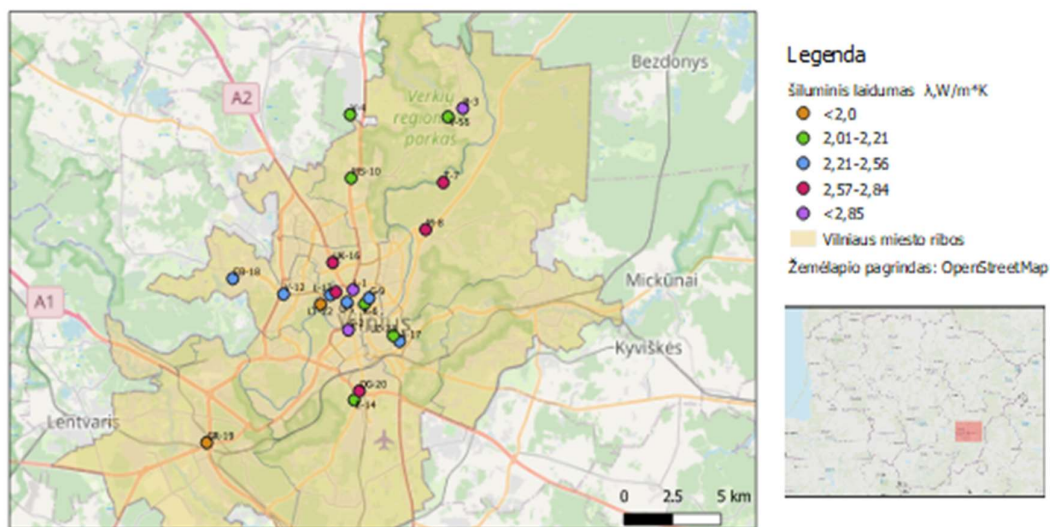
Vidutine šiluminio laidumo reikšme duomenų imtyje yra 2,274,5 W/m*K. Maksimali reikšmė 4,5 W/m*K aptikta gręžinyje L-1, minimali 1,99 W/m*K – gręžinyje LT-22.

Maksimali reikšmė gauta gręžinyje L-1 – 4,5 W/m*K, labai išsiskiria iš kitų. Tai būtų galima paaikškinti stipria požeminio vandens įtaka. TRT teste nurodyta, jog vandens spūdis gręžskylėje buvo labai aukštas ir trukdė atlikti tinkamus matavimus, todėl jie buvo kartojami sekomis. Tiesa, panaši pastaba buvo prie U-5 testo, kurioje nurodyta, jog testas turėjo būti atliktas iš naujo, nes pirmojo metu dėl vandens spūdinio lygio (kuris, siekė žemės paviršių) gauta šiluminio laidumo vertė buvo net 9,7 W/m*K. Pakartotino testo metu – kitoje gręžskylėje gautas laidumas buvo 2,27 W/m*K.

4.1 lentelė. Bandomųjų geoterminių gręžinių gylio ir šiluminio laidumo duomenys

Gręžinių pav.	Gylis, m	Šiluminis laidumas (λ), W/m ² K
LT-22	75	1,99
GR-19	110	2,0
E-14	150	2,07
V-4	90	2,09
K-6	96	2,11
UZ-23	100	2,16
V-55	150	2,21
MKL-10	150	2,21
A-17	80	2,25
U-5	90	2,27
V-12	120	2,28
L-13	100	2,35
G-9	81	2,44
EB-18	120	2,56
T-7	70	2,7
M-8	105	2,74
V-21	95	2,72
UK-16	150	2,8
DG-20	140	2,84
S-2	152	2,9
B-3	150	3,35
L-1	91	4,5

Apibendrinto šiluminio laidumo vertės suskirstytos į 5 grupes ir perkeltos ant Vilniaus miesto žemėlapiu (4.2 pav.) Qgis atviro kodo programa. Kadangi duomenų imtis nedidelė ir pasiskirstymas netolygus, aiškiaus teritorinio pasiskirstymo nesimato.



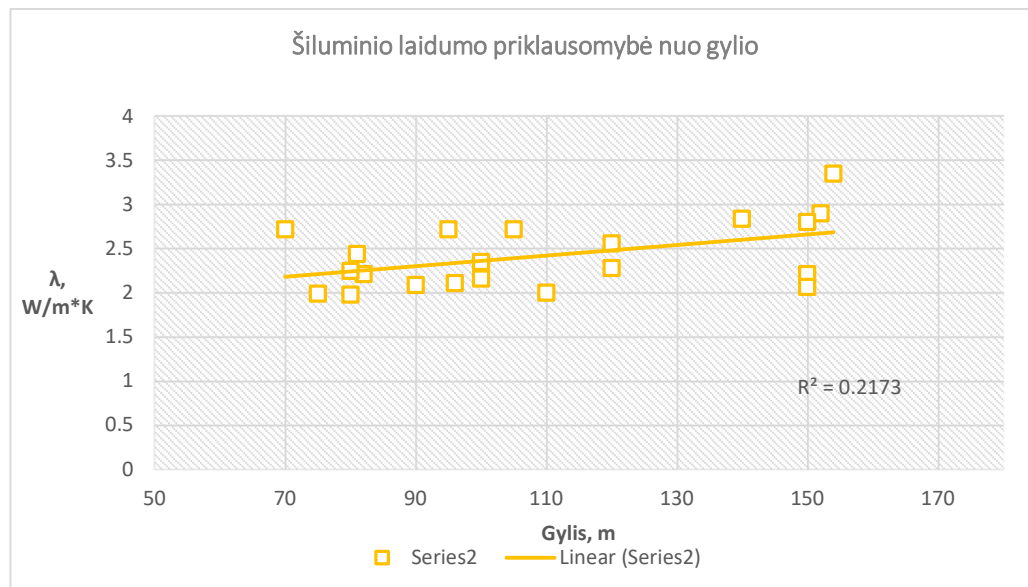
4.2 pav. TRT testų šiluminio laidumo verčių pasiskirstymo žemėlapis

4.3 Šiluminių parametru priklausomybės

Ieškant šiluminio laidumo priklausomybių buvo vertinami išoriniai faktoriai: gręžinio gylis, smėlingų ir molingų gruntų procentinis kiekis gręžiniuose, vandeningų sluoksnių storis bei statinis vandens lygis artimiausiuose vandens gręžiniuose, bei vidiniai sistemos elementai: šilumnešio skystis, gręžskylės sienelės diametras, užpildo tipas.

Vertinant šiluminio laidumo priklausomybę nuo gręžinio gylio, gauta mažai reikšminga priklausomybė, koreliacijos koeficientas $r = 0,46$ (4.3 pav). Tai galima paaiškinti gamtinio slėgio pasiskirstymo dėsningumais - laboratorinių tyrimų duomenimis gamtinio slėgio reikšmei pasiekus 10 MPa ribą šiluminio laidumo vertės padidėja 8,3 %, tačiau toliau didėjimas vyksta lėtai. Darant prielaidą, kad vidutinis nuosėdinių uolienu tankis yra $2\ 000\ \text{kg/m}^3$, gamtinėmis sąlygomis toks slėgis būtų pasiektas 50-55 m gylyje (Palaitis ir kt., 2016). Kadangi visi tirti gręžiniai yra gilesni ir įrengti skirtingose geologinėse sąlygose, matyt, kad kiti faktoriai stipriau veikia šiluminio laidumo reikšmių pasiskirstymą ir iškreipia teorinės priklausomybės kreivę.

Įvertinus geologinius gręžinių pjūvius, pastebėta, jog šiluminio laidumo vertės yra didžiausios gręžiniuose, kuriuose aptinkama devono laikotarpio dolomito ir kreidos mergelio. Tai dėsninga, nes dolomito, kaip atskiros uolienos šiluminis laidumas yra didžiausias ir svyruoja nuo $2,8 - 4,3\ \text{W/m}^*\text{K}$, kai tuo tarpu vandeningo smėlio nuo $2,0 - 3,0\ \text{W/m}^*\text{K}$, o moreninių gruntų – $1,1 - 3,0\ \text{W/m}^*\text{K}$. (Geotrainet, 2011).



4.3 pav. Šiluminio laidumo ir gylio priklausomybė

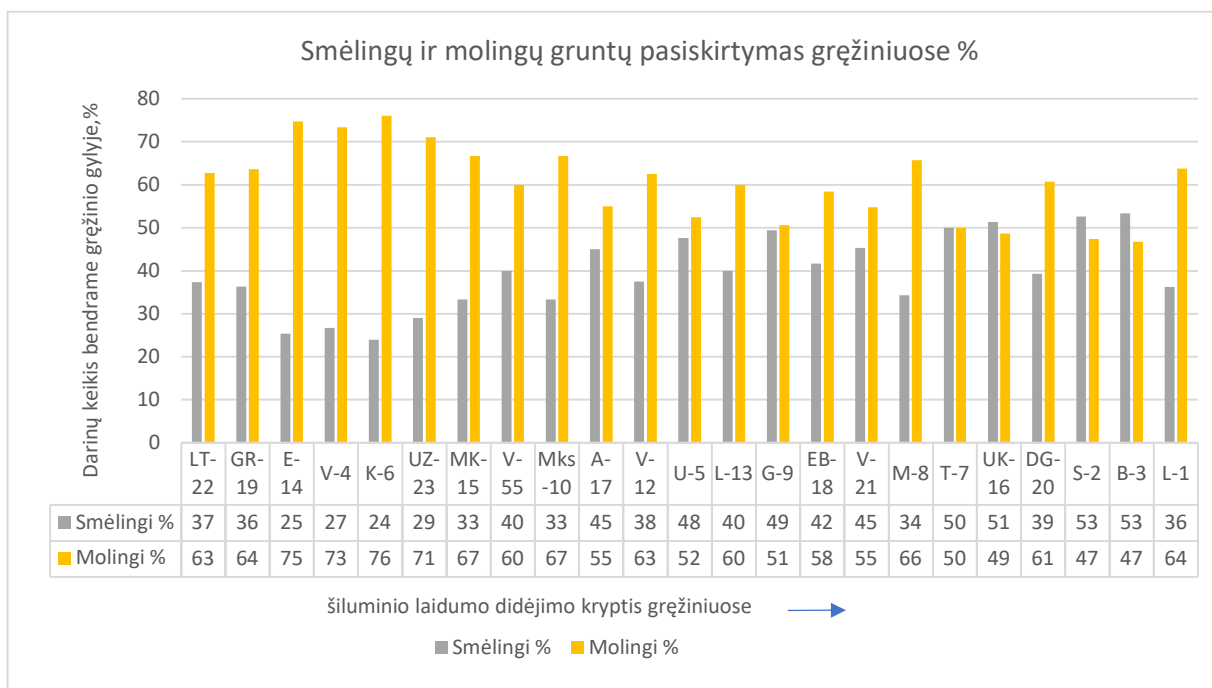
Suskirsčius gręžinius į tris grupes (mažo, vidutinio ir didelio šiluminio laidumo) (lentelė 4.2) ir įvertinus vidutinį gylį, matoma, jog didžiausios šiluminio laidumo vertės buvo aptiktos giliausiuose gręžiniuose, mažiausios – seklesniuose. Tačiau svarbu pabrėžti, jog taip yra būtent dėl uolienu aptinkamų giliau – dolomito bei mergelio.

4.2 lentelė. Gręžinių grupės pagal gylį ir šiluminį laidumą

Didžiausios λ W/m*K vertės			Vidutinės λ W/m*K vertės			Mažiausios λ W/m*K vertės		
Gręž. ID.	λ	gylis	Gręž. ID.	λ	gylis	Gręž. ID.	λ	gylis
*L-1	4,5	91	EB-18	2,56	120	UZ-23	2,16	100
B-3	3,35	154	G-9	2,44	81	K-6	2,11	96
S-2	2,9	152	L-13	2,35	100	V-4	2,09	90
DG-20	2,84	140	V-12	2,28	120	E-14	2,07	150
UK-16	2,8	150	A-17	2,25	80	GR-19	2	110
T-7	2,72	70	U-5	2,21	82	LT-22	1,99	75
M-8	2,72	105	Moksl-10	2,21	150			
V-21	2,72	95						
Vidutinis gylis, m	140		110			103		

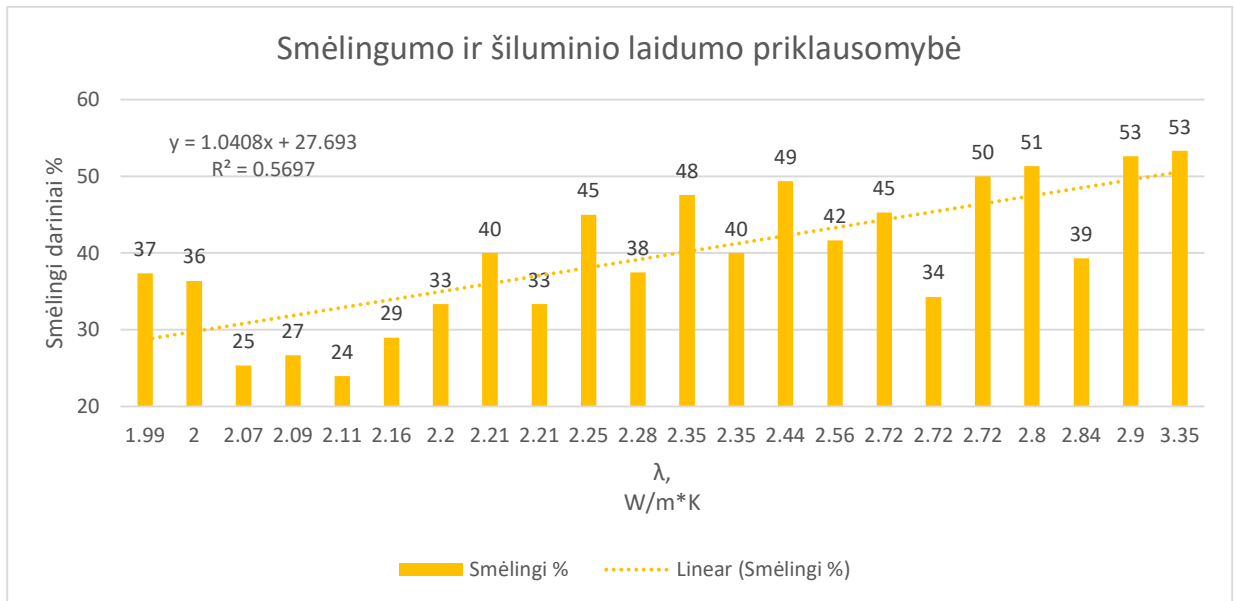
*Gręžinio L-1 duomenys nėra vertinami

Toliau vertintas gręžinių geologinę stovymę sudarančių grunto smėlingumo ir molingumo bendras kiekis (%) kiekviename gręžinyje. Tam panaudoti anksčiau minėti geologiniai pjūviai, visos nuogulos suskirstytos į smėlingas ir molingas, išskaičiuotas jų kiekis remiantis kiekvieno sluoksnio storio duomenimis. Gautas pasiskirstymas matomas paveikslėlyje 4.4. Tirtų gręžinių pjūvių litologinė sudėtis labai įvairi, tačiau vyrauja molingi sluoksniai. Molingumas gręžiniuose kinta nuo 47 iki 81 %. Smėlingumas kinta nuo 24 iki 53 %.



4.4 pav. Smėlingų ir molingų gruntų pasiskirstymas gręžiniuose (%)

Remiantis teorine prielaida jog smėlingų - drėgnų gruntų šiluminės savybės yra geresnės, nei molingų, sudarytas smėlingumo pasiskirstymo ir šiluminio laidumo priklausomybės grafikas (4.5 pav.).

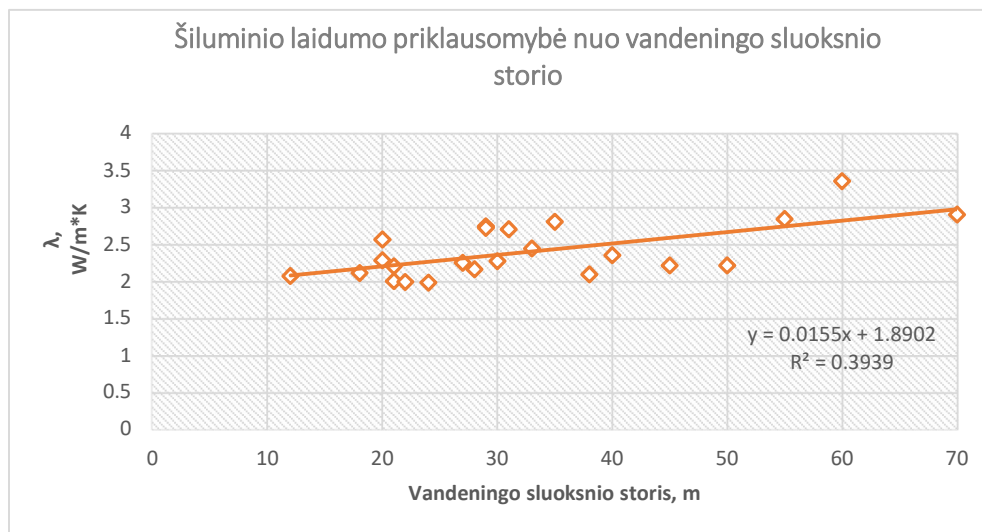


4.5 pav. Smėlingumo grėžiniuose (%) ir šiluminio laidumo koreliacija

Gautas koreliacijos koeficientas yra $r=0,75$. Tai rodo, jog grėžinį sudarančių gruntų smėlingumas tikrai turi įtakos šiluminiam laidumui. Didėjant grėžinio “smėlingumui” didėja jo šiluminis laidumas. Tai atitinka ir literatūroje aprašytus atvejus, kai laboratoriniais tyrimais nustatytas šiluminis laidumas buvo didesnis smėlinguose gruntuose nei molinguose.

Didžiausios šiluminio laidumo vertės yra grėžiniuose, kur smėlingumo procentaliai yra daugiau. Vidutinės šiluminio laidumo vertės nuo smėlingumo % grėžiniuose svyravo taip: kai smėlingumo $<30\%$ - $2,1\text{ W/m}^*\text{K}$, tarp $30 - 50\%$ - $2,37\text{ W/m}^*\text{K}$ ir kai smėlingumo $>50\%$ - $2,9\text{ W/m}^*\text{K}$.

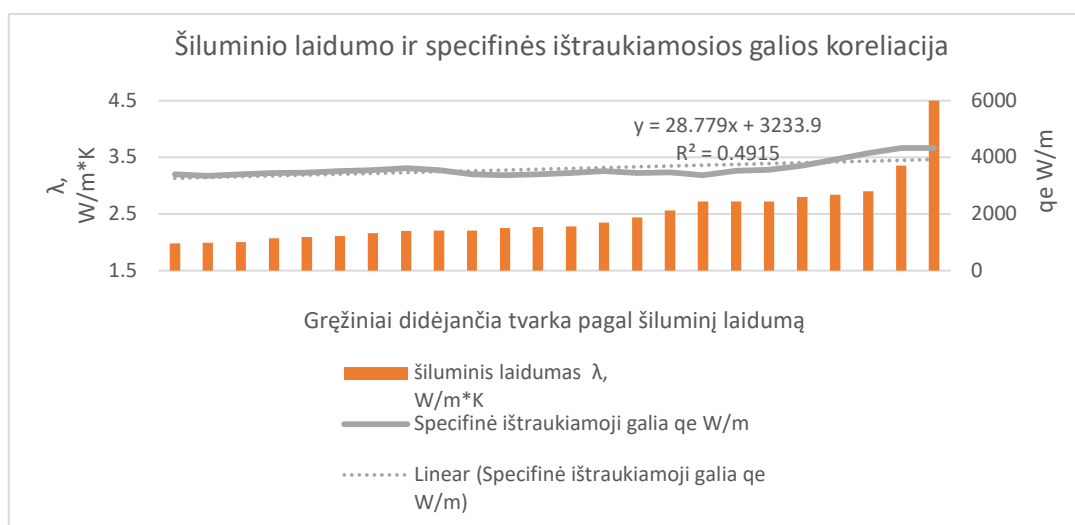
Teoriniais duomenimis šiluminis laidumas yra didesnis vandeninguose gruntuose, nei sausuose. Tikrinant ar nuogulų vandeningumas daro pastebimą įtaką šiluminio laidumo pasiskirstymui Vilniaus mieste sudarytas šiluminio laidumo priklausomybės nuo vandeningo sluoksnio storio pasiskirstymo grafikas (4.6 pav.) ir įvertintas jo reikšmingumas.



4.6 pav. Vandeningų sluoksnių storio gręžiniuose ir šiluminio laidumo koreliacija

Iš gauto grafiko matyti, jog didėjant vandeningų nuogulų storiui gręžiniuose didėja ir šiluminis laidumas, gauta koreliacijos koeficiento reikšmė yra $r=0,63$. Vandeningo sluoksnio storiai geologiniuose gręžinių pjūviuose svyruoja nuo 12 m – gręžinyje E-14, kur šiluminis laidumas 2,07 W/m*K, iki 70 m gręžinyje S-2, kur šiluminis laidumas – 2,9 W/m*K.

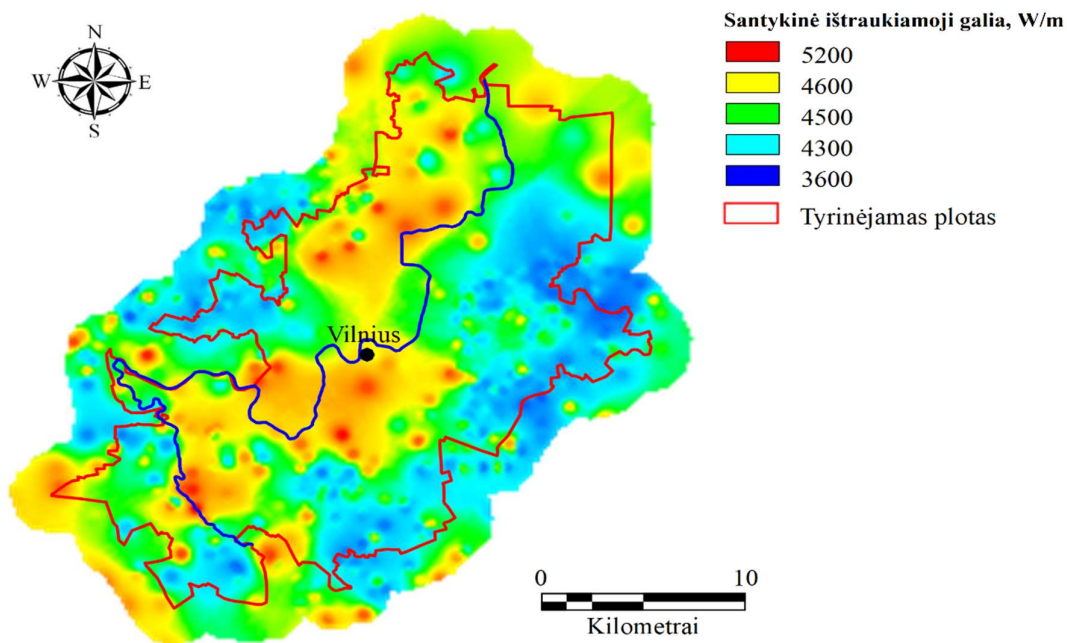
Pagal bandomųjų gręžinių geologinio pjūvio sudėtį, kiekvienam išskirtam gruntui priskyrus atitinkamą qE specifinės ištraukiamosios galios W/m vertę (lentelė metodikoje) ir susumavus pagal visų sluoksnių storius, sudarytas suminės galios ir šiluminio laidumo priklausomybės grafikas (4.7 pav.). Gautas koreliacijos koeficientas $r = 0,7$ rodo gerą koreliaciją tarp suminės galios išskaičiuotos remiantis apibendrintomis reikšmėmis ir faktinių šiluminio laidumo reikšmių gautų Vilniaus mieste.



4.7 pav. Šiluminio laidumo ir specifinės ištraukiamosios galios koreliacija

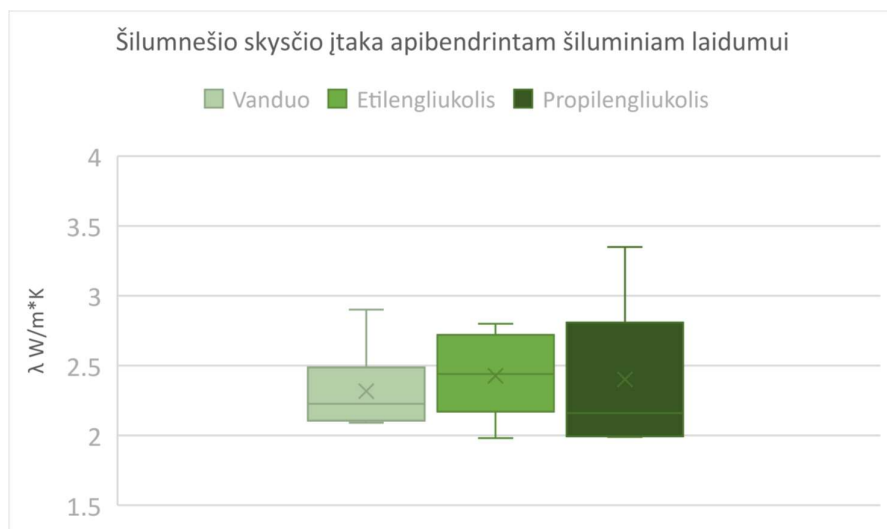
Atsižvelgiant į šią koreliaciją Mapinfo kompiuterine programa buvo sudarytas preliminarus Vilniaus miesto geoterminio potencialo žemėlapis. Sekliųjų geoterminių sistemų įrengimui aktuali yra 100-150 m. viršutinė geologinės stromės dalis. Žemėlapiui sudarymui buvo panaudoti 1520 gręžinių (gavybos, tiriamųjų ir kt.) gilesnių nei 130 m., įrengtų Vilniuje ir jo apylinkėse, duomenys. LGT GEOLIS informacinėje sistemoje suformuojamas duomenų rinkinys, kuriame pateikiami visų gręžinyje išskirtų geologinių sluoksnių storiai ir pagrindinė uoliena. Pagrindines nuogulos buvo sugrupuotos pagal VDI 4640, kurioms yra žinomos qE specifinės ištraukiamosios galios vertės. Įvertinus išskirtų nuogulų grupių procentinį storį kiekviename gręžinyje ir padauginus iš qE reikšmės, bei jas susumavus buvo gautos santykinės ištraukiamosios galios vertės konkrečioje vietoje. Sudarius šių reikšmių pasiskirstymo žemėlapi matomi gana aiškūs dėsniniai. Pagal gautą pasiskirstymą galima prognozuoti vietas, kuriose geoterminių gręžinių sistemų efektyvumas dėl geologinių sąlygų galėtų būti didesnis ir kuriose mažesnis. Geologiškai geresnėmis geoterminėmis sąlybėmis pasižymi aliuviniai ir fluvioglacialiniai dariniai kvartero stromėje, paplitę Neries upės slėnyje. Tuo tarpu rytiniame ir vakariniame miesto pakraščiuose viršutinėje geologinio pjūvio dalyje vyrauja santykinai mažo vandeningumo molingos nuogulos (moreninis priemolis ir priesmėlis) ir čia geoterminis potencialas yra mažesnis. Geomorfologiškai – didesnis potencialas pastebimas žemumose, nei aukštumose. Tiksliesniam skirtingo geoterminio potencialo zonų išskirčiai reikėtų detalesnės geologinių duomenų atrankos ir

verifikavimo, taip pat daugiau faktinių šiluminio laidumo duomenų, tačiau iš pateikto žemėlapi matoma, kad jų išskyrimas Vilniaus mieste turėtų didelę praktinę reikšmę.



4.8 pav. Vilniaus miesto geoterminio potencialo žemėlapis

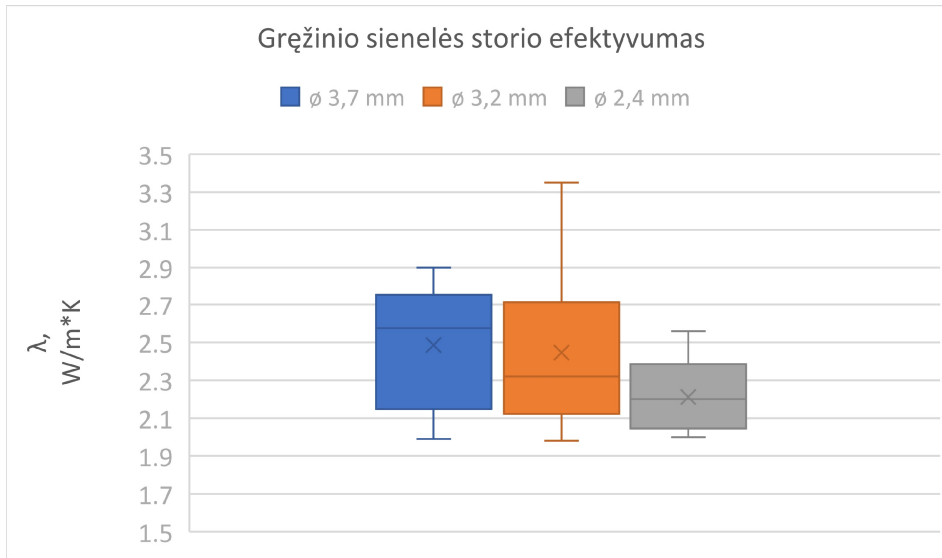
Taip pat buvo analizuoti vidiniai faktoriai geoterminėse sistemose - šilumokaičio skysčio tipas, gręžinio sienelės storis, gręžskylės užpildo tipas, kurie turi įtakos apibendrintas šiluminiam laidumui. Apibendrinti statistinio pasiskirstymo duomenys pateikti 4.9, 4.10, 4.11 grafikuose.



4.9 pav. Šilumnešio skysčio įtaka apibendrintam šiluminiam laidumui

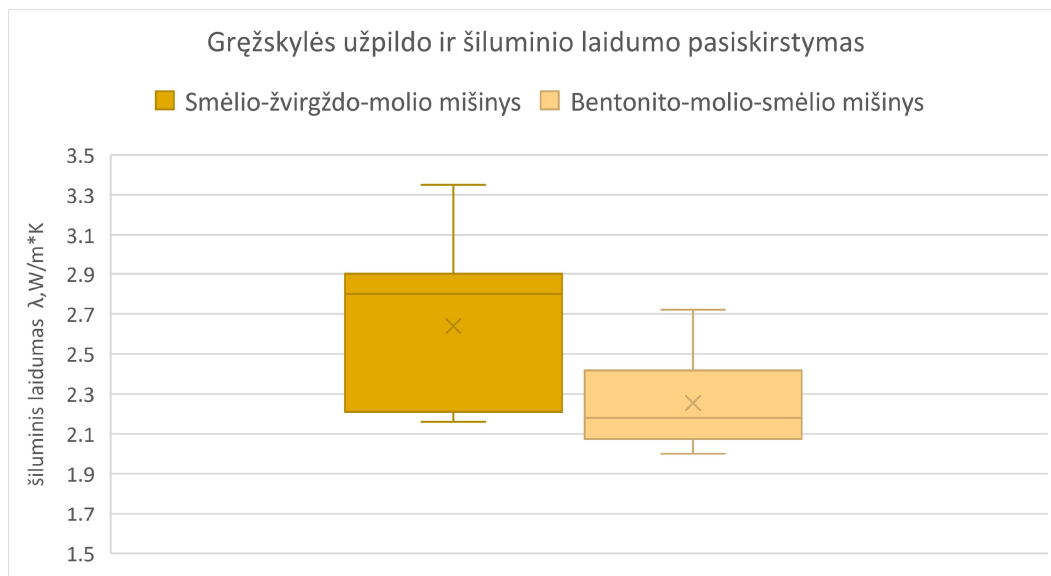
Gręžiniuose, kurie buvo užpildyti etilengliukolio ir vandens mišiniu gautas didžiausias šiluminių laidumų imties vidurkis, lyginant su propilengliukoliu bei vandeniu užpildytais gręžiniais. Taip yra dėl geresnių šiluminių savybių, kurias turi etilengliukolio mišinys (užšalimo temperatūros, didesnio šiluminio laidumo, klampumo).

Gręžinio sienelės storis, vienas iš parametru, kuriuos buvo galima rasti visuose TRT testuose. Gręžiniuose naudotų vamdžių sienelės suskirstytos į tris grupes: 3,7 mm, 3,2 mm ir 2,4 mm diametro storio. (4.10 pav.).



4.10 pav. Gręžinio sienelės diametro įtaka apibendrintam šiluminiam laidumui

15-oje TRT testų buvo nurodyti gręžskylės užpildo tipai. Pagal turimas reikšmes, sudarytas „box“ tipo grafikas (4.11 pav.), kuriame nurodomas gręžinių su dviem skirtingais užpildais šiluminių laidumų pasiskirstymas. Įvertinta, jog gręžiniai užpildyti smėlio-žvirgždo-molio mišiniu, turi didesnes šiluminio laidumo reikšmes, nei gręžiniai, kurių gręžskylės užpildas buvo bentonito-molio-smėlio mišinys.



4.11 pav. Gręžskylės užpildo įtaka apibendrintam šiluminiam laidumui

4.3 Saugus sekliosios geoterminės energijos naudojimas

Aplinkosauginiai aspektai, susiję su geologinės sąrangos ir požeminio vandens apsauga, yra nepaprastai svarbūs vykdant sekliosios geotermijos projektus.

Lietuvoje saugų geoterminės energijos išgavimą ir panaudojimą reglamentuoja „Geoterminių gręžinių projektavimo, įrengimo ir likvidavimo tvarkos aprašas“ išleistas 2015 m. Lietuvos geologijos tarnybos ir patvirtintas Lietuvos respublikos Aplinkos ministro. Jame pateikiamos rekomendacijos, kaip teisingai, tinkamai ir saugiai įrengti geoterminių gręžinių sistemas.

2008 metais Briuselyje buvo įkurta pelno nesiekianti organizacija GeoTrainet. Tai narystės organizacija, kurią sudaro nacionalinės įstaigos ir valdo Europos geoterminės energijos taryba ir Europos geologų federacija. 2011 m. ši organizacija išleido instrukciją/rekomendaciją vertikalių grunto šilumos siurblių projektuotojams (agl. manual for Designers of Ground Source Heat Pumps (GSHP) bei atskirą vadovą gręžimo darbams. Šiose instrukcijose plačiai aprašomi procesai, taikomos technologijos, reikalavimai, kuriuos būtina taikyti įrengiant ir projektuojant efektyvias sistemas nepažeidžiant geologinės aplinkos (www.geotrained.lt).

Pagrindinės aplinkosauginės problemos susijusios su geoterminių gręžinių įrengimu aprašytos Geotrained instrukcijoje yra šios:

- Šilumnešio nutekėjimas (pažeidus šilumokaitį);
- Vandeningų sluoksnių sumaišymas (dėl prastos užpildo kokybės);
- Įrengimas požeminio vandens proveržio zonose;

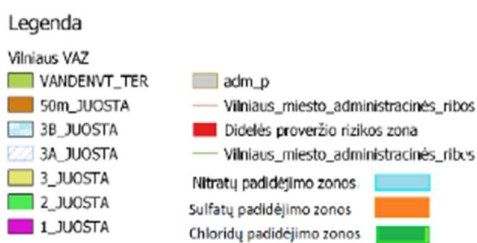
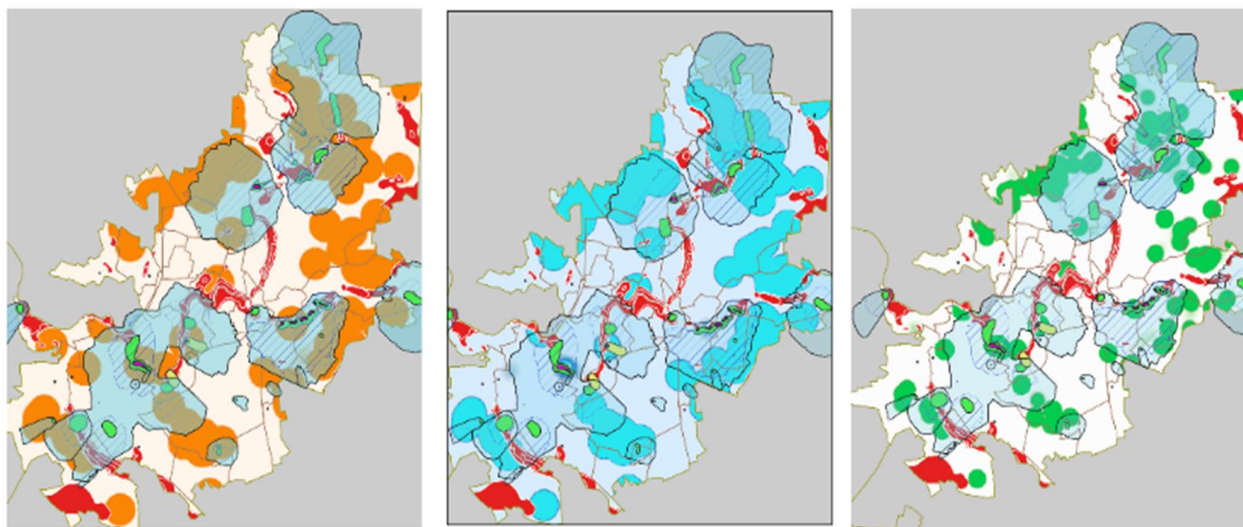
Šilumnešio nutekėjimas yra pavojingiausias tuo atveju, jei sistema užpildyta „antifrizu“ ar kitu toksišku skysčiu pvz. etilengliukoliu. Jo patekimas į vandenį gali sukelti požeminio geriamojo vandens taršą. Propilengliukolio ir vandens mišinys šiuo metu yra saugiausias ir labiausiai rekomenduojamas, kaip biologiškai greitai degraduojantis tirpalas.

Vandeningų sluoksnių „sumaišymas“, gali sukelti skirtingos cheminės sudėties ir mineralizacijos požeminio vandens pertekėjimą į kitus sluoksnius. Todėl svarbu užtikrinti jog gręžskylės užpildas būtų ne tik gerų šiluminių savybių, bet ir ne mažesnio tankumo, nei geologinė aplinka.

Įrengimas požeminio vandens proveržio zonose yra technologiškai labai sudėtingas. Gręžskylė gali tapti fontanuojančia ir suvaldyti didelį vandens spūdį be pasirengimo (apsauginių vandžių, specialaus gręžskylės užpildo) gana sunku. Siekiant išvengti to, būtina atsižvelgti į teritorijos geologines sąlygas, tam specialiai yra sudaromi požeminio vandens proveržio rizikos žemėlapiai, kuriuose prognozuojamos tokios teritorijos.

Taip pat gręžinių įrengimas yra papildomai reglamentuojamas saugomose teritorijose, Nacionaliniuose parkuose, draustiniuose, vandenviečių apsaugos zonose tam papildomai reikalingi specialūs leidimai ir projektų suderinimai su atitinkamomis institucijomis.

Vilniaus mieste veikia 34 vandenvietės, kiekviena iš jų turi skirtingas apsaugos zonas (VAZ). Priklausomai nuo apsaugos zonos pobūdžio, šioje teritorijoje yra ribojama ūkinė žmogaus veikla, visi rengiami projektai susiję su žemės gelmių panaudojimu šiose teritorijose turi būti suderinti su LGT. Taip pat Vilniaus mieste, specifinėse teritorijose, ypač aplink Nėries upę, yra galimų požeminio vandens proveržio rizikos zonų, kur vandens spūdinis lygis gali viršyti žemės paviršių. Neįvertinus iš anksto ir nepasiruošus specialiomis priemonėmis, gręžinių gręžimas šioje teritorijoje gali būti itin pavojingas tiek statybų aikštelėj, kurioje vykdomi darbai (įgriūvos, išplaunamas gruntas, pavojus



4.12 pav. Potencialios rizikos teritorijos įrengiant geoterminius gręžinius

pastatams ir įrangai, tekantis šaltinis statybvietyje) bet ir hidrogeosferos hidrodinaminiam režimui. Prognozei ir tinkamam pasirengimui yra parengti specialūs proveržio rizikos žemėlapiai Lietuvos mastu, LGT GEOLIS sistemoje.

Kai kuriuose vandeninguose sluoksniuose, vandens gręžinių tyrimų duomenimis, yra padidėję NO_2 , NO_3 , Cl ir SO_4 rodikliai vandeninguose sluoksniuose. Šiose teritorijose turėtų būti užtikrintas vandeningų sluoksnių izoliavimas dėl pertekėjimo rizikos ir vandeningų sluoksnių susimaišymo.

Atsižvelgiant į visus aukščiau minėtus faktorius, pasinaudojus Qgis programa, LGT duomenų baze GEOLIS, žemėlapiai (VAZ ir proveržio rizikos zonų) ir gręžinių cheminių anomalijų duomenys (naudoti rodikliai: Cl , SO_4 ir NO_3) sujungti į vieną, išskiriant Vilniaus miesto teritoriją. Vaizdiniai modeliai (4.12 pav.) atspindi vietas, kuriose reikalaujama laikytis papildomų atsargumo priemonių vykdant sekliosios geotermijos įrengimo darbus Vilniaus mieste.

4.3. Sekliosios geoterminės energijos naudojimo potencialas ir rekomendacijos

Vilniaus miestui siekiant įgyvendinti AEI plano numatytus tikslus ir išlaikyti EU standartus visų atsinaujinančių išteklių panaudojimas didės, tarp jų ir sekliosios geotermijos.

Vilniaus miesto sekliosios geotermijos potencialas yra laikytinas dideliu atsižvelgiant į tai, jog didžioji miesto teritorijos dalis nepatenka į saugomas zonas ir jose galimi statybos darbai. Išanalizavus 23-jų TRT testų duomenis didžiausios šiluminio laidumo priklausomybės gautos nuo geologinės stovymės sąndaros. Palankiausios laikomos teritorijos, kuriose didžiąją geologinio pjūvio dalį sudaro smėlingi-drėgni gruntai, bei yra bent vienas vandeningas sluoksnis. Taip pat gerus šiluminius parametrus turėjo gilesni gręžiniai, dėl pasiektų devono periodo uolienų. Kadangi šiluminio laidumo vertės yra gana panašios ir svyruoja palyginus nedidelėje amplitudėje tirtoje teritorijoje, yra svarbu atsižvelgti ir į vidinius faktorius, kurie gali pagerinti šilumos mainus sistemose. Tinkamai parinkti gręžskylės užpildas, šilumnešio skysčio tipas, bei gręžinio šilumokaičių diametras turi teigiamos įtakos geoterminės sistemos efektyvumui.

Būtina nepamiršti tinkamos kokybės geoterminių sistemų įrengimo aplinkosauginiu požiūriu svarbos. Siekiant nepažeisti geologinės aplinkos ir požeminio vandens sluoksnių, iš kurių gaunamas visas šalyje naudojamas geriamasis vanduo, sistemos turi būti projektuojamos ir įrengiamos atsižvelgiant į vietovės geologiją ir hidrogeologiją, teritorijos pobūdį, laikantis reglamentų, bei nurodymų. Ypatingo pasiruošimo reikalauja VAZ, bei požeminio vandens proveržio rizikos zonose planuojami vykdyti projektai. Magistro darbe daug rėmiausi „Geotrainet“ organizacijos, kurioje, pelno nesiekiant, sekliosios geotermijos srities specialistai ir geologai išleido rekomendacinio pobūdžio leidinius sekliąjai geotermijai. Jie yra parengti labai išsamiai ir aiškiai, bei apjungia du svarbiausius dalykus: geologijoje technologijos taikymą ir geologinės aplinkos vertinimą. Rekomenduočiau, visoms įmonės dirbančioms šioje srityje įsigilinti ir remtis jomis. Galbūt ateityje būtų galimas tokio pobūdžio rekomendacinių leidinių parengimas ir lietuvių kalba, pritaikant pagal esamas geologines sąlygas, srities aktualijas ir šioje veikoje dirbančių asmenų žinias bei patirtis.

Šio magistrinio darbo pradinis tikslas buvo tiksliau apibrėžti teritorijas Vilniaus mieste, kurios išsiskirtų santykinai didesniu geoterminiu potencialu, nei kitos. Nors šiluminių parametru pasiskirstymas ir dėsningumas gautas, tačiau vertinant, jog turėtų duomenų kiekis ir jų tikslumas, vietomis buvo abejotinas, rekomenduočiau šį darbą pratęsti ateityje atliekant kokybiškus tyrimus ir kaupiant jų duomenis, kurie padėtų tiksliau įvertinti ir apibrėžti šiluminių parametru pasiskirstymą ir leistų sudaryti išsamų geoterminio potencialo žemėlapi, kokius turi ir naudoja daugelis pasaulio šalių, taip palengvindamos darbą sau ir kitiems.

IŠVADOS

1. Išanalizavus mokslinę literatūrą ir atlikus turimų TRT duomenų visapusišką analizę nustatyta kad šiluminiam laidumui gręžskylėje įtakos turi vidiniai ir išoriniai veiksniai. Pagrindiniai išoriniai veiksniai kurių įtaka vertinta yra gręžinio gylis, vandeningo sluoksnio storis, grunto sudėtis (smėlingumas ir molingumas). Nustatyta, kad didžiausią įtaką šiluminiam laidumui daro geologinės storumės sudėtis. Smėlingi ir vandeningi dariniai formuoja didžiausią laidumą.
2. Nustatyta, jog šiluminio laidumo priklausomybė nuo gręžinio gylio yra mažai reikšminga. Koreliacijos koeficientas $r = 0,45$. Vertinant TRT testų duomenis pastebėta, jog šiluminis laidumas nežymiai didesnis gilesnių gręžinių grupėje, nei seklesnių, tačiau tai lėmė geru šiluminiu laidumu pasižymintys prekvartero geologiniai sluoksniai, pasiekti gilesniais gręžiniais.
3. Patvirtina, jog vidiniai veiksniai: gręžinio sienelės storis, šilumnešio skystis, gręžskylės užpildas įtakoja šiluminį laidumą gręžskylėje. Didžiausios šiluminio laidumo vertės TRT testuose gautos kaip šilumnešį naudojant etilenliukolio ir vandens mišinį, 3,2 mm diametro sieneles vamzdžiuose ir molio – žvyro užpildą
4. Turimų TRT testų duomenimis Vilniaus miesto grunto šiluminis laidumas kinta nuo 1,98 iki 4,5 W/m*K.
5. Vilniaus miesto viršutinė 100-150 m gylio geologinės storumės dalis, į kurią įrengiamos vertikalios geoterminės sistemos, yra labai įvairi, reikšmingai skiriasi ją sudarančių nuogulų litologinė sudėtis ir vandeningumas, o tai savo ruožtu lemia jos bendrą šiluminį laidumą ir geoterminį potencialą.
5. Iš sudaryto Vilniaus miesto šiluminio laidumo potencialo žemėlapiu matosi, kad geoterminis potencialas turi gana aiškų teritorinį pasiskirstymą. Išsiskiria teritorijos, kurios dėl savo geologinės storumės sudėties gali būti palankiausios geoterminių gręžinių sistemų įrengimui. Pagal turimus duomenis įvertinta, jog teritorijos kvartero storumėje sudarytos iš fluvioglacialinių ir aliuvinių smėlingų gruntų paplitę Neries upės slėnyje, bei gilesni sluoksniai su devono dolomitu ir mergeliu turi geriausias šilumines savybes. Tuo tarpu rytiniame ir vakariniame miesto pakraščiuose viršutinėje geologinio pjūvio dalyje vyrauja santykinai mažo vandeningumo molingos nuogulos (moreninis priemolis ir priemolis) ir čia geoterminis potencialas yra mažesnis.
6. Geoterminių gręžinių įrengimas požeminio vandens proveržio rizikos zonose, vandenviečių apsaugos zonose, bei cheminių anomalijų zonose turėtų reikalauti nuodugnesnio pasiruošimo ir teritorijos įvertinimo tam, jog būtų išvengta galimos neigiamos įtakos požeminiam vandeniui.
7. Šiluminio laidumo nustatymas atliekant geoterminių sistemų įrengimą yra svarbus ir įtakojantis sistemos efektyvumą veiksnys, žinant šį parametą ir teisingai jį vertinant galima tikslingai išnaudoti žemės gelmių energiją ir sutaupyti piniginius kaštus skirtus sistemų įrengimui, taip skatinant rinktis sekliosios geoterminės energijos alternatyvą. Šių tyrimų plėtojimas ir duomenų rinkimas turėtų būti tęsiamas.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Baronas G., Čepulis V. (2009), „Sėkioji geotermija – panaudojimo Lietuvoje ypatumai“ // *Geologijos akiračiai*. ISSN 1392-0006., Nr. 3-4. 27-33p
2. Cervera, C. P., Sinnathamby, G., Gustavsson, H., & Korkiala-Tanttu, L. (2014). Ground thermal modelling and analysis of energy pile foundations. *Numerical Methods in Geotechnical Engineering - Proceedings of the 8th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, NUMGE 2014*. <https://doi.org/10.1201/b17017-172>
3. Ciucci, M. (2020). Europos parlamento internetinis puslapis. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/lt/sheet/70/atsinaujinancioji-energija>
4. Čyžienė J. (2012) Lietuvos geologijos tarnyba. Geoterminės energijos išteklių naudojimo rekomendacijos : ataskaita už projektą. Vilnius, (LGT fondas; Nr.16941)
5. Dincer, I., Sanner, B. (2001). Shallow Geothermal Energy. *GHC Bulletin*. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00011-8)
6. Gaigalis, V., Skema, R., Marcinauskas, K., Korsakiene, I. (2016). A review on Heat Pumps implementation in Lithuania in compliance with the National Energy Strategy and EU policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.029>
7. Gehlin, S. E. A., & Hellström, G. (2003). Comparison of Four Models for Thermal Response Test Evaluation. *ASHRAE Winter Meetings CD, Technical and Symposium Papers*.
8. Gehlin, S. E. A., & Hellström, G. (2003). Comparison of Four Models for Thermal Response Test Evaluation. *ASHRAE Winter Meetings CD, Technical and Symposium Papers*.
9. Gehlin, S. (2002) Thermal response test -Method development and evaluation. Doctoral Thesis 2002:39, LuTH, 2002
10. Goosen, M., Mahmoudi, H., & Ghaffour, N. (2010). Water Desalination using geothermal energy. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en3081423>
11. Gregorauskas M., Klimas A.; UAB „Vilniaus hidrogeologija“. Požeminio vandens būklė ir jo sąveika su paviršinio vandens telkiniais Vilniaus, Kauno bei Kuršių nerijos ir pamaro požeminio vandens baseinuose / - Vilnius, 2014. - 142 p. : 66 pav. - (LGT fondas; Nr.19704
12. Guobytė R., (2014) Lietuvos geologijos tarnyba. Vilniaus miesto kvartero geologija ir geomorfologija
13. Hemmingway, P., Long, M. (2012). Design and development of a low-cost thermal response rig. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Energy*. <https://doi.org/10.1680/ener.11.00029>
14. Indriulionis A. (2019) Dinaminis Lietuvos kvartero nuogulų šilumos perdavimo modelis ir šilumos parametrų vertinimas vertikaliais šilumos kolektoriais // Disertacija, VU.
15. International Renewable Energy Agency (2019), Renewable Capacity Statistics 2019 <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>
16. Lamarche, L., Raymond, J., & Pambou, C. H. K. (2018). Evaluation of the internal and borehole resistances during thermal response tests and impact on ground heat exchanger design. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en11010038>
17. LGT. Geoterminės energijos tyrimai. <https://www.lgt.lt/index.php/233-veiklos-sritys/valstybiniai-zemes-gelmiu-geologiniai-tyrimai/344-geotermines-energijos-tyrimai>

18. Lietuvos Respublika, Geoterminių gręžinių projektavimo, įrengimo ir likvidavimo tvarkos aprašas. Lietuvos Respublika, 015 m. balandžio 3 d. Nr. D1-273 Vilnius <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/754b8950d9ff11e4b6acbc7f0d87c3ec>
19. Lietuvos respublika, STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“, Nr. D1-754
20. Lietuvos respublikos aplinkos ministerija. Lietuva 2030-aisiais – atsinaujinančių energijos šaltinių lyderė (2019). <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/lietuva-2030-aisiais-atsinaujinanciu-energijos-saltiniu-lydere>
21. LR, Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas, 2011 m. gegužės 12 d. Nr. XI-1375.).
22. McCorry, M., & Jones, G. L. (2011). Geotrained Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems. Energy.
23. Meho, Saša & Kovačević, & Ce, & Bacic, Mario & Arapov, Ivan & Kovacevic, Meho Sasa. (2013). Possibilities of underground engineering in the use of shallow geothermal energy. *Gradevinar*. 64. 1019-1028. 10.14256/JCE.663.2012.
24. Morkūnaitė R., (2015) Geologijos ir geografijos institutas. Įvadinės mintys apie Vilniaus miesto istorinį žemėvaizdį. <http://senas.istorija.lt/html/mts/mp2/index.htm#page=02.htm>
25. Palaitis, Ž. (2019). Sekloji geotermija - neišnaudotas Lietuvos potencialas. *Geologijos akiračiai*. 24 psl. <http://www.lgeos.lt/geologijos-akiraciai/uncategorised/2019-m-1-2-nr>
26. Palaitis, Ž., Satkūnas, J. (2016). Geologinių pjūvių sudėties ir šiluminio laidumo vertės koreliacija. *Geologija. Geografija*. <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v2i4.3400>
27. Palaitis, Ž., Satkūnas, J. (2016). Geologinių pjūvių sudėties ir šiluminio laidumo vertės koreliacija. *Geologija. Geografija*. <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v2i4.3400>
28. Pouloupatis, P. D., Tassou, S. A., Christodoulides, P., & Florides, G. A. (2017). Parametric analysis of the factors affecting the efficiency of ground heat exchangers and design application aspects in Cyprus. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.006>
29. Giedraitienė J., Pūtys P. (2012). Lietuvos Geologijos Tarnyba. Požeminio vandens aktyviosios apytakos zonos hidrogeotermija, Vilnius: LGT.
30. Pūtys P., (2017) „Žemės gelmių geoterminės energijos (sekliosios) išteklių skaičiavimo metodikos parengimas“, LGT projekto „Geoenergetika ir saugi aplinka“ ataskaita.
31. Rasteniene, V., Purnas, V. (2005). Geothermal Atlas of Lithuania. *Proceedings World Geothermal Congress 2005, April, 24* <https://www.geothermalenergy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2005/2611.pdf>
32. Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J., & Gehlin, S. (2005). Thermal Response Test – Current Status and World-Wide Application. *Proceedings World Geothermal Congress*.
33. Sharqawy, Mostafa & Said, Syed & Mokheimer, Esmail & Habib, M. A. & Badr, H. & Al-Shayea, Naser. (2009). First in situ determination of the ground thermal conductivity for borehole heat exchanger applications in Saudi Arabia. *Renewable Energy*. 34. 2218-2223. 10.1016/j.renene.2009.03.003.
34. Šliaupa, R. S., Zuzevičius, A., Rasteniene, V., Baliukevičius, A., Zinevičius, F., Gudzinskas, J. (2008). Vakarų Lietuvos regione esančių geoterminės energijos resursų potencialo išaiškinimas ir pagrindimas, bei galimybės jų panaudojimui energijos gamybai. Taikomasis mokslinis tyrimas. Ataskaita.

35. Šliaupa, S. (2008). Geoterminė energetika Lietuvoje: dabartis ir perspektyvos. *Mokslas ir gyvenimas*, 4, 5-7.
36. Šliaupa, S., Zinevičius, F., Mazintas, A., Petrauskas, S., Dagilis, V. (2019). Geothermal Energy Use , Country Update for Lithuania. European Geothermal Congress, Nyderlandai, June. <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/CUR-17-Lithuania.pdf>
37. Suveizdis P., Rasteniene V. (2005) Žemės gelmių šiluma Lietuvoje: ekologiška, atsinaujinanti energijos rūšis // Geografijos 7 metraštis, Nr. 38 (1), p. 213–217
38. UAB Cowi (2014) „Vilniaus miesto savivaldybės atsinaujinančių išteklių energijos naudojimo plėtros veiksų planė“, ataskaita Vilniaus miesto savivaldybei. https://vilnius.lt/wpcontent/uploads/2018/03/Atsinaujinanciu_istekliu_planas.pdf
39. Valantinavičius M. (2011) Sekliojo geoterminio šildymo sistemų vertikalios kolektoriaus kompiuterinis modeliavimas // Magistro baigiamasis darbas, VDU.
40. Zinevicius, F., & Sliupa, S. (2010). Lithuania - Geothermal Energy Country Update. *Proceedings World Geothermal Congress*.
41. Zinevicius, F., Sliupa, S., Mazintas, A., & Dagilis, V. (2015). Geothermal Energy Use in Lithuania. *World Geothermal Congress 2015*.

SANTRAUKA

VILNIAUS UNIVERSITETAS CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS

GINTARĖ KAČIUŠYTĖ

Šiluminiam laidumui grunte įtakos turintys veiksniai sekliosiose geoterminėse sistemose, Vilniaus mieste

Sekliųjų geoterminių gręžinių įrengimas yra viena iš sparčiai augančių atsinaujinančios energetikos sričių Lietuvoje, tačiau atliktų tyrimų siekiant iširti jos potencialą beveik nėra. Labiausiai šia sritimi domisi privačios verslo įmonės, tačiau prie privačiai atliktų tyrimų, turinčių svarbios praktinės reikšmės, prieiga gana sudėtinga. Duomenys, kurie yra kaupiami ataskaitų forma, Lietuvos geologijos tarnyboje, yra pavieniai ir neapibendrinti. Mokslinių publikacijų kalbant apie sekliąja geotermiją šalies mastu taip pat labai nedaug. Šiame magistro baigiamajame darbe apžvelgiamos sekliosios geoterminės energijos išgavimo technologijos, supažindinama su šilumos atsako testu (TRT) ir jo metodika ir vertinimu. Naudojantis TRT testų atliktų Vilniaus mieste duomenimis siekiama įvertinti miesto geoterminį potencialą, šilumos laidumo pasiskirstymo dėsningumus ir jo vertes įtakojančius veiksnius. Apžvelgiamos Vilniaus miesto teritorijos, kuriose geoterminių sistemų įrengimas gali turėti neigiamos įtakos požeminiam vandeniui, bei pateikiamos rekomendacijos.

SUMMARY

**VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES**

GINTARĖ KAČIUŠYTĖ

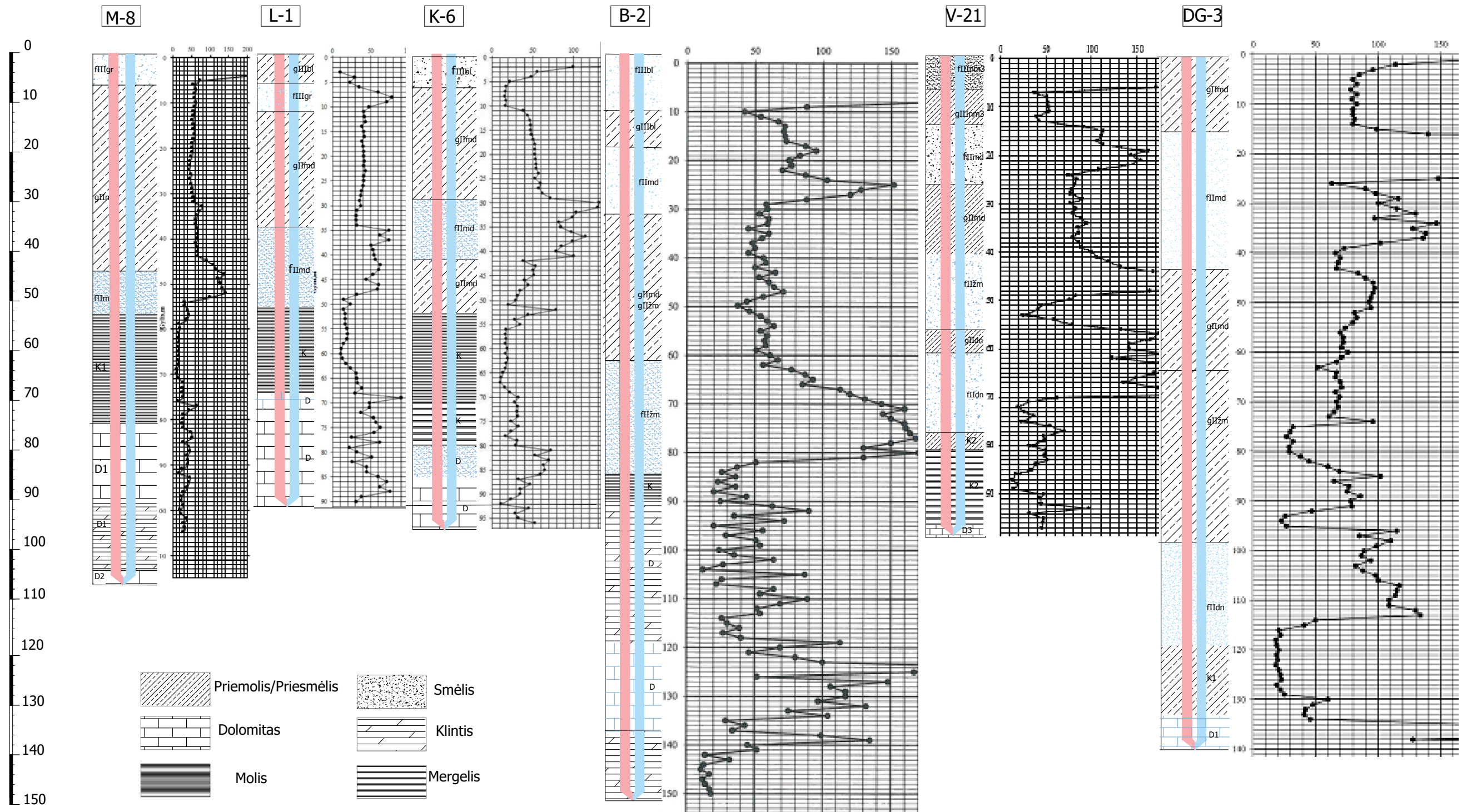
Factors influencing thermal conductivity of soils in shallow geothermal systems in Vilnius

The installation of shallow geothermal wells is one of the fastest growing sectors of renewable energy in Lithuania but there are almost no studies to investigate its potential. Access to privately conducted research documents by local business companies is complicated. The data which are collected in the form of reports in the Lithuanian Geological Survey, are limited and non-aggregated. For this reason is very important to do researches on this topic. This master's thesis reviews the shallow geothermal energy extraction technologies, introduces the thermal response test (TRT) and its methodology and evaluation. Using the data of TRT tests performed in Vilnius, the aim is to evaluate the geothermal potential of the city, the regularities of thermal conductivity distribution and the factors influencing its values. The territories of Vilnius city where the installation of geothermal systems may have a negative impact on groundwater were reviewed, and recommendations are provided.

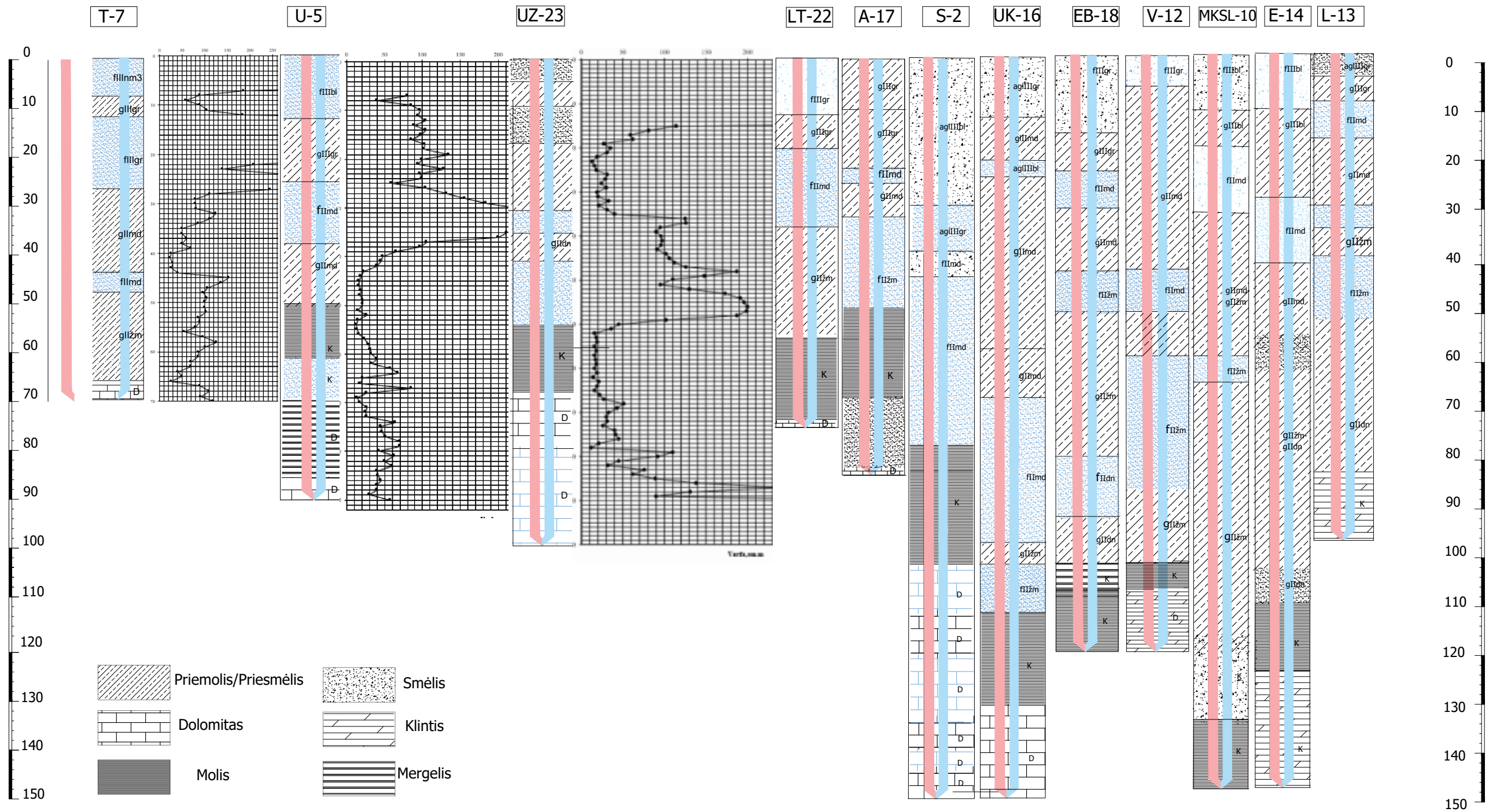
PRIEDAI

1. 1 priedas. Bandomųjų geoterminių gręžinių geologiniai pjūviai ir geofizikos duomenys

BANDOMŲJŲ GEOTERMINIŲ GRĘŽINIŲ GEOLOGINIAI PJŪVIAI IR GEOFIZIKOS DUOMENYS

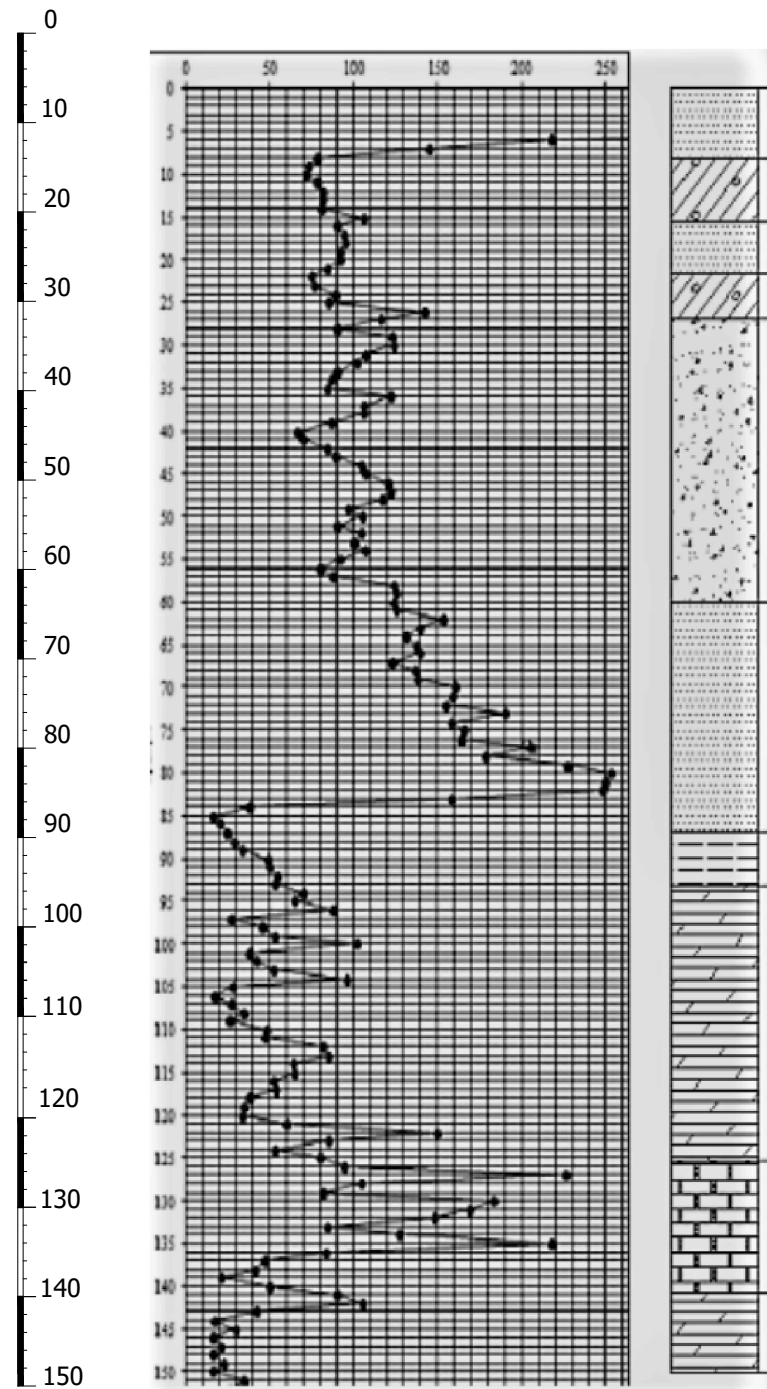


BANDOMŪJŲ GEOTERMINIŲ GRĘŽINIŲ GEOLOGINIAI PJŪVIAI IR GEOFIZIKOS DUOMENYS

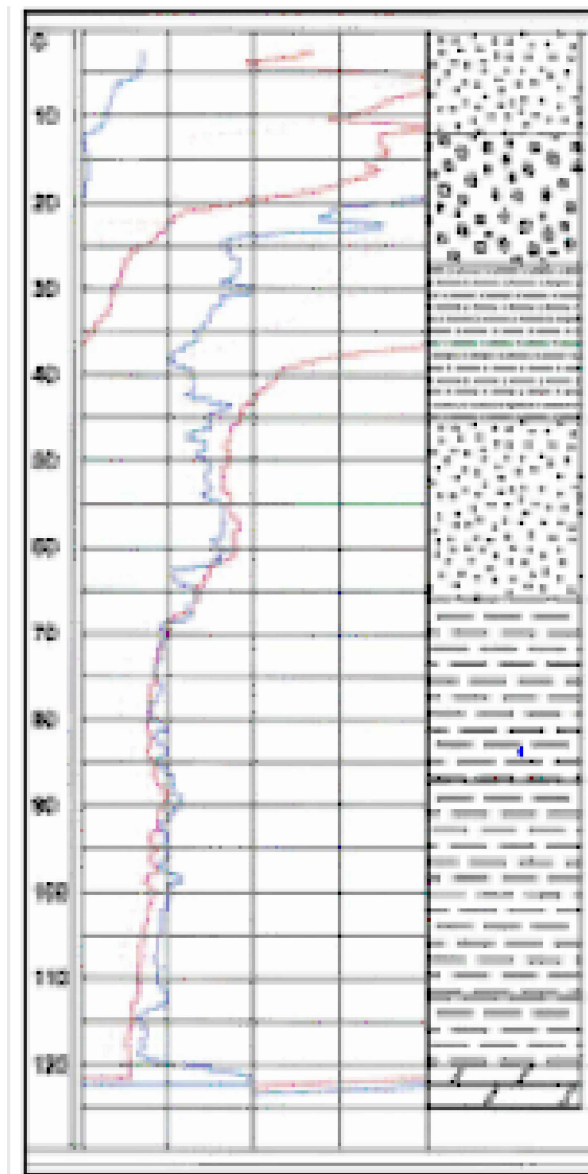


BANDOMŪJŲ GEOTERMINIŲ GRĘŽINIŲ GEOLOGINIS PJŪVIS IR GEOFIZIKOS DUOMENYS

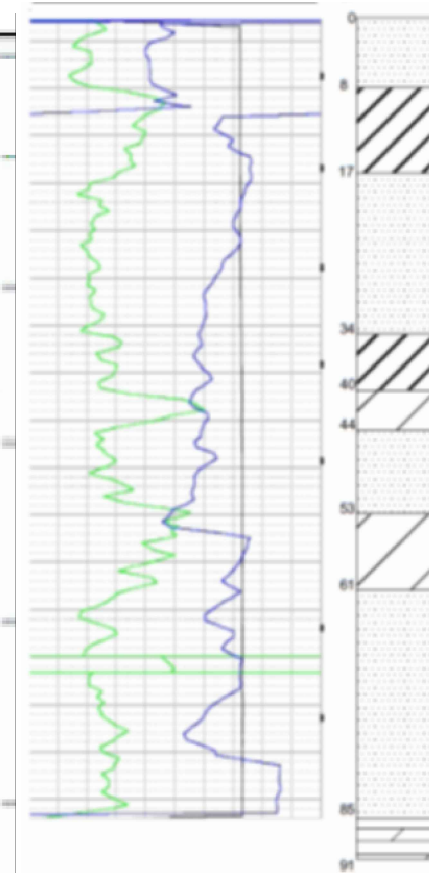
V-4



GR-19



V-55



G-9

