



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

# **Geopolinių pamatų įrengimo technologijų tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Vytenis Girčys**  
Projekto autorius

**Prof. dr. Mindaugas Daukšys**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

## **Geopolinių pamatų įrengimo technologijų tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

Statyba (kodas T000M046)

---

**Vytenis Girčys**  
Projekto autorius

**Prof. dr. Mindaugas Daukšys**  
Vadovas

**Lauras Ruzgys**  
Konsultantas

**Dr. Gediminas Stelmokaitis**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

Vytenis Girčys

## **Geopolinių pamatų įrengimo technologijų tyrimai**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Vytenio Girčio, baigiamasis projektas tema „Geopolinių pamatų įrengimo technologijų tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

## Turinys

<b>Įvadas</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Poliniai pamatai, tipai ir panaudojimas</b> .....	<b>11</b>
1.1. Polinių pamatų atsiradimo istorija pasaulyje ir Lietuvoje.....	11
1.2. Polinių pamatų tipai, klasifikacija ir jų pritaikomumas .....	11
<b>2. Polinių pamatų parinkimą lemiantys veiksniai</b> .....	<b>14</b>
2.1. Geologiniai tyrinėjimai .....	14
2.2. Statybinių aplinkybių įtaka polių tipo pasirinkimui.....	16
2.3. Statybvietės sąlygos .....	16
2.4. Polių įrengimo našumas .....	18
2.5. Polių įrengimo kaina .....	18
<b>3. Geopoliai</b> .....	<b>21</b>
3.1. Bendrosios žinios apie geopolius .....	21
3.2. Geopolijų laikomosios galios skaičiavimai.....	22
3.3. Geopolijų panaudojimas vertikaliajam drenažui.....	29
3.4. Geopolijų įrengimo technologijos .....	32
3.4.1. Geopolijų įrengimas naudojant giluminį vibratorių.....	32
3.4.2. Geopolijų įrengimo technologija naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu ir geotekstilės apvaskalą.....	34
3.4.3. Geopolijų įrengimo technologija naudojant spraustinį apsauginį vamzdį ir geotekstilės apvaskalą.....	36
<b>4. Tyrimų metodika</b> .....	<b>38</b>
4.1. Geopolijų įrengimo technologijų alternatyvų parinkimas.....	38
4.2. Alternatyvų vertinimo kriterijų parinkimas .....	38
4.3. Apklausos anketa .....	39
4.4. Kriterijų reikšmingumo nustatymas .....	40
4.5. Geopolinių pamatų įrengimo technologijų vertinimas TOPSIS metodu .....	42
<b>5. Tyrimų rezultatai</b> .....	<b>50</b>
5.1. Lietuvoje įrengtų geopolijų analizė.....	50
5.2. Apklausos anketos duomenų analizė .....	56
5.3. Geopolinių pamatų įrengimo technologijų racionalaus sprendinio parinkimas TOPSIS metodu .....	58
<b>Išvados</b> .....	<b>63</b>
<b>Literatūros sąrašas</b> .....	<b>64</b>

## Paveikslų sąrašas

1.2.1 pav. Polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą (Šližytė, 2012).....	13
1.2.2 pav. Poliai pagal pagrindo darbo pobūdį: 1 - padu atremtas polis; 2 - trinties polis (Šližytė, 2012) .....	13
2.4.1 pav. Statinio kainos priklausomybė nuo statybos trukmės (K.Fleming, 2009).....	18
3.1.1 pav. Neaustinės geotekstilės apvalkalo rulonas (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka).....	22
3.2.1 pav. Geosintetinių polių sistemos skaičiuojamoji schema (BS 8006).....	23
3.2.2 pav. Poliaus ir aplinkinio grunto sistemos plotas plane (FHWA/RD-83/026 „Skaldos kolonų projektavimas ir įrengimas).....	25
3.3.1 pav. Granulimetrinė užpildo naudojamo gruntinėms vertikalioms drenoms sudėtis. 1 – smėlis; 2 – žvyras; 3 – dalelių dydis $d$ , mm; 4 – dalelių $<d$ kiekis užpildo medžiagoje, % (LST EN 15237:2007).....	29
3.3.2 pav. Grunto konsolidacijos pagreitinimas, priklausomai nuo grunto, gylio, debito. (LST EN 15237:2007).....	31
3.4.1.1 pav. Geopolių įrengimas giluminiais vibratoriais.....	33
3.4.1.2 pav. Giluminio vibratoriaus schema ( <a href="http://manpshoring.blogspot.com">http://manpshoring.blogspot.com</a> ).....	34
3.4.2.1 pav. Geopolių įrengimas naudojant spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalkalu (sudaryta autoriaus).....	35
3.4.2.2 pav. Liekamoji spraustinio vamzdžio uždaru galu galva (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka).....	36
3.4.3.1 pav. Geopolių įrengimas naudojant apsauginį vamzdį su geotekstilės apvalkalu (sudaryta autoriaus).....	37
3.4.3.2 pav. Įrenginys skirtas užpildyti geotekstilės maišą (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka).....	37
5.1.1 pav. Geopoliai Lietuvoje ( <a href="http://www.lgt.lt">www.lgt.lt</a> ).....	50
5.1.2 pav. Įrenginys skirtas užpildyti geotekstilės maišą (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka).....	51
5.1.3 pav. Geopolių įrengimas (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka).....	52
5.1.4 pav. Vaižganto gatvės Utenoje skersinis pjūvis (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka).....	53
5.1.5 pav. Geopolių užpildymas gruntu (UAB „VIACON BALTIC“).....	54
5.2.1 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal užimamas pareigas (sudaryta autoriaus).....	56
5.2.2 pav. Respondentų apklausoje kriterijų surinkti balai (sudaryta autoriaus).....	57
5.2.3 pav. Kriterijų svorių pasiskirstymas, %(sudaryta autoriaus).....	58
5.3.1 pav. Alternatyvų naudingumo laipsnių grafikas (sudaryta autoriaus).....	61

## Lentelių sąrašas

3.4.1.1 lentelė. Giluminį grunto vibratorių apibūdinantys rodikliai ( <a href="http://manshoring.blogspot.com">http://manshoring.blogspot.com</a> ) .....	34
4.3.1 lentelė. Apklauso anketa Nr.1 .....	40
4.5.1 lentelė. Pradiniai alternatyvių sprendimų duomenys.....	43
4.5.2 lentelė. Matrica $\bar{P}$ .....	43
4.5.3 lentelė. Svertinė normalizuota matrica $\bar{P}^*$ .....	45
4.5.4 lentelė. Apklauso anketa Nr.2 .....	47
5.1.1 lentelė. Nagrinėtų projektų apibendrinta privalumų ir trūkumų apžvalga.....	55
5.3.1 lentelė. Pradinių duomenų matrica .....	59
5.3.2 lentelė. Normalizuotoji pradinių duomenų matrica .....	60
5.3.3 lentelė. Svertinė normalizuotoji matrica.....	61

Vytenis, Girčys. *Geopolinių pamatų įrengimo technologijų tyrimai. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Mindaugas Daukšys; Kauno technologijos universitetas, statybos ir architektūros fakultetas.*

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė: Inžinerija, Technologijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: geopolis, geopoliniai pamatai, įrengimo technologija

Kaunas, 2019. 65 p.

### **Santrauka**

Baigiamajame magistro projekte analizuojamos Lietuvoje bei užsienyje taikomos geopolinių pamatų įrengimo technologijos. Apžvelgti visi polinių pamatų tipai ir jų panaudojimo galimybės, polių tipai ir jų klasifikacija, geopolinių pamatų įrengimo būdai bei pamatų parinkimą įtakojantys veiksniai. Pateikiama geopolinių pamatų laikomosios galios skaičiavimo algoritmas. Bei išnagrinėti moksliniai tyrimai atlikti šia tema.

Tiriamajoje dalyje tirta jau įvykdyti projektai Lietuvoje, apžvelgtos projektų problemos, nustatyti pagrindiniai pasirinktos technologijos plusai ir minusai. Atliktas pasirinktų geopolinių pamatų įrengimo technologijų alternatyvių sprendimų vertinamas, remiantis sudaryta kriterijų vertinimo sistema ir naudojant daugiakriterinį vertinimo metodą. Naudojant daugiakriterinį vertinimo metodą TOPSIS, nustatytas racionalus variantas geopolinių pamatų įrengimui, atsižvelgiant į grunto savybes.

Vytenis, Girčys. *Research on installation technology of geopiles*. Master's thesis in construction / supervisor assoc. prof. dr. Mindaugas Daukšys. The Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology

Study field and area (study field group): Engineering, Technological Sciences

Keywords: geopile, geopile foundation, installation technology

Kaunas, 2019. 65 pages.

### **Summary**

*This master's thesis analyzes various geopiles installation technologies applied in Lithuania and abroad. All types of piles foundation and their usability were analyzed, also piles types and classification, methods of installation of geopiles foundation and various factors influencing selection of foundation type. There are presented the geopiles bearing capacity calculations and the previous research done on this topic.*

*In the research part of the thesis investigated already finished project in Lithuania, reviewed the problems of the projects, identified the main advantages and minuses of the chosen technology. reviewed the problems of the projects, identified the main advantages and minuses of the chosen technology. Alternative solutions of selected geopiles foundation installation technologies have been evaluated based on the developed criteria assessment system and using the multi-criteria assessment method. Using the multi-criteria assessment method TOPSIS, a rational option for geopolitical foundations based on soil properties has been identified.*



## Įvadas

Sparčiai besivystant urbanizacijos lygiui bei keičiantis klimatinėms oro sąlygoms, Lietuvoje vis dažniau susiduriama su neigiamu vandens poveikių kelių, gatvių aikštelių ir miestų infrastruktūrai. Statybos pradamos tose vietose, kur anksčiau žmonės nė nebūtų svarstę apie jas. Vis dažniau statiniai statomi durpinguose ar užliejamose teritorijose. Augant bei plečiantis miestams, auga ir plečiasi jiems reikalinga infrastruktūra. Vien 2018 metais, Lietuvos vyriausybė skyrė beveik pusę milijono eurų kelių infrastruktūros plėtrai. Infrastruktūros statybų šaka dažniausiai susiduria su uždurėjusiomis ar užliejamomis teritorijomis, bei su tuo susijusiomis problemomis.

Visame pasaulyje, taip pat ir Lietuvoje, siekiama įrengti kelius, geležinkelius ar pėsčiųjų takus taip, kad jie būtų tinkami eksploatuoti kuo ilgesnį laikotarpį. Tiesiant naujus kelius ar statant pastatus susidūrus su statyboms nepalankia teritorija, galimi keli sprendimo būdai :

- Esant galimybei galima pakeisti trasos vietą, taip išvengiant nepalankaus ruožo. Tačiau, dažniausiai dėl didelės teritorijos nusavinimo valstybės reikmėms kainos ir ilgai trunkančio proceso, ši galimybė retai įgyvendinama.
- Esant nedideliam durpių (ar silpno grunto) sluoksnio storiui, pašalinti durpes jas iškasant ar išsprogdinant.
- Jei silpnų gruntų sluoksnių storiai dideli, dažniausiai ekonomiškai efektyviausia naudoti pagrindų stiprinimo sprendinius.

Jau nuo senų senovės žmonės naudojo įvairius pagrindų stiprinimo būdus. Bet, vykstant progresui ir sprendimų bei technologijų tobulėjimui, siekiama darbus atlikti kokybiškiau, ekonomiškiau bei darant kuo mažesnę poveikį gamtai. Tobulinant ir ieškant kuo efektyvesnių pagrindų stiprinimo variantų buvo pradėti naudoti geopoliai. Šis polinių pamatų tipas, lyginant su tradiciniais gelžbetoniniais poliais, turi nemažai privalumų, kurie išnaudojami pagrindų po keliais ar geležinkeliais stiprinimui, bei civilinėje statyboje.

**Tyrimų objektas** – geopolinių pamatų įrengimo technologija.

**Darbo tikslas** – atlikti geopolinių polinių pamatų įrengimo technologijų analizę ir pasiūlyti optimalų geopolio įrengimo variantą, atsižvelgiant į grunto savybes.

**Darbo uždaviniai:**

- Išanalizuoti Lietuvoje bei užsienio šalyse taikomas geopolinių pamatų įrengimo technologijas, šioje srityje atliktus mokslinius tyrimus.
- Parinkti geopolinių pamatų įrengimo technologijų alternatyvas
- Parinkti alternatyvių geopolinių pamatų įrengimo technologijų vertinimo kriterijus.
- Atlikti geopolinių pamatų įrengimo technologijų vertinimą taikant daugiakriterinio vertinimo metodą TOPSIS.

## 1. Poliniai pamatai, tipai ir panaudojimas

### 1.1. Polinių pamatų atsiradimo istorija pasaulyje ir Lietuvoje

Poliniai pamatai – tai vienas iš seniausių pasaulyje naudojamų būdų pamatams įrengti. Daugybė įvairiausių tautų iš įvairių pasaulio vietų suprato, kad apsigyventi šalia ežerų ar upių, kur maistas, vanduo ir transportas yra pasiekiami ranka, yra labai patogiu. Archeologai randa polių liekanas Šveicarijos, Italijos, Škotijos bei Airijos pakrantėse (Fleming, 2009).

Manoma, kad kai kuriose gyvenvietėse poliai buvo naudojami net prieš 4000 metų. Kai kurie iš jų buvo labai dideli, kaip pavyzdžiui Ženevos ežero pakrantėse (Fleming, 2009).

Kitoje Robenhauso gyvenvietėje, skaičiuojama daugiau kaip 100 000 polių, kurie buvo panaudoti daugiau kaip prieš 2000 metų. Tokių gyvenviečių yra ir daugiau (Fleming, 2009).

Kaip ir daugelis šiuolaikinio pasaulio konstrukcijų, taip ir poliai, anksčiau buvo naudojami tik mediniai, ir tik nuo 19 a. vidurio polių gamybai pradėtas naudoti gelžbetonis.

Siekdami saugumo žmonės savo būstus rėsdavo virš vandens. Pastatams ir priėjimo takams prie jų buvo ir dabar tebėra naudojami mediniai stulpai, apatiniu galu įleisti į vandens telkinio dugną. Tokių polių liekanų iš 1500 m. prieš Kristų laikų aptikta Lenkijoje, o prieš kelerius metus ir Lietuvoje, Luokesų ežere, Molėtų rajone. (Statybos inžinieriaus žinynas, 2009).

Ši patirtis buvo perimama iš kartos į kartą. Kilus būtinybei statyti pastatus užpelkėjusiose žemėse, buvo taikomas tas pats būdas – medinis stulpas nusmailintu galu, o dažnai ir apkaustytu, buvo kalamas žemyn, kol atsiremdavo į tvirtesnį grunto sluoksnį (Statybos inžinieriaus žinynas, 2009).

Poliniai pamatai pasirenkami, kai norima pamatams perduoti didesnes apkrovas arba sumažinti pamatų nuosėdžius. Tai galima pasiekti, kai apkrovos perduodamos giliau slūgsantiems stipresniems grunto sluoksniams. Poliniai pamatai tinkamiausi, kai viršutinis grunto sluoksnis silpnas arba labai deformatyvus, toks kaip durpės, dumblas ar piltinis nesutankintas gruntas, arba kai yra aukštas gruntinio vandens lygis, kurio lygio pažeminimas yra gana brangus (Šližytė, 2012).

### 1.2. Polinių pamatų tipai, klasifikacija ir jų pritaikomumas

Pasaulyje yra begalė skirtingų polių tipų. Dažniausiai poliai yra klasifikuojami pagal **medžiagas, įrengimo būdą bei darbo pobūdį**.

**Pagal medžiagą poliai gali būti:** gelžbetoniniai, betoniniai, metaliniai, mediniai, kombinuoto skerspjuvio, gruntiniai, sintetiniai (Šližytė, 2012).

*Gelžbetoniniai ir betoniniai poliai* yra dažniausiai naudojami poliai pastatų ar tiltų statybai. Nearmuoti, betoniniai poliai naudojami tuomet, kai skaičiavimai rodo, jog betono tempiamojo ir lenkiamojo stiprio pakanka veikiančioms apkrovoms atlaikyti. Jeigu gniuždomo polio neveikia lenkimo momentas, skersinė jėga ir jis įrengiamas gana stipriame grunte, jį galima armuoti ne visu ilgiu. Kadangi poliai veikiami sudėtingo drėgmės ir temperatūros režimo, o kartais ir agresyvaus grunto, poliui įrengti gali būti naudojamas C16/20 ÷ C40/50 klasės betonas bei darbinė armatūra S400, S500.

*Metaliniai poliai* dažniau naudojami tuomet, kai yra sudėtingos grūntinės sąlygos, kai gelžbetoninius polius įrengti yra netikslinga arba kaip laikinieji atraminiai elementai. Plačiai naudojami rekonstruojamiems pamatams, nes tokius polius nesudėtinga sujungti tarpusavyje. Naudojant metalinius polius būtina numatyti patikimą antikorozinę dangą, naudoti legiruotąjį plieną arba įvertinti metalo korozijos greitį.

*Mediniai poliai* šiais laikais naudojami itin retai. Jie gaminami iš spygliuočių ir lapuočių veislių medžių tiesių ir ilgų kamienų. Mediniai poliai turi nemažai trūkumų: tai maža polių laikomoji galia, riboti polio matmenys, mediena greitai pūva kintamo drėgnumo aplinkoje. Todėl reikalaujama, kad medinių polių viršus būtų 30–50 cm žemiau žemiausio grūntinio vandens gylio. Dažniausia tokie poliai naudojami laikiniems pastatams ar statiniams įrengti.

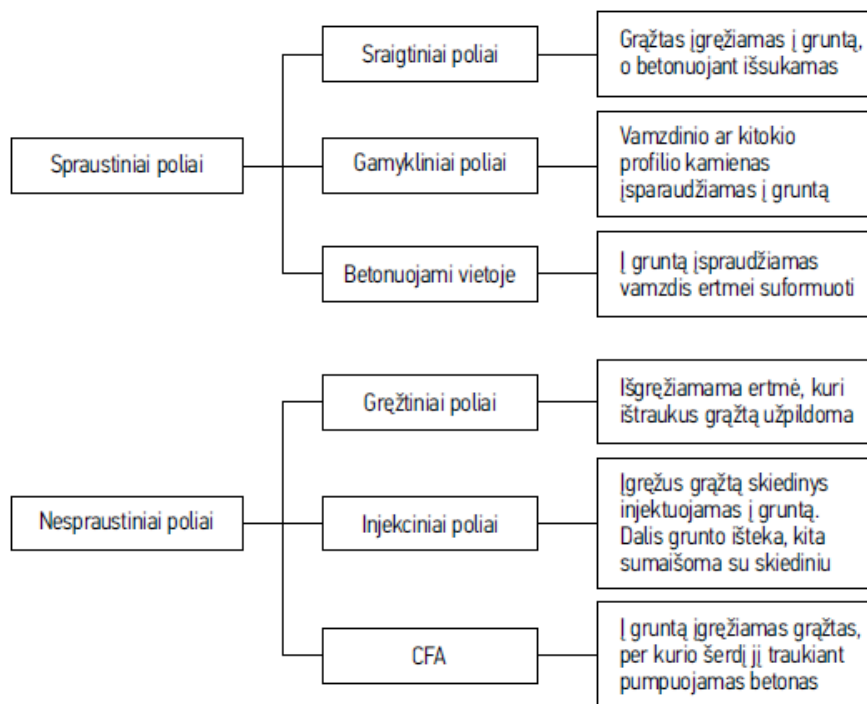
*Kombinuotojo skerspjūvio poliai* – tai betoniniai ar gelžbetoniniai poliai su metaliniu apvalkalu.

*Grūntiniai poliai* gaminami iš smėlio, žvyro ar skaldos. Jie dažniausiai naudojami pagrindo savybėms pagerinti ir konsolidacijos procesui pagreitinti. Grūntiniai poliai dar skirstomi į grūnto polius ir polius su geotekstilės apvalkalu.

*Sintetiniai poliai* gaminami iš plastiko nedidelėms apkrovoms perimti ir dažniausiai naudojami paprastų statiniu statybai, nedidelėms terasoms, stoginėms ar sandėliukams.

**Polių klasifikacija pagal įrengimo būdą.** Skiriamos dvi pagrindinės polių rūšys, priklausomai nuo to, kaip polių įrengimas veikia grūntą: *spraustiniai ir nespraustiniai* (1.2.1 pav.) (Šližytė, 2012).

Lietuvoje dažniausiai taikomi nespraustiniai poliai, įrengiami gręžiant, injektuojant bei taikant ištisinio sraigtinio gręžimo metodą – CFA (angl. Continuous Flight Auger) ir sprustiniai poliai betonuojami statybvietyje (Šližytė, 2012).

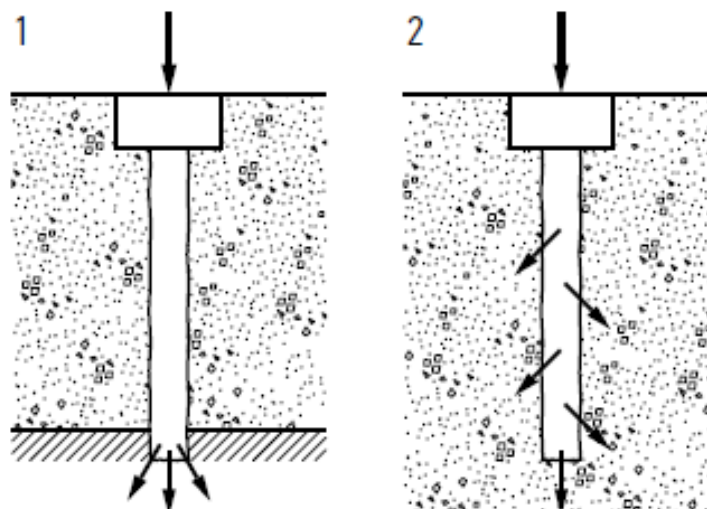


1.2.1 pav. Polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą (Šližytė, 2012)

**Poliai pagal pagrindo darbo pobūdį**, pagal Šližytę, gali būti suskirstyti į (1.2.2 pav.):

padu atremtus polius – jie apkrovą į laikantį sluoksnį perduoda tiesiogiai polio padu. Tokie poliai dažnai kerta silpnus storus sluoksnius, todėl juos būtina patikrini dėl išklupimo;

trinties arba kabantys poliai – polis apkrovą perduoda trintimi ir padu, kai nėra aiškaus laikančiojo sluoksnio.



1.2.2 pav. Poliai pagal pagrindo darbo pobūdį: 1 - padu atremtas polis; 2 - trinties polis (Šližytė, 2012)

## **2. Polinių pamatų parinkimą lemiantys veiksniai**

Prieš pradėdant polinių pamatų projektavimą, visų pirma reikėtų apsvarstyti vieną iš pagrindinių klausimų: kodėl būtent polius norima parinkti atraminiais elementais? Kai kurios tokio apsisprendimo priežastys susijusios su techniniais reikalavimais, o kitos - labiau su įrengimo patogumu ir greičiu (Fleming, 2009).

Viena iš techninių priežasčių, tai poreikis atremti pamatus į tvirtą ir pastovų gruntą, ir įgilinti juos taip, kad netolygūs sėdimai neturėtų įtakos statinio stiprumui bei pastovumui (Fleming, 2009).

Atraminės konstrukcijos perduoda apkrovas pamatams, kurias pamatai turi išlaikyti kartu su bet kokiomis kitomis papildomomis jėgomis, kurios gali atsirasti dėl besideformuojančio grunto. Pamatai turi būti be defektų bei tvirti. Jų konstrukcija turi įvertinti gruntinio vandens judėjimus bei grunto savybes, kad deformacijos ar pamatų nusėdimai nesukeltų įtempimų atraminėse ar gretimose konstrukcijose (Fleming, 2009).

Polinių pamatų įrengimas bei pasirinktas polių tipas turėtų būti toks, kad naudojant šiuolaikinėje praktikoje paplitusią įrangą, būtų galima laisvai privažiuoti prie būsimų įrengiamų polių, statybvietėje. Polių pamatų įrengimui naudojamos medžiagos negali būti naudojamos neracionaliai (Fleming, 2009).

Pasak Flemingo (2009), pasirenkant racionalų polinių pamatų įrengimo būdą, reikia įvertinti labai daug įvairių veiksnių. Jų parinkimas nepriklauso ne tik nuo pastato konstrukcijos ypatumų ir statybos aikštelės inžinerinių geologinių sąlygų. Teisingas pamatų parinkimas yra pagrįstas daugeliu rodiklių, tokių kaip mechanizmų prieinamumas ir panaudojimo galimybės, padaryta žala gamtai, bendros kainos prognozavimas, gamybinės pertraukos ir pan.

### **2.1. Geologiniai tyrinėjimai**

Statinys perduoda ir paskirsto konstrukcijos apkrovą pagrindui. Pagrindas yra grunto masyvo dalis, kurioje nuo statinio apkrovos atsiranda įtempimai ir kuri, jų veikiamą, deformuojasi (Šimkus, 1984).

Pamatai ir pagrindai turi užtikrinti statinio bei atskirų jo konstrukcijų elementų pastovumą ir normalų eksploatavimą. Jie turi būti ekonomiškai ir nesunkiai pastatomi konkrečiomis inžinerinėmis geologinėmis sąlygomis su mažiausiomis sąnaudomis ir per trumpiausią laiką (Šimkus, 1984).

Sąveika tarp pagrindo ir pamato bei viso statinio yra glaudė. Pamatai ir visas statinys nusėda todėl, kad statinio apkrovos veikiamas pagrindas susispaudžia, t. y. deformuojasi. Statinio sienų ar kolonų pamatai dažniausiai nusėda nevienodai dėl įvairių priežasčių. Dėl to statinio konstrukcijos deformuojasi ir jose atsiranda papildomos įrašos, kurioms esant gali įtrūkti atraminė konstrukcija.

Deformuojantis statinio konstrukcijoms, persiskirsto per kolonų ar sienų pamatus pagrindu perduodama pastato apkrova, o tai turi įtakos pagrindo įtempimams ir deformacijoms. Tokiu būdu pagrindo ir pastato deformacijos yra bendros, jos turi įtakos viena kitai (Šimkus, 1984).

Pagrindo stiprumas priklauso nuo grunto savybių, nuo pamato konstrukcinio tipo bei jo matmenų, statinio konstrukcijos jautrumo nevienodam nusėdimui. Tas pats gruntas gali būti stiprus pagrindas vienam statiniui ir silpnas – kitam. Pagrindo stiprumą galima apskaičiuoti tik ribinių būvių metodu pagal deformacijų ir laikomosios galios ribinius būvius (Šimkus, 1984).

Pagrindai skirstomi į natūralius ir dirbtinius. Natūralūs pagrindai – natūralūs gruntai, atidengti iškastos pamatų duobės dugne. Dirbtiniai pagrindai daromi retai, kai natūralūs gruntai netinka pagrindų projektuojamam statiniui ir negalima įrengti polinių ar giliųjų pamatų (Šimkus, 1984).

Apie 57 proc. Lietuvos teritorijos dengia moreniniai moliniai gruntai, kurie yra kieti, tankūs, mažai deformuojasi ir kurie yra laikomi geru statinių pagrindu (Šimkus, 1984).

Lietuvos teritorijoje polinių pamatų pagrindas yra kvartero nuogulos, kurios pasižymi didele fizikinių ir mechaninių savybių kaita tiek horizontalia, tiek vertikalia linkme. Todėl sudėtinga iš anksto numatyti apytikslį būsimų statinių pamatų įgilinimą planuojant didelių teritorijų užstatymą, ar norint parinkti ekonomiškus statinių pamatus tai teritorijai. Preliminarus numatymas gali užtikrinti pakankamą inžinerinių geologinių tyrimų apimtį, tikslumą, efektyvesnį statinių ir jų pamatų projektavimą, statybos mechanizmų panaudojimą. Tai bendrais bruožais galima įvertinti analizuojant inžinerinį geologinį ir kvartero geologinį žemėlapius (Žaržojus, 2006).

Tinkamo polių įgilinimo metodo pasirinkimas yra pagrįstas būsimos statybvietės inžineriniais tyrinėjimais. Statybvietės tyrinėjimai turi būti išsamūs, norint nustatyti pagrindą sudarančius gruntus, kurie turės įtakos statybai, gruntų stiprumo ir deformacinės savybės bei sluoksnius. Neįvertinus šių savybių galima susidurti su rimtais sunkumais statybų metu arba gali atsirasti poreikis keisti įrengimo metodą darbo metu dėl atsiradusių taisymo darbų (LST EN 1536:2010).

Grunto, kaip statinio pagrindo, stiprumą mažina drėgmė. Gruntinis vanduo ir galimi jo svyravimai gali turėti įtakos gręžtinių polių įrengimui, todėl reikėtų pasirūpinti, kad būtų gauta kuo daugiau su tuo susijusios informacijos. Todėl ypač svarbu žinoti laikinųjų vamzdžių ilgius, kurie naudojami gręžinio sienų stabilumui palaikyti, palaikančiųjų skiedinių poreikį, tokių kaip bentonitas arba polimerų suspensijos, betono kokybę ir betono klojimo būdą (Marčiukaitis, 2004).

Ypač sunkiai sprendžiama problema – rieduliai, kadangi standartinis statybos aikštelės inžinerinis geologinis tyrimas nesudaro sąlygų tiksliai nustatyti tikrų riedulių matmenų, jų tankumo. Standartiniai įsiskverbimo bandymai taip pat negali nustatyti tikrosios grunto sandaros. Ištikus tokiai

situacijai, būdavo rekomenduojami didelio skersmens gręžiniai ir naudojama tiesioginė apžiūra, o ne standartiniai mažo skersmens gręžiniai. Rieduliai gali labai trukdyti daugeliui polių įrengimo procedūrų, kurios turi nemažą įtaką pasirinktų polių įrengimo kainai. Vykdamas darbus tokia grunte gamyklose pagaminti poliai įgilinimo metu gali būti sugadinti, o tai gali neplanuotai sustabdyti darbų vykdymą. Taigi, esant tokioms sąlygoms vertėtų apsvarstyti, kaip sudėtingos sandaros grunto sluoksniuose gali būti sumažintas įrengimo gylis (Fleming, 2009).

## **2.2. Statybinių aplinkybių įtaka polių tipo pasirinkimui**

Prieš pradėdamas darbus statybvietyje pagal standarto LST EN 12699 reikalavimus, būtina turėti ir įvertinti šią informaciją:

1. Geotechninių tyrimų statybos aikštelėje ataskaitą, taip pat papildomą informaciją apie aikštelėje esančias statinių ir pamatų liekanas, komunikacijas, gruntų užterštumą, supiltas medžiagas, kliuvinius.
2. Polių rengimo ir projektavimo technines sąlygas bei papildomus reikalavimus, keliamus priežiūrai, stebėjimams ir bandymams;
3. Topografinius duomenis, tokius kaip nuolydžiai, žemės paviršiaus lygiai; pagrindinė statybinio tinklo padėtis ir atskaitos lygis; polių rengimo įrangos darbinis lygis (lygiai) atskaitos lygio atžvilgiu.
4. Statybvietyje sąlygas bei apribojimus, kurie gali turėti įtakos polių rengimo darbams: aikštelės dydis, topografija, nuolydžiai, privažiavimo keliai, apribojimai įrangai, medžiagoms tiekti, aukščio apribojimai; greta atliekami darbai, tokie kaip vandens lygio žeminimo, tunelių ir gilių iškasų kasimas; medžiai, elektros perdavimo linijos; arti esantys šlaitai, kurie gali būti nestabilūs.
5. Aplinkos sąlygas ir apribojimus, kurie gali turėti įtakos polių rengimo darbams: netoliese esantys polių rengimo darbams jautrūs pastatai ar statiniai bei jų būklė; aplinkos apribojimai, pvz.: triukšmui, vibracijai ir taršai; kiti legalūs įstatyminiai apribojimai, pvz., darbų trukmės apribojimai.
6. Kitus veiksnius: galima korozija ir nusidėvėjimas; ankstesnė polinių ar kitų pamatų tipų rengimo patirtis toje pat ar gretimoje aikštelėje; gretimų pastatų pamatai.

## **2.3. Statybvietyje sąlygos**

Netinkamos statybvietyje sąlygos, pavyzdžiui netinkamai paruoštas frontas, ar apsemtas sklypas, gali sukelti itin daug rimtų sunkumų. Statybos konkursų dalyviai privalo aplankyti ir apžiūrėti statybvietyje, kad galėtų įvertinti išlaidas ir riziką bei kitus duomenis, kurių gali prireikti rengiant pasiūlymą ir pasirašant sutartį.



Kad ir kokio dydžio būtų statybvieta, turėtų būti įvertinami įvažiavimų parametrai, nuolydžiai, prievažos. Prievažos turėtų būti ne statesnes nei 1:10. Kartais norint patekti į statybvieta gali tekti dalinai išardyti įrengimus, o tai yra itin nepatogu. Todėl kartais polių įrengimo mechanizmus galima perkelti į statybvieta galingais kranais, tačiau tai yra labai brangu (Fleming, 2009).

Esant nedidelei ir uždarai statybvietai, pavyzdžiui, pastato rūsyje, darbai gali būti sunkiai prienami ir tam reikalingas mechanizmas, galintis dirbti tokiomis sąlygomis. Geriausiai tokiam darbui tinka mažų išmatavimų gręžimo įranga. Dirbti tokiomis sudėtingomis sąlygomis kalimo mechanizmai nepritaikyti (Fleming, 2009).

Dirbant uždaroje statybvieta, kuriose naudojami standartiniai dyzeliniai varikliai, susikaupusios išmetamosios dujos turėtų būti pašalinamos, naudojant specialiai tam skirtus įrenginius, užtikrinančius išmetamųjų dujų saugų pašalinimą iš uždaros patalpos. Priešingu atveju, reikalinga įranga kuri gali dirbti nuotoliniu būdu tiekiamu suslėgtu oru, elektra ar hidrauliniiais siurbliais (Fleming, 2009).

Statybvieta turi būti pakankamo dydžio, kad joje tilptų papildomi įrengimai ir medžiagos, ir kad joje galėtų laisvai judėti polių įrengimo agregatai. Be polių įrengimo mechanizmų, statybai gali reikti papildomo krano, kitų mechanizmų ir įvairių sandėliuojamų medžiagų, kurios turi būti paruoštos naudojimui (Fleming, 2009).

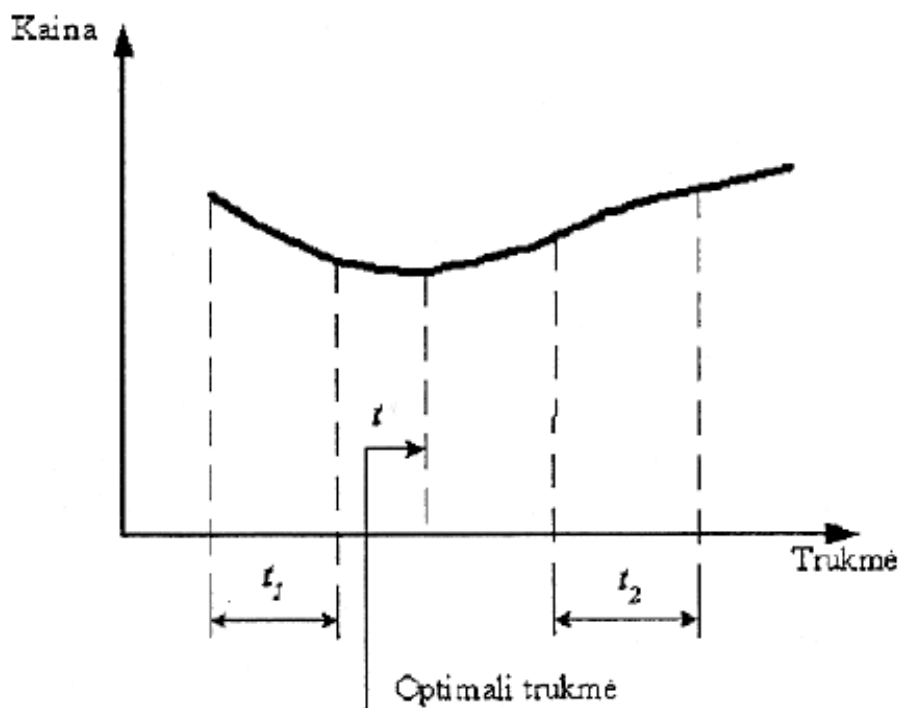
Laisvam polių įrengimo mechanizmų darbui gali trukdyti statybvieta viršuje kabantys elektros kabeliai, vamzdžiai, pastatų iškyšos, stogai. Tokiais atvejais naudojami specialūs, sumažintų išmatavimų mechanizmai. Šiuo atveju sumažinti mechanizmai yra puikus sprendimas, tačiau kur kas brangesnis, o našumas mažesnis (Fleming, 2009).

Poliniams pamatams įrengti naudojami įvairių techninių charakteristikų ir išmatavimų mechanizmai. Nepaisant pasirinkto mechanizmo, atstumas nuo polio centro iki gretimų sienų, turėtų būti ne mažesnis nei 75 cm. Tačiau yra mechanizmų, kurie specialiai sukurti dirbti prie pat sienų. Ypač daug sunkumų sukelia darbas užstatytos aikštelės kampuose. Tokiu atveju, atstumas nuo pastatų sienų iki polio centro, turėtų būti didesnis nei 1 m. (Fleming, 2009).

Daugelis polių įrengimo mechanizmų sveria labai daug t. y. nuo 35 iki 100 tonų ar net daugiau. Tinkamu aikštelės pagrindu gali būti skalda, kuri užtikrintų darbų vyksmą be kliūčių. Darbas ant prastai įrengto, užlieto ar nesaugaus statybvieta pagrindo yra neekonomiškas ir labai pavojingas. Nuolat dirbantys mechanizmai, nenusausintą statybvieta gali greitai paversti tikra klampyne. Tai gali labai pristabdyti polių įrengimo darbus ir sukelti grėsmę mechanizmų stabilumui. Taip pat reiktų įsitikinti, jog anksčiau įrengtos duobės ar iškasos yra tinkamai užpildtos. (Fleming, 2009).

## 2.4. Polių įrengimo našumas

Kuomet ilgėja statybos trukmė neišvengiamai didėja ir statybos kaina, dėl to atsiranda didelių nuostolių statybos įmonėms. Statybos objekto kainos priklausomybė nuo jos trukmės pavaizduota 3 pav. Iš jo matyti, kad mažiausia objekto kaina yra tada, kai objekto trukmė yra optimali.



2.4.1 pav. Statinio kainos priklausomybė nuo statybos trukmės (Fleming, 2009).

Pamatų įrengimo trukmė priklauso nuo pasirinkto polių tipo bei įrengimui naudojamų mechanizmų. Našumui mažėjant – polių įrengimo kaina kyla. Našumą gali sumažinti pavyzdžiui, polių kalimas per kietų sankabių gruntų sluoksnius arba gilus gręžimas per minkštų nestabilių gruntų sluoksnius, kada reikalingi ilgi laikinieji apvalkalai. Dažnai sąlygos, kurios lėtina gręžtinių polių įrengimą tampa palankios sprautinių polių įrengimui ir atvirkščiai. Didelio skersmens gręžtinių polių įrengimo produktyvumą mažina šių polių skersmens didėjimas. Tačiau ilgų laikinųjų apvalkalų naudojimas daro didžiausią įtaką darbo našumui. Jei yra trumpi, šie laikinieji apsauginiai vamzdžiai gali būti įgilinami palyginus greitai. Kuo daugiau papildomos įrangos bus naudojama, tuo procesas taps vis sudėtingesnis ir lėtesnis, bei brangesnis (Fleming, 2009).

## 2.5. Polių įrengimo kaina

Kalbant apie tradicinius gręžtinius polių, reiktų pabrėžti, kad jie geriausiai panaudojami moliniuose gruntuose, kur atvirų išgražų sienų nereikia stiprinti ilgais laikiniais apvalkalais. Jei lyginsime 1 metro įrengimo kainas, šių polių metras retai kainuos tiek, kiek panašaus skersmens standartinių

spraustinių monolitinių polių įrengimas. Tačiau jei poliai yra įrenginėjami pakankamai greitai, jų efektyvumas pasižymi polių įrengimo trukmėje. (Fleming, 2009).

Kuomet atsiranda poreikis stabilizuoti gręžinio sienas laikiniais apvalkalais, bentonito ar polimerine suspensija, polio ilgio vieno metro įrengimo kaina gali padidėti net iki dviejų kartų, lyginant su standartinio gręžimo poliais. Kaina didėja ilgėjant apsauginiam vamzdžiui ir polio skersmeniui. Optimalios konstrukcijos išsininio sraigtinio gręžimo poliai yra įrengiami pakankamai greitai, patogiai ir praktiškai, yra sąlyginai nebrangūs (Fleming, 2009).

Kadangi polių naudojimo aplinkybės yra skirtingos, polių kainos negali būti taip paprastai apibendrintos. Bet koks nukrypimas nuo standartinių procedūrų polių įrengime, paprastai atsispindi kainos augimu. Pasvirieji poliai yra pastebimai brangesni negu vertikalieji poliai, sraigtinio kamieno poliai už cilindrinis polius, ir stipriai armuoti nei įprastai armuoti poliai (Fleming, 2009).

Kaip jau buvo minėta, didelės įrangos statybos aikštelėje panaudojimo kainos yra daug didesnės negu mažos įrangos, ir mechanizmo pasirinkimas labai priklauso nuo darbo, kuris bus atliktas, apimties. Tačiau kai geriausia įranga ir metodas jau pasirinkti, vis dar yra keli faktoriai, kurie turi didelę įtaką bendrai polių įrengimo kainai – tai polių bandymai (Fleming, 2009).

Polių bandymai – tai eksperimentiniai polio laikomosios gebos nustatymo metodai. Bandymų tikslas – patikrinti polio projektą; ar grunto stiprumo ir deformacinės charakteristikos atitinka poveikio lygį; polių vientisumą; kitas projektines prielaidas.

Atliekami tokie polių lauko bandymai pagal standarto LST EN 12699 reikalavimus:

1. Polių bandymas statine apkrova;
2. Dinaminis polio bandymas (dideliu poslinkiu);
3. Vientisumo bandymas;
4. Kontroliniai bandymai.

Polių bandymai statine apkrova yra brangūs, ypač jei tam reikalinga sudėtinga įranga, tačiau kartais šių bandymų yra primygtinai reikalaujama. Pasak K. Fleming (2009) statybvietėse, kuriose įrengiami didelio skersmens poliai, dažnai nepraktiška ir pernelyg brangu atlikti apkrovos bandymus.

Norint išvengti šių bandymų, gali būti naudojami panašūs metodai, kuriems naudojama ankstesnė statybvietės informacija.

Dinaminiai ir vientisumo bandymai turi būti atliekami specialiais prietaisais. Bandymų rezultatus turi įvertinti šioje srityje patyręs asmuo, kuris dar turi išmanyti polių įrengimo technologiją ir turėti darbo specifinėmis grunto sąlygomis patirties (LST EN 12699).

Galima teigti, jog svarbiausiais veiksnys, turintis įtakos polių įrengimo kainai ir našumui yra gruntas, bei teisingai parinkti poliai t.y. jų tipas, ilgis, skersmuo, todėl gruntiniai tyrimai turėtų būti tikslūs ir kiek įmanoma išsamesni.

### 3. Geopoliai

#### 3.1. Bendrosios žinios apie geopolius

Geopoliai įvairioje literatūroje vadinami įvairiai: geosintetiniai poliai, gruntiniai poliai, akmens kolonos ir t.t. Geopoliai yra vienas iš polių tipų. Pagrindinis jų skiriamasis bruožas yra tai, kad geopolių užpildas yra nesankabi, drenuojanti, dažniausiai mineralinė medžiaga. Taip pat užpildu gali būti naudojamas ir iki vidutinės frakcijos sumaltas statybinis laužas.

Kadangi geopoliai gali perimti tik labai mažas skersines įrąžas, dažniausiai jie naudojami, tokiose vietose kur tokių įrąžų beveik nėra, po sampylomis, keliais ar geležinkeliais, transporto infrastruktūros statiniais, pastatų grindimis ar sandėliavimo aikštelėmis.

Geopoliai turi nemažai privalumų lyginant su įprastais gelžbetoniais poliais. Skiriami šie:

- Galimybė drenuoti vandenį į žemesnius grunto sluoksnius (vertikalus drenažas)(LST EN 15237). Ši funkcinė savybė leidžia sumažinti statybos sklypo užliejimo keliamas grėsmes. Žemės paviršiuje susikaupęs vanduo nudrenuojamas greičiau nei tik natūraliu būdu. Palankių geologinių sąlygų atveju, statybos sklype visai nebereikia drenažo sistemos.
- Geopolinių pamatų įrengimui galima naudoti skaldą, žvyrą, ar net iki vidutinės frakcijos (0/32) sumaltą statybinį laužą. Kadangi medžiagos reikalingos pamatų įrengimui yra pigesnės tai žymiai sumažina reikalingus pagrindų stiprinimo kaštus.
- Paliekama mažesnė žala gamtai. Lyginant su tradiciniais poliniais pamatais, vienintelė (nebūtina) nenatūrali medžiaga reikalinga įrenginėjant geopolius yra sintetinis polių apvalkalas.
- Geopoliai iškart po įrengimo pasiekia projektinį stiprį, todėl iškart galima tęsti kitus darbus, nereikia technologinių pertraukų, taip sutaupoma statybų laiko.
- Dėl gerų drenuojančių savybių pagreitinama tokiai plastiškų ir takių molinių gruntų, taip pat gruntų su organinės medžiagos priemaiša ir dumblo konsolidacija.

Geopoliai skirstomi į suvaržyto grunto polius ir nesuvaržyto grunto polius.

Suvaržyto grunto poliams naudojamas geosintetinis apvalkalas, kuris atlieka suvaržymo, atskyrimo ir filtravimo funkciją, taip neleisdamas geopolių užpildui maišytis su aplink esančiu silpnu gruntu. Šių polių ilgalaikės drenavimo savybės yra geresnės, nes laikui bėgant aplinkui esantis silpnas gruntas nesusimaišo su polių užpildo gruntu, kuris užkimšdamas visas ertmes pakenktų filtracinėms geopolių savybėms.

Dažniausiai polių įrengimui naudojamos geotekstilės apvalkalo savybės:

Naudojama austinė geotekstilė iš polipropileno (PP) arba poliesterio (PET)

Polio apvalkalo austinė geotekstilė turi būti vientiso audimo.

Galimi polių skersmenys nuo 600mm iki 1200mm.

Polių apvalkalo austinės geotekstilės žaliava turi būti įvertinta.

Galimi geotekstilės stipriai tempiant:

- 100/200 kN/m;
- 100/300 kN/m;
- 100/400 kN/m.



3.1.1 pav. Neaustinės geotekstilės apvalkalo rulonas (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka)

Nesuvaržyto grunto poliai dažnai dar vadinami skaldos kolonomis, jų įrengimui naudojamos tik mineralinės medžiagos. Nesankabus drenuojantis gruntas įplūkiamas ar kitaip išspaudžiamas į silpną gruntą taip suformuluojant grunto koloną-polį. Tačiau, aplink esantis gruntas taip pat patenka ir į polio užpilo gruntą, todėl labai sunku užtikrinti reikiamus drenavimo ir filtracijos parametrus. Šie poliai dažnai naudojami laikinam drenavimui, bei gruntų konsolidacijos pagreitinimui.

### **3.2. Geopolių laikomosios galios skaičiavimai**

Lietuvos nacionalinėse normose nėra nurodomas tikslus geopolių laikomosios galios skaičiavimo metodas, todėl dažniausiai geopolių laikomoji galia skaičiuojama remiantis pasaulyje pripažintomis normomis.

Geopolių laikomosios galios skaičiavimas naudojant BS 8006 nurodomą metodą:

Galima paskaičiuoti visos sistemos laikomąją gebą.

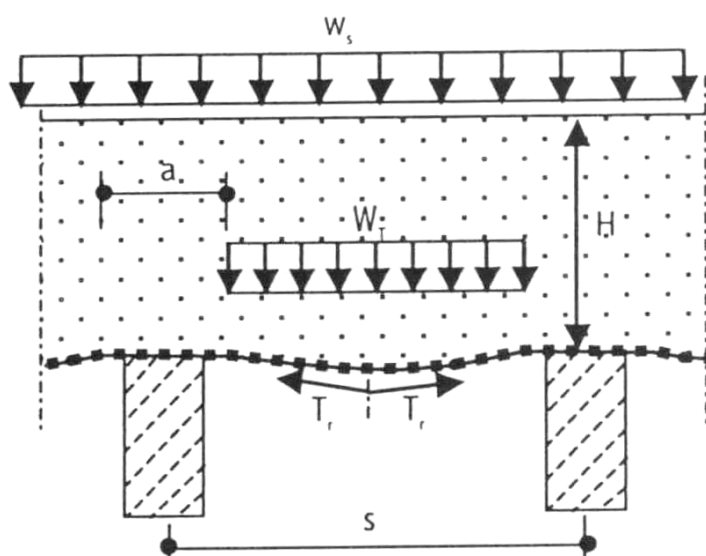
Skaičiuojant reikia įvertinti šiuos maksimalius ribinius būvius:

- polių grupės galią
- polių grupės nusidriekimą
- polių viršūnes veikiančių vertikalųjų apkrovų sumažinimą
- pylimo užpilo stabilumą šoninio šlaito slinkimo atžvilgiu
- bendrą poliais sutvirtinto pylimo stabilumą

Skaičiuojant taip pat reikia įvertinti šiuos eksploatacinius ribinius būvius:

- armuotų struktūrų perteklinę deformaciją
- poliais sutvirtinto pagrindo sėdimą

Poliais sutvirtintų pylimų su armuotu pagrindu skaičiavimai (pagal BS 8006)



3.2.1 pav. Geosintetinių polių sistemos skaičiuojamoji schema (BS 8006)

Geopolių laikomosios galios skaičiavimas gali būti atliktas naudojant JAV Transporto departamento Federalinės greitkelių administracijos išleistą 1983m. techninę ataskaitą Nr. FHWA/RD-83/026 „Skaldos kolonų projektavimas ir įrengimas “I ir II dalis metodiką.

Poliai turi būti įgilinami  $\geq 1\text{m}$  į po durpę slūgsančius tvirto grunto sluoksnius tinkamus poliaus atrėmimui. Dažnais atvejais pasitaiko, kad po durpe esančio grunto paviršinis 1m sluoksnis būna uždurpėjęs ir yra silpnos laikomosios galios. Todėl rekomenduojama polių įgilinti apie 2m į po durpe esančius gruntus.

Pakeičiamo ploto santykis apskaičiuojamas pagal formulę (3.2.1):

$$a_s = C_1 \cdot (D/s)^2; \quad (3.2.1)$$

Čia:  $a_s$  – pakeičiamo ploto santykis;

$C_1$ - konstanta priklausanti nuo grunto polių išdėstymo kombinacijos;

$D$ - įrengto grunto polio diametras m;

$s$ - atstumas tarp grunto polių centrų m;

Kvadratiniam išdėstymui  $C_1 = \pi/4 = 0,785$ ;

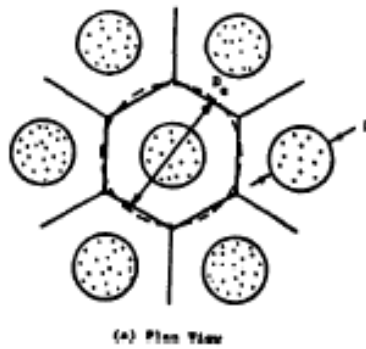
$$A_s = \pi \cdot D^2/4; \quad (3.2.2)$$

Čia:  $A_s$ - sutankinto grunto polio plotas  $\text{m}^2$ ;

$$A = A_s/a_s; \quad (3.2.3)$$

Čia:  $A$ - bendras vieno poliaus ir aplinkinio grunto sistemos plotas  $\text{m}^2$  (3.2.1 pav);





3.2.2 pav. Poliaus ir aplinkinio grunto sistemos plotas plane (FHWA/RD-83/026 „Skaldos kolonų projektavimas ir įrengimas“)

$$A_c = A \cdot (1 - a_s); \quad (3.2.4)$$

Čia:  $A_c$  - aplinkinio grunto plotas  $m^2$ ;

Paviršinis išpūtimas:

Polių viršūnė yra  $x$  m gylyje. Skaičiuojama bendroji grunto poliaus laikomoji galia, priimant, kad suirimas dėl išsipūtimo įvyks nuo poliaus viršaus trijų jo skersmenų gylyje. Šioje dalyje vyrauja durpės. Tuomet  $N_c$  - grunto polio laikančiosios galios faktorius priimamas 18.

$$q_{ult} = c \cdot N_c; \quad (3.2.5)$$

Čia:  $q_{ult}$  - ribinis slėgimas kurį gali atlaikyti grunto polis kPa;

$c$  - aplinkinio grunto sankiba kPa;

$$P_{ult} = q_{ult} \cdot A_s; \quad (3.2.6)$$

Čia:  $P_{ult}$  - ribinė apkrova kN;

$$\sigma_s = \tilde{q}_{ult} = c \cdot N_c; \quad (3.2.7)$$

Čia:  $\sigma_s$ - ribiniai įtempimai grunto poliuje kPa;

Giluminis išpūtimas:

Skaičiuojama giluminio išsipūtimo galimybė silpnuose gruntuose esančiuose žemiau trijų polių diametrų gylio.

$$\sigma_3 \approx 9 \cdot c; \quad (3.2.8)$$

Čia:  $\sigma_3$  – ribiniai šoniniai polio įtempimai kPa;

$$\tilde{q}_{ult} = \sigma_3 \cdot (1 + \sin \varphi_s) / (1 - \sin \varphi_s); \quad (3.2.9)$$

Čia:  $\varphi_s$ - polio grunto vidinės trinties kampas;

Kadangi ribiniai grunto polių įtempimai, vertinant giluminio išpūtimo riziką silpname grunte, yra mažesni nei vertinant paviršinio išpūtimo riziką, giluminiai silpni gruntai bus kontroliniai.

Silpnam gruntui:

$$\sigma_c = 5 \cdot c; \quad (3.2.10)$$

Čia:  $\sigma_c$ - maksimalūs ribiniai įtempimai kuriuos gali perimti gruntas esantis aplink polį kPa;

Bendra apkrova veikianti grunto polio ir grunto sistemą negali būti viršyta.

$$\mu_s = n / (1 + (n-1) \cdot a_s); \quad (3.2.11)$$

Čia:  $\mu_s$ - santykinė apkrova grunto polyje;

$n$ - apkrovos koncentracijos faktorius;

$$\mu_c = 1 / (1 + (n-1) \cdot a_s); \quad (3.2.12)$$

Čia:  $\mu_c$ - santykinė apkrova aplinkiniame grunte;

Tuomet tikrinama sąlyga:

$$\sigma_c \leq \mu_c \cdot \sigma = \mu_c \cdot (\sigma_s / \mu_s); \quad (3.2.13)$$

Priimame, kad ribiniai įtempimai kuriuos gali perimti silpnas gruntas aplink polių yra  $\mu_c \cdot \sigma$ ;

Leistinos kelio apkrovos:

Ribinė apkrova kuri gali apkrauti poliaus ir grunto sistemą yra:

$$P_{ult} = \sigma_s \cdot A_s + \sigma_c \cdot A_c \quad (3.2.14)$$

Atlikus skaičiavimus gautas maksimalus konstrukcijos atsargos koeficientas yra **1,40**.

Tuomet leistina apkrova:

Išskirstyta leistina apkrova:

$$q_{all} = P_{all} / A; \quad (3.2.15)$$

apkrova veikianti poliaus sistemą:

$$q_a = (\gamma \cdot H) + (q \cdot (1 + H)); \quad (3.2.16)$$

Čia:  $\gamma$ - grunto vienetas svoris,  $\text{kN/m}^3$ ;

$H$ - gylis iki poliaus viršaus, m;

$q$ - dinaminė apkrova parinkta 60t sunkvežimiams pagal standartą DIN 1072, kaip tariama statinė išskirstyta apkrova  $q=33,33 \text{ kN/m}^2$ ;

Tikrinama poliaus sistemos laikančioji galia, turi būti tenkinama ši sąlyga:

$$q_{all} > q_a; \quad (3.2.17)$$

Sąlyga tenkinama, polių laikančioji galia yra pakankama, sankasos laikomajai galiai užtikrinti.

Siekiant užtikrinti grunto polių pastovumą, jie įvelkami į geotekstilės apvaskalą.

Parentama austinė poliesterio geotekstilė

Ilgalaikis projektinis geotekstilės žiedo stiprumas:

$$F_g = F_k / (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot \gamma_b); \quad (3.2.18)$$

Čia:  $A_1$  – saugos koeficientas medžiagos nuovargiui (valkšnumui) 120-čiai metų;

$A_2$  – saugos koeficientas pažeidimams įrengimo metu;

$A_3$  – saugos koeficientas sujungimams;

$A_4$  – saugos koeficientas aplinkos poveikiui;

$A_5$  – saugos koeficientas konstrukcijos darbui veikiamam transporto apkrovų;

$\gamma_b$  – dalinis gamybos faktorius pagal BS 8006;

$$\sigma_3 > F_g; \quad (3.2.19)$$

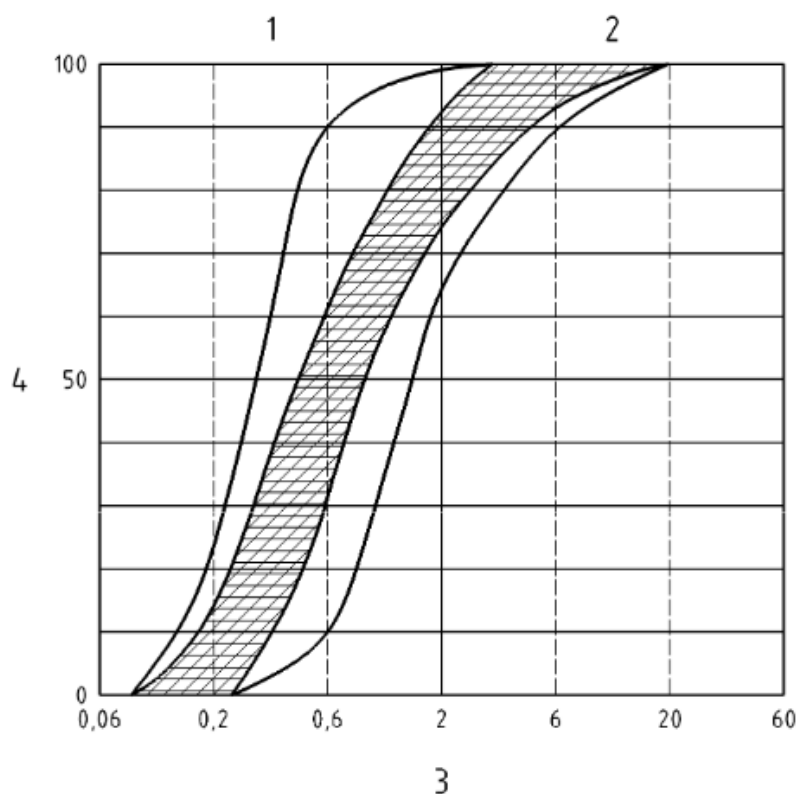
Jei sąlyga (3.2.19) tenkinama, austinės geotekstilės polių apvalkalo ilgalaikis stipris tempiant yra pakankamas.

### 3.3. Geopolių panaudojimas vertikaliajam drenažui

Vertikalios grunto drenos paprastai yra apvalaus skerspjūvio elementai, sudaryti iš birios (dažniausiai smėlio, todėl dažnai vadinamos smėlinėmis), dideliu vandens pralaidumu pasižyminčios medžiagos. Smėlinių drenų skersmuo įprastai yra nuo 150 mm iki 500 mm (LST EN 15237:2007).

Užpildo naudojamo gruntinėms drenoms įrengti, granulimetrinė sudėtis turėtų atitikti 3.3.1 pav. nurodomą užstrichuotą zona. Tačiau, praktikoje galime sutikti daugybę atvejų kai vertikalios drenos funkcionuoja puikiai, nors užpildui naudojama platesnės granulimetrinės variacijos medžiaga.

Šiuose atvejuose panaudoto užpildo granulimetrinė sudėtis nurodo ribines reikšmės, tolimesnės linijos 3.3.1 pav. (LST EN 15237:2007)



3.3.1 pav. Granulimetrinė užpildo naudojamo gruntinėms vertikalioms drenoms sudėtis. 1 – smėlis; 2 – žvyras; 3 – dalelių dydis  $d$ , mm; 4 – dalelių  $<d$  kiekis užpildo medžiagoje, % (LST EN 15237:2007).

Gruntinės drenos įrengiamos pakeičiant esamą gruntą (gręžimo metodai) arba esamą gruntą išstumiant į šalis taip suformuojant biraus, vandeniui laidaus grunto koloną-polį (LST EN 15237:2007).

Įrengimo metodai kai gruntas yra pakeičiamas: atvirasis kasimas, gręžimas, gręžimas su prilaikančiais skiediniais (bentonito skiedinys), grunto išplovimas (aukšto slėgio vandens srove), CFA (angl. Continuous flight augering) bei gręžimas esamą gruntą minkštinant vandeni (LST EN 15237:2007).

Uždarojo gręžimo metodų esmė, jog į esamą gruntą, iki projekcinio gylio, įgręžiamas sraigtinis grąžtas kurio viduje yra speciali ertmė. Įgręžiant grąžtą ši ertmė būna uždara, tačiau kai grąžtas pradedamas kelti ji atsidaro. Kai grąžtas pasiekia projekcinį lygį, jis pradedamas traukti į viršų, o per specialią ertmę tiekama užpilo medžiaga, taip suformuojant apvalaus skerspjūvio elementą.

Atvirojo gręžimo ir grunto išplovimo metodai skiriasi tuo, jog ertmė į kuria bus supiltas užpildas suformuojama iš anksto, ir tik baigus gręžimo darbus supilamas užpildas. Naudojant šiuos metodus užpildo gruntas nesutankinamas.

Metodai, kai esamas gruntas išstumiamas į šalis, dažniausiai yra giluminio vibratoriaus naudojimas bei spraustinio vamzdžio uždaru galu naudojimas. Naudojant šiuos metodus, esamas gruntas nepakeičiamas, o išstumiamas į šalis, taip aplink įrenginėjamą dreną sutankinant esamą gruntą. Giluminio vibratoriaus ir spraustinio vamzdžio metodai aprašyti 3.4 skyriuje.

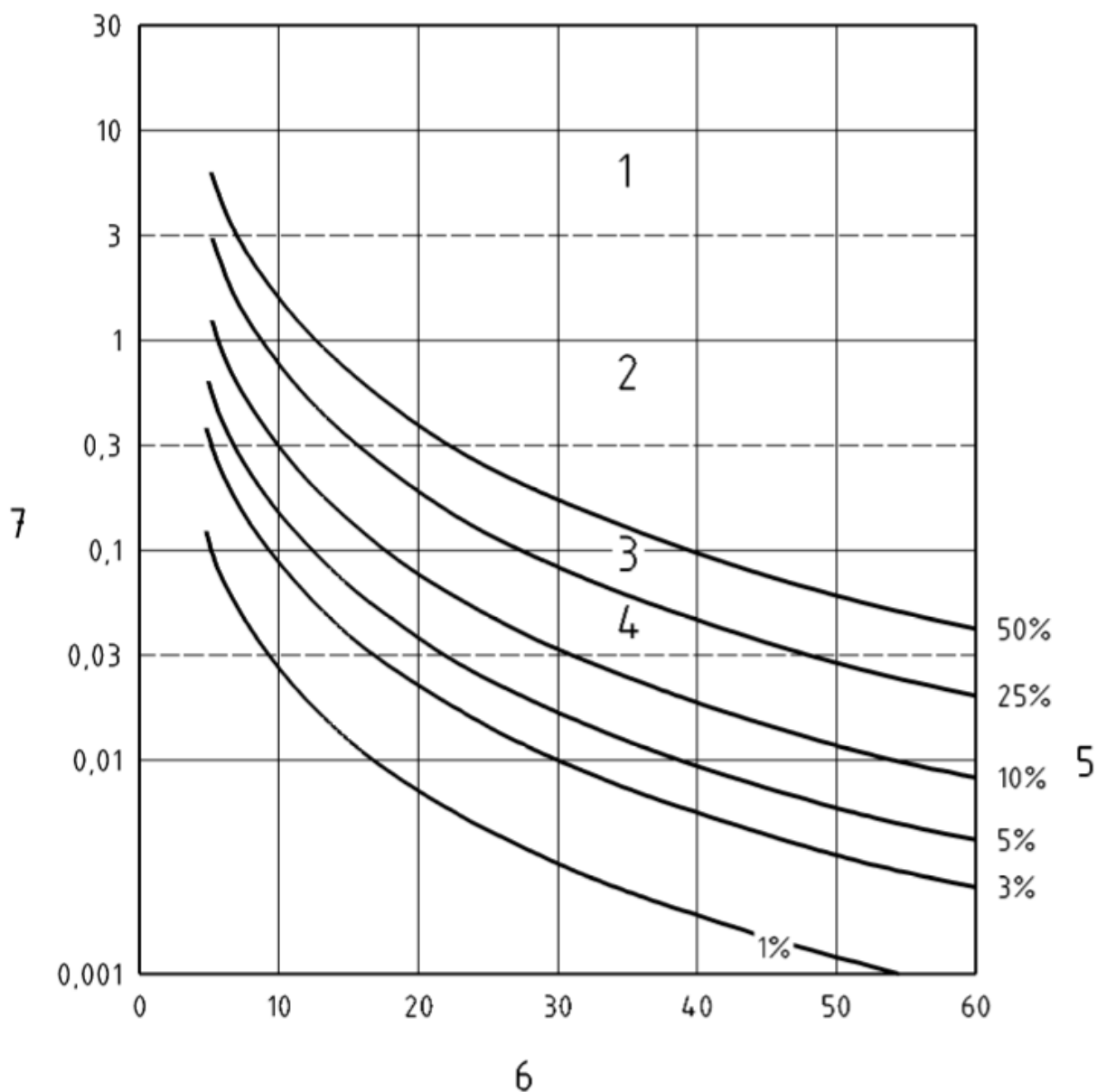
Kadangi gruntinių drenų vientisumo ir minimalaus, projekcinio skersmens išlaikymas yra labai svarbus, būtina pasirinkti tinkamą gruntinės drenos įrengimo technologiją atsižvelgiant į visus veiksnius kurie turi įtakos šiems parametrams. Didžiausias užgriuvimo pavojus yra taktuose moliuose, durpėse, dumble.

Vientisumo ir užgriuvimo rizikai pašalinti gali būti naudojamas geotekstilės apvalkas. Naudojant apvalkalą, galima tiksliai nustatyti kiek užpildo grunto supilta, ir koks kiekis turėjo būti supiltas. Stebint šiuos rodiklius galima spręsti apie gruntinės drenos vientisumą bei minimalaus skersmens išlaikymą.

Vandens drenavimo debitas gruntinėse drenose kurios įrengtos naudojant 3.3.1 pav. nurodytos granulometrinės sudėties užpildą yra nuo 800 m<sup>3</sup>/metams (25 cm<sup>3</sup>/s) kai drenų skersmuo 180 mm iki 4000 m<sup>3</sup>/metams (127 cm<sup>3</sup>/s) kai drenų skersmuo 400mm. Reikalingas gruntinių drenų drenavimo debitas privalo būti skaičiuojamas atsižvelgianti į teorijoje vyraujančius aplinkinius gruntus. Daugiausia įtakos drenų debitui turi jų gylis, skersmuo, išdėstymas bei aplinkinis gruntas.

Kadangi, drenos drenuoja ne tik paviršinį vandenį bet ir iš aplinkinių vandeningų gruntų, todėl pagreitėja aplinkinių silpnų, įmirkusių gruntų konsolidacija. LST EN 15237:2007 pateikiama gruntų konsolidacijos pagreitinimo grafikas 3.3.2 pav., priklausomai nuo skirtingų grunto tipų, drenų gylio bei drenų pralaidumo.

Tai yra bandymo metodais paremtas grafikas, bandymo metu drenos įrengtos kas 900 mm kvadratinio tinklu, drenų skersmuo 65 mm, drenų vandens debitas  $16 \text{ cm}^3/\text{s}$ .



3.3.2 pav. Grunto konsolidacijos pagreitinimas, priklausomai nuo grunto, gylio, debito. (LST EN 15237:2007).

Čia: 1 – Dūrpės; 2 – Dūrpės/dumblas; 3 – Dulkingas molis; 4 – Molis; 5 – Konsolidacijos pagreitinimas; 6 – Drenų gylis (m); 7 – Vandens pralaidumas  $\text{m}^3/\text{metams}$

### **3.4. Geopolijų įrengimo technologijos**

Pasaulyje yra įvairių geopolinių pamatų įrengimo technologijų, tačiau šiame darbe pačiau nagrinėjamos tik populiariausios ir labiausiai paplitusios technologijos. Lietuvoje šiai dienai naudojamos tik dvi iš nagrinėjamų technologijų, tai yra: geopolijų įrengimas naudojant spraustinį apsauginį vamzdį bei geopolijų įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu. Laikomosios geopolijų galios užtikrinimui tikslingiausia naudoti apsauginio spraustinio vamzdžio su geotekstilės apvaskalu technologiją, kadangi naudojant spraustinio vamzdžio technologiją, vamzdis spraudžiamas iki kol pasiekiamas atsakas, o atsakas gali būti pasiektas dėl įvairių priežasčių (gali būti suspaustas silpnas gruntas, gali įvykti „prisiurbimas“, gali pasitaikyti stipresnio grunto tarpsluoksnis ar didesnis akmuo). Naudojant apsauginio spraustinio vamzdžio technologiją užtikrinama laikomoji geopolio galia, taip statinį apsaugant nuo sužrimo.

#### **3.4.1. Geopolijų įrengimas naudojant giluminį vibratorių**

Ši technologija labiausiai paplitusi pietų Amerikoje, Afrikoje ir pietinėje Europos dalyje dėl ten vyraujančių vandens prisotintų storų takaus molio sluoksnių. Geopoliai, įrengti naudojant giluminį vibratorių, neretai vadinami skaldos kolonomis. Skaldos kolonos įrengiamos kylant iš apačios į viršų (3.3.1.1 pav.). Vibravimo metu įspraudžiant kolonų užpildą (skaldą, žvyrą ar žvyringą smėlį) iš vibratoriaus viduje esančios ertmės į sankabų gruntą, naudojamas grįžtamasis judesys (du žingsniai į viršų, vienas žemyn). Tai leidžia sutankinti išpiltą gruntą ir padidinti kolonos skersmenį (Šližytė, 2012).

Tokių kolonų įrengimas vibruojant moliniame grunte kartais vadinamas vibraciniu grunto pakeitimu, nors šis terminas nelabai tikslus – vietinis gruntas ne pakeičiamas, o nustumiamas į šoną, pripildant vibratoriaus sudarytą ertmę rupiu užpildu (Šližytė, 2012).

Pageidautina, kad tas užpildas būtų skalda arba žvyras, nors išimtiniais atvejais galėtų būti naudojamas ir smėlis, jei atgabenti rupesnę užpildą būtų per daug sudėtinga ir per brangu (Šližytė, 2012).

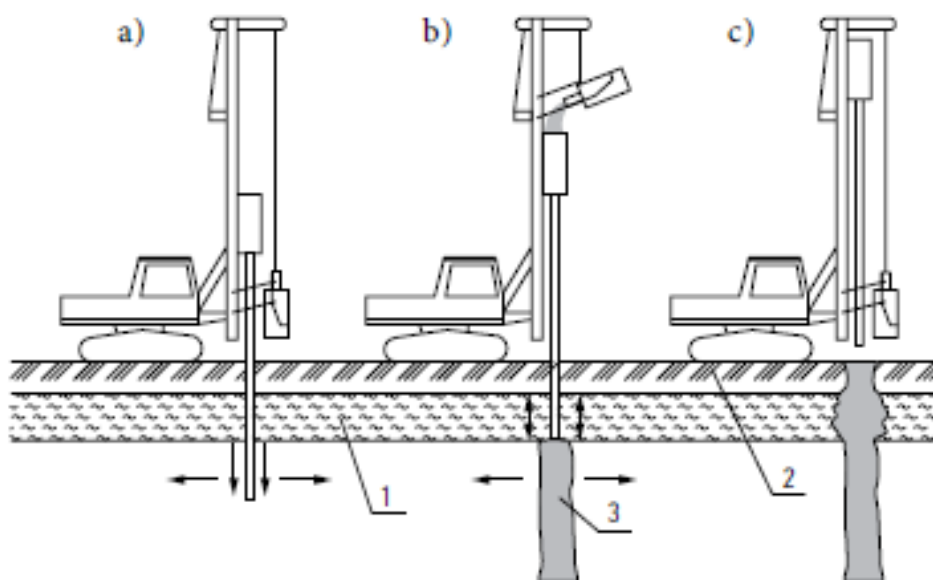
Naudojant šią technologiją, įrengiant kolonas šalia viena kitos galima sukurti sustiprinto pagrindo pagalvę. Tačiau ši technologija Lietuvoje nėra paplitusi, ir netgi mažai žinoma. Taip yra dėl to, kad naudojant giluminį vibratorių technologiškai sunku įrengti ilgus poliūs. Dažniausiai šia technologija įrengtų polių ilgis siekia 6-7 metrus. Tačiau Lietuvoje vietose, kur reikalingas grunto stiprinimas, stiprus gruntas slugso gilesniuose sluoksniuose.

Skaldos kolonos įrengiamos projekte numatytose vietose. Inventorinis plieninis 30–50 cm skersmens vamzdis su specialiu užsidarančiu ir atsiderančiu smaigaliu įgilinamas į gruntą vibratoriumi per visą



pagrindo deformacijų zonos gylį arba iki stipraus grunto, kai silpno grunto sluoksnis plonesnis negu deformacijų zona (Šližytė, 2012).

Įgilinant inventorinį vamzdį, gruntas sutankėja, kaip ir kalant polių, maždaug 3 d zonoje (čia d – vamzdžio skersmuo). Vanduo iš grunto išspaudžiamas per gretimas anksčiau pagamintas skaldos kolonas, todėl gruntas gerokai sutankėja (Šližytė, 2012).



3.4.1.1 pav. Geopolių įrengimas giluminiais vibratoriais.

Skaldos kolonų įrengimas giluminiais vibratoriais: a – vibratorius įgramzdinamas į sankabų grūtą;

b – vibruojant atidaroma apatinė anga ir išpilama bei sutankinama skalda; c – skaldos kolona baigta;

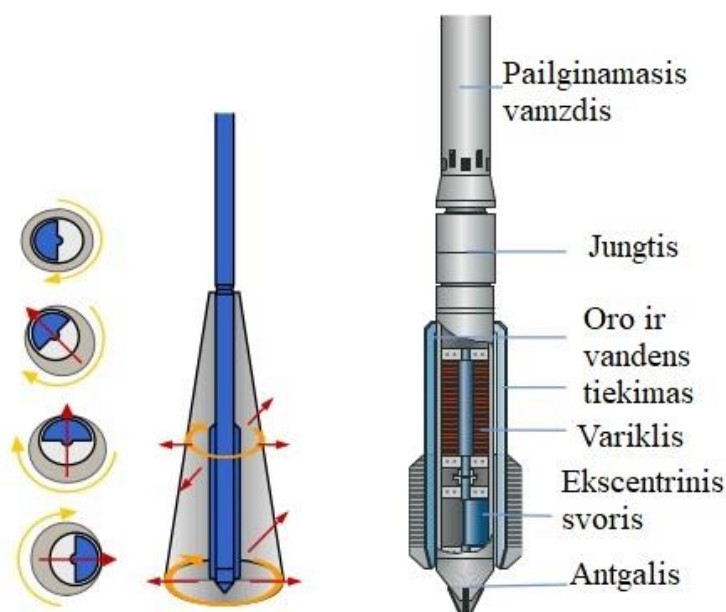
1 – silpnesnio grunto sluoksnis; 2 – stipresnio grunto sluoksnis; 3 – skaldos kolona (Šližytė, 2012)

Giluminis grunto vibratorius – tai prietaisas, skirtas rupaus grunto paskleidimui ir sutankinimui silpname grunte. Šis prietaisas montuojamas ant poliakalės. Yra įvairių tipų ir galingumų giluminių grunto vibratorių. Dažniausiai giluminių grunto vibratorių apibūdinantys rodikliai pateikti 3.4.1.1 lentelėje:

3.4.1.1 lentelė. Giluminį grunto vibratorių apibūdinantys rodikliai (<http://manpshoring.blogspot.com>)

Ilgis (m)	5-8
Diametras (cm)	40-60
Variklio galia (kW)	130
Variklio sūkliai ( $\text{min}^{-1}$ )	20-80
Dinaminė jėga (kN)	300

### Giluminio grunto vibratoriaus schema



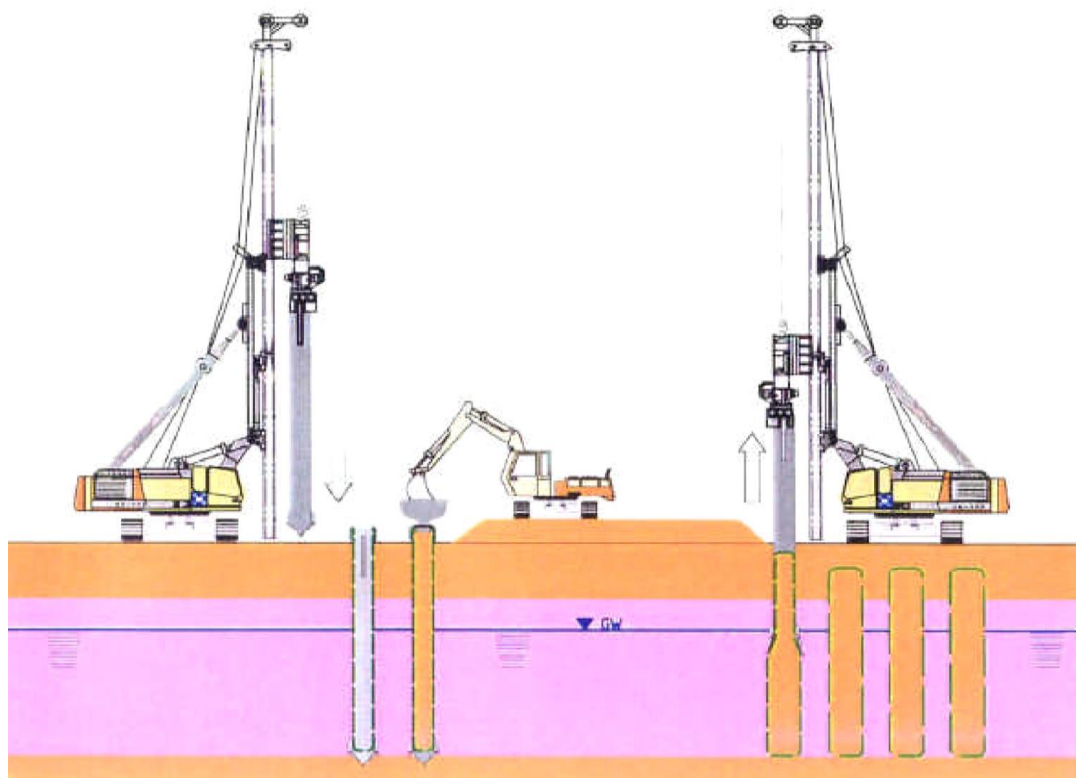
3.4.1.2 pav. Giluminio vibratoriaus schema (<http://manpshoring.blogspot.com>).

### 3.4.2. Geopolių įrengimo technologija naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu ir geotekstilės apvaskalą

Šią technologiją galima naudoti tik mažai sankabiame grunte. Grunto sankabumas  $C_u < 15$  kPa (durpės, minkštas molis). Šių geopolių stiprumas yra didesnis dėl geotekstilės apvaskalo panaudojimo. Kadangi geotekstilė perima tempimo įtempimus, į polių galima perduoti ir nedideles

skersines įrašas. Kadangi užpildas pilamas į apvaskalą, jis nesimaišo su silpnu gruntu taip suformuodamas apvalaus skerspjūvio poli.

Geopoliai naudojant šią technologiją įrengiami greičiausiai, tačiau dėl didelių vibracijų spaudžiant vamzdį į gruntą jos naudojimas yra apribotas. Minimalus atstumas nuo esamų statinių privalo būti nemažau kaip 25m. Užpildas geotekstilėje susitankina ištraukinėjant spraustinį vamzdį.



3.4.2.1 pav. Geopolių įrengimas naudojant spraustinį vamzdį su geotekstilės apvaskalu (sudaryta autoriaus).

Geopolių įrengimas pradedamas nuo projektinių vietų nustatymo. Geopolių įrengimo eiga:

- poliakalė pastato specialų inventorinį vamzdį, kurio galva yra mechaninė arba liekamoji;
- vamzdis suspaudžiamas iki projektinio gylio (į stiprų laikantį sluoksnį turi būti įgilinta nemažiau kaip per du polio diametrus ir nemažiau kaip vieną metrą);
- į vamzdžio vidų dedamas geotekstilės maišas, kuris vamzdžio viršuje pririšamas statybiniu diržu su terkšle;
- geotekstilės maišas pripildomas drenuojančio nesankabaus grunto;
- atidarius vamzdžio galvą vibracijos pagalba ištraukinėjamas vamzdis;

- esant liekamajai vamzdžio galvai, ištraukinėjant inventorinį vamzdį liekamoji galva lieka grunte.

Atlikus įrengimo darbus poliakalė juda prie kito polio projektinės vietos.

Dažnai, kad poliakalei nereiktų laukti, kol bus užpildytas geotekstilės maišas, naudojami keli inventoriniai vamzdžiai su specialiomis galvomis.



3.4.2.2 pav. Liekamoji spraustinio vamzdžio uždaru galu galva (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka).

### **3.4.3. Geopolių įrengimo technologija naudojant spraustinį apsauginį vamzdį ir geotekstilės apvaskalą**

Šią technologiją galima naudoti mažai sankabiame, arba vidutinio stiprumo grunte. Grunto sankabumas  $C_u < 30$  kPa (durpės, minkštas molis, piltiniai gruntai, statybinės atliekos). Šių geopolių stiprumas yra didesnis dėl geotekstilės apvaskalo panaudojimo. Kadangi geotekstilė perima tempimo įtempimus, tai į poli galima perduoti ir nedideles skersines įrašas. Kadangi užpildas pilamas į apvaskalą, jis nesimaišo su silpnu aplinkiniu gruntu taip suformuodamas apvalaus skerspjūvio poli.

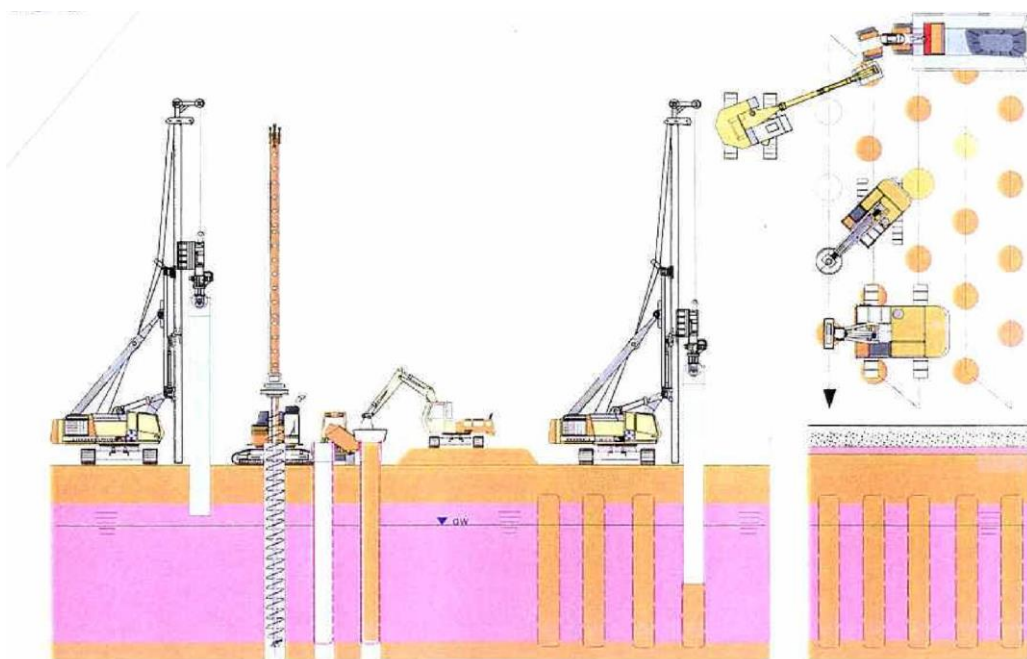
Naudojant šia technologiją geopoliai įrengiami kiek lėčiau nei naudojant spraustinį vamzdį, tačiau dėl minimalių sukeliamų vibracijų įrengimo metu šiuos polius galima įrengti beveik prie pat esamų statinių, reikalinga tik numatyti apsauginį gręžimo galvos atstumą. Minimalus atstumas nuo esamų statinių privalo būti nemažiau kaip 0,8 m.

Geopolių įrengimas pradedamas nuo projektinių vietų nustatymo. Geopolių įrengimo eiga:

- pirmoji poliakalė pastato specialų inventorinį vamzdį, kuris yra tuščiaviduris;
- vamzdis suspaudžiamas iki reikiamo gylio (į stiprų laikantį sluoksnį turi būti įgilinta nemažiau kaip per du polio diametrus ir nemažiau kaip vieną metrą)

- iš vamzdžio vidaus kita poliakale išvalomas (išgręžemas) gruntas taip suformuojant ertmę geotekstilės maišui;
- į inventorinį vamzdį dedamas geotekstilės maišas, kuris vamzdžio viršuje pririšamas statybinio diržu su terkšle;
- šis maišas užpildomas nesankabiu, vandenį drenuojančiu gruntu. Kai maišas užpildytas maksimaliai, pirmoji poliakalė ištraukia apsauginį vamzdį;
- užpildas geotekstilės maiše susitankina ištraukinėjant inventorinį vamzdį.

Kad būtų sumažintas poliakalių prastovų laikas, bei darbai vyktų sklandžiau, dideliuose objektuose naudojama daug apsauginių vamzdžių.



3.4.3.1 pav. Geopolijų įrengimas naudojant apsauginį vamzdį su geotekstilės apvaskalu (sudaryta autoriaus)



3.4.3.2 pav. Įrenginys skirtas užpildyti geotekstilės maišą (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka)

## 4. Tyrimų metodika

### 4.1. Geopolių įrengimo technologijų alternatyvų parinkimas

Geopoliai dažniausiai įrenginėjami teritorijose, kur sutinkami itin silpni ir vandeningi gruntai. Remiantis daugiakriterinio vertinimo metodu TOPSIS parinksiu racionalią geopolinių pamatų įrengimo technologiją, esant durpingam ir užliejamam gruntui.

Tiriamajoje dalyje bus analizuojamos šios **geopolinių pamatų įrengimo technologijos**:

1. Geopolių įrengimas naudojant giluminį vibratorių;
2. Geopolių įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu ir geotekstilės apvaskalą;
3. Geopolių įrengimas naudojant spraustinį apsauginį vamzdį ir geotekstilės apvaskalą.

Minėtų technologijų aprašymas yra pateiktas trečiame skyriuje.

### 4.2. Alternatyvų vertinimo kriterijų parinkimas

Tiriamajoje dalyje pasirinktos geopolinių pamatų įrengimo alternatyvos bus vertinamos pagal šiuos užsiduotus kriterijus:

1. **Polių įrengimo kaina, EUR** – tai kiekybinis, ekonominis rodiklis, įvertinantis vieno metro polio įrengimo kainą. Kaina apskaičiuojama remiantis atliktų projektų analize.
2. **Mechanizavimo lygis** – tai kokybinis, balais išreikštas rodiklis, įvertinantis mechanizmais atliekamų darbų laipsnį. Šis rodiklis nustatomas ekspertiniu metodu.
3. **Laikomoji galia** – tai kokybinis, balais išreikštas rodiklis, įvertinantis geopolijų gebėjimą atlaikyti konstrukcijų perduodamas apkrovas. Geopolių laikomoji galia priklauso nuo gruntinių sąlygų, polio matmenų, įrengimo būdo ir t. t. Rodiklis nustatomas ekspertiniu metodu.
4. **Įrengimo galimybės** – tai kokybinis, balais išreikštas rodiklis, įvertinantis geopolijų įrengimo sudėtingumą, statyb vietės sąlygas, privažiavimą. Rodiklis priklauso nuo naudojamų mechanizmų galingumo ir jų kiekio, įrengimui reikalingų medžiagų ir t. t. Šis rodiklis nustatomas ekspertiniu metodu.
5. **Poveikis aplinkai** – tai kokybinis, balais išreikštas rodiklis, įvertinantis aplinkai daromą žalą geopolijų įrengimo metu (triukšmas, vibracija, žemės darbai ir t. t.). Rodiklis priklauso nuo polioiui įrengti naudojamos technikos, polio įgilinimo būdo, poliams naudojamų medžiagų ir t. t. Šis rodiklis nustatomas ekspertiniu metodu.

6. **Geopolijų įrengimo trukmė**, balais – tai kiekybinis, balais išreikštas rodiklis, įvertinantis polių įrengimo trukmę. Šis rodiklis nustatomas ekspertiniu metodu.

#### 4.3. Apklausos anketa

Remiantis atlikta literatūros šaltinių analize ir parinktais geopolijų įrengimo technologijų vertinimo kriterijais buvo parengta apklausos anketa. Ši anketa buvo išsiųsta Lietuvoje veikiančioms įmonėms, kurios specializuojasi geopolijų įrengimu arba turi galimybes juos įengti. Apklausos dalyviai galėjo reitinguoti anketoje pateiktus kriterijus, siekiant išsiaiškinti vertinimo kriterijų reikšmingumą. Respondentų prie kiekvieno kriterijaus buvo prašoma įrašyti balus nuo 1-10, kurie parodytų kriterijų svarbą.

Apklausos anketos pavyzdys:

#### **„Apklausos anketa Nr. 1“**

Esu II pakopos studijų programos „Statybos valdymas“ I kurso studentas ir šiuo metu rengiu magistro baigiamąjį projektą tema „Geopolinių pamatų įrengimo technologijų tyrimai“. Baigiamajam projektui parengti reikalinga jūsų, kaip ekspertų šioje srityje, nuomonė.

Šios anketos tikslas – nustatyti geopolinių pamatų įrengimo technologijos pasirinkimą apibūdinančių rodiklių reikšmingumą. Surinkti duomenys bus panaudoti lyginant geopolinių pamatų įrengimo technologijas, esant *durpingam užliejamam gruntui*.

Prašau Jūsų užpildyti žemiau pateiktą lentelę įrašant jūsų nuomonę atitinkantį įvertinimą. Vertinimas atliekamas tokia eiga: iš pradžių pasirenkamas svarbiausias vertinimo kriterijus, kurio reikšmingumas prilyginamas 10-čiai balų (tokių kriterijų gali būti keletas). Tuomet likę kriterijai lyginami su svarbiausiuoju kriterijumi. Jei manote, kad reikėtų papildomų vertinimo kriterijų, įrašykite juos lentelės tuščioje eilutėje.

Nr.	Vertinimo kriterijaus pavadinimas	Kriterijų reikia:		Įvertinimas (nuo 1 iki 10)
		Minimizuoti	Maksimizuoti	
1.	Įrengimo kaina, (Eur/m.)	x		
2.	Mechanizavimo lygis, balais		x	
3.	Laikomoji galia, balais		x	
4.	Polių įrengimo galimybės, balais		x	
5.	Poveikis aplinkai, balais	x		
6.	Įrengimo trukmė, balais	x		

Įvertinimo skalė nuo 1 iki 10:

- 1, 2 – nereikšmingas rodiklis,
- 3, 4 – mažai reikšmingas rodiklis,
- 5, 6 – vidutiniškai reikšmingas rodiklis,
- 7, 8 – reikšmingas rodiklis,
- 9, 10 – labai reikšmingas rodiklis.

#### 4.4. Kriterijų reikšmingumo nustatymas

Kiekybinių daugiakriterinių (MCDM angl. Multiple Criteria Decision Making) metodų tikslas yra nustatyti geriausią iš lyginamų alternatyvų arba ranguoti jas pagal svarbumą vertinimo tikslo atžvilgiu. Viena iš svarbiausių šių metodų sudedamųjų dalių yra taikomų tyrimuose kriterijų svoriai. Atskirų kriterijų, apibūdinančių tiriamojo objekto įtaką nagrinėjamam tikslui nevienoda, todėl svarbu nustatyti kriterijų reikšmingumą, t. y. jų svorius.

Dauguma šiuo metu žinomų ir taikomų daugiakriterinio vertinimo kriterijų svorių nustatymo metodai pagrįsti ekspertiniais vertinimais. Subjektyvų kriterijų svorių nustatymo pagrindą sudaro specialistų ekspertų vertinimai. Atskirų ekspertų nuomonės dažnai nesutampa, o gali būti ir prieštaringos, t. y.



skirtis atskirų ekspertų vertinimų kriterijų svarbumas ir prioritetiškumas. Vertinimai priklauso nuo ekspertų kvalifikacijos, darbo specifikos, suinteresuotumo gauti tam tikrus įvertinimo rezultatus, darbo stažo ir pan. Kriterijų svorius kaip apibendrintus ekspertų nuomonių vidurkius, galima taikyti daugiakriteriame vertinime, jei nustatytas ekspertų vertinimų neprieštarinamumas, t. y. įrodyta, kad nuomonės yra statistiškai suderintos. Vertinimų suderinamumo nustatymui galima taikyti Kendallo konkordancijos koeficientą (R.Kendal. 1995) Koks bebūtų taikomas subjektyvus svorių nustatymo metodas, vertinimo procesą reikia pradėti nuo kriterijų rangavimo.

Rangavimas yra procedūra, kai pačiam svarbiausiam kriterijui suteikiamas aukščiausias rangas, lygus vienetui, antram pagal svarbumą – rangas du ir t. t., paskutiniam pagal svarbumą – rangas  $m$ , čia  $m$  – lyginamų kriterijų skaičius. Ekvivalentiniams kriterijams suteikiama vienoda reikšmė – eilinių rangų aritmetinis vidurkis. Metodas lengvai taikomas praktikoje, tačiau būtina pabrėžti, kad metodo tikslumas mažas. Neatsižvelgiant į taikomus vertinimo metodus, ekspertų vertinimus pažymėsime  $c_{ik}$  ( $i = 1, \dots, m$ ;  $k = 1, \dots, r$ ), čia  $m$  – taikomų kriterijų skaičius,  $r$  – ekspertų skaičius.

Vertinimų rezultatus patalpiname į matricą  $C = \|c_{ik}\|$ . Galima pasiūlyti keletą kriterijų svorių skaičiavimo algoritmų, kuriuose naudojami kriterijų svorių rangai. Pertvarkymo tikslas yra priskirti svorių dydžius mažėjančia tvarka pagal rangus. Tokiu būdu geriausiam rangui (pirmajam) būtų priskiriama didžiausia reikšmė. Tiksliausių rezultatą suteikia tiesinis vertinimų transformavimas. Šiuo atveju kriterijų svorių reikšmes galima suskaičiuoti pagal formulę (4.4.1):

$$\omega_i = \frac{\sum_{k=1}^r (m + 1 - c_{ik})}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r (m + 1 - c_{ik})} \quad (4.4.1)$$

Čia:  $m$  – lyginamų kriterijų skaičius;

$r$  – ekspertų skaičius;

Kriterijų svorių nustatymas naudojant tiesioginius ir netiesioginius vertinimus. Šių metodų tikslumas yra didesnis, palyginti su rangavimo būdu. Taikant tiesioginio kriterijų svorių nustatymo metodą, kiekvieno kriterijaus visų vertinimų  $c_{ik}$  svorių suma turi būti lygi vienetui (arba 100%). Netiesioginio kriterijų svorių nustatymo metode taikoma pasirinktą balų sistemą. Apribojimų kiekvieno eksperto vertinimų sumai netaikoma. Vertinimai gali kartotis. Kriterijų svoriai tiesioginio ir netiesioginio pagrindu suskaičiuojami pagal formulę (4.4.2):

$$\omega_i = \frac{\sum_{k=1}^r c_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r c_{ik}} \quad (4.4.2)$$

#### 4.5. Geopolinių pamatų įrengimo technologijų vertinimas TOPSIS metodu

Daugiakriteriniam vertinimui pasirinktas „Topsis“ arba „idealiai geriausias“ alternatyvos metodas. Metodo esmė – nustatyti, kuris sprendimo variantas yra artimiausias arba tolimiausias idealiam taškui (Hwang and Yoon, 1981). Tai reiškia, kad geriausias sprendinys bus arčiausiai idealaus, o blogiausias bus toliausia.

Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių. Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą arba pateikti alternatyvių sprendimų duomenis (4.5.1 lentelė).

4.5.1 lentelė. Pradiniai alternatyvių sprendimų duomenys.

Kriterijai	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
Alternatyvūs sprendimai						
A <sub>1</sub>	....	....	....	....	....	....
A <sub>2</sub>	....	....	....	....	....	....
A <sub>3</sub>	....	....	....	....	....	....
$\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$	....	....	....	....	....	....
Optimalumas	....	....	....	....	....	....
Teorinis reikšmingumas, %	....	....	....	....	....	....

Matricos P normalizavimas į matricą  $\bar{P}$ . Kadangi matricoje P vertinimo kriterijai yra skirtingų matavimo vienetų, todėl negalime lyginti alternatyvių inžinerinių sprendimų. Dėl šios priežasties reikia matricą P normalizuoti, t. y. pertvarkyti į bedimensius dydžius. Matricos P normalizavimas atliekamas taikant vektorių normalizavimo metodą (3 lentelė):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \text{ kur } i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; \quad (4.5.1)$$

Čia:  $m$  – alternatyvų skaičius;  $n$  – kriterijų skaičius.

4.5.2 lentelė. Matrica  $\bar{P}$ .

Kriterijai						
Alternatyvūs sprendimai	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	.....	.....		.....	.....	.....
A <sub>2</sub>	.....	.....		.....	.....	.....
A <sub>3</sub>	.....	.....		.....	.....	.....

**Skaičiavimai atliekami esant kompleksiniam reikšmingumui:**

Svertinės normalizuotos matricos  $\overline{P}^*$  sudarymas (4 lentelė):

$$\overline{P}^* = \overline{P} \cdot \overline{q}_j \quad (4.5.2)$$

Čia:  $\overline{P}$  - normalizuota matrica;

$\overline{q}_j$  - subjektyvus kriterijų reikšmingumas, kuris paskaičiuotas tiesioginio rangavimo metodu.

4.5.3 lentelė. Svertinė normalizuota matrica  $\bar{P}^*$ .

Kriterijai						
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
Alternatyvūs sprendimai						
A <sub>1</sub>	.....	.....	.....	.....	.....	.....
A <sub>2</sub>	.....	.....	.....	.....	.....	.....
A <sub>3</sub>	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Nustatomas idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \left\{ \left[ \left( \max_i x_{ij} / j \in I \right), \left( \min_j x_{ij} / j \in I' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{x_1^+; x_2^+; x_3^+\} \quad (4.5.3)$$

Čia:  $I$  – aibė rodiklių (maksimizuojamų), kurių geriausios reikšmės yra didžiausios.

$I'$  – aibė rodiklių (minimizuojamų), kurių geriausios reikšmės yra mažiausios.

Nustatomas idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \left\{ \left[ \left( \min_i x_{ij} / j \in I \right), \left( \max_j x_{ij} / j \in I' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{x_1^-; x_2^-; x_3^-\} \quad (4.5.4)$$

Idealaus teigiamo varianto skirtumo (atstumo)  $L_i^+$  tarp realaus  $a_i$  ir  $a^+$  nustatymas:

$$L_i^+ = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - a_j^+|; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; \quad (4.5.5)$$

Čia:  $x_{ij}$  – realus;

$a^+$  - idealiai teigiamas;

$L_i^+$  - atstumas.

Idealaus neigiamo varianto skirtumo (atstumo)  $L_i^-$  tarp realaus  $a_i$  ir  $a^-$  nustatymas:

$$L_i^- = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - a^-|; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; \quad (4.5.6)$$

Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam  $K_{bit,i}$  nustatymas.

$$K_{bit,1} = \frac{L_1^-}{L_1^+ + L_1^-}; \quad (4.5.7)$$

Racionaliausias inžinerinis sprendimas bus tas, kurio  $K_{bit}$  reikšmė yra max.

Naudingumo laipsnio nustatymas. Lyginame mūsų nagrinėjamo varianto reikšmę su idealaus varianto reikšme:

$$N_1 = \frac{K_{bit,1}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% \quad (4.5.8)$$

Pagal gautus duomenis atliekamas grafinis variantų palyginimas.

**Skaičiavimai, esant teoriniam reikšmingumui, atliekami analogiška seka.**

Siekiant surinkti išeities duomenis, reikalingus atlikti skaičiavimus, buvo naudotas ekspertinis vertinimas. Ekspertams buvo išsiustos apklausos anketos su aprašyta problema, nurodytomis alternatyvomis ir klausimynu. Ekspertų buvo prašoma atsakyti į pateiktus klausimus nurodant alternatyvių įrengimo technologijų optimalumą.

Anketos pavyzdys pateiktas žemiau.

### „Apklausos anketa Nr. 2“

Šios anketos tikslas – surinkti kokybinių rodiklių duomenis, kurie bus panaudojami parenkant racionalų geopolinių pamatų įrengimo technologijos variantą, esant *durpingam užliejamam gruntui*.

Nagrinėjami šios geopolijų įrengimo technologijos: naudojant giluminius vibratorius, naudojant spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalku ir naudojant apsauginį vamzdį įleidžiama į išgręžtą šachtą.

*Pastaba: vertinama nuo 1 iki 5 balų skalėje, kur 1 balas reiškia mažiausią kriterijaus reikšmingumą, o 5 balai - didžiausią kriterijaus reikšmingumą*

4.5.4 lentelė. Apklausos anketa Nr.2

1. Kuris geopolio įrengimo variantas yra labiau mechanizuotas ?	Įvertinimo balas				
	1	2	3	4	5
Geopolijų įrengimas naudojant giluminį vibratorių.					
Geopolijų įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu su geotekstilės apvalku.					
Geopolijų įrengimas į naudojant apsauginį spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalku.					
2. Kuriuo būdu įrengtų polių laikomoji galia bus didesnė ?	Įvertinimo balas				
	1	2	3	4	5
Geopolijų įrengimas naudojant giluminį vibratorių.					
Geopolijų įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu su geotekstilės apvalku.					

Geopolių įrengimas į naudojant apsauginį spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalku.					
<b>3. Kurios technologijos naudojimas yra sudėtingesnis?</b>	Įvertinimo balas				
	1	2	3	4	5
Geopolių įrengimas naudojant giluminį vibratorių.					
Geopolių įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu su geotekstilės apvalku.					
Geopolių įrengimas į naudojant apsauginį spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalku.					
<b>4. Kurios technologijos naudojimas sukelia didesnę neigiamą poveikį aplinkai?</b>	Įvertinimo balas				
	1	2	3	4	5
Geopolių įrengimas naudojant giluminį vibratorių.					
Geopolių įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu su geotekstilės apvalku.					
Geopolių įrengimas į naudojant apsauginį spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalku.					
<b>5. Kuria technologiją panaudojant geopoliai įrengiami greičiau?</b>	Įvertinimo balas				
	1	2	3	4	5
Geopolių įrengimas naudojant giluminį vibratorių.					
Geopolių įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu su geotekstilės apvalku.					
Geopolių įrengimas į naudojant apsauginį spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalku.					
<b>6. Kurios technologijos naudojimą labiau įtakoja metų laikas (pavasaris, vasara, rudenis, žiema)?</b>	Įvertinimo balas				
	1	2	3	4	5

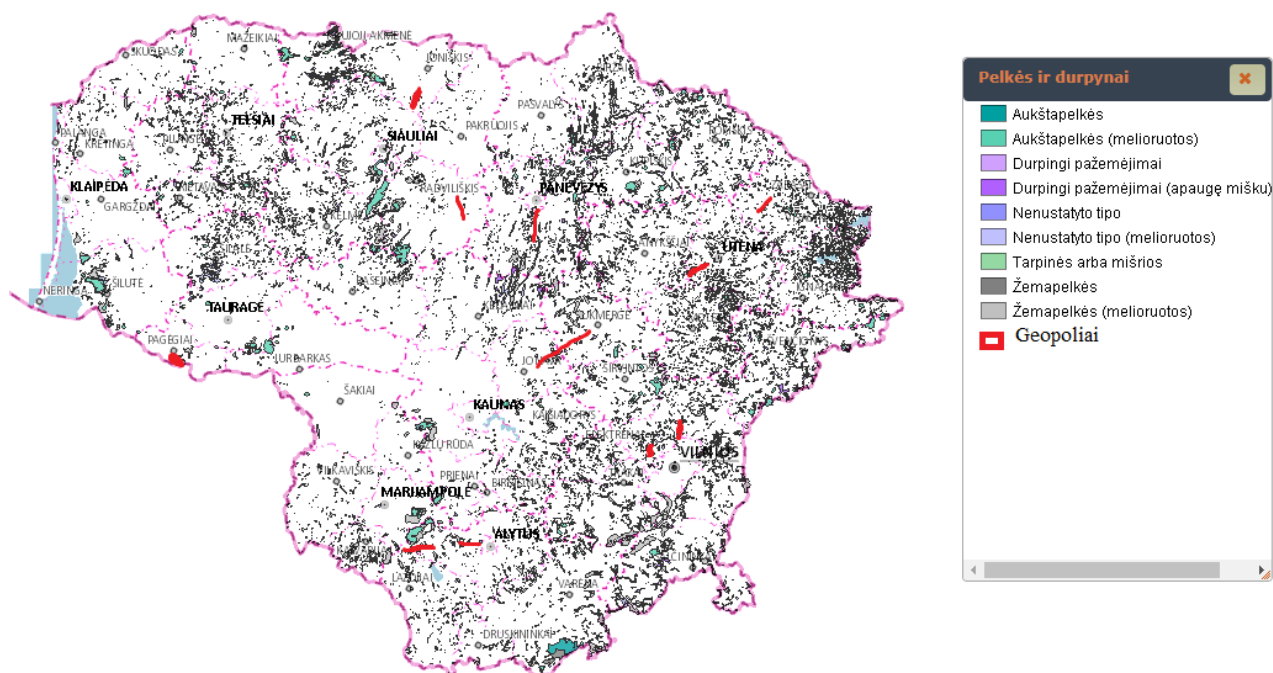


Geopolių įrengimas naudojant giluminį vibratorių.					
Geopolių įrengimas naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu su geotekstilės apvalku.					
Geopolių įrengimas į naudojant apsauginį spraustinį vamzdį su geotekstilės apvalku.					

## 5. Tyrimų rezultatai

### 5.1. Lietuvoje įrengtų geopolijų analizė

Siekiant kuo geriau iširti bei įvertinti geopolinių pamatų įrengimui naudojamas technologijas buvo atlikta Lietuvoje įgyvendintų projektų apžvalga. Tyrimo metu nustatyta, jog tokių objektų Lietuvoje yra daugiau kaip 15.



5.1.1 pav. Geopoliai Lietuvoje (www.lgt.lt)

Visuose nagrinėtuose objektuose buvo naudoti poliai su geotekstilės apvalkalu. Naudotų geopolijų įrengimo technologijų atžvilgiu objektai pasiskirstė beveik į vienodas dalis, maždaug pusė objektų įrengta naudojant spraustinio vamzdžio uždaru galu technologiją, kita pusė - atiteko apsauginio spraustinio vamzdžio technologijai. Technologijos pasirinkimui daugiausiai įtakos turi objekto vieta bei geologinė gruntų sandara. Jei objekte geologinė situacija yra kaiti, t. y. tarp silpnų gruntų įsispraudę stiprūs gruntai, racionaliau naudoti apsauginio spraustinio vamzdžio technologiją. Jei objektas yra šalia esamų statinių taip pat reiktų naudoti šia technologiją.

Tačiau jei objektas yra neužstatytoje teritorijoje ir geologinė sandara yra gana homogeniška (pvz., durpių sluoksnius nuo žemės paviršiaus iki 9 m gylio) ekonomiškai naudingiau naudoti spraustinio vamzdžio uždaru galu technologiją. Šią technologiją geopoliai įrengiami greičiau.

## Trumpa Lietuvoje įgyvendintų objektų apžvalga.

**Objektas Nr.1 :** Rambynų pasienio kontrolės punkto modernizavimo statybos darbai.

**Problema:** Atlikus geologinius tyrinėjimus nustatyta, jog visoje teritorijoje sutinkamas 5-6 m storio durpių ir dumblo sluoksnis. Kadangi teritorija labai didelė ir silpno grunto sluoksnis storas, silpno grunto pakeitimas stipriu būtų labai brangus, todėl nuspręsta ieškoti alternatyvių pagrindų stiprinimo būdų.

**Sprendimas:** Teritoriją veikiančioms apkrovoms perduoti į stiprius gruntuos, kurie slūgso giliau po visa teritorija buvo suprojektuoti geopoliai. Geopoliai išdėstomi 2,6×2,6 m tinklu, polių skersmuo 0,8 m, o polių ilgis svyruoja nuo 6 iki 7 m. Siekiant padidinti atraminį plotą ant polių įrengiamos galvenos, kurių dydis yra 1,2×1,2×0,15 m, naudojamos iš anksto pagamintos gelžbetoninės plokštės, šis sprendimas dar labiau sutaupo laiko, reikalingo rangos darbams. Ant geopolyių konstrukcijos įrengiama geotinklais armuoto grunto sampyla. Iš viso įrengta daugiau kaip 5600 geopolyių (5.1.1 ir 5.1.2 pav.). Poliams įrengti naudojama apsauginio spraustinio vamzdžio su geotekstilės apvalkalu technologija. Keletas nuotraukų iš statybos aikštelės pateikta žemiau.



5.1.2 pav. Įrenginys skirtas užpildyti geotekstilės maišą (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka)

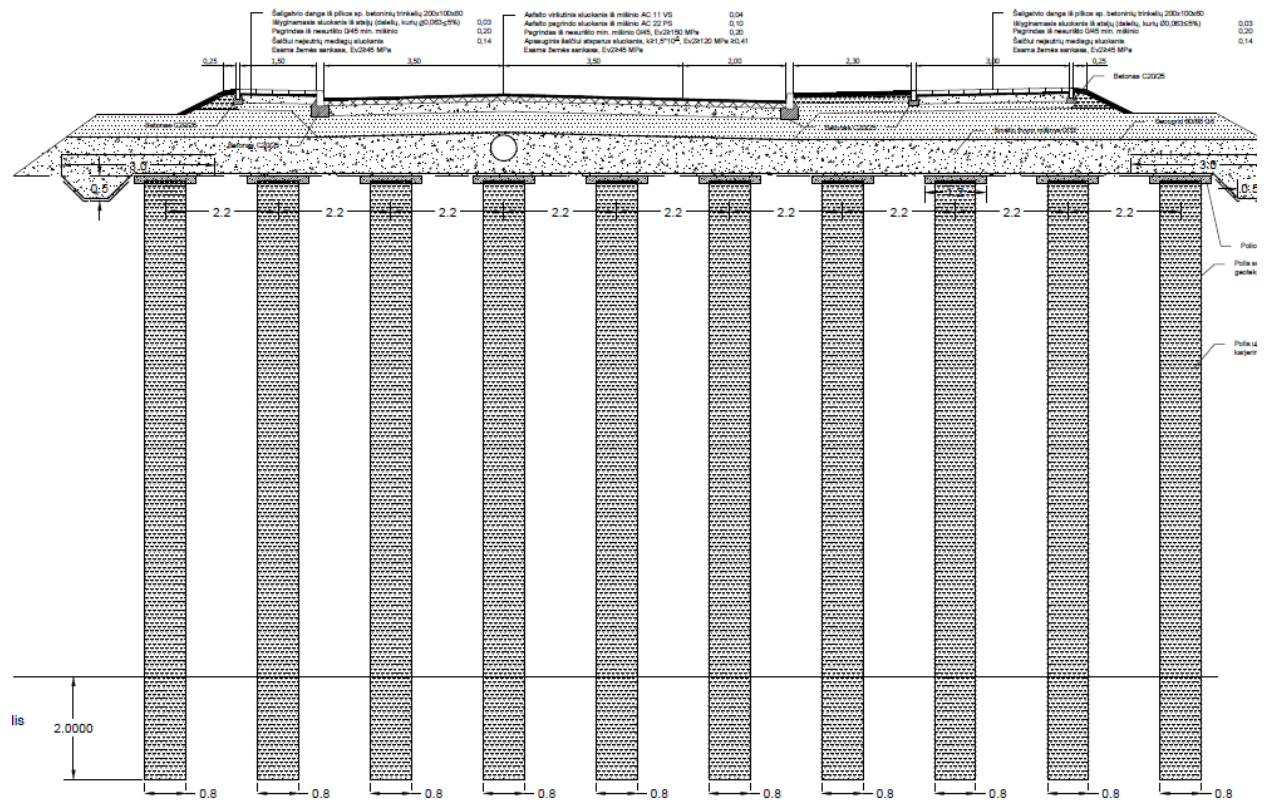


5.1.3 pav. Geopolijų įrengimas (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka)

**Objektas Nr.2:** Vaižganto gatvės įrengimas Utenoje tarp dalies J-Basanavičiaus ir Pievų gatvių.

**Problema:** Atlikus geologinius tyrinėjimus nustatyta, kad po didele dalimi naujai projektuojamos gatvės yra durpių. Kadangi durpių sluoksnio storis yra didelis, silpno grunto pakeitimas stipriu būtu labai brangus, todėl nuspręsta ieškoti alternatyvių pagrindų stiprinimo būdų.

**Sprendimas:** Nuspręsta gatvės konstrukciją įrenginėti ant geopolijų ir geotinklų platformos. Geopolijai išdėstomi 2,2×2,2 m tinklu, polių skersmuo 0,8 m, polių ilgis apie 11 m. Siekiant padidinti atraminį plotą ant polių įrengiamos galvenos, kurių dydis yra 1,2×1,2×0,15 m, naudojamos iš anksto pagamintos gelžbetoninės plokštės, šis sprendimas dar labiau sutaupo laiko reikalingo rangos darbams. Ant geopolijų konstrukcijos įrengiama geotinklais armuoto grunto platforma. Iš viso įrengta 840 geopolijų Poliams įrengti naudojama apsauginio spraustinio vamzdžio su geotekstilės apvalkalu technologija. Projektuojamos gatvės skersinis pjūvis pateiktas žemiau (5.1.3 pav.).



5.1.4 pav. Vaižganto gatvės Utenoje skersinis pjūvis (UAB „VIACON BALTIC“ nuotrauka)

**Objektas Nr.3:** Valstybinės reikšmės krašto kelio Nr. 144 Jonava – Kėdainiai – Šeduva nuo 76,4 iki 90,508 km rekonstravimas.

**Problema:** Atlikus geologinius tyrinėjimus nustatyta, kad po didele dalimi rekonstruojamo kelio yra silpno piltinio grunto sluoksniai, kurių storis siekia 12 m. Silpno grunto pakeitimas stipriu būtų labai brangus, todėl nuspręsta ieškoti alternatyvių pagrindų stiprinimo būdų.

**Sprendimas:** Nuspręsta kelio konstrukciją įrenginėti ant geopolių ir geotinklų platformos. Geopoliai išdėstomi tinklu 1,5×1,5 m, polių skersmuo 0,6 m, polių ilgis iki 13,5 m. Panaudota 22000 m geotekstilės apvaskalo (3.1.1 pav.). Ant geopolių konstrukcijos įrengiama geotinklasis armuoto grunto platforma. Poliams įrengti naudojama spraustinio vamzdžio su liekamosiomis galvomis ir geotekstilės apvaskalu technologija.



5.1.5 pav. Geopolių užpildymas gruntu (UAB „VIACON BALTIC“)

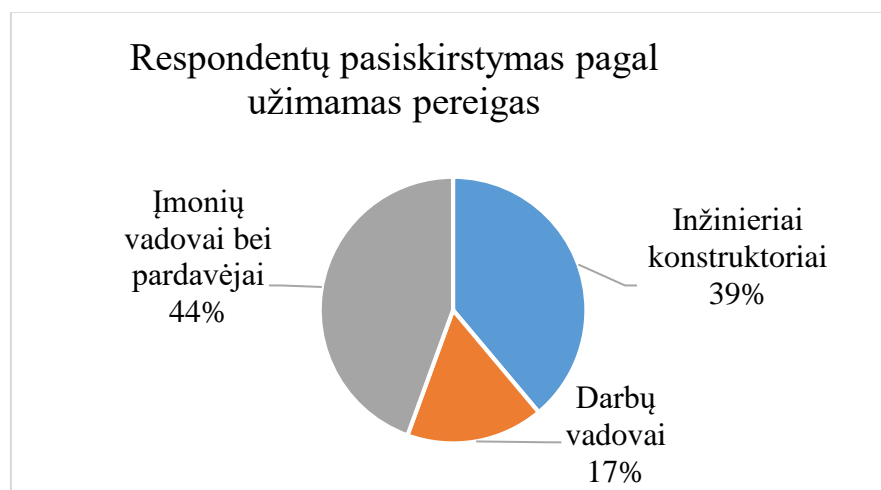
5.1.1 lentelė. Nagrinėtų projektų apibendrinta privalumų ir trūkumų apžvalga

Nagrinėjamas objektas	Naudotos technologijos privalumas	Naudotos technologijos trūkumas
<b>Objektas Nr.1</b>	<p>Užtikrinama jog polis įrengiamas iki reikiamo gylio. Nesukeliamos didelės vibracijos.</p> <p>Galima įrengti su mažesnio našumo technika.</p>	<p>Didelis kiekis iškastinio grunto kuris netinkamas tolimesniems darbams, ir jį reikia pašalinti iš statyb vietės. Taip atsiranda papildomi grunto transportavimo kaštai.</p>
<b>Objektas Nr.2</b>	<p>Užtikrinama jog polis įrengiamas iki reikiamo gylio. Nesukeliamos didelės vibracijos.</p> <p>Galima įrengti su mažesnio našumo technika.</p>	<p>Didelis kiekis iškastinio grunto kuris netinkamas tolimesniems darbams, ir jį reikia pašalinti iš statyb vietės. Taip atsiranda papildomi grunto transportavimo kaštai.</p>
<b>Objektas Nr.3</b>	<p>Poliai įrengi greičiau.</p> <p>Nėra papildomo grunto kurį reikia pašalinti iš statyb vietės.</p>	<p>Sunku užtikrinti jog poliai pakankamai įgilinami į laikantįjį gruntą.</p> <p>Dėl didelių vibracijų aplink esantis gruntas suskystėja, tampa sunku judėti statybiniai technikai bei darbininkams. Susprausti vamzdį reikalinga didelės galios statybinė technika.</p>

## 5.2. Apklauso anketos duomenų analizė

Kadangi geopolinių pamatų įrengimo technologija ir specifika Lietuvoje ir netgi visame pasaulyje yra žinoma tik labai tikslinėje auditorijoje, į pirmąją anketą sugebėjo atsakyti tik 18 respondentų.

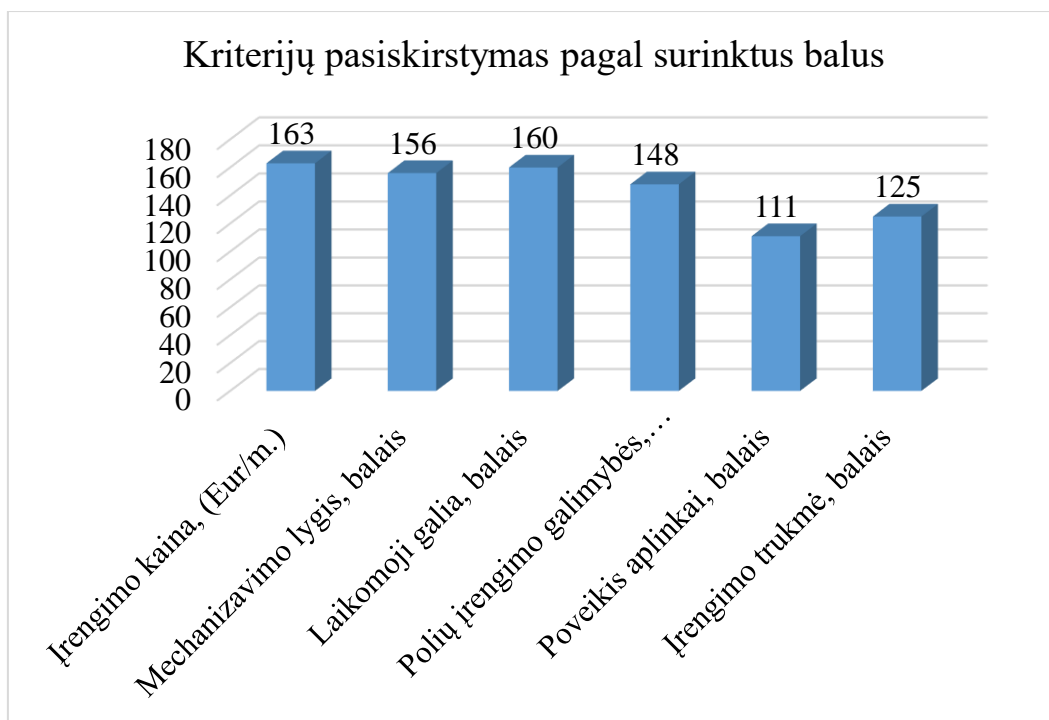
Respondentų, dalyvavusių apklausoje, pasiskirstymas pagal einamas pareigas pateiktas 17 pav.



5.2.1 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal užimamas pareigas (sudaryta autoriaus)

Į pirmąją apklauso anketą daugiausia atsakė įmonių vadovai bei pardavėjai, atsakiusių 8, o tai sudarė 44% apklausoje dalyvavusių žmonių. Antroje vietoje - inžinieriai konstruktoriai, atsakiusių buvo 7, o tai sudarė 39% respondentų ir trečioje vietoje pagal atsakymų skaičių yra darbų vadovai, atsakiusių tik 3, o tai sudarė 17% respondentų. Atsakymai į apklauso pasiskirstė pagal respondentų profesijas. Konstruktoriams ir inžinieriams svarbiausias vertinimo kriterijus buvo laikomoji galia, o vadybininkai bei vadovai pirmąją vieta skyrė vertinimo kriterijui įrengimo kaina.

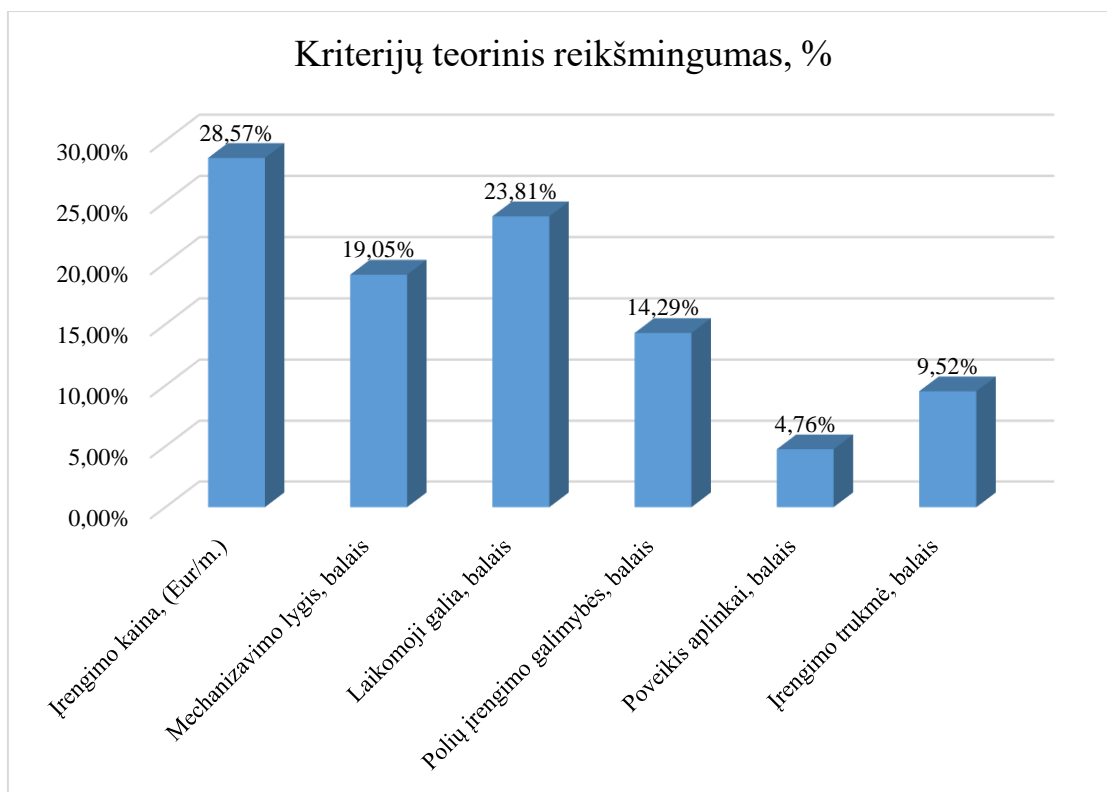




5.2.2 pav. Respondentų apklausoje kriterijų surinkti balai (sudaryta autoriaus)

Atlikus kriterijų reitingavimą, nustatyta, kad pats svarbiausias kriterijus renkantis geopolyų įrengimo technologiją yra įrengimo kaina (Eur/m), antroje vietoje laikomoji galia (balais), trečioje vietoje – įrengimo technologijos mechanizavimo lygis (balais), ketvirtoje – polių įrengimo galimybės (balais), penktoje – polių įrengimo trukmė (balais), šeštoje – polių įrengimo technologijos naudojimo poveikis aplinkai (balais).

Kriterijai ranguojami naudojant tiesioginio rangavimo metodą (pasirinkta balų skalė 6...1), tai reiškia kad daugiausia balu surinkęs kriterijus gaus didžiausią rango balą t.y 6. antras gaus 5 ir t.t



5.2.3 pav. Kriterijų svorių pasiskirstymas, %(sudaryta autoriaus)

### 5.3. Geopolinių pamatų įrengimo technologijų racionalaus sprendinio parinkimas TOPSIS metodu

Siekiant nustatyti racionalų geopolinių pamatų įrengimo variantą sprendžiamas daugiakriterinis uždavinys, tai yra tarpusavyje lyginamos trys alternatyvos, vertinant jas pagal 6 kriterijus.

#### **Pastaba:**

Tik vieno tiesinio metro geopolio įrengimo kaina, naudojant skirtingas technologijas, buvo nustatyta atlikus užbaigtų objektų analizę. Visi kiti kriterijai buvo skaičiuojami pagal balus, surinktus iš antrosios anketos.

5.3.1 lentelė. Pradinių duomenų matrica

Kriterijai	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
Alternatyvūs sprendimai						
A <sub>1</sub>	9	28	25	20	27	30
A <sub>2</sub>	11	27	31	24	21	28
A <sub>3</sub>	12,5	27	29	31	18	24
$\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$	18,9	47,3	49,3	44,0	38,7	47,5
Optimalumas	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
Teorinis reikšmingumas, %	28,6	19	23,8	14,3	4,8	9,5

Čia: A<sub>1</sub> - Geopolių įrengimo technologija naudojant giluminį vibratorių;

A<sub>2</sub> - Geopolių įrengimo technologija naudojant spraustinį vamzdį uždaru galu ir geotekstilės apvaskalą;

A<sub>3</sub> - Geopolių įrengimo technologija naudojant spraustinį apsauginį vamzdį ir geotekstilės apvaskalą.

K<sub>1</sub> - Įrengimo kaina, (Eur/m.);

K<sub>2</sub> - Mechanizavimo lygis, balais;

K<sub>3</sub> - Laikomoji galia, balais;

K<sub>4</sub> - Polių įrengimo galimybės, balais;

K<sub>5</sub> - Poveikis aplinkai, balais;

K6 - Įrengimo trukmė, balais.

Tuomet pradinį duomenų matrica yra normalizuojama.

5.3.2 lentelė. Normalizuotoji pradinį duomenų matrica

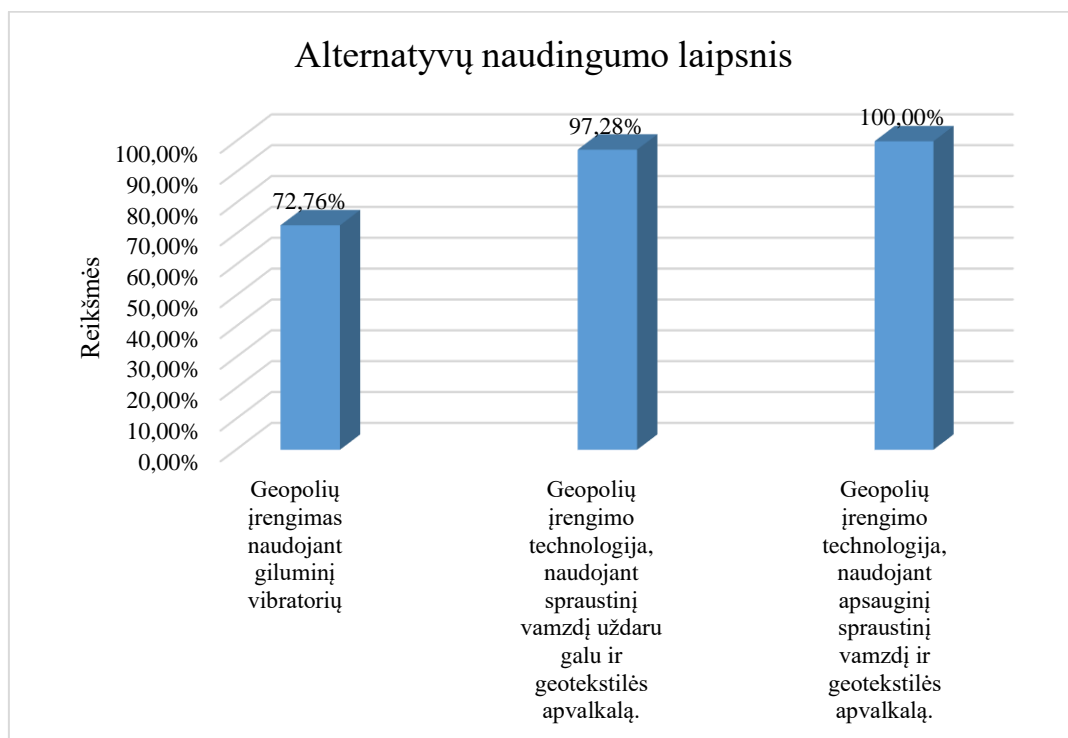
Kriterijai	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
Alternatyvūs sprendimai						
A <sub>1</sub>	0,475	0,591	0,507	0,454	0,699	0,631
A <sub>2</sub>	0,581	0,570	0,629	0,545	0,543	0,589
A <sub>3</sub>	0,660	0,570	0,589	0,704	0,466	0,505

Kadangi žinomas kriterijų reikšmingumas, normalizuotoji matrica paverčiama svertine normalizuotąja matrica.

5.3.3 lentelė. Svertinė normalizuotoji matrica

Kriterijai Alternatyvūs sprendimai	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	0,136	0,113	0,121	0,065	0,033	0,060
A <sub>2</sub>	0,166	0,109	0,150	0,078	0,026	0,056
A <sub>3</sub>	0,189	0,109	0,140	0,101	0,022	0,048

Toliau skaičiavimai atliekami 4.5 skyriuje aprašyta tvarka. Atlikus skaičiavimus gauna 5.3.1 pav. pateiktą alternatyvų naudingumo laipsnių pasiskirstymą.



5.3.1 pav. Alternatyvų naudingumo laipsnių grafikas (sudaryta autoriaus)

Atlikus daugiakriterinį vertinimą buvo nustatyta, kad racionali geopolyų įrengimo technologija yra spraustinio apsauginio vamzdžio su geotekstilės apvalkalu naudojimas. Šiuo būdu polius įrengti nėra pigiausia, tačiau vertinant visus kriterijus, ji yra optimaliausia. Ši technologija pasižymi ypač plačiomis įrengimo galimybėmis. Gera laikomąja galia, bei laikomosios galios užtikrinimu.

## Išvados

1. Remiantis apklausos anketos duomenimis vertinimo kriterijų prioritetinė eilė išsidėsto tokia seka: įrengimo kaina (Eur/m), laikomoji galia (balais), įrengimo technologijos mechanizavimo lygis (balais), polių įrengimo galimybės (balais), polių įrengimo trukmė (balais) ir polių įrengimo technologijos naudojimo poveikis aplinkai (balais).
2. Naudojant spraustinio vamzdžio uždaru galu technologiją, sunku nustatyti ar geopolis pakankamai įgilinamas į laikantįjį gruntą, nepakankamas polio įgilinimas gali turėti įtakos statinio stabilumui, ar net sukelti statinio suyrimą.
3. Atlikus daugiakriterinį vertinimą nustatyta, kad racionalus geopolyų įrengimo technologijos variantas yra spraustinio apsauginio vamzdžio su geotekstilės apvalkalu naudojimas. Naudojant šia technologiją minimaliai apribojamos įrengimo galimybės, įrengti poliai pasižymi geromis filtracinėmis ir mechaninėmis savybėmis.
4. Ekonomiškiausias geopolyų įrengimo būdas, įrengiant vieną metrą geopolio – panaudojant giluminio vibratoriaus technologiją. Tačiau ši technologija retai gali būti taikoma Lietuvoje, o įrengti poliai ilgainiui praranda filtracines savybes.
5. Didžiausia laikomąja galia pasižymi geopoliai, kurių įrengimui naudojama spraustinio vamzdžio uždaru galu su geotekstilės apvalkalu technologija. Tačiau naudojant šią technologiją sukeliama didelės vibracijos, kurios per takius grunto sluoksnius gali skliti labai toli, taip pakenkdamos aplinkinių statinių pamatams ir stabilumui.

## Literatūros sąrašas

- BS 8006-1:2010+A1:2016. *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*. BSI.
- CASTRO J. 2016. Groups of encased stone columns: Influence of column length and arrangement. *Geotextiles and Geomembranes* [interaktyvus]. **45** (2), 68-80. [Žiūrėta 2018-11-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2016.12.001>
- FLEMING, K., WELTMAN A., RANDOLPH M. ir ELSON K., 2008. *Piling Engineering*. 3th Edition. London and New York: Taylor & Francis Group. ISBN 0-203-93764-3.
- FATTAH, M. Y., AL-NEAMI M. ir SHAMEL AL-SUHAILY A., 2016. Estimation of bearing capacity of floating group of stone columns. *Engineering Science and Technology, an International Journal* [interaktyvus]. **20** (3) 1166-1172. [žiūrėta 2017-11-28]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.03.005>
- GEOTECHNICAL ENGINEERING OFFICE, 2006. *Geo publication no. 1/2006. Foundation design and construction* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2018-04-15]. Prieiga per: [https://www.cedd.gov.hk/eng/publications/geo/geo\\_p106.html](https://www.cedd.gov.hk/eng/publications/geo/geo_p106.html)
- GUE, S.S. IR TAN, Y.C. *Prevention of failures related to geotechnical works on soft ground*. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2018-11-29]. Prieiga per: [http://www.gnpgeo.com.my/download/publication/SL\\_06.pdf](http://www.gnpgeo.com.my/download/publication/SL_06.pdf)
- HWANG, C.L. ir YOON, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications*. A State of the Art Survey. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- KURUOĞLU, O., 2008. *A new approach to estimate settlements under footings on rammed aggregate pier groups*.
- KENDALL, M., 1995. *Rank Correlation Methods*. Hafner Publishing House, New York.
- LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12699], 2015. *Specialiųjų geotechnikos darbų atlikimas. Sprautiniai poliai*. Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas.
- LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 1536:2010+A1:2015]. *Specialiųjų geotechnikos darbų atlikimas. Gręžtiniai poliai*. Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas.



- LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 15237:2007]. *Specialiųjų geotechnikos darbų atlikimas. Vertikalusis drenažas*. Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas.
- LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 19971:2005/P:2007.]. *Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 1 dalis. Pagrindinės taisyklės*. Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas.
- LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 19972:2007/P:2009.]. *Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindo tyrinėjimai ir bandymai* . Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas.
- MARČIUKAITIS, G., 2004. *Pastatai ir jų konstrukcijos*. Vilnius: Technika. ISBN 9986057639.
- MICHAEL, P. NAVIN. 2005. *Stability of Embankments Founded on Soft Soil Improved with Deep-Mixing-Method Columns*.
- PIVARŠ, J., 2011. Stone columns – determination of the soil improvement factor. *Slovak Journal of Civil Engineering* [interaktyvus]. **19** (3) 17-21. [žiūrėta 2017-11-28]. Prieiga per: <https://doi.org/10.2478/v10189-011-0014-z>
- POOROOSHASB, H.B. ir MEYERHOF, G.G., 1997. Analysis of behavior of stone columns and lime columns. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. **20** (1), 47-70. [Žiūrėta 2018-02-15]. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S0266-352X\(96\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0266-352X(96)00013-4)
- PRIEBE, HEINZ J. 1995. *The Design of vibro replacement*. Technical paper GT 07-13 E.
- PODVEZKO, V., PODVEZKO, A., 2014. *Kriterijų reikšmingumo nustatymo metodai*. Lietuvos matematikos rinkinys. Lietuvos matematikų draugijos darbai. 111-116. ISSN 01322818.
- SLIŽYTĖ, D., MEDZVIECKAS, J. ir MACKEVIČIUS, R. 2012. *Pamatai ir pagrindai: vadovėlis*. Vilnius: Technika. ISBN 978-609-457-176-3.
- Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinynas*, 2009. Kaunas: Naujasis lankas. ISBN 9789955035657.
- STR 2.05.21:2016. *Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai*. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija.
- ŠIMKUS, J., 1984. *Gruntų mechanika. Pagrindai ir pamatai: vadovėlis*. Vilnius: Mokslas.
- UAB „VIACON BALTIC“, 2018. Įmonės vidaus dokumentai. Prieiga per: <http://viacon.lt/>

US. DEPARTMENT OF TRASPORTATION, FEDERAL HIGHWAY ADMINSTRATION.  
1983. *Desing and Constructions of stone colums*. I ir II dalis. FHWA/RD-83/026

ŽARŽOJUS G., 2006. *Polinių pamatų pagrindų rajonavimas*. Mokslas Gamtos mokslų fakultete: ketvirtosios mokslinės konferencijos, vykusios 2006 m. lapkričio 23–24 d., pranešimai. Vilnius: Vilniaus universitetas.