



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Spraustinių polių laikomosios galios priklausomybės nuo grunto tipo tyrimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Domas Jankevičius
Projekto autorius

Lek. Dr. Dainius Vaičiulis
Vadovas

Panevėžys, 2024



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Spraustinių polių laikomosios galios priklausomybės nuo grunto tipo tyrimas

Baigiamasis magistro studijų projektas
Integruotas projektavimo ir statybos valdymas (6211EX076)

Domas Jankevičius
Projekto autorius

Lek. Dr. Dainius Vaičiulis
Vadovas

Lek. Jovita Kaupienė
Konsultantė

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2024



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Domas Jankevičius

Spraustinių polių laikomosios galios priklausomybės nuo grunto tipo tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Domas Jankevičius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Diplomantui **Domui Jankevičiui**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba)	Spraustinių polių laikomosios galios priklausomybės nuo grunto tipo tyrimas
Baigiamojo projekto tema (anglų kalba)	Study of Dependence of the Bearing Capacity of Clamp Piles on the Type of Soil

Patvirtinta 2023 m. lapkričio 15 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-28

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2024 m. sausio 2 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tyrinėti apvalaus skerspjūvio polius. Tyrime panaudoti ne mažiau kaip 3-jų skirtingų skersmenų polius ir ne mažiau kaip 3-is grunto, į kurį įspraudžiamas polis, tipus.

Baigiamasis magistro projektas turi atitikti KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto baigiamųjų projektų rengimo metodinius reikalavimus.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

1. Išnagrinėti Lietuvos ir užsienio mokslininkų atliktus tyrimus susijusius su sprautinių polių laikomąja galia.
2. Nustatyti polio skersmens, polio įspraudimo į gruntą gylio ir pagrindinių grunto, į kurį įspraudžiamas polis, mechaninių savybių įtaką sprautinių polių laikomajai galiai.

Vadovas	Lekt. dr. Dainius Vaičiulis <i>(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)</i>
Konsultantė	Lekt. Jovita Kaupienė <i>(konsultanto pareigos, vardas, pavardė, parašas)</i>
Užduotį gavau	Domas Jankevičius <i>(studento vardas, pavardė, parašas)</i>

2023 m. lapkričio 24 d.

Jankevičius, Domas. Spraustinių polių laikomosios galios priklausomybės nuo grunto tipo tyrimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): statybos inžinerija, technologijos mokslai (inžinerijos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: spraustiniai poliai, gruntas, laikomoji galia, polio išspraudimo gylis, polio skersmuo.

Panevėžys, 2024. 70 p.

Santrauka

Teorinėje dalyje atlikta literatūros apžvalga apie spraustinius polius. Apžvelgiamos skirtingos polių medžiagos ir formos, jų skirtumai nuo kitų tipų polių. Aptariami poliai, įterpti į skirtingo tipo gruntuos (smėlį ir molį ir gruntuos po vandeniū). Nagrinėtos spraustinių polių laikomosios galios skaičiavimo metodikos.

Metodinėje dalyje polio paviršiaus ribinė laikomoji galia skaičiuojama empiriniu metodu – pagal gruntuos statinio zondavimo duomenis. Metodas aprašytas LST EN 1997 – 1:2003.

Tiriamąojoje dalyje tiriama spraustinio polio laikomosios galios priklausomybė nuo gruntuos tipo, gruntuos gniuždomojo stiprio ir šoninės trinties savybių, polio skersmens ir polio išspraudimo gylio. Atlikus tyrimą nustatyta, kad bendrą didžiausią laikomąją galią turi moliniai gruntuos, o mažiausią – smėliniai gruntuos. Moliniame grunte polio laikomoji galia yra iki 2,6 karto didesnė nei smėliniame grunte, poli įterpus į 9 m gylį. Nustatyta, kad polio laikomoji galia didėja, didėjant polio skersmeniui, polio išspraudimo gyliui, gruntuos gniuždomajam stipriui.

Jankevičius, Domas. Study of Dependence of the Bearing Capacity of Clamp Piles on the Type of Soil. Master's Final Degree Project / supervisor dr. Dainius Vaičiulis; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Civil Engineering, Technology Sciences (Engineering Sciences).

Keywords: pile driving, soil, bearing capacity, pile embedment depth, pile diameter.

Panevėžys, 2024. 70 pages.

Summary

In the theoretical part a literature review on driven piles is carried out. The different materials and shapes of poles and their differences from other types of poles are reviewed. It discusses piles embedded in different types of soils (sand and clay and subsoil). Methodologies for calculating the bearing capacity of driven piles are examined.

In the methodological part, the ultimate bearing capacity of the pile surface is calculated empirically from soil probing data. The method is described in LST EN 1997-1:2003.

In the investigative part, the dependence of the bearing capacity of the driven pile on the soil type, the compressive strength and lateral friction properties of the soil, the diameter of the pile and the embedment depth of the pile is studied. The study showed that clay soils have the highest overall bearing capacity and sandy soils the lowest. The bearing capacity of a pile in clay soil is up to 2,6 times higher than in sandy soil when the pile is embedded at a depth of 9 m. The bearing capacity of the pile was found to increase with increasing pile diameter, pile embedment depth and soil compressive strength.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	14
Įvadas.....	15
1. Mokslinės literatūros analizė.....	16
1.1. Spraustiniai poliai	16
Spraustiniai poliai	16
1.2. Polinių pamatų klasifikavimas pagal medžiagas	18
1.2.1. Gelžbetoniniai ir betoniniai poliai	18
1.2.2. Metaliniai poliai.....	20
1.2.3. Mediniai poliai.....	22
1.2.4. Kombinuoto skerspjūvio poliai	23
1.2.5. Gruntiniai poliai.....	25
1.3. Poliai įterpti skirtinguose gruntuose	26
1.3.1. Poliai įterpti smėlyje.....	26
1.3.2. Poliai įterpti molyje	29
1.3.3. Poliai įterpti į gruntus vandenyje.....	33
2. Polio laikomosios galios skaičiavimo metodika	35
2.1. Geologinių tyrimų duomenys	35
2.2. Sprausinių polių projektavimas	35
2.2.1. Polių gylis parinkimas.....	36
2.2.2. Polio pagrindo laikomoji galia	37
3. Tiriamoji dalis.....	39
3.1. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo vienalyčio grunto tipo.....	39
3.1.1. Polio spraudimas į smėlį.....	39
3.1.2. Polio spraudimas į priesmėlį	42
3.1.3. Polio spraudimas į priemolį.....	45
3.1.4. Polio spraudimas į molį	47
3.1.5. Polio, išsprauto į skirtingo tipo vienalyčius gruntus, palyginimas.....	49
3.2. Polio spraudimas į dviejų skirtingų tipų gruntą.....	52
3.2.1. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dvisluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis smėlis	52
3.2.2. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dvisluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis priesmėlis.....	53
3.2.3. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dvisluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis priemolis	55
3.2.4. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dvisluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis molis	56
3.2.5. Skirtingo skersmens polių įterptų į dvisluoksnį gruntą palyginimas.....	57
3.2.6. Skirtingo stiprio apatinio grunto įtaka polio laikomajai galiai	57
3.2.7. Polio įterpto į dviejų sluoksnių skirtingo tipo gruntą laikomosios galios palyginimas.....	58
3.3. Polio, įterpto į vieno ir dviejų sluoksnių skirtingų tipų gruntus, laikomosios galios palyginimas.....	59

3.3.1. Polio laikomosios galios pasiskirstymas tarp polio pado ir polio šoninio paviršiaus vienalyčiame grunte.....	60
3.3.2. Dviejų sluoksnių skirtingo tipo gruntų laikomosios galios tarp polio galo ir šono santykio palyginimas	61
3.3.3. Polio, įterpto į vieno ir dviejų sluoksnių skirtingo tipo gruntu, polio galo ir šono laikomosios galios santykio palyginimas	62
3.4. Skirtingo skersmens polių, įterptų į vienalytį skirtingo tipo gruntą, ekonominis vertinimas	63
Išvados	65
Literatūros sąrašas	66

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Jūros vėjo jėgainių pamatų privalumai ir trūkumai [11]	17
2 lentelė. Hibridinio polio sudedamosios dalys [13].....	18
3 lentelė. Lietuvos teritorijoje naudojama gruntų klasifikacija pagal statinio įsiskverbimo bandymų rodiklių duomenis [59]	36
4 lentelė. Gruntų skirstymas pagal tankumą ir stiprumą [59]	37
5 lentelė. Empyrinių koeficientų α_b ir α_{si} bei laikomųjų galių rekomenduojamos reikšmės [58].....	38
6 lentelė. Skirtingo stiprio smėlis.....	39
7 lentelė. Skirtingo skersmens polių laikomųjų galių skirtumai	41
8 lentelė. Skirtingo stiprio priemolis	42
9 lentelė. Skirtingo stiprio priemolis.....	45
10 lentelė. Skirtingo stiprio molis	47
11 lentelė. Skirtingų grunto tipų gniuždomieji stipriai	52

Paveikslų sąrašas

1 pav. Įvairių tipų vėjo jėgainių pamatai [11] a) monopolinis, b) kesoninis, c) tripolis, d) karkasinis, e) plaukiojantis pamatas, f) gravitacinis	17
2 pav. OWT schema su hibridiniu poliniu pagrindu [13]	18
3 pav. Pralaidaus polio schema [14]	19
4 pav. <i>GFRP</i> juostos, naudojamos iš anksto įtemptiems surenkamiesiems betono poliams sujungti. a) vaizdas iš galo, b) <i>GFRP</i> 25M juostos ir c) <i>GFRP</i> 32M juostos [15].....	19
5 pav. Įvairūs įsukami poliai kairėje ir įsriegti poliai į gruntą dešinėje	21
6 pav. Poliai, su kuriais atliekami laboratoriniai bandymai: a) polis su dviem trumpomis siauromis sraigtinėmis vijomis; b) polis su dviem trumpomis plačiomis sraigtinėmis vijomis; c) polis su ilga plačia sraigatine vija; d) polis su ilga siaura sraigatine vija; e) polis be sraigtinės vijos [19]	21
7 pav. Sraigtiniai poliai su skirtingo išdėstymo sraigtinėmis vijomis [19].....	21
8 pav. CH poliai [20].....	22
9 pav. Eskizas, vaizduojantis <i>Rialto</i> tilto pamatų polių struktūrą ir koringo zondų kampą bei kryptį [24]	23
10 pav. a) plieniniai korpusai, b) plieninio korpuso įrengimo schema [26]	24
11 pav. a) vertikalus polių poslinkis po susidūrimo, b) sunkvežimio avarija IH-20 tiltas per Rabbit Creek, Longview, Teksasas ir c) sunkvežimio avarijos Tancahua gatvės tiltas per IH-37, Corpus Christi, Teksasas [28]	24
12 pav. Spirale suvirintas plieninis vamzdis su vidinėmis briaunomis [29].....	25
13 pav. Įvairių aktyvatorių modifikatorių laikomosios galios vertės [32]	26
14 pav. Grunto porėtumo kitimas, išspraudžiant polius į gruntą: a) polis plokščiu galu išsprautas biriam smėlyje (20 proc.) [34]; b) polis plokščiu galu išsprautas tankiame smėlyje (80 proc.) [34]; c) polis kūgio galu išsprautas vidutinio tankumo smėlyje (40 proc.) [35]; d) polis plokščiu galu išsprautas vidutinio tankumo smėlyje (40 proc. [35]	27
15 pav. PGP polių montavimo procesas [36].....	28
16 pav. Polių, veikiamų vertikalios apkrovos ir grunto, sąlytis: a) šlyties zona aplink poli [40]; b) šlyties zona smėlyje [41]	29
17 pav. PHC mazgelinio polio schema [46]	30
18 pav. a) hidraulinė gręžimo mašina, b) polio su spaustomis atšakomis schema [48].....	31
19 pav. Polio su atšakomis a ir b scheminiai vaizdai: a) vaizdas iš priekio; b) plano vaizdas [49]..	32
20 pav. Polinio pamato įrengimas šlaite: D – skersmuo, m; L – ilgis, m [50].....	32
21 pav. Tiltų konfigūracijos su 10, 20 ir 30 m vandens gyliu po ledo apkrovomis [54]	33
22 pav. Polio 3D baigtinių elementų modelis: a) visas modelis; b) naujos konstrukcijos polis; c) tradicinis cilindrinis polis [55].....	34
23 pav. Geologinių tyrimų duomenų žemėlapis [57].....	35
24 pav. Statinio zondavimo duomenys [60].....	36
25 pav. Polis išsprautas į skirtingų tipų gruntą	39
26 pav. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo polio skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m) ir polio įterpimo skirtinguose smėliuose gylio, kai q_c : ■ 4,10 MPa; ■ 11,30 MPa; ■ 25,00 MPa.....	40
27 pav. Santykinės polio laikomosios galios (kai polio skersmuo lygus d_2 ir d_1 ; $d_1 < d_2$) priklausomybė nuo polio skersmenų santykio d_2 / d_1 : ■ mažiausias laikomosios galios santykis, ■ didžiausias laikomosios galios santykis	41

28 pav. Polio laikomosios galios kitimo sparta kintant smėlio gniuždomajam stipriui (kai smėlio gniuždomasis stipris lygus q_2 ir q_1 ; $q_1 < q_2$) priklausomybė nuo grunto gniuždomojo stiprio santykio q_2 / q_1	42
29 pav. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo polio skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - 0,40 m) ir polio įterpimo skirtinguose priesmėliuose gylio, kai q_c : ■ 1,9 MPa; ■ 8,59 MPa; ■ 13,29 MPa.....	43
30 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į priesmėlį laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo priesmėlio gniuždomojo stiprio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo įterpimo gylio, kai priesmėlio gniuždomasis stipris: (— nuo 1 MPa iki 10 MPa; ---- 20 MPa; - - - 30 MPa).....	44
31 pav. Skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) polio, įterpto į skirtingo gniuždomojo stiprio priemolį (■ 1,50 MPa; ■ 4,90 MPa; ■ 12,70 MPa;), laikomosios galios priklausomybė nuo įterpimo gylio.....	45
32 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į priemolį laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo priemolio gniuždomojo stiprio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, kai priemolio gniuždomasis stipris: (— nuo 1 MPa iki 5 MPa; ---- 20 MPa; - - - 30 MPa)	46
33 pav. Santykinės polio laikomosios galios (kai polio skersmuo lygus d_2 ir d_1 ; $d_1 < d_2$) priklausomybė nuo polio skersmenų santykio d_2 / d_1 : ■ mažiausias laikomosios galios santykis, ■ didžiausias laikomosios galios santykis	46
34 pav. Polio laikomosios galios kitimo sparta kintant priemolio gniuždomajam stipriui (kai priemolio gniuždomasis stipris lygus q_2 ir q_1 ; $q_1 < q_2$) priklausomybė nuo grunto gniuždomojo stiprio santykio q_2 / q_1	47
35 pav. Skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) polio, įterpto į skirtingo stiprio molį (■ 1,10 MPa; ■ 3,60 MPa; ■ 6,27 MPa;), laikomosios galios priklausomybė nuo įterpimo gylio.....	48
36 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į molį laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo molio gniuždomojo stiprio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, kai molio gniuždomasis stipris: (— nuo 1 MPa iki 5 MPa; ---- 20 MPa; - - - 30 MPa)	48
37 pav. Santykinės polio laikomosios galios (kai polio skersmuo lygus d_2 ir d_1 ; $d_1 < d_2$) priklausomybė nuo polio skersmenų santykio d_2 / d_1 : ■ mažiausias laikomosios galios santykis, ■ didžiausias laikomosios galios santykis	49
38 pav. Skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) polio, įterpto į skirtingo tipo gruntą ■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa); ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa); ■ priemolį (gniuždomasis stipris 12,7 MPa); ■ molį (gniuždomasis stipris 6,27 MPa), laikomosios galios priklausomybė nuo įterpimo gylio.....	50
39 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į skirtingų tipų gruntą laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo skirtingo tipo grunto ir gniuždomojo stiprio dydžio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, kai polis įterptas į ■ smėlį, priesmėlį, ■ priemolį, ■ molį kurių gniuždomieji stipriai: (— 1MPa; ---- 20 MPa; - - - 30 MPa).....	51

40 pav. Polis, išpraustas į skirtingų variantų dvisluoksnį gruntą, a) priesmėlis – smėlis, b) priemolis – smėlis, c) molis – smėlis.....	52
41 pav. Polio 0,3 m skersmens išprausto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ smėlis (gniuždomasis stipris 11,3 MPa), viršutiniai gruntai (■ priesmėlis; ■ priemolis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (—— priesmėlis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa, molis 1,1 MPa; ---- priesmėlis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa, molis 3,6 MPa; - - - priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa, Molis 6,7 MPa.), laikomoji galia priklausanti nuo įterpimo gylio.....	53
42 pav. Polis išpraustas į skirtingų variantų dvisluoksnį gruntą, a) smėlis – priesmėlis, b) priemolis – priesmėlis, c) molis – priesmėlis	54
43 pav. Polio 0,3 m skersmens išprausto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ priesmėlis (gniuždomasis stipris 8,59 MPa), viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priemolis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (—— smėlis 4,1 MPa, priemolis 1,5 MPa, molis 1,1 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priemolis 4,9 MPa, molis 3,6 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priemolis 12,27 MPa, Molis 6,7 MPa.), laikomoji galia	54
44 pav. Polis, išpraustas į skirtingų variantų dvisluoksnį gruntą, a) smėlis – priemolis, b) priesmėlis – priemolis, c) molis – priemolis	55
45 pav. Polio 0,3 m skersmens išprausto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ priemolis (gniuždomasis stipris 12,27 MPa), viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priesmėlis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (—— smėlis 4,1 MPa, priesmėlis 1,9 MPa, molis 1,1 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priesmėlis 8,59 MPa, molis 3,6 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, molis 6,7 MPa.), laikančioji galia.....	55
46 pav. Polis išpraustas į skirtingų variantų dvisluoksnį gruntą, a) smėlis – molis, b) priesmėlis – molis, c) priemolis – molis	56
47 pav. Polio 0,3 m skersmens išprausto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ molis (gniuždomasis stipris 6,7 MPa), viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priesmėlis; ■ priemolis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (—— smėlis 4,1 MPa, priesmėlis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priesmėlis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa.), laikančioji galia	56
48 pav. Polio a) 0,3 m; b) 0,35 m; c) 0,4 m. skersmens išprausto į dvilytį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ smėlis (gniuždomasis stipris 4,1 MPa), viršutiniai gruntai (■ priesmėlis; ■ priemolis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (—— priesmėlis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa, molis 1,1 MPa; ---- priesmėlis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa, molis 3,6 MPa; - - - priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa, Molis 6,7 MPa.), laikančioji galia.....	57
49 pav. Polio 0,3 m skersmens išprausto į dviejų sluoksnių gruntą, kurio apatinis gruntas ■ molis, a) gniuždomasis stipris 1,1 MPa, b) gniuždomasis stipris 3,6 MPa, c) gniuždomasis stipris 6,7 MPa, viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priesmėlis; ■ priemolis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (— smėlis 4,1 MPa, priesmėlis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priesmėlis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa.), laikomoji galia	58
50 pav. Polio 0,4 m skersmens išprausto į dviejų skirtingo tipo sluoksnių gruntą (■ smėlis ■ priesmėlis; ■ priemolis; ■ molis), kurių gniuždomieji stipriai (smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa, molis 6,7 MPa), laikomoji galia	58
51 pav. Polio, įterpto į vieno (—●—●—) ir dviejų (——) sluoksnių skirtingo tipo gruntu (■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa), ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa), ■ priemolį (gniuždomasis stipris 12,7 MPa) ir ■ molį (gniuždomasis stipris 6,27 MPa)), skirtingame gylyje, laikomosios galios palyginimas.....	59

- 52 pav.** Polio (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) skersmens, įterpto į skirtingo tipo gruntą a) ■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa); ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 8,59 MPa); ■ priemolį (gniuždomasis stipris 4,9 MPa); ■ molį (gniuždomasis stipris 3,6 MPa); b) smėlį (gniuždomasis stipris 25 MPa); priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa); priemolį (gniuždomasis stipris 12,27 MPa); molį (gniuždomasis stipris 6,7 MPa), polio šoninio paviršiaus laikomosios galios santykio su polio pado laikomąja galia priklausomybė nuo polio įterpimo gylio..... 60
- 53 pav.** Polio skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.), įsprausto į skirtingo tipo gruntą (■ smėlis ■ priesmėlis; ■ priemolis; ■ molis) laikomosios galios priklausomybė nuo polio įspraudimo gylio. a) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis smėlis (gniuždomasis stipris 4,1 MPa), o viršutinis sluoksnis priesmėlis; priemolis; molis. b) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis smėlis (gniuždomasis stipris 25 MPa), o viršutinis sluoksnis priesmėlis; priemolis; molis. c) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis molis (gniuždomasis stipris 1,1 MPa), o viršutinis sluoksnis smėlis, priesmėlis ir priemolis. d) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis molis (gniuždomasis stipris 6,7 MPa), o viršutinis sluoksnis smėlis, priesmėlis ir priemolis 62
- 54 pav.** Polio 0,3 m skersmens įterpto į vieno (—●—●—) ir dviejų (—) sluoksnių skirtingų tipų gruntus (■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa), ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa), ■ priemolį (gniuždomasis stipris 12,7 MPa) ir ■ molį (gniuždomasis stipris 6,27 MPa)) šoninio paviršiaus laikomosios galios santykis su bendra polio laikomąja galia, priklausanti nuo skirtingo polio gylio..... 63
- 55 pav.** Polio skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) įsprausto į skirtingo tipo gruntą (■ smėlis ■ priesmėlis; ■ priemolis; ■ molis) tūrio priklausomybė nuo polio veikiančios apkrovos 64

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

OWT – vėjo jėgainės jūroje (angl. *Offshore Wind Turbines*) [12];

FMEA – gedimų režimų ir poveikių analizė (angl. *Failure Modes and Effects Analysis*) [11];

GFRP – stiklo pluoštu sustiprinti polimerai (angl. *Glass Fiber Reinforced Polymer*) [15];

CFRP-RC – anglies pluoštu sustiprinto polimero strypai (angl. *Carbon Fiber Reinforced Polymer*) [15];

CH – apskritas helikoidinis polis (angl. *Circular Helicoid*) [20];

RC – gelžbetoninis polis (angl. *Reinforced Concrete*) [26];

SCC – plieniniu korpusų kompozitiniai poliai (angl. *Steel Casing Composite piles*) [26];

FEA – baigtinių elementų analizė (angl. *Finite Element Analysis*) [28];

CFST – betonu užpildytas plieno vamzdis (angl. *Concrete-Filled Steel Tube*) [28];

SGA – statybinės griovimo atliekos [32];

PGP – polis su praplatintu galu [36], polis su atšakomis [47];

PP – cukranendrių išspaudų pelenai [42];

PPEB – iš anksto išgręžti surenkamieji poliai su padidintu pagrindu [45];

PHC – iš anksto pagamintas gelžbetoninis polis [46];

CPT – metodas [46].

IGG – inžineriniai, geologiniai ir geotechniniai tyrimai [57];

Terminai:

Nuovargio poveikis – tai jūroje bangų sudaryta dinaminė apkrova, kuri pastoviai pulsuojančiai veikia polinį pamatą (nuovargio poveikis galimas ir sausumoje) [11].

Gruntas – mineralinių dalelių ir (ar) organinių (kartais vien organinės kilmės) medžiagų nuogulos, kurios gali būti lengvai mechaniškai atskirtos ir kuriose yra skirtingas vandens ir oro (kartais ir dujų) kiekis [56].

Geotechninis poveikis – grunto, užpilo, paviršinio arba požeminio vandens poveikis konstrukcijai [56].

Nuosėdis – kolonos, statinio ar jo dalies vertikalus poslinkis žemyn [56].

Įvadas

Pamatai - tai viena svarbiausių pastato dalių. Jau nuo seno žmonės suprato, kad statiniams reikalingi pamatai, nes tai padeda prailginti statinio gyvavimo laiką ir sukuria jam stabilų pagrindą.

Laikui bėgant pamatai buvo tobulinami, atsirado daugiau medžiagų ir technologijų jiems įrengti. Pamatus turi praktiškai visi pastatai ir statiniai, kurie turi atlaikyti įvairias apkrovas. Pamatai įrengiami skirtinguose gruntuose: moliai, smėliai, šlynas ar šių gruntų mišiniai. Atsižvelgiant į konkretaus sklypo geologinius duomenis, parenkamas konkretus pamato tipas ir pamato gylis.

Žmonių populiacijai didėjant, didieji miestai smarkiai plečiasi. Pastatai statomi ne ten kur tinkamiausios sąlygos, bet ten, kur suformuoti sklypai. Dažnu atveju tokiose vietose silpni grunta, todėl juose galima įrengti tik polinius pamatus. Naujai statomi gyvenamieji namai didžiąja dalimi yra be rūšių, o jų pamatams įrengti naudojami poliai. Augant medžiagų bei žmogiškųjų išteklių kainoms, svarbu pasirinkti tinkamus pamatus, kuriuos būtų galima greitai ir kokybiškai įrengti, ir kurie būtų ilgaamžiai.

Tyrimo objektai: poliniai spraustiniai pamatai ir Lietuvos teritorijoje vyraujantys grunta (smėlis, priesmėlis, priemolis ir molis).

Tikslas: spraustinių polių, įspraustų į Lietuvos teritorijoje vyraujančius gruntu (smėlį, priesmėlį, priemolį ir molį), laikomosios galios tyrimas.

Uždaviniai:

1. Apžvelgti mokslinius straipsnius, kuriuose aprašomi poliai pamatai, polių laikomoji galia, polių įterpimas į skirtingo tipo grunta.
2. Įsisavinti spraustinių polių laikomosios galios skaičiavimo metodiką.
3. Iširti skirtingo skersmens polio, įterpto į vieno ir dviejų sluoksnių gruntu (gruntų tipas ir stipris yra skirtingi), laikomosios galios priklausomybę nuo polio įspraudimo gylio.
4. Nustatyti polio pado ir šoninio paviršiaus laikomosios galios pasiskirstymą, įterpiant skirtingo skersmens polių į skirtingo stiprio gruntu (gruntas gali būti vieno arba dviejų sluoksnių).

Tyrimo metodai: mokslinių šaltinių analizė, Lietuvos geologinės tarnybos prie Aplinkos ministerijos grėžinių duomenų analizė.

Pranešimai ir moksliniai darbai baigiamojo projekto tematika. Dalyvauta studentų mokslinėje konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2023“ (TVA-2023) Panevėžyje 2023 m. lapkričio 24 d. Skaitytas pranešimas tema „Spraustinių polių laikomosios galios priklausomybė nuo grunto tipo“. Pranešimo pagrindu parengtas straipsnis, kuris įtrauktas į studentų mokslinės konferencijos TVA-2023 darbų rinkinį.

Baigiamojo projekto sandara ir apimtis. Baigiamąjį magistro projektą sudaro akademinio sąžiningumo deklaracija, baigiamojo projekto užduotis, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Aiškinamojo rašto apimtis 70 p., kuriuose yra 55 paveikslų ir 11 lentelių.

1. Mokslinės literatūros analizė

Pamatas – tai statinio dalis, perduodanti jo apkrovas pagrindui. Pamatai turi būti ilgaamžiai, pastovūs, stiprūs ir ekonomiškai. Tai viena svarbiausių statinio dalių, nuo kurios priklauso pastato ilgaamžiškumas ir eksploatavimo kokybė [1]. Poliniai pamatai plačiai naudojami inžinerijoje, siekiant perduoti konstrukcines apkrovas kietiems gruntų sluoksniams, turintiems didelę laikomąją galią [2]. Gruntas gamtoje retai būna vienalytis, dažniausiai jis yra sluoksniuotas, t. y. sluoksniai yra skirtingo storio ir pasižymi skirtingomis savybėmis [3]. Atliekant projektavimo darbus dažnai tenka pamatų, o kartais ir pastatų konstrukcinius sprendimus, derinti prie statybos vietoje slūgsančių gruntų savybių [4]. Pamatai daromi iš medžio, metalo, akmens, betono ar gelžbetonio. Pagal pamatų konstrukciją pamatai skirstomi į juostinius, atskiruosius, ištisinius ir polinius [5].

Dabartinė statyba – didelis iššūkis pamatų projektuotojams, nes didinamas pastatų aukštis bei gabaritai daro įtaką pamatų apkrovimui. Tuo pat metu išauga reikalavimai statybos kokybei, medžiagų poreikio, kainos ir statybos trukmės mažinimui. Visa tai padidina teisingai įvertinto pagrindo grunto laikomosios galios, optimalaus pamato tipo ir jo konstrukcijos projektavimo svarbą, nes tai turi įtakos statinio naudojimui [6].

1.1. Spraustiniai poliai

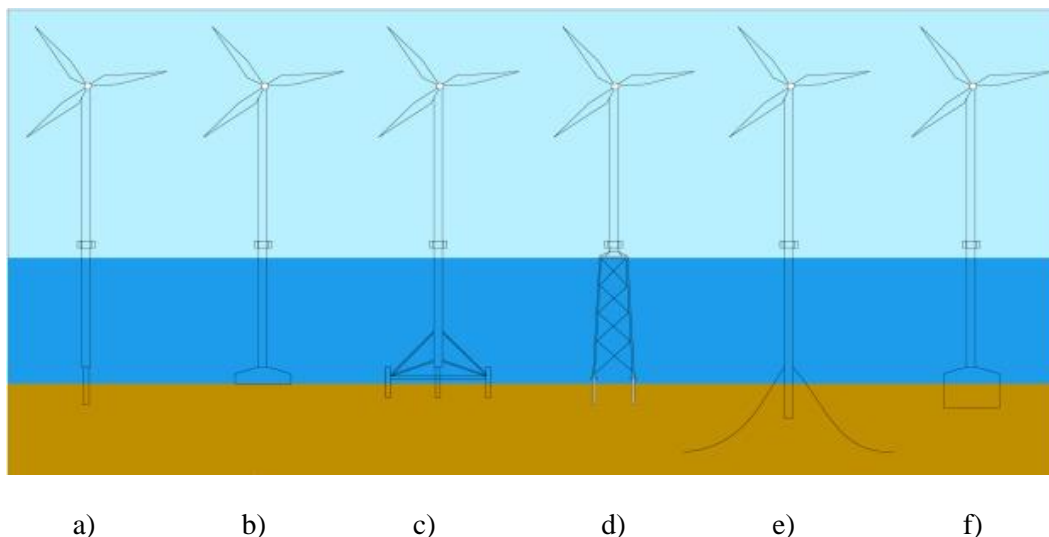
Spraustiniai poliai skirstomi į sraigtinius, gamyklinius ir betonuojamus vietoje [7]. Pagrindinis skirtumas lyginant su gręžtiniais poliais yra tas, kad spraustiniai poliai įgilinimo metu aplink save sutankina gruntą, kuris neiškeliamas į paviršių [8].

Sraigtiniai poliai – tai poliai, kuriuos įrengiant naudojamas į gruntą įgręžiamas grąžtas. Išsukant grąžtą per jo šerdį pilamas betonas [8].

Straipsnyje [9] tiriama sraigtinių polių sąveika su aplinkiniu gruntu. Nagrinėta gelžbetonių spiralinių polių sąveika su aplinkiniu gruntu ir kuriamas metodas, polių laikomajai galiai apskaičiuoti. Tyrimui panaudota *Polus* programinė įranga. Atlikę praktinius bandymus ir jų rezultatus palyginę su sukurtu skaitmeniniu modeliu, gauti rezultatai, patvirtinantys naujo metodo efektyvumą, kuriuo galima apskaičiuoti polių laikomąją galią. Šio metodo išskirtinis bruožas tas, kad polių sąveikai su aplinkiniu gruntu taikomas grunto stiprumo kriterijus – *Mohr-Coulomb*. Norint apskaičiuoti polių laikomąją galią, reikia tik grunto mėginių rezultatų [9].

Maždaug 15–20 procentų jūros vėjo elektrinių parkų kapitalo sąnaudų galima priskirti jūros vėjo jėgainių (OWT) pamatams [10]. Iki 30 m jūros gylyje jiems dažniausiai naudojami gamykliniai poliai. 2016 m. duomenimis daugiau kaip 75 proc. visų jūroje įrengiamų vėjo jėgainių pamatų sudaro monopolinio tipo pamatai. Didėjant gyliui, pamatų skersmuo didėja, tad dėl didelio jų svorio ir matmenų montavimas sudėtingėja. Plečiantis vėjo jėgainių parkams jūroje, vėjo jėgainės statomos vis toliau nuo kranto. Darbo [11] autoriai nagrinėja kelis pamatų pasirinkimo variantus (žr. 1 pav.) atsižvelgdami į jų privalumus ir trūkumus (žr. 1 lentelę). Pamatų pagrindinėms savybėms nustatyti taikyti OWT rizikų vertinimų metodai, apimantys kokybinius, pusiau kiekybinius ir kiekybinius metodus [12].

Iš 1 lentelės duomenų matyti, kad pamatai suskirstyti pagal jūros gylį. Monopolinis pamatas montuojamas iki 30 m gylyje. Jo paprasta struktūra ir pigi gamyba, tačiau taikomi aukštesni reikalavimai polių įrengimui ir geologinėms sąlygoms [11].

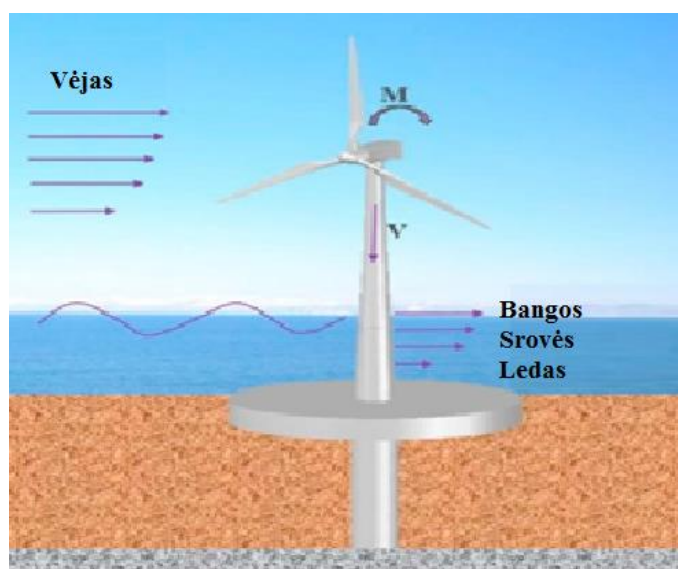


1 pav. Įvairių tipų vėjo jėgainių pamatai [11] a) monopolinis, b) kesoninis, c) tripolis, d) karkasinis, e) plaukiojantis pamatas, f) gravitacinis

1 lentelė. Jūros vėjo jėgainių pamatų privalumai ir trūkumai [11]

Pamato tipas	Vandens gylis (m)	Privalumai	Apribojimai
Monopolinis (a)	0 – 30	Paprasta struktūra; nesudėtinga gamyba; pigus įrengimas	Aukštesni reikalavimai polių klojimo įrangai ir geologinėms sąlygoms
Kesoninis (b)	0 – 30	Lengvas montavimas	Dideli gabaritai; didelis svoris; reikia paruošti jūros dugną
Tripolis (c)	20 – 50	Didesnė laikomoji galia; nereikalingas jūros dugno paruošimo	Sudėtinga struktūra; didesnės išlaidos
Karkasinis (d)	10 – 60	Stabilus	Sudėtingesnis montavimas; didesnės išlaidos
Plaukiojantieji pamatai (e)	> 50	Prisitaikymas prie didelio vandens gylio	Didesnės išlaidos; didelio judesio atsakas
Gravitacinis (f)	5 – 60	Lengvas montavimas; perdirbamas; pigus įrengimas	Mažiau inžinerinių programų

Wang‘as siūlo hibridinį polinį pamatą (žr. 2 pav.), kuriam atlikti laboratoriniai bandymai ir sukurtas 3D kompiuterinis modelis. Tyrimai parodė, kad hibridinė pamatų sistema iki 3 kartų padidina pamato šoninį pajėgumą, palyginti su originaliu tokio pat dydžio poliniu pamatu. Hibridinių polinių pamatų sudedamosios dalys pateiktos 2-oje lentelėje [13].



2 pav. OWT schema su hibridiniu poliniu pagrindu [13]

2 lentelė. Hibridinio polio sudedamosios dalys [13]

Pamato sudedamosios dalys	Polio skersmuo D , m	Polio svoris, t
Polis	$D = 1,1$	22
Plieninis ratas	$D = 7$	260
Žvyro ratas	$D = 7$	87,5

Iš 2-oje lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad galimi du hibridinių polių tipai. Pirmasis tipas – polis su plieno ratu, kurio svoris 282 tonos ir antrasis – polis su žvyro ratu, kurio svoris 109,5 tonos. Hibridinis polis su plieno ratu atlaiko 3 kartus didesnes šonines apkrovas, lyginant su poliū be rato. Pagrindinė to priežastis - didesnis rato svoris, kuris užtikrina stabilumą [13].

1.2. Polinių pamatų klasifikavimas pagal medžiagas

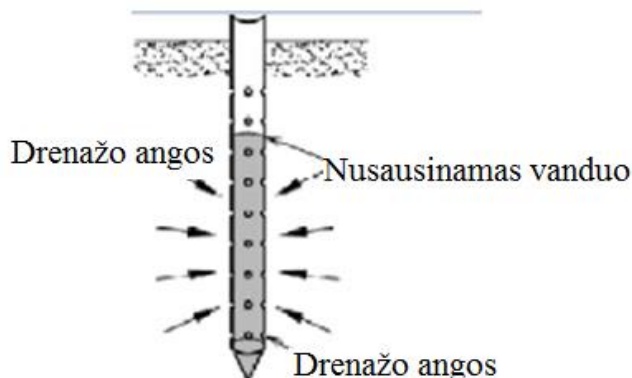
Pagal medžiagų tipą poliai gali būti: gelžbetoniniai, betoniniai, metaliniai, mediniai, kombinuoto skerspjūvio, gruntiniai [7].

1.2.1. Gelžbetoniniai ir betoniniai poliai

Gelžbetoniniai ir betoniniai poliai dažniausiai naudojami pastatų ir tiltų statyboje. Poliai, kurių neveikia skersinės ir lenkimo apkrovos gali būti nearmuojami. Pamatai yra veikiami sudėtingo temperatūros ir drėgmės režimo. Jiems armuoti naudojama S400, S500 klasės armatūra. Poliams įrengti dažniausiai naudojamas nuo C16/20 iki C40/50 klasės betonas [7].

Straipsnyje [14] tiriama gelžbetoninis surenkamas polis, įrengtas šlapiame grunte. Pasak Peng Peng per metus Kinijoje jų pagaminama 600 milijonų metrų. Jų privalumai: mažesnis triukšmas ir mažesni virpesiai juos montuojant, nėra taršos maišant betoną vietoje. Tik įterpiant poliū į gruntą, aplinkui polių suspaudžiamas gruntas ir jame esantis vanduo. Taip atsiranda perteklinio vandens, kuris tik per ilgą laiką išsisklaido. Porų slėgio išsisklaidymas trunka nuo 1 iki 8 mėnesių. Tuo laiku kol aplinkui

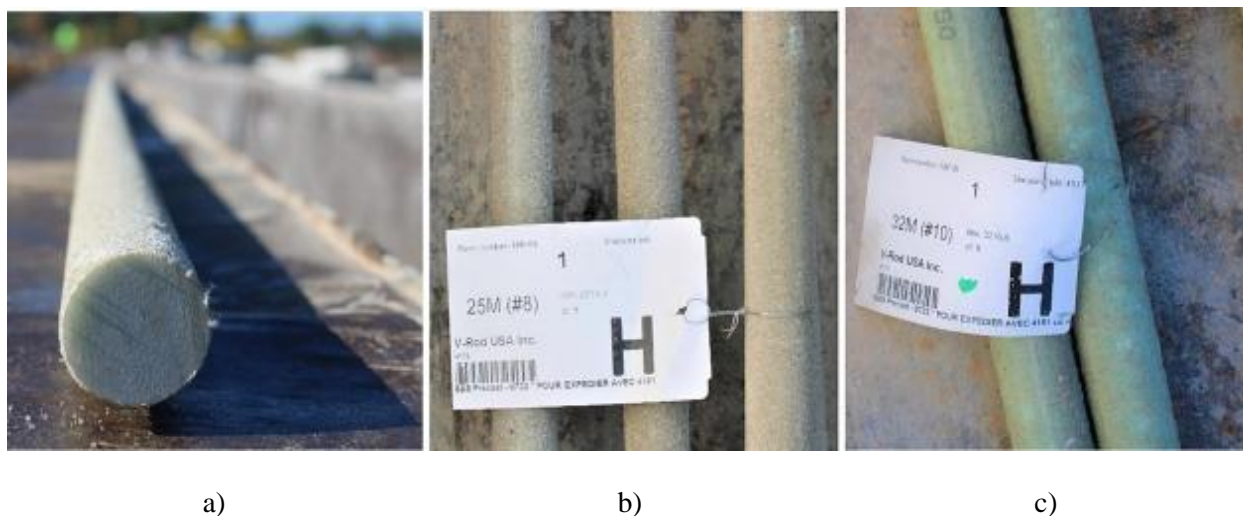
polį yra perteklinė drėgmė, polis negali atlaikyti jam numatytų apkrovų. Šiai problemai spręsti autoriai pasiūlė naują vandeniui pralaidų polį (žr. 3 pav.). Įspraudus polį į gruntą, aplinkui jį susikaupęs perteklinis vanduo pro skylės polyje sutekės į polio vidų, nes polis tuščiaviduris.



3 pav. Pralaidaus polio schema [14]

Atlikti polinio pamato, pralaidaus vandeniui, gniuždymo bandymų rezultatai parodė, kad polio iš C50 klasės betono galutinis gniuždymo stipris sumažėjo apie 7–19 proc., o C80 klasės betono – stipris sumažėjo apie 2–20 proc. Stiprumo mažėjimas tiesiogiai priklauso nuo skylių skaičiaus polyje (žymimas n). Pavyzdžiui, C50 bandymų serijoje išmatuotas didžiausias stipris 3-me bandyme ($n = 8$) buvo 31,0 MPa, kuris 4-ame bandyme ($n = 12$) sumažėjo iki 28,4 MPa, o 5-ame ($n = 16$) – iki 27,2 MPa. Atitinkamai 6-am bandymui ($n = 4$) ir 7-am bandymui ($n = 8$) buvo gautos 30,8 MPa ir 27,4 MPa vertės. Esant kitokioms kietėjimo sąlygoms, C80 bandymų serija pateikė panašią tendenciją: 4-ame bandyme ($n = 9$) išmatuotas didesnis galutinis 58,2 MPa stiprumas nei 5-ame bandyme ($n = 16$) – 47,9 MPa [14].

Tyrime [15] siūloma stiklo pluoštų armuoto polimero (GFRP) strypus (žr. 4 pav.) panaudoti sujungiant iš anksto įtemptus surenkamuosius gelžbetoninius polius. GFRP kaištis pasiūlytas, nes jis turi geras mechanines savybes: stiprumas, lankstumas ir ilgaamžiškumas. Taip pat pasižymi mažesne kaina lyginant su kitomis korozijai atspariomis medžiagomis, tokiomis kaip nerūdijantis plienas [15].



4 pav. GFRP juostos, naudojamos iš anksto įtemptiems surenkamiesiems betono poliams sujungti. a) vaizdas iš galo, b) GFRP 25M juostos ir c) GFRP 32M juostos [15]

Atlikti bandymai su 10 mėginių. Gauti rezultatai parodė, kad GFRP kaiščių naudojimo galimybė bei jų montavimas yra lengvesni nei plieninių strypų ar CFRP ritininių kaiščių [15]. Straipsnio [16] autoriai siūlo GFRP strypus panaudoti gelžbetoninėms konstrukcijoms, jas statant jūroje. Tyrimai atskleidė, kad GFRP-RC poliai atlaiko iki 19 proc. didesnę ašinę jėgą, veikiami jūrinės aplinkos, lyginant su analogiškais atitikmenimis.

1.2.2. Metaliniai poliai

Metaliniai poliai naudojami lengvoms konstrukcijoms laikyti ar rekonstruojamiems pamatams sustiprinti. Naudojant metalinius polius reikia įvertinti metalo korozijos greitį arba naudoti antikorozinę dangą. Šie poliai dėl didelės metalų kainos naudojami retai [7]. Šiuo metu dažniausiai naudojami metaliniai įsriegiami poliai (žr. 5 pav.), skirti nedideliems ir lengviems statiniams: terasoms, pirtims, malkinėms ir t. t. Skirtingai nuo įprastų polių, sraigtiniai poliai yra gaminami iš ritininio ar kūginio pavidalo plieninių strypų, kurių viename gale suformuojama arba pritvirtinama sraigtinė vija, kuri garantuoja geresnį įsiskverbimą į žemę [17].

Kalifornijos universitete [18] San Diege mokslininkai, naudodami virpesinį stalą, atliko pamatų tyrimus ant minkšto grunto, imituojant žemės drebėjimą. Bandymai atlikti su dviem skirtingais pamatų variantais: nestiprintais (pirmas atvejis) ir pastiprintais metaliniais įsukamais poliais (antras atvejis). Siekta išsiaiškinti įsukamų polių įtaką pamatų sėdimui ir pakrypimui, pačių polių būvio kitimo dinamiką ir panaudojimo efektyvumą. Bandymai atlikti Otavos F-65 smėlyje parodė, kad pamatai, sustiprinti spiraliniais poliais, nepatyrė pamatų sėdimo ir pakrypimo. Straipsnio [18] autoriai pabrėžia, kad kituose gruntuose spiralinių polių efektyvumas gali būti kitoks.

Kinijos šiaurinėje ir rytinėje dalyse, kur yra sezoniškai užšalanti teritorija, vykdomi įsukamų polių tyrimai, kadangi pastebėta, kad šioje teritorijoje sumontuotų saulės kolektorių pamatai, laikantys konstrukcijas, buvo iškelti šalčio, taip sugadindami energiją generuojančias plokštes. Remiantis elektros perdavimo linijų tyrimais Činghai-Tibet, netolygus pamatų iš grunto iškėlimas, vykstant žemės užšalimo procesui, gali sukelti saulės kolektorių gedimą. Šiai problemai spręsti tyrime [19] pasirinkti įsriegiami poliai, nes jie greitai sumontuojami, juos galima naudoti daug kartų ir jie turi ženkliai didesnę tempiamąją stiprį, lyginant su įprastiniais betoniniais poliais. Tyrime panaudoti penki įsriegiamų polių modeliai (žr. 6 pav.).

Atlikti eksperimentiniai rezultatai palyginti su termomechaniniu modeliu. Nustatyta, kad grunto masės fizinės savybės kinta priklausomai nuo temperatūros kitimo intervale tarp $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, esant visiškam grunto užšalimui. Natūriniai bandymai palyginti su eksperimentiniais rezultatais leidžia daryti išvadą, kad tyrime aprašytas [19] skaičiavimo metodas gali numatyti penkių skirtingų polių (įskaitant polių be sraigtinės vijos) šalčio kėlimo charakteristikas užšalimo sąlygomis. Pastebėta, kad kai grunto užšalimo gylis pasiekia pusę polio įterpimo gylio, poliai su sriegiu labiau priešinasi iškėlimui iš grunto nei polis be sriegio. Taip pat nustatyta, kad iš polių su sriegiais mažiausiai iškėlimas ketvirtasis polis, turintis 3 sraigčių vijų eiles. Šis polis iš grunto iškėlimas 2,14 mm (žr. 7 pav.), tuo tarpu antras - 3,02 mm ir trečias - 2,85 mm, o pirmasis - 7,40 mm (skaičiuojant polius nuo kairės pusės į dešinę). Nustatyta, kad ketvirtas polis yra tinkamiausias šalčio kėlimui sumažinti.

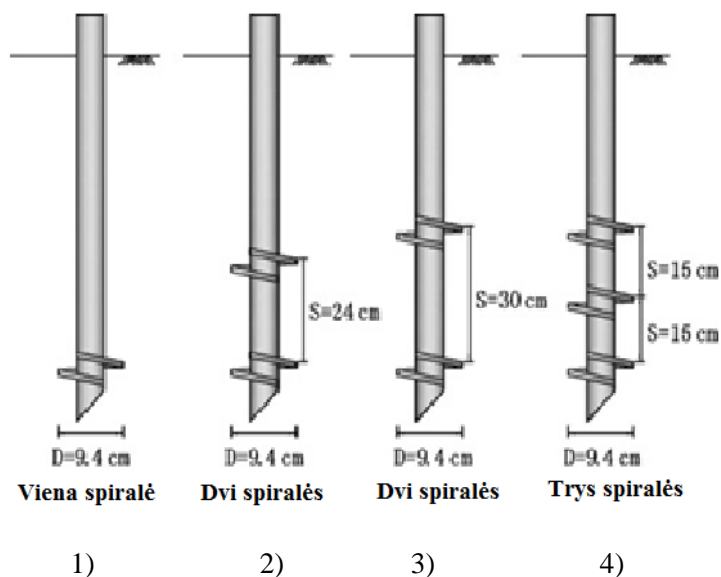


5 pav. Įvairūs įsukami poliai kairėje ir įsriegti poliai į gruntą dešinėje



a) b) c) d) e)

6 pav. Poliai, su kuriais atliekami laboratoriniai bandymai: a) polis su dviem trumpomis siauromis sraigtinėmis vijomis; b) polis su dviem trumpomis plačiomis sraigtinėmis vijomis; c) polis su ilga plačia sraigtinė vija; d) polis su ilga siaura sraigtinė vija; e) polis be sraigtinės vijos [19]



7 pav. Sraigtiniai poliai su skirtingo išdėstymo sraigtinėmis vijomis [19]

Straipsnio [19] autoriai teigia, kad pateiktas skaičiavimo metodas pateikė gerų rezultatų, tačiau jis gali būti laikomas tik kaip supaprastintas prototipas, o ne tikslus sprendimas. Tolimesni tyrimai turėtų apimti drėgmės išsiskyrimą užšalimo proceso metu ir turėtų būti nustatytas pažangus neužšaldyto grunto, atsižvelgiant į tampriai plastines savybes, sudėties modelis, apibūdinantis polio ir grunto sąsają [19].

Japonijoje ir Pietų Korėjoje [20] įsriegiami metaliniai sraigtiniai poliai (CH) (žr. 8 pav.) naudojami energetikos, statybos ir transporto srityse. CH poliai yra lengviau sumontuojami ir išmontuojami lyginant su gelžbetoniniais poliais, be to gelžbetoniniai poliai nuo dažno naudojimo sugadinami.



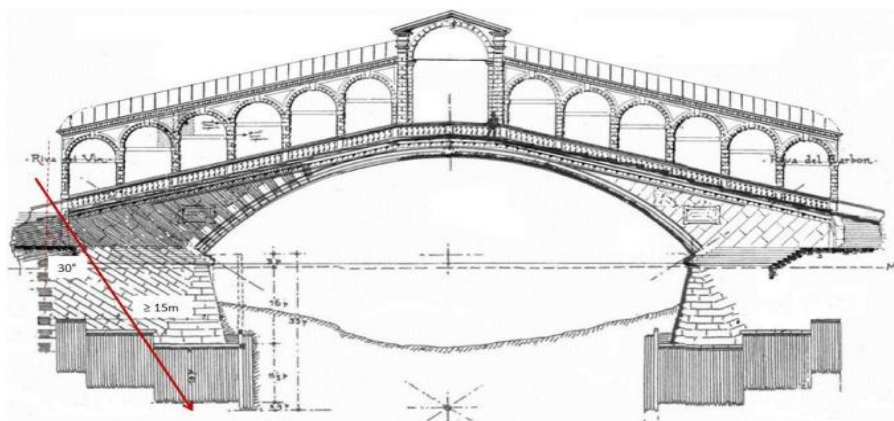
8 pav. CH poliai [20]

Mokslininkai [20] siekia sukurti specialios formos polius, kad jų paviršiaus ploto sąlytis su gruntu būtų kuo didesnis ir pagerėtų jų tarpusavio sąveika. Tokiu būdu padidinama polių laikomoji galia. Straipsnyje [20] aiškinamasi CH polio trinties savybės montavimo metu, lyginant su kitais metaliniais poliais. Atlikti bandymai ir sukurtas polio skaitmeninis modelis. Įvertintas CH polio montavimo procesas ir CH polio inžinerinės savybės. Iš viso įvertinta 90 skirtingų natūrinių modelių bandymų, kuriuose atsižvelgta į skirtingus montavimo metodus ir polių konstrukcijas. Įvertintos CH polių montavimo charakteristikos montavimo proceso metu. Poliai bandomi silicio smėlyje, kurio tankis 75–80 procentai, o papildomas slėgis viršutiniame paviršiuje 14, 28, 42, 56 kPa. Pasak [20] straipsnio autoriaus CH poliai užtikrina laikomąją galią, esant ašinei gniuždymo apkrovai, kuri yra daug didesnė už jos montavimo įtempius, tai yra pranašumas, lyginant su plieninių vamzdiniu poliū. CH polių ištraukimo galia yra maksimali, kai žingsnio ir skersmens santykis yra 4,5. Be to, CH polis turi didesnę ekonominę naudą, nes tiek jo vieneto masės gniuždymo, tiek ištraukiamojo polio galia, yra didesnė nei plieninių apvalaus skerspjūvio polių [20].

1.2.3. Mediniai poliai

Mediniai poliai šimtmečius laiko daugybę statinių visame pasaulyje. Archeologai ežerų pakrantėse polių liekanų randa Italijoje, Škotijoje, Šveicarijoje. Spėjama, kad polius kai kuriose gyvenvietėse pradėjo naudoti prieš 4 000 metų [21]. Daug polių liekanų randama Robenhauso gyvenvietėje ir Ženevos ežero pakrantėse [22]. Mokslininkai darbe [23] teigia, kad mediena yra statybinė medžiaga, kurią mums suteikė gamta. Jie nustatė, kad medienos irimui gruntinio vandens lygis, vandens cheminė sudėtis, medienos rūšis, gruntas, kuriame stovi poliai, ir medienos skersmuo, didelės įtakos neturi [23].

Straipsnyje [24] tiriami *Rialto* tilto – vieno garsiausių tiltų (žr. 9 pav.), kertančio Didįjį kanalą Venecijoje (Italijoje), mediniai poliai.



9 pav. Eskizas, vaizduojantis *Rialto* tilto pamatų polių struktūrą ir koringo zondų kampą bei kryptį [24]

Venecijoje paimtiems mėginiams buvo atlikta mikromorfologinė analizė, fizinių savybių (vandens kiekio, liekamojo tankio tyrimai, suspaudimo bandymai drėgnomis sąlygomis ir cheminė analizė (lignino, holoceliuliozės) [24]. Tyrime, aprašytame [24] darbe, gauti rezultatai parodė, kad tiek medienos masė, tiek stiprumas, buvo prarasti dėl skilimo, tačiau likutinio stiprumo nuostoliai buvo didesni už likutinę masę. Taip atsitiko dėl holoceliuliozės sumažėjimo medienoje. Tyrimais [24] nustatyta, kad bazinis medienos tankis ir holoceliuliozės kiekis medienoje galėtų būti naudojami kaip galimi medinių polių liekamojo stiprumo prognozuotojai [25]. Atlikti medinių polių tyrimai parodė, kad mediniai poliai buvo įrengti skirtingu laikotarpiu. Išanalizavus mechanines ir fizines medienos savybes išaiškėjo, kad jos tinkamos tilto stabilumui. Tai rodo, kad senovėje Venecijoje pamatams sukurti naudotos statybos sistemos efektyvumas yra veiksmingas [24].

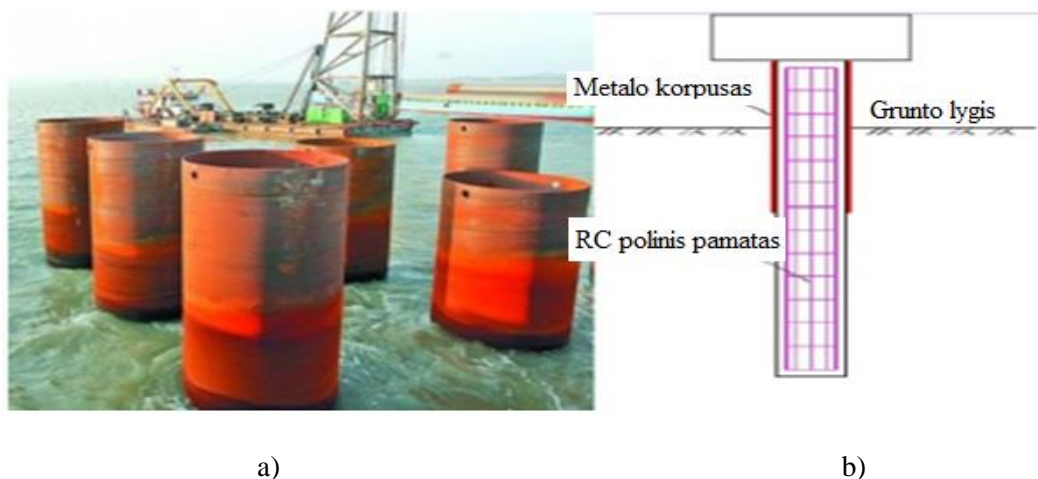
1.2.4. Kombinuoto skerspjūvio poliai

Kombinuoto skerspjūvio poliai, kuriems pagaminti naudojamas betonas ar gelžbetonis, ir kurie apjuosiami metalo lakštu [7]. Poliai metalu apjuosiami tada, kai įrengiami tokiose vietose, kuriose galimos didelės šoninės apkrovos: jūros bangų apkrova ar laivų atsitrenkimo tikimybė.

Straipsnyje [26] tiriamas plieninių korpusų kompozicinių polių būvis, veikiant šoninei apkrovai. Poliams, įrengtiems kanaluose ar prieplaukose, yra didelė tikimybė nukentėti nuo šoninių apkrovų ar laivų atsitrenkimo. Autorius [26] pasakoja kaip 2010 m prieplaukoje (Hubei, Kinijoje) į statomus polius trenkėsi žemsiurbė, kurią užplukdė potvynis. Susidūrimo metu poliai smarkiai apgadinti. Norėdami ištirti gelžbetoniniams (RC) poliams daromą plieninių korpusų (žr. 10 pav.) poveikį, atliekami bandymai. Bandymams atlikti sukurti trys polių rinkiniai – RC polių rinkinys, SCC rinkinys su dalinai apvilktu metaliniu korpusu ir SCC rinkinys su visiškai apvilktu metaliniu apvaskalu.

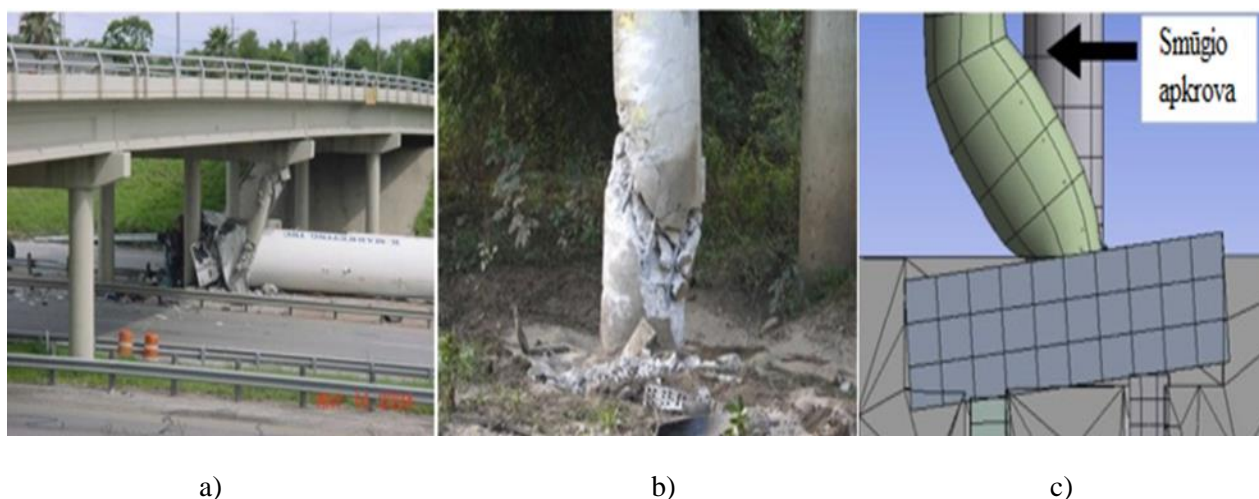
Bandymų metu poliai veikiami šoninių apkrovų. Po bandymo pažeista virš grunto esanti RC polio dalis ir poliai liko pasvirę. Šoninės apkrovos pažeidė SCC polių pamatinę dalį, t. y. ten kur baigėsi metalinis apvaskalas. Ten patirtas šlyties slydimas. SCC poliai su iki pusės apvilktu metalo apvaskalu apkrovos metu paveikti ir lenkimo, ir šlyties slydimu. Bandymais nustatyta, kad metalinis apvaskalas RC poliams turi didelę įtaką veikiant šoninėms apkrovoms. Nustatyta, kad kai korpuso apačia pasiekė grunto lygį, RC poliams plieninio korpuso ilgis - optimalus. Tyrimai atlikti realiais bandymais ir kompiuterinio modeliavimo pagalba [26].

Tyrimai [27] parodė, kad laivų susidūrimas su tiltu yra antra pagrindinė tilto sugadinimo priežastis Jungtinėse Valstijose [27]. Straipsnyje [27] analizuojamas polių struktūrinis elgesys apkrovos metu. Šio tyrimo modeliui imituoti panaudota programinė įranga ANSYS, kurioje taikomi įvairūs baigtinių elementų metodo išpildymai. Tyrimo tikslas- įvertinti grunto ir tilto struktūros reakciją į smūgio apkrovą, įvertinant grunto ir polio sąveiką (žr. 11 pav.).



10 pav. a) plieniniai korpusai, b) plieninio korpuso įrengimo schema [26]

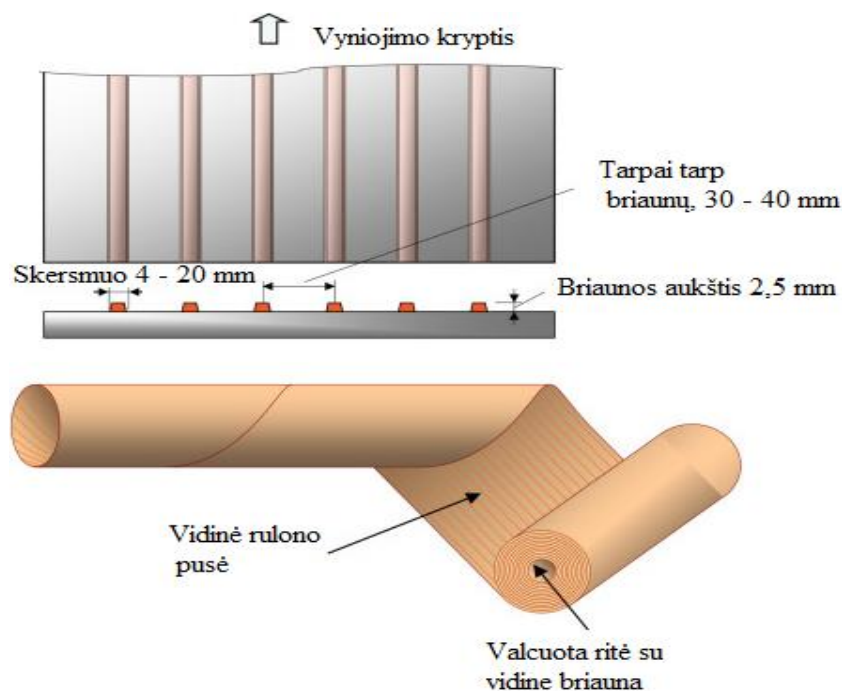
Tyrimo metu [28] lyginami skaitinio modeliavimo duomenys su bandymo rezultatais. Tyrimais nustatyta, kad tilto modelio didžiausias poslinkis sutampa su didžiausia smūgio jėga. Apkrovai paveikus koloną dalis smūgio energijos persidavė poliui, o nuo polio virpesių atsirado pokyčių grunte. Nuo smūgio susidaro negrįžtamos reakcijos. Smūgio metu deformuoja ne tik kolona, bet ir polis bei gruntas, esantis aplinkui jį [28]. Gelžbetoniniai poliai, apsukti metalo lakštu, naudojami ne tik tiltams ir prieplaukoms. Japonijoje seisminio aktyvumo zonose naudojami betonu užpildyti plieniniai vamzdžių (CFST) poliai.



11 pav. a) vertikalus polių poslinkis po susidūrimo, b) sunkvežimio avarija IH-20 tiltas per Rabbit Creek, Longview, Teksasas ir c) sunkvežimio avarijos Tanchua gatvės tiltas per IH-37, Corpus Christi, Teksasas [28]

Po (1995 m. Kobe, 2011 m. Tohoku ir 2016 m. Kumamoto) žemės drebėjimų atlikti pastatų tyrimai, kurie parodė, kad pastatai, kurie atrodo visai nepažeisti, yra nebetinkami eksploatuoti dėl poliųjų pamatų pasvyrimo. Šių tyrimų autorius darbe [29] išsikėlė tikslą – suprojektuoti polinį pamatą, kuris atlaikytų didelius žemės drebėjimus. Ankstesni tyrimai atlikti su mažo skersmens CFST poliais,

turinčiais mažą centrišką apkrovą arba išvis be jos. Bandymams atlikti sukurti penki 1200 mm skersmens CFST poliai. Poliams naudojamas sraigtinė linija suvirintas plieninis vamzdis (žr. 12 pav.) [29].



12 pav. Spirale suvirintas plieninis vamzdis su vidinėmis briaunomis [29]

Pasak Austrijos mokslininkų spirale suvirintas plieninis vamzdis pasižymi ekonominiu efektyvumu lyginant su plieniniu vamzdžiu, turinčiu išilginę suvirinimo siūlę [30]. CFST didelio skersmens polių skersmuo svyruoja nuo 600 iki 2500 mm ir jiems naudojamas betonas, kurio gniuždomasis stipris nuo 18 iki 60 MPa. Minėti poliai gaminami iš plieninio vamzdžio, kurio storis svyruoja nuo 6 iki 25 mm. Šie poliai bandymo metu veikiami kintama ašine apkrova, kuri svyravo nuo 0,21 iki 0,38, priklausomai nuo šoninės apkrovos. Atlikus bandymus nustatyta, kad CFST polių galutinę laikomosios galios būklę lemia vamzdžio plyšimas, bet ir po plyšimo šie poliai išlaiko ašinę apkrovą. Nustatyta, kad armatūra polio viduje yra veiksminga, norint pagerinti polio atsparumą apkrovai ir energijos išsklaidymą polyje [29].

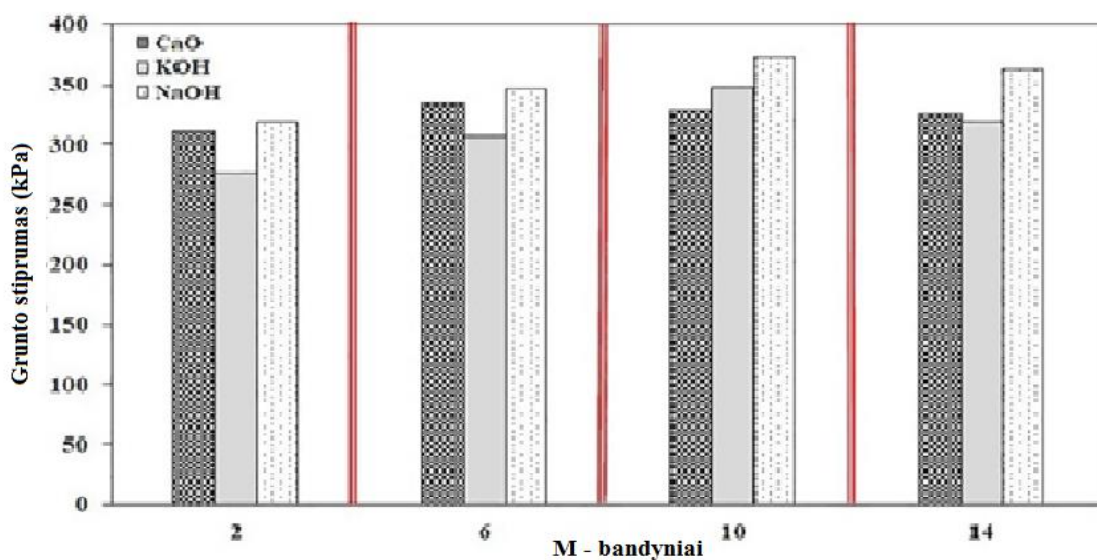
1.2.5. Gruntiniai poliai

Gruntiniai poliai – naudojami grunto savybėms pagerinti. Poliai užpildomi smėliu, žvyru arba skalda. Taip pat poliai gali būti su geotekstilės apvalkalu [7].

Su silpnais gruntais susiduriama Pietų Kinijos pakrantėse, kur šią problemą siūloma spręsti naudojant statybines atliekas. Tokiu būdu sprendžiamos kelios problemos: plečiantis miestams priemiesčiuose būtų sutvirtintas gruntas, panaudotos statybinės atliekos (smulkintas betonas ir mūras) ir būtų tausojami gamtinių akmenų ištekliai. Kinijos pietuose, esančiuose pakrančių miestuose, vyrauja minkšto molio gruntai su dideliu kiekiu vandens. Šiose vietose pamatai deformuojasi. Panaudojus statybines atliekas grunto stiprinimui, būtų puiki išeitis, tik iki šios dienos nėra padarytų daug tyrimų apie statybinių atliekų panaudojimą grunto stiprinimui, nėra nustatytos statybinių atliekų inžinerinės savybės. Tyrimo metu [31] apskaičiuota polio minkštame grunte mažiausia laikomoji galia, suprojektuotas armatūros išdėstymas ir sukurta įrengimo technologija. Šie poliniai pamatai išbandyti

ir nustatyta, kad šoninio poslinkio pokyčio greitis yra stabilus, tad poliai yra stabilūs. Iš to galime spręsti, kad ateityje galėsime statybines atliekas panaudoti poliniams pamatams tik reikia atlikti tyrimus su statybinėmis atliekomis ir išspręsti rūšiavimo klausimus, nes skirtingų medžiagų skiriasi stiprumas, o tai gali atsiliepti pamato laikomajai galiai [31].

Straipsnyje [32] siūlomas šarmais aktyvintų medžiagų naudojimas atliekoms apdoroti ir su šiomis atliekomis stiprinti silpnus gruntus. Šių medžiagų įdėjimas į grunto daleles kaip cementinę medžiagą gali pagerinti silpnų gruntų geotechnines savybes ir sumažinti aplinkos taršą. Nustatyta, kad geriausia NaOH, KOH ir CaO koncentracija yra atitinkamai 10 M (347,36 kPa), 10 M (372,65 kPa) ir 6 M (333,63 kPa) (žr. 13 pav.) bandiniuose. Optimalios grunto gerinimo savybės, šarmais aktyvintomis medžiagomis, gaunamos kietėjimo sąlygomis 10 M bandinyje NaOH mišinio konstrukcijoje 21 dieną 39 °C temperatūroje. Taigi statybinių griovimo atliekų (SGA) naudojimas kaip šarminis aktyvatorius yra geresnė priemonė grunto inžinerinėms savybėms lyginant su neapdorotomis statybinėmis atliekomis ir prisideda prie grunto gerinimo bei atliekų panaudojimo [32].



13 pav. Įvairių aktyvatorių modifikatorių laikomosios galios vertės [32]

1.3. Poliai įterpti skirtinguose gruntuose

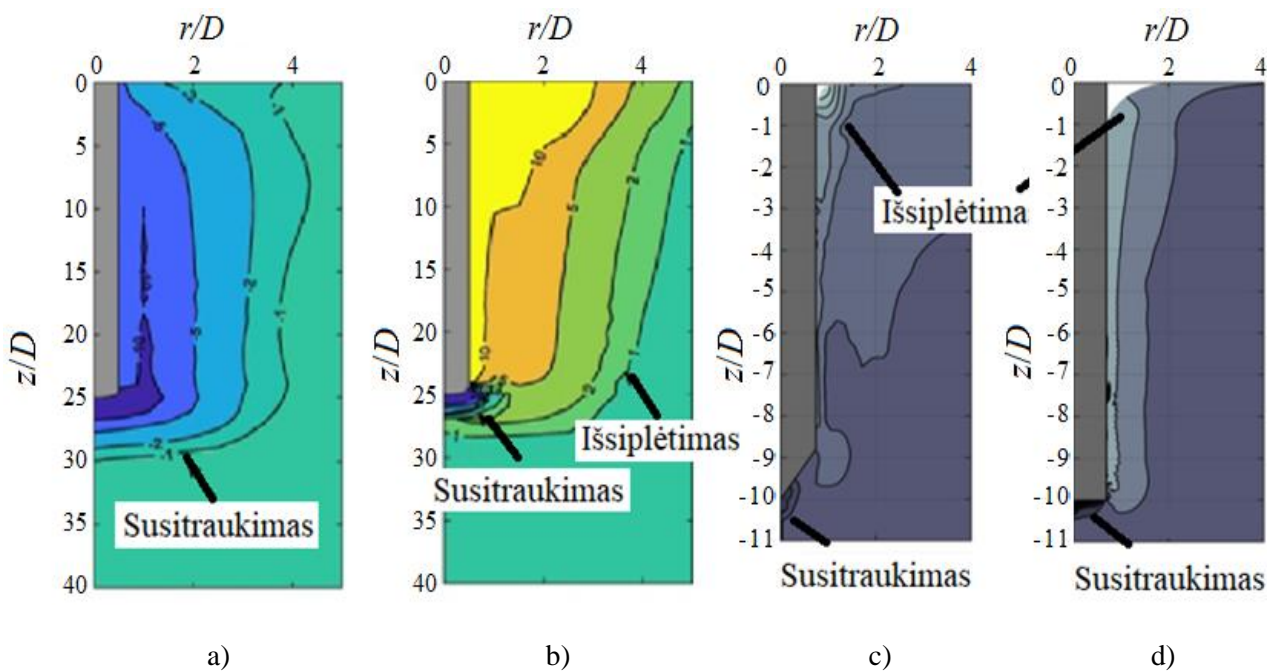
Pastato stiprumą, pastovumą ir jo normalų naudojimą lemia ne tik statinio konstrukciniai ypatumai, bet ir grunto savybės. Statinio ir pagrindo tarpusavio sąveikos sąlygos [6]. Dažniausiai sutinkami gruntai yra įvairios frakcijos smėliai ir moliai. Šiandien labai aktualus yra polių įrengimas vandenyje.

1.3.1. Poliai įterpti smėlyje

Straipsnyje [33] analizuojamas poveikis gruntui, montuojant polinį pamatą smūgine arba virpesine pavara. Montuojant smūginiu plaktuvu polis išspraudžiamas į gruntą, naudojant krintančią masę. Šis metodas dažnu atveju sukelia pažeidimus polyje. Virpesinis montavimo būdas yra pigesnis, greitesnis ir mažiau triukšmingas. Polis į gruntą įterpiamas naudojant ašinį periodinį judesį. Nedarnių gruntų atveju dėl judėjimo atsirandantys virpesiai sudaro dvi skirtingas zonas. Zonoje, esančioje šalia polio sienelės, gruntas yra atlaisvintas, tai sumažina grunto atsparumą ir trintį su poliu, todėl išsiskverbimas tampa lengvesnis. Tuo tarpu toliau nuo polio gruntas dėl virpesių sutankėja. Darbe [33] norint išsiaiškinti poveikį gruntui, montuojant polinį pamatą, atliekami bandymai, sukūrus skaitmeninį

modelį. Skaitmeniniame modelyje naudojamas tuščiaaviduris polis, kurio įterpimo gylis yra 1,5 m, skersmuo – 0,2 m, polio sienelės storis – 0,004 m. Kadangi skersmens ir sienelės storio santykis (D/t) yra apie 50, polis yra standus. Tyrime [33] naudotas Berlyno smėlis, kurio tankis yra $I_D = 75$ proc. Laikoma, kad šio grunto tangentinis trinties koeficientas yra 0,4. Atlikus bandymus su dviem skirtingais montavimo būdais gauti rezultatai parodo, kad virpesinio montavimo metu sutankinamas platesnis didesnio intensyvumo plotas. Didžiausias šoninis įtempis smūgio montavimo atveju daugiau nei du kartus didesnis už tą, kuris sukeltas virpesiniame montavime. Virpesinis montavimo metodas pasiekė norimą polių poslinkio gylį, naudodamas 20 procentų mažesnę pagreitį, nes aplink polių kamieną sukeliamas mažesnis horizontalus įtempis, kuris sumažina trinties jėgą, taigi ir pasipriešinimą montavimui. Nustatyta, kad montuojant polį vibraciniu būdu sunaudojama iki 30 proc. mažiau energijos lyginant su kaltiniu būdu [33].

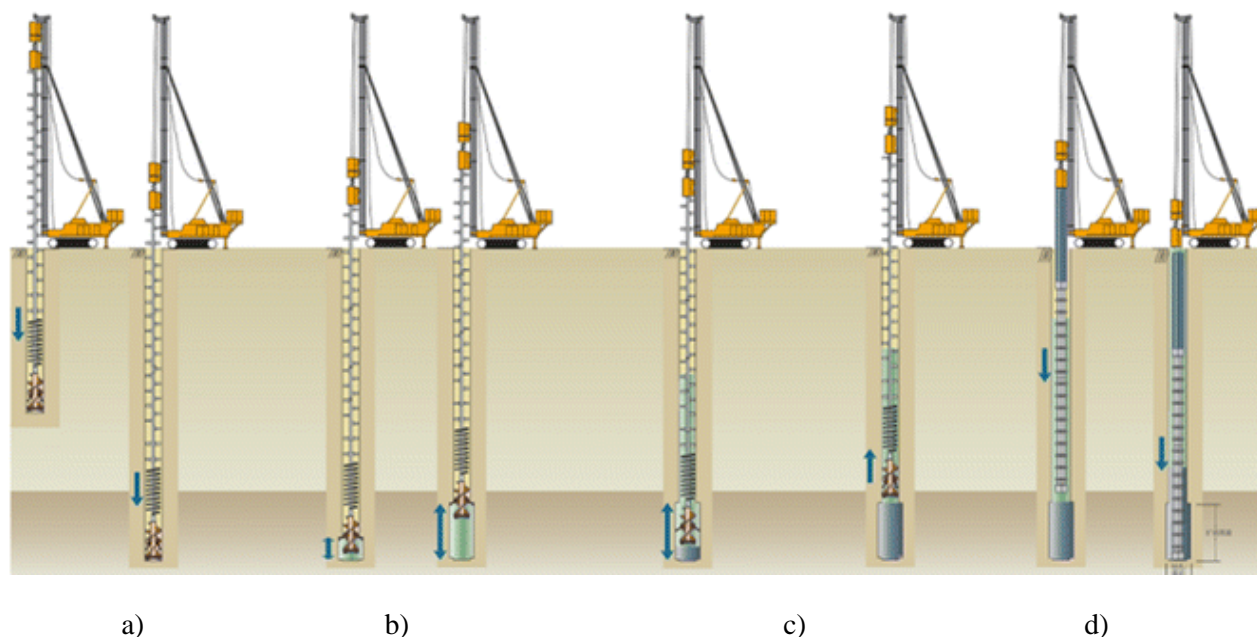
Mokslininkas Dong'as [34] nagrinėjo grunto įtempio ir grunto porėtumo pokyčius, įrengiant sprautinius polius. Smėlio porėtumo kitimas, polio ir smėlio sąlyčio srityje, įterpiant 0,25 m ilgio polį, priklauso nuo pradinio smėlio porėtumo. Atlikus tyrimus biriame (20 proc.) ir tankiame (80 proc.) smėliuose nustatyta, kad biriame (20 proc.) smėlyje aplink polį smėlis sutankėjo. Sutankinimo efektas mažėja, tolstant nuo polio (žr. 14 pav. a). Tankiame (80 proc.) smėlyje smėlis sutankėjo tik nedideliame plote aplink polio galiuką (žr. 14 pav. b), o didžiausias grunto retėjimas (>10 proc.) pastebėtas šalia žemės paviršiaus.



14 pav. Grunto porėtumo kitimas, įspraudžiant polius į gruntą: a) polis plokščiu galu įspraudus biriame smėlyje (20 proc.) [34]; b) polis plokščiu galu įspraudus tankiame smėlyje (80 proc.) [34]; c) polis kūginiu galu įspraudus vidutinio tankumo smėlyje (40 proc.) [35]; d) polis plokščiu galu įspraudus vidutinio tankumo smėlyje (40 proc.) [35]

Tyrimais, atliktais [35] darbe, nustatytas grunto porėtumo pokytis smėlyje, kurio tankumas 40 proc. Tarpusavyje palyginus du skirtingus polius išsiaiškinta, kad polio su lygiu galu (žr. 14 pav. c) pasipriešinimas įsiskverbimui yra nuo 1,35 iki 2,00 karto didesnė už polio su kūginiu galu (žr. 14 pav. d) Didėjant gyliui, šis santykis mažėja.

Mokslininkai straipsnyje [36] taip pat tiria polio sąveiką su smėliu. Tik čia pasirinktas gręžtinis polio montavimo būdas: išgręžiama skylė, į kurią pilamas vandens ir cemento mišinys ir įterpiamas iš anksto pagamintas polis. Straipsnyje pristatomas PGP polio montavimo procesas (žr. 15 pav.).



15 pav. PGP polių montavimo procesas [36]

Paveiksle 16 pav. matome, kad PGP polių montavimo procesą sudaro keturi etapai:

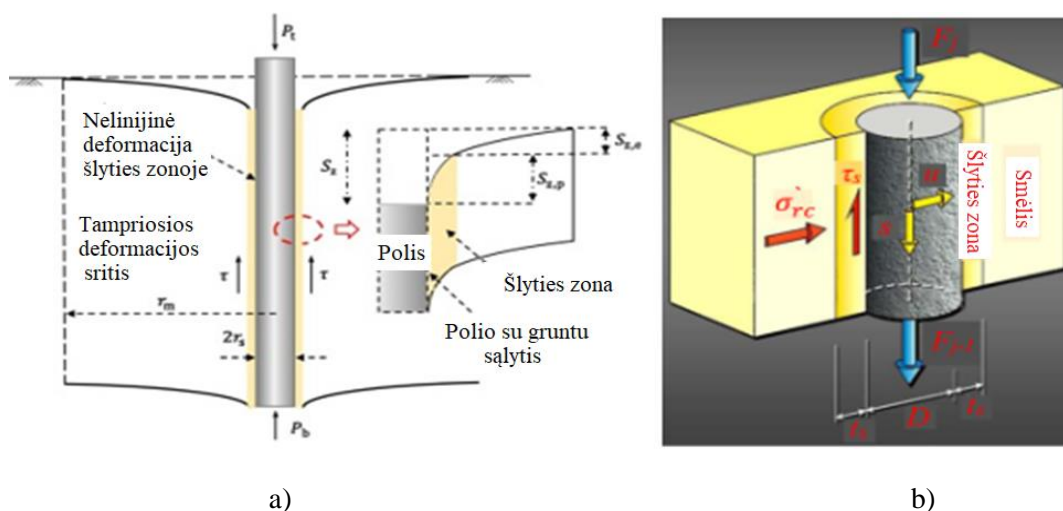
- gręžimas su specialia technika ir gręžinio proceso stebėjimas (žr. 15 pav., a);
- išgręžus polio angą iki reikiamo gylio, apatinė polio angos dalis praplatinama ir taip sukuriama padidintas polių pagrindas. Cemento mišinys, kurio vandens ir cemento santykis yra 0,6, įpurškiamas į išgręžtą ertmę. Polių gręžimo įrenginys pakartotinai juda aukštyn ir žemyn, kad būtų užtikrintas cemento, vandens ir grunto susimaišymas praplatintoje zonoje (žr. 15 pav., b);
- glaistymas išilgai polio skylės cemento pasta, kurios vandens ir cemento santykis yra 1,0, o įpurškiamos cemento pastos tūris yra 0,5 karto didesnis už gręžinio tūrį (žr. 15 pav., c);
- surenkamųjų polių įterpimas su savo svoriu į polių angą, užpildytą cementuotu gruntu, kad susidarytų vientisas PGP polis (žr. 15 pav., d).

Gaunama didesnė polio šoninė trintis, nes skysto cemento, vandens ir grunto mišinys prisitaiko prie išgręžtos angos šoninio paviršiaus [36].

Straipsnyje [37] pateikti lauko bandymų, atliktų su vietoje išlietais gręžtiniais poliais, rezultatai. Šešiais kombinuotais šoniniais ir antgaliniais glaistytais poliais ir dviem šoniniais glaistymo poliais, įrengtais storame smulkaus smėlio sluoksnyje. Po įleidimo/įpurškimo/įšvirktimo sustiprinimo poveikis įvertintas naudojant EWCT metodą ir standartinį įsiskverbimo bandymą. Atliktų bandymų rezultatai parodė, kad didžiausia šoninių įšvirktimo polių laikomoji galia storame smulkaus smėlio sluoksnyje padidinama 41,54–58,98 proc., o galutinė kombinuoto įšvirktimo polių laikomoji galia padidinama 66,03–96,40 proc. Po įšvirktimo polių pusėje efektyviai pagerinamos ribinės sąlygos tarp polių kamieno ir grunto bei padidinamas grunto stiprumas ir standumas aplink polį. Polio laikomoji galia padidėja nuo 46,72 iki 68,88 proc. [37].

1.3.2. Poliai įterpti molyje

Pagal standumą poliūs galima suskirstyti į standžius ir liaunus. Liaunus ilgieji poliai, įrengti minkštame molyje ir atlaikantys dideles apkrovas, gali išklupti [38]. Darbe [39] pasiūlytas metodas leidžia analizuoti ilgų standžių polių būvį molyje, kai jo sluoksnio storis siekia 40–50 metrų. Straipsnyje [40] vertinta grunto šlyties, nuo kurios priklauso polio ribinė laikomoji galia (žr. 16 pav.). Ling-Yu Xu [40] nurodo, kad grunto šlyties zonos storis priklauso nuo grunto dalelių skersmens ir gali siekti apie 3–5 mm. Martinkus darbe [41] nustatė, kad šlyties zona smėlyje 27 kartus didesnė už vidutinį grunto dalelių dydį.

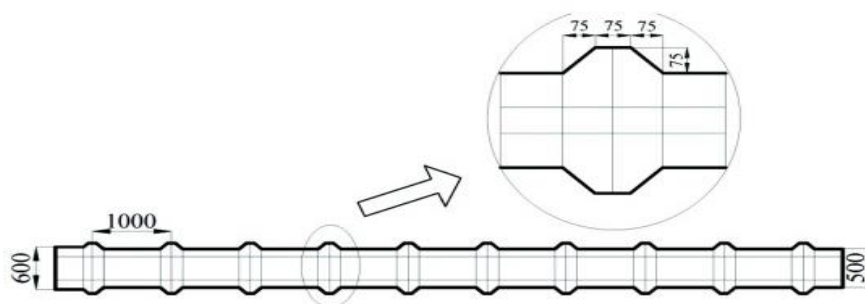


16 pav. Polių, veikiamų vertikalios apkrovos ir grunto, sąlytis: a) šlyties zona aplink polių [40]; b) šlyties zona smėlyje [41]

Minkštas molis paprastai turi didelį vandens kiekį, didelį suspaudžiamumą, mažą stiprumą, prastą pralaidumą ir didelį jautrumą [42]. Statybos procese minkštas molis neužtikrina pakankamos pamato laikomosios galios. Minkštame molyje pamatai netolygiai sėda ir atsiranda pastatų deformacijos [43]. Mokslininkai [44] mano, kad vidinė erozija gali sukelti pylimų ar užtvankų griūtį, o tai turės įtakos aplinkinių gyventojų saugumui. Siekiant išvengti nelaimių, minkštas molis turi būti stabilizuotas [44]. Atlikti keli grunto tyrimai, susiję su cementu arba kalkėmis, stabilizuotu gruntu. Mokslininkai ištyrė stabilizuoto grunto praktiškumą su cemento rišikliu, kuriame yra įvairių medžiagų, tokių kaip PP pluoštas, cukranendrių išspaudų pelenai, FA ar kitos pramoninės atliekos, ir nustatė, kad jų įdėjus į cemento rišiklį, gali žymiai padidėti cementuoto stabilizuoto grunto stiprumas [42].

Kinijoje vis dažniau naudojami iš anksto išgręžti surenkamieji poliai su padidintu pagrindu (PPEB poliai) [45]. Straipsnio [45] autorių tikslas nustatyti AAP polių molyje laikomąją galią ir apkrovos perdavimo mechanizmą. Šanchajuje atlikti trys AAP polių pilnos apimties galutinės statinės apkrovos bandymai. Prie polių pritvirtinti virpantys vielos įtempimo matuokliai, kad montavimo bandymų metu būtų galima tiksliai išmatuoti polio ašies įtempimus išilgai polio. Bandymų rezultatai atskleidė, kad apie 75 proc. polių laikomosios galios užtikrino polio ašies įtempiai, kai buvo taikoma didžiausia apkrova, o didžioji įtempimų dalis išilgai apatinės bandomo polio dalies. Po bandymų gruntas aplink bandomuosius buvo iškastas, siekiant įvertinti AAP polių patikimumą. Įvertintas įprastinių α ir β metodų taikymas, vertinant polio ašies įtempimus. Palyginti su gręžtiniais poliais, AAP polių vietinis ašinis atsparumas apatiniuose standžiuose moliuose buvo žymiai didesnis [45].

Tyrime [46] atlikti mokslininkų polių įrengimo bandymai šlapiame grunte. Pietryčių Kinijoje šlapius, silpnus molingus gruntu stiprina cementuoto grunto kolonomis. Straipsnyje [46] nustatyta, kad cementuoto grunto mišinys daug silpnesnis už betoną. Siūloma naudoti kombinuotą polinį įrengimą, kur į išgręžtą angą pilamas vanduo ir cementas sumaišomas su gruntu. Tada į šią masę įsodinamas iš anksto pagamintas polis. Bandymams [46] atlikti sumontuoti du PHC poliai su cementuotu molio sluoksniu. Cementuotas grunto polio skersmuo 750 mm, o PHC poliai įkišti į cementuotą grunto ertmę, kad padidėtų konstrukcijos stiprumas. Vienam bandymui atlikti buvo įdėtas PHC 600 mm polis, o kitam – 500 (650) mm PHC mazgelinis polis (žr. 17 pav.). 600 mm PHC vamzdžių polių sienelių storis 130 mm, o polių ašies betono stiprumas 100 MPa po 28 dienų kietėjimo. PHC vamzdžių polių ilgis 31 m. Tyrime [46] 500 mm PHC mazgelinio polio sienelių storis 125 mm, o polių ašies betono stiprumas 100 MPa pasiektas po 28 dienų kietėjimo. PHC mazgelinio polio gylis 15 m. Abejuose PHC cementuoto grunto poliuose sumontuoti įtempimo matuokliai, kurie išdėstyti išilgai PHC polių ašies. Įtempių matuokliai pritvirtinti prie PHC polio plieninio armatūros tinklo, o kiekvienoje vietoje įrengti trys įtempių matuokliai. Įtempių matuokliai įrengti 2 m, 15 m, 22,5 m, 32 m ir 43 m nuo polio viršaus. Bandymų [46] rezultatai parodė, kad neribotas cementuoto grunto, kuriame yra didelis vandens kiekis, gniuždomasis stipris padidėjo didinant cemento kiekį ir kietėjimo trukmę. PHC cementuoto grunto sąsajos modelio didžiausia paviršiaus trintis turėjo tiesinį ryšį su neapibrėžtu cementuoto grunto gniuždymo stiprumu, o didžiausia paviršiaus trinties vertė maždaug 1,1286 karto didesnė už cementuoto grunto stiprumo vertę; didžiausia PHC cementuoto grunto sąsajos modelio paviršiaus trintis 1,71 karto didesnė už cementuoto grunto sanglaudą.



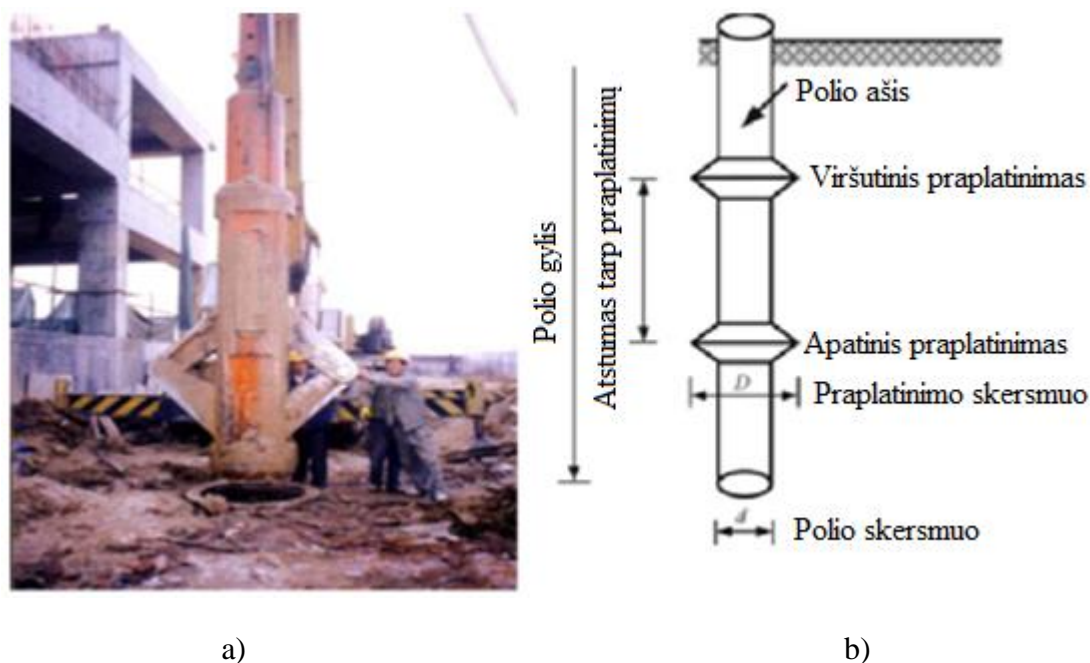
17 pav. PHC mazgelinio polio schema [46]

Išmatuota [46] didžiausia cementuotos grunto ir grunto sąsajos paviršiaus trintis 1,16–1,73 karto didesnė už didžiausią paviršiaus trintį α , apskaičiuotą taikant šį metodą grunto sluoksniuose nuo 2 m iki 32 m. α vertės apribojimas turėtų keistis, atsižvelgiant į grunto sluoksnio šlyties stiprumą ir apribojimą, kuris $\alpha \leq 1,0$, gali pervertinti polių, įterptų į molio gruntą, kurios šlyties stipris didesnis nei 100 kPa, polio ašies laikomąją galią. Išmatuota [46] didžiausia normalizuota skirtingų grunto sluoksnių paviršiaus trintis didesnė už siūlomas vertes įprastiems neištumiamiesiems poliams. Normalizuota paviršiaus trintis buvo 0,35–0,60 molio sluoksniuose, kurių polio galiuko atsparumas 1–3 MPa. Išmatuota didžiausia cementuotos grunto ir grunto sąsajos paviršiaus trintis daug didesnė nei galutinė paviršiaus trintis α apskaičiuota taikant metodą arba pasiūlytą CPT pagrįstu metodu grunto sluoksnyje, kurio šlyties stipris yra mažesnis nei 50 kPa. PHC polių įrengimas yra rekomenduojamas minkštuose molio sluoksniuose, kurių šlyties stipris yra mažesnis nei 50 kPa [46].

Straipsnyje [47] pateikiamas lauko bandymas su iš anksto išgręžta skylė užpildyta skiediniu, į kurią įterptas (PGP) polis. Kombinuotas polis įterptas į gilų minkštą molį. Tyrimo metu aiškinamasi grunto aplink polį laikomoji galia. Bandymų rezultatai rodo, kad 900 mm skersmens PGP poliai su 1200 mm

skersmens padidintu pagrindu laikomoji galia yra identiška 1000 mm skersmens gręžtiniam poliui, o galutinė PGP polio paviršiaus trintis yra maždaug 1,28 karto didesnė už galutinę gręžtinio polio paviršiaus trintį. Palyginus PGP polį ir gręžtinį polį teigiama, kad PGP polis yra ekonomiškėsnis [47].

Panašios konstrukcijos polis aprašomas ir straipsnyje [48]. Autoriai pastebi, kad polio laikomajai galiai didelę įtaką turi polių plėtimosi ertmė, grunto tankinimas, polių ertmių perfuzija ir atšakų integravimas į polį (žr. 18 pav.).

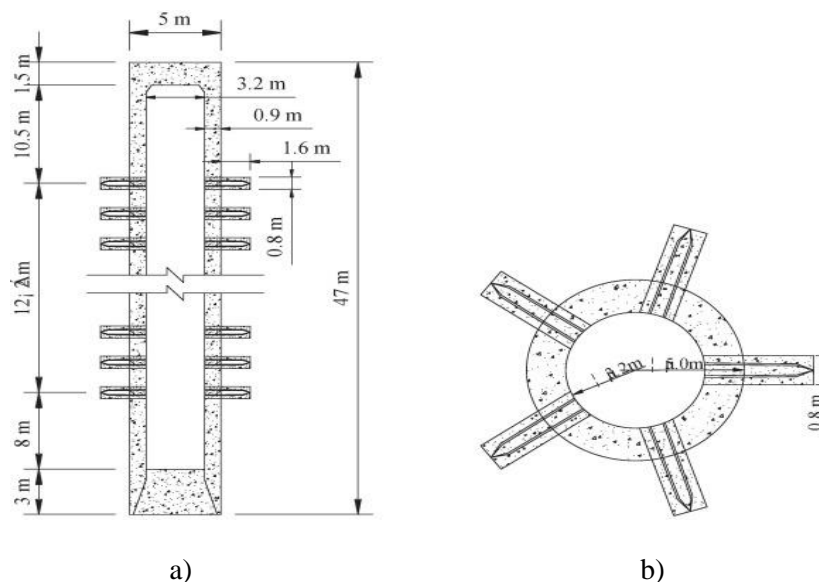


18 pav. a) hidraulinė gręžimo mašina, b) polio su spausdomis atšakomis schema [48]

Suspausti atšakų poliai yra žymiai efektyvesni nei įprasti apskriti poliai. Atlikta daug teorinių analizių, laboratorinių ir institutų eksperimentų, siekiant iširti polių ašių elgseną ir apskaičiuoti suspaustų polių su atšakomis laikomąją galią. Tirti [48] suspausti 0,7 m skersmens ir 32 m ilgio poliai su atšakomis, o kiekvienas polis turi dvi 1,4 m skersmens atšakas. Poliai pagaminti iš C40 klasės betono. Ištyrus bandymų vietovės gruntą, nustatyta, kad vyrauja molingas gruntas, su dumblo ir žvyro sluoksniu. Norint iširti bandomųjų polių ašių elgseną ir ašinio įtempio pasiskirstymą, į kiekvieną bandomąjį polį įmontuojami 24 virpantys įtempius matuojantys prietaisai. Jie įmontuojami tose vietose, kurios atitinka skirtingus grunto sluoksnius. Atlikus praktinius bandymus paaiškėjo, kad trijų lauko bandymų polių apkrovos nusėdimo kreivės neturi akivaizdžių pokyčių taškų ir pasižymi kreivės lėtu pokyčiu. Didžiausia bandomųjų polių laikomoji galia yra atitinkamai 7409 kN, 7379 kN ir 7395 kN, o vidutinė didžiausia laikomoji galia yra 7394 kN. Praktinis bandymas patvirtina, kad suspaustas polis su atšakomis yra perspektyvus gilus pamatas, skirtas stipriai apkrautoms konstrukcijoms laikyti. Eksperimentinės ašies jėgos perdavimo kreivės yra labai panašios ir rodo reikšmingus kritimo žingsnius atšakų vietose, monotoniškai mažinant ašies jėgas iki polio galo. Atšaka dalijasi didele perduotos apkrovos dalimi, o tai labai pagerina suspausto polio su atšakomis laikomąją galią, palyginti su cilindrinio poliui [48].

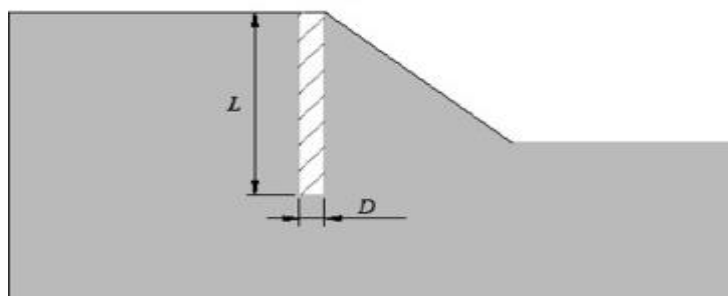
Kinijos mokslininkai [49] tyrė naujus polius su atšakomis, kuriuose kartu su poliui apkrovas laiko gelžbetoninės atšakos. Tyrimo [49] atšakų skerspjūvis yra stačiakampis arba kryžminis, o atšakų skaičius ir geometrija priklauso nuo jų dizaino (žr. 19 pav.). Pirmiausia jie įstumiami į gruntą aplink polį per iš anksto išgręžtas skylės ant polio sienų, naudojant specialią įrangą. Tada atšakų galai

pritvirtinami prie polio sienelių, kad susidarytų polis su atšakomis. Šis naujo tipo polis su atšakomis tinka įrengiant poliūs minkštame grunte. Nuo grunto viršaus iki 22,40 m gylio smulkus smėlis nuo 22,40 m iki 41,60 m gylyje - minkštas molis, o didesniame nei 41,60 m gylyje - molio ir durpių mišinys. Ištyrus vertikalią polių laikomąją galią, atlikus skaitinius tyrimus ir praktinius apkrovos bandymus skaičiavimai ir eksperimentiniai rezultatai parodė, kad vertikaliai apkrauto polio su atšakomis (žr. 19 pav.) laikomoji galia gali būti daugiau kaip 63 procentais didesnė nei įprasto polio be atšakų [49].



19 pav. Polio su atšakomis a ir b scheminiai vaizdai: a) vaizdas iš priekio; b) plano vaizdas [49]

Straipsnyje [50] atliktas tyrimas su didelio skersmens poliū, įterptu į molio šlaitą (žr. 20 pav.). Tyrime [50] vertinama polių veikianti šoninė apkrova, atsižvelgiant į polio dydį ir šlaito nuolydį. Polių įterpus šlaite, polio laikomoji galia gali būti žymiai sumažinta, priklausomai nuo polio padėties šlaito atžvilgiu.

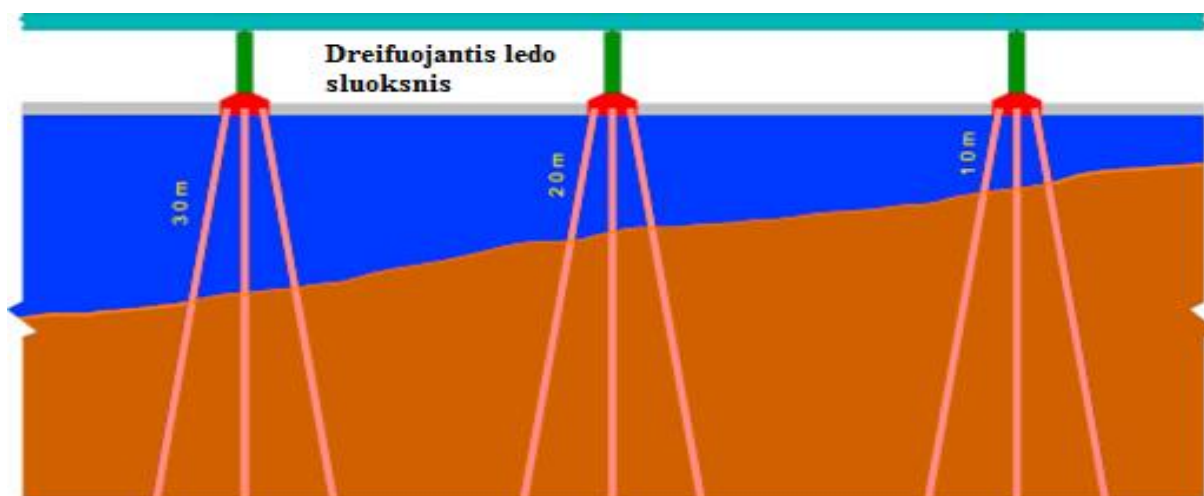


20 pav. Polinio pamato įrengimas šlaite: D – skersmuo, m; L – ilgis, m [50]

Tyrime [50] panaudojant skaitinio skaičiavimo FLAC.3D programą, imituojamasis didelio skersmens (daugiau kaip 2,5 m) polio lenkimas, kai polis įterptas šlaite. Tyrimams naudojami 2 – 6 m skersmens poliai. Šlaito nuolydis yra 0,20 ir 45 laipsniai. Atlikus tyrimus [50] pastebėta, kad esant tai pačiai šoninei apkrovai, trumpas polis yra labiau paveikiamas šoninės apkrovos. Trumpas polis, kurio skersmuo 4 m, o ilgis 12 m, pasislinko 2 kartus daugiau lyginant su poliū, kurio skersmuo 4 m ir ilgis 20 m. Didėjant polių ilgiui, polis palaipsniui artėja prie ribinio lenkimo momento ribos, kai polio korpusas deformuojasi, o maksimalus polio korpuso lenkimo momentas palaipsniui didėja [50].

1.3.3. Poliai įterpti į gruntus vandenyje

Poliniai pamatai dažniausiai pasirenkami statant jūros tiltus. Pamatai perkelia apkrovą iš viršutinės tilto dalies į jūros dugną [51]. Galima sakyti, kad polis yra pagrindinė konstrukcija, susijusi su jūros kirtimo tilto konstrukciniu saugumu. Šie pamatai turi atlaikyti bangų apkrovas. Taip pat reikia įvertinti ilgalaikį bangų poveikį, kuris pasireiškia polio nuovargiu, ir įvertinti jūros vandens eroziją [52]. Stichinių nelaimių sukeltos ekstremalios bangos daro didelę žalą arba apskritai sunaikina daugelį jūrą kertančių tiltų, o tai lemia didelius ekonominius nuostolius ir aukas. Jūroje esančių tiltų polių grupės dažnai pasižymi šiomis struktūrinėmis formomis [51]. Prognozuojama, kad didžiausias jūrą kertančio tilto vandens gylis ateityje gali viršyti 100 m [53]. Siūloma įrengti pasvirusių polių grupes, kurių atsparumas skersinėms apkrovoms yra ženkliai didesnis už vertikalių polių (žr. 21 pav.) [54].

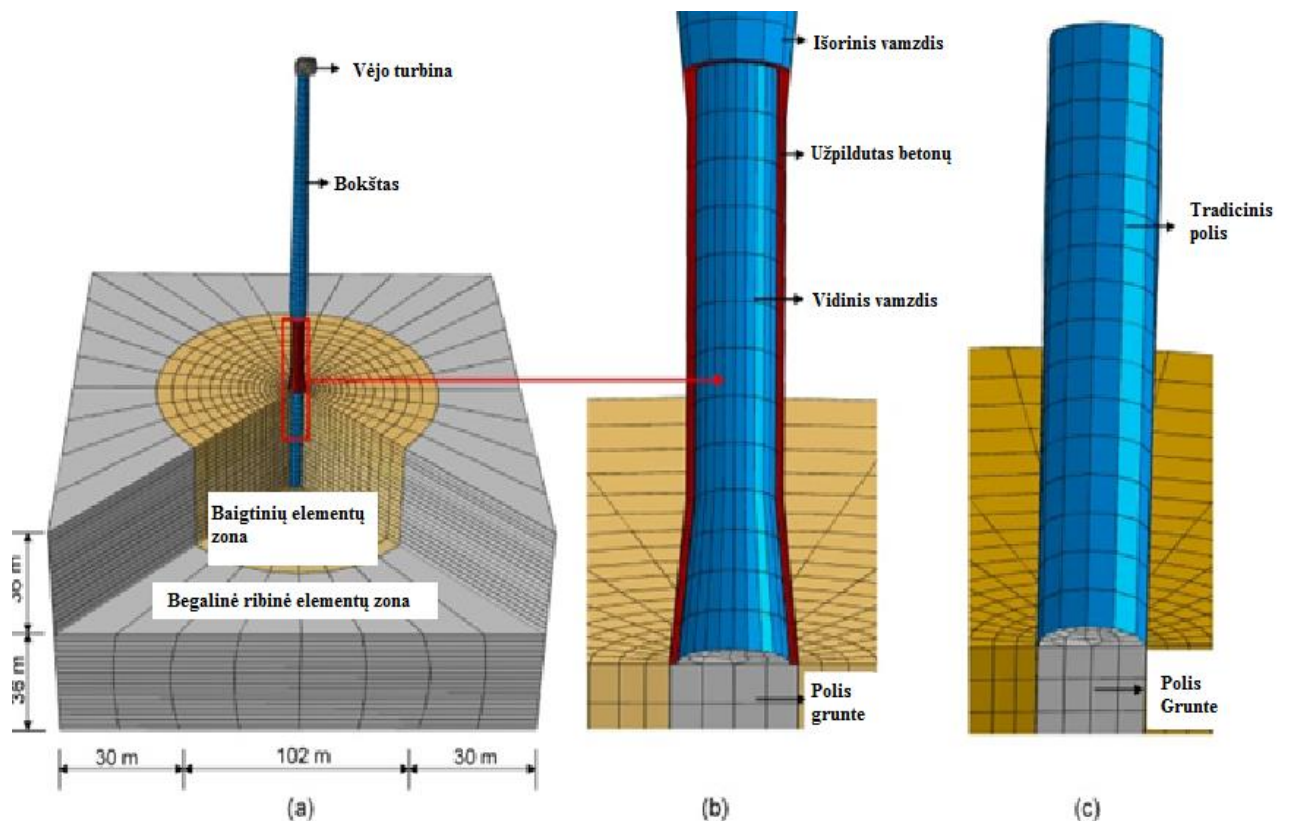


21 pav. Tiltų konfigūracijos su 10, 20 ir 30 m vandens gyliu po ledo apkrovomis [54]

Polio išlindusi iš grunto dalis yra didelė, o jo forma – įvairi. Yra įvairaus skerspjūvio polių. Dažniausios formos yra apvalios, kvadratinės ir apvalios bei kvadratinės kombinacijos. Be to, kai kurie poliai viršutiniame paviršiuje turi kūginius šlaitus, kad sumažintų plūduriuojančių objektų smūgio jėgas jūroje. Siekiant sumažinti plūduriuojančių ledų poveikį poliams, Kanadoje polių viršutinė dalis - kūginė. Honkongo-Zhuhai-Makao tilto polių viršutinės dalys taip pat kūginės [51]. Sukurtas analitinis modelis, skirtas prognozuoti polių grupės pamato maksimalias bangų jėgas su kvadratinio polių viršumi, naudojant Morrisono lygtį ir ribinių elementų metodą. Taip pat pagal visuotinės traukos panašumo kriterijų suprojektuoti ir pagaminti aštuoni polių grupių pamatų hidrodinaminiai modeliai su skirtingais polių atstumais ir polių šlaitais, kurių mastelis yra 1:40. Ant viršutinio modelio paviršiaus sumontuota pasvirusi plokštė, imituojanti kūginį nuolydį ant viršutinio polių dangtelio paviršiaus. Eksperimentai atlikti 40 m ilgio, 8 m pločio ir 1 m aukščio bangose. Gauti rezultatai parodė, kad didesni atstumai tarp polių sumažina bangų jėgas, veikiančias pamatą. Kai banga veikia tik polių grupę, polių atstumų pokytis turi didelę įtaką pamatą veikiančioms bangų jėgoms, tačiau kai vandens lygis yra artimas arba aukštesnis už apatinį polių sujungimo aukštį, tarpų tarp polių poveikis labai susilpnėja. Kol polių viršutinė dalis dalyvauja bangų ir pamato sąveikoje, bangų jėgos ant polių paviršiaus sudaro palyginti didelę bangų jėgų dalį ant pamato. Polių nuolydžio padidėjimas sumažina bangų jėgos įtaką poliui, tačiau aukštesnis vandens lygis susilpnina polių nuolydžio poveikį. Eksperimente [51] bangos yra vienakryptės ir pastovaus ciklo, o tikrovėje bangos

yra daugiakryptės ir nepastovaus ciklo. Todėl daugiakryptę netaisyklingą bangą verta sistemingai iširti, kad būtų pasiekti labiau apibendrinami rezultatai, ir prasminga palyginti reguliarių bangų rezultatus su netaisyklingų bangų rezultatais [51].

Straipsnyje [55] pristatomas naujos formos polis skirtas vėjo jėgainei jūroje. Polio baigtinių elementų modelis sukurtas naudojant programinę įrangą ABAQUS (žr. 22 pav.). Paprastai polio skersmenys svyruoja nuo 4 iki 6 m, o santykinis liaunis (santykis tarp įterpto polio ilgio į gruntą ir skersmens yra nuo 4 iki 8). Atlikus tyrimus ir palyginus naują polio modelį su tradiciniu pastebėta, kad polio skersmens pokytis tiesiogiai veikia horizontalią apkrovą ir lenkimo momento profilius išilgai polio, ir jie visi turi mažėjimo tendenciją mažėjant polio skersmeniui. Grunto linijoje, kai polio skersmuo sumažėja iki 0,7, horizontali apkrova ir lenkimo momentas sumažėja atitinkamai beveik 41,8 ir 19,5 proc. Tyrimu nustatyta, kad polio skersmens sumažinimas sumažina bendrą polio išorinę apkrovą.



22 pav. Polio 3D baigtinių elementų modelis: a) visas modelis; b) naujos konstrukcijos polis; c) tradicinis cilindrinis polis [55]

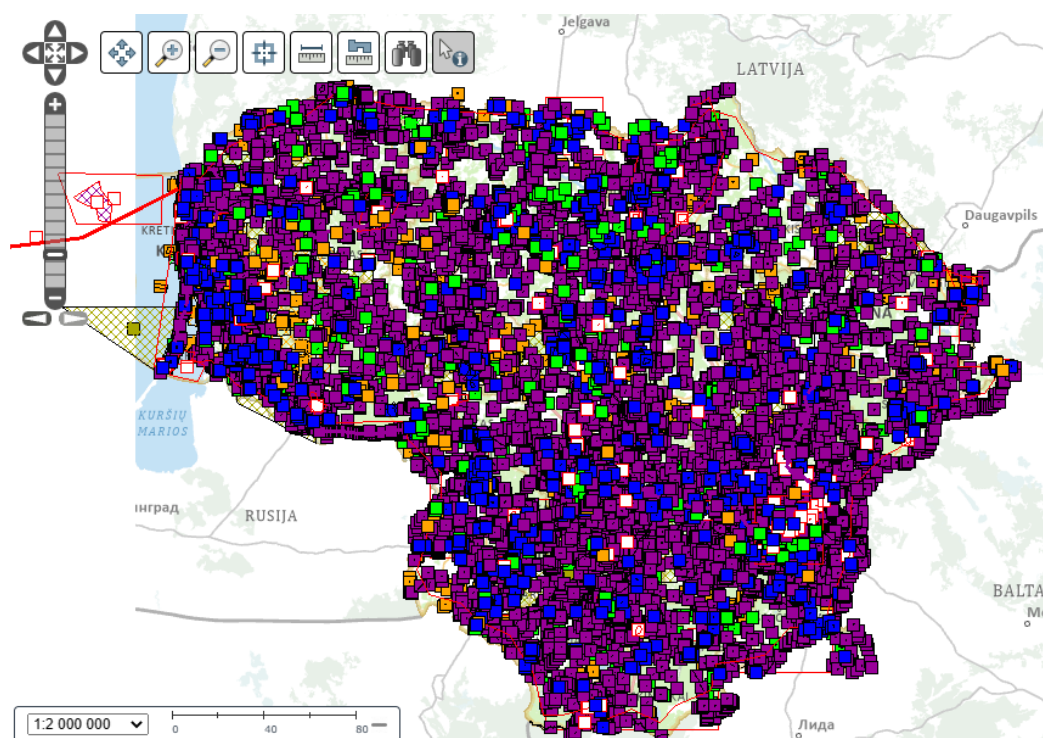
Palyginus šių polių medžiagų savikainas pastebėta, kad naujos konstrukcijos polis yra nuo 13,6 iki 20,7 proc. ekonomiškėnis [55].

2. Polio laikomosios galios skaičiavimo metodika

Projektuojant pagrindus ir pamatus, dažniausiai neįmanoma parinkti pagrindų vienokio ar kitokio grunto su pageidaujamosiomis savybėmis, kaip pvz. parenkamas tam tikros klasės betonas ar plienas, o tenka pamatų, kartais ir pastatų, konstrukcinius sprendimus derinti prie statybos vietoje slūgsančių gruntų savybių [56].

2.1. Geologinių tyrimų duomenys

Geologinių tyrimų duomenys kaupiami Lietuvos geologijos tarnybos duomenų bazėje (žr. 23 pav.).



23 pav. Geologinių tyrimų duomenų žemėlapis [57]

Darbe naudojamų geologinių tyrimų, gautų iš Lietuvos geologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos, identifikavimo kodai: 24403-2021; 26799-2021; 15892-2020; 23920-2021; 38692-2022; 44906-2023; 42769-2023; 41368-2022; 33936-2022; 45705-2023; 33677-2022; 30805-2021; 43460-2023; 43461-2023; 33855-2022; 44432-2023; 34927-2022; 39426-2022; 40142-2022; 45329-2023; 39295-2022; 44500-2023; 44644-2023; 45275-2023; 35034-2022; 43299-2023; 44922-2023; 43807-2023; 45697-2023 [57].

2.2. Spraustinių polių projektavimas

Projektuojant polinius pamatus, parenkama polių konstrukcija, matmenys, polių gylis, atsižvelgiant į pamatą veikiančias apkrovas pagrindą, grunto sluoksniavimąsi ir stiprumą, kad būtų užtikrintas pastato pastovumas ir tinkamos eksploataavimo sąlygos [58].

Poliniai pamatai skaičiuojami ribinių būvių metodu pagal laikomosios galios ir deformacijų ribinius būvius. Šių pamatų laikomoji galia nustatoma pagal dvi sąlygas – pagrindo gruntų ir polių medžiagos stiprumą. Projektuojama pagal vieno iš jų mažesnę laikomąją galią [58].

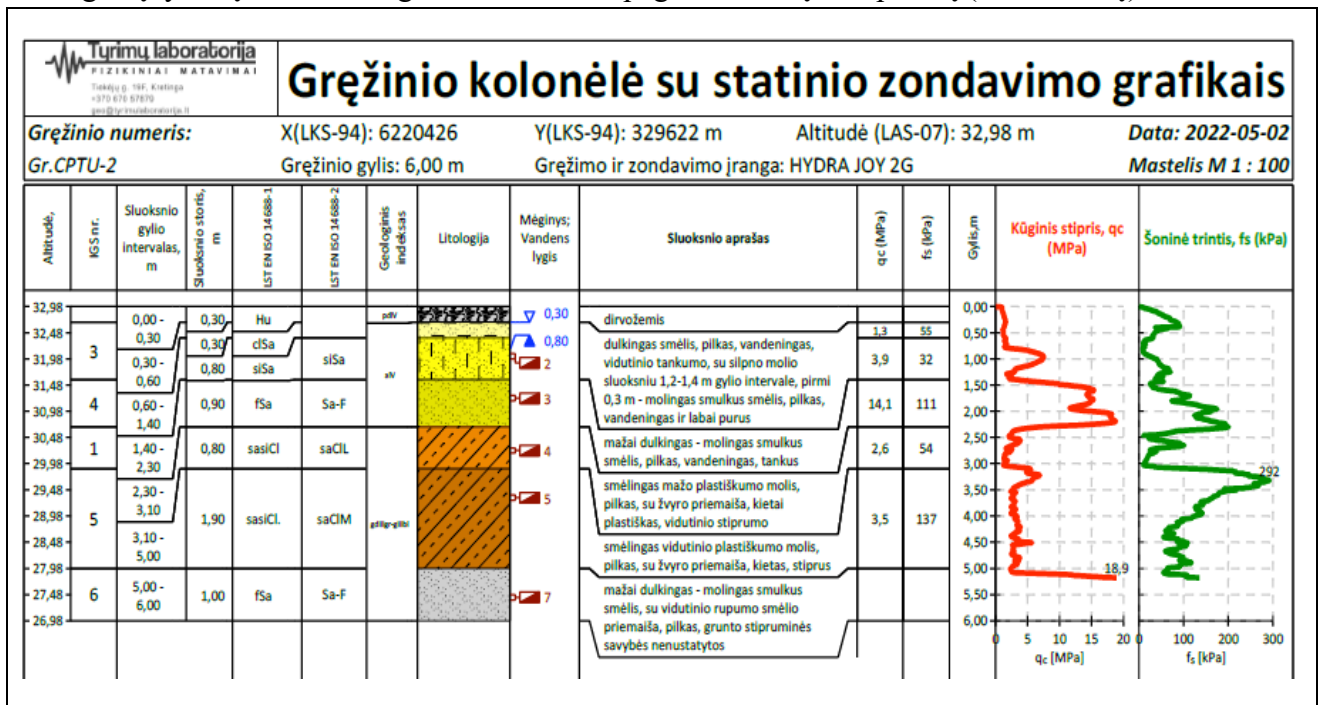
2.2.1. Polių gylis parinkimas

Polių gylis nustatomas pagal grunto savybes. Mažiausias polio gylis turi būti 3 – 4 m žemiau pamatinės sijos apačios. Norint kuo geriau panaudoti polių medžiagos stiprumą, reikia juos įgilinti nemažiau kaip 0,5 – 1 m į giliau slūgsančio stipraus grunto sluoksnį [58].

Poliniams pamatams tyrimų gylis rekomenduojamas ne mažesnis kaip trys polio pado skersmenys arba ne mažesnis kaip mažesnę polių grupę apimančio stačiakampio kraštinė (polių pado gylyje), tačiau visais atvejais – žemiau polio pado ne mažiau kaip 5 m (žr. 3 lentelę) [59].

Polių gylį geriausia parinkti pagal gruntų statinio zondavimo duomenis, remiantis grunto kūginio stiprumo q_c ir šoninės trinties f_s grafiko duomenimis (žr. 24 pav.) bei polių veikiančios apkrovos dydžio. Gruntų tipas parenkamas pagal 9-os lentelės duomenis, šoninio paviršiaus trinties ir gniuždomojo stiprio santykį.

Geologinių tyrimų ataskaitose gruntai skirstomi pagal tankumą ir stiprumą (žr. 4 lentelę).



24 pav. Statinio zondavimo duomenys [60]

3 lentelė. Lietuvos teritorijoje naudojama gruntų klasifikacija pagal statinio įsiskverbimo bandymų rodiklių duomenis [59]

f_s / q_c , santykis proc.	Gruntas	q_c / f_s
<1,0	Smėlis	>100
1,0–1,4	Priesmėlis	100–71
1,4–4,5	Priemolis	71–22
>4,5	Molis	<22

čia f_s – grunto trinties stipris, kPa, nustatytas įsiskverbimo į gruntą tyrimo metu.

4 lentelė. Gruntų skirstymas pagal tankumą ir stiprumą [59]

Rupus gruntas		Smulkus gruntas	
Grunto pavadinimas pagal tankumą ir stiprumą	kūginis stipris (q_c), MN/m ²	Grunto pavadinimas pagal stiprumą	kūginis stipris (q_c), MN/m ²
Labai purus (labai silpnas)	0,0-2,5	Labai silpnas	< 0,5
Purus (silpnas)	2,5-5,0	Silpnas	0,5 – 1,0
Vidutinio tankumo (vidutinio stiprumo)	5,0-10,0	Vidutinio stiprumo	1,0 – 2,5
Tankus (stiprus)	10,0-20,0	Stiprus	2,5 – 4,0
Labai tankus (labai stiprus)	>20,0	Labai stiprus	> 4,0

2.2.2. Polio pagrindo laikomoji galia

Nustačius polių gylį ir parinkus jų skerspjūvį, skaičiuojama polio pagrindo ribinė laikomoji galia. Polio pado ribinė laikomoji galia apskaičiuojama analitiniais ir empiriniais metodais arba nustatoma eksperimentiniais tyrimais [61]. Šiame darbe polių pagrindo ribinė laikomoji galia skaičiuojama empiriniu metodu – pagal gruntų statinio zondavimo duomenis. Statinio zondavimo metu nustatoma ribinė laikomoji galia $R_{c;m}$, kuriai pritaikius dalinius koeficientus γ_R (γ_b , γ_s , γ_t), kurie pagal LST EN 1997 – 1:2003, priklauso nuo padarytų bandymų skaičiaus, randama projektinė laikomoji galia R_d [58]:

$$R_d = [R_{c;m}] / \gamma_t; \quad (1)$$

čia γ_t – dalinis koeficientas, priklausantis nuo polio įrengimo būdo.

Skaičiuojama polio pagrindo laikomoji galia, bet ne paties polio, kaip statinio elemento laikančioji galia, pateikta seka [58]:

apskaičiuojama polio laikomoji galia $R_{c;cal}$;

apskaičiuojama laikomosios galios charakteristinė vertė $R_{c;k}$;

apskaičiuojama laikomosios galios projektinė vertė $R_{c;d}$.

Pavienio polio laikomoji galia apskaičiuojama:

$$R_c = R_b + R_s; \quad (2)$$

čia R_b – pagrindo po polio padu laikomoji galia, N; R_s – polio šonų laikomoji galia, N.

Pagrindo po polio padu laikomoji galia apskaičiuojama:

$$R_b = \alpha_b \cdot q_c \cdot A_b; \quad (3)$$

čia q_c – grunto kūginis stipris, MPa; α_b – empirinis koreliacijos koeficientas tarp q_c ir pagrindo stiprumo; A_b – polio pado plotas, m², šiame darbe skaičiuojami cilindro formos poliai, tad $A_b = \pi R^2$, R – polio pado spindulys, m.

Polio šonų laikomoji galia apskaičiuojama:

$$R_s = \sum (A_{si} \cdot q_{ci} \cdot \alpha_{si}) \quad (4)$$

čia A_{si} – i -ojo grunto sluoksnio polio šonų paviršiaus plotas, m^2 , cilindrinų polių $A_{si} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot L$; L – i -ojo sluoksnio storis, kuriame įterptas polis, m; q_{ci} – i -ojo grunto kūginis stipris, MPa; α_{si} – empirinis koeficientas koreliacijos tarp q_c ir grunto trinties stiprio, priklausomai nuo grunto tipo.

Koeficientų α_b ir α_{si} rekomenduojamos reikšmės pateiktos 5 lentelėje.

5 lentelė. Empyrinių koeficientų α_b ir α_{si} bei laikomųjų galių rekomenduojamos reikšmės [58]

Grunto tipas	Kūginis stipris q_c , MPa	Koreliacijos koeficientas		$\alpha_b \cdot q_c$	$q_{ci} \cdot \alpha_{si}$
		α_b	α_{si}		
Moreninis molis	1 - 5	1,0	0,05	q_c	$0,05 q_{ci}$
	> 5	0,8	–	$0,8 q_c$	200 kPa
Juostuotasis molis	0 - 3	1,0	0,035	q_c	$0,035 q_{ci}$
	> 3	1,0	–	q_c	150 kPa
Dulkis	0 - 5	0,6	0,025	$0,6 q_c$	$0,025 q_{ci}$
	> 5	0,6	–	$0,6 q_c$	150 kPa
Smėlis	0 - 10	0,5	0,01	$0,5 q_c$	$0,01 q_{ci}$
	10 - 20	0,5	$110 + 4(q_c - 10)$	$0,5 q_c$	$110 + 4(q_c - 10)$
	> 20	0,5	–	$0,5 q_c$	170 kPa

Skaičiuojama polio laikomoji galia [62]:

$$R_{c,cal} = R_b / \gamma_{Rb} + R_s / \gamma_{Rs}; \quad (5)$$

čia γ_{Rb} ir γ_{Rs} – modeliavimo koeficientai priklausantys nuo polių įrengimo būdo. Šiame darbe bus tiriami spraustiniai gręžtiniai poliai, todėl $\gamma_{Rb} = 1,1$ ir $\gamma_{Rs} = 1,35$ [58].

Charakteristinė polio pagrindo laikomosios galios vertė apskaičiuojama [61]:

$$R_{c;k} = \min\{(R_{c;m})_{mean} / \zeta_1; (R_{c;m})_{min} / \zeta_2\}; \quad (6)$$

čia $(R_{c;m})_{mean}$ – vidutinė polio pagrindo laikomosios galios vertė, N; $(R_{c;m})_{min}$ – mažiausia laikomosios galios vertė, N; ζ_1 ir ζ_2 – koreliacijos koeficientai, kurių vertės priklauso nuo to kiek polių išbandyta statinėmis apkrovomis.

Šiame darbe laikyta, kad $\zeta_1 = 1$ ir $\zeta_2 = 1$ (skaitinės vertės parinktos pagal [58]).

Polio projektinė laikomoji galia apskaičiuojama:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t; \quad (7)$$

čia $\gamma_t = 1$ – koeficientas, priklausantis nuo polio įrengimo būdo [58].

Norint, kad polinis pamatas saugiai atlaikytų skaičiuotinas gniuždomąsias apkrovas, visais saugos ribinio būvio apkrovų ir jų derinių atvejais, turi būti patenkinta toliau pateikta nelygybė [63]:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d}; \quad (8)$$

čia $F_{c;d}$ – polio ar jų grupės apkrovos atstojamosios ašinės gniuždančios jėgos skaičiuotina vertė (N), įskaitant ir pačio polio ar jų grupės svorio jėga (N); $R_{c;d}$ – skaičiuotina R_c vertė (N); R_c – gniuždomo polio pagrindo laikomoji galia (N).

3. Tiriamoji dalis

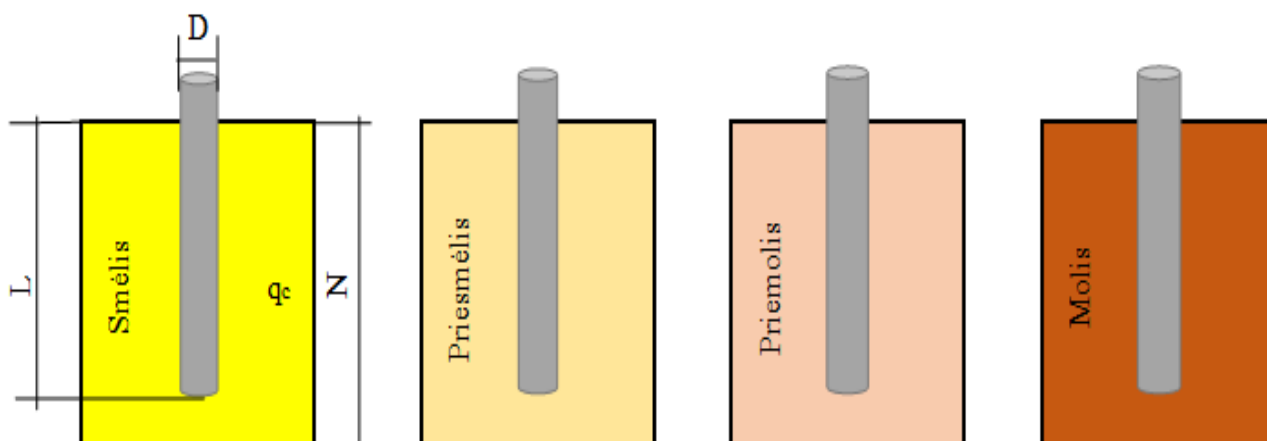
Tyrimo priimtose sąlygose:

- Polio skerspjūvis apvalus;
- Gruntas, į kurį spraudžiamas polis, yra vienalytis;
- Visas polis išspraudžiamas į gruntą. T. y. virš grunto esanti polio dalis lygi 0 m;
- Nevertinamas polio savasis svoris;
- Nevertinama gruntinio vandens įtaka grunto gniuždomajam stipriui;

Šiame tyrime naudojami 7-ų skersmenų poliai: 0,30 m; 0,35 m, 0,40 m, 0,45 m, 0,50 m, 0,55 m ir 0,60 m.

3.1. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo vienalyčio grunto tipo

Tyrimas atliekamas spraudžiant apvalų polį į skirtingo tipo su skirtingais gniuždomaisiais stipriais gruntą. Tyrimo skaičiuojamosios schemos pateiktos 25 paveiksle. Skaičiavimo metu naudojamos (1) – (8) formulės, pateiktos antrame skyriuje.



25 pav. Polis įspraustas į skirtingų tipų gruntą

Poliai spraudžiami gilyn ir kas 1 m, kol pasiekiamas maksimalus 9 m gylis, apskaičiuojama jų ribinė laikomoji galia. Siekiant išryškinti gruntui būdingas savybes, tiriami vienalyčiai gruntai.

3.1.1. Polio spraudimas į smėlį

Polis spraudžiamas į skirtingo gniuždomojo stiprio smėlį (žr. 6 lentelė).

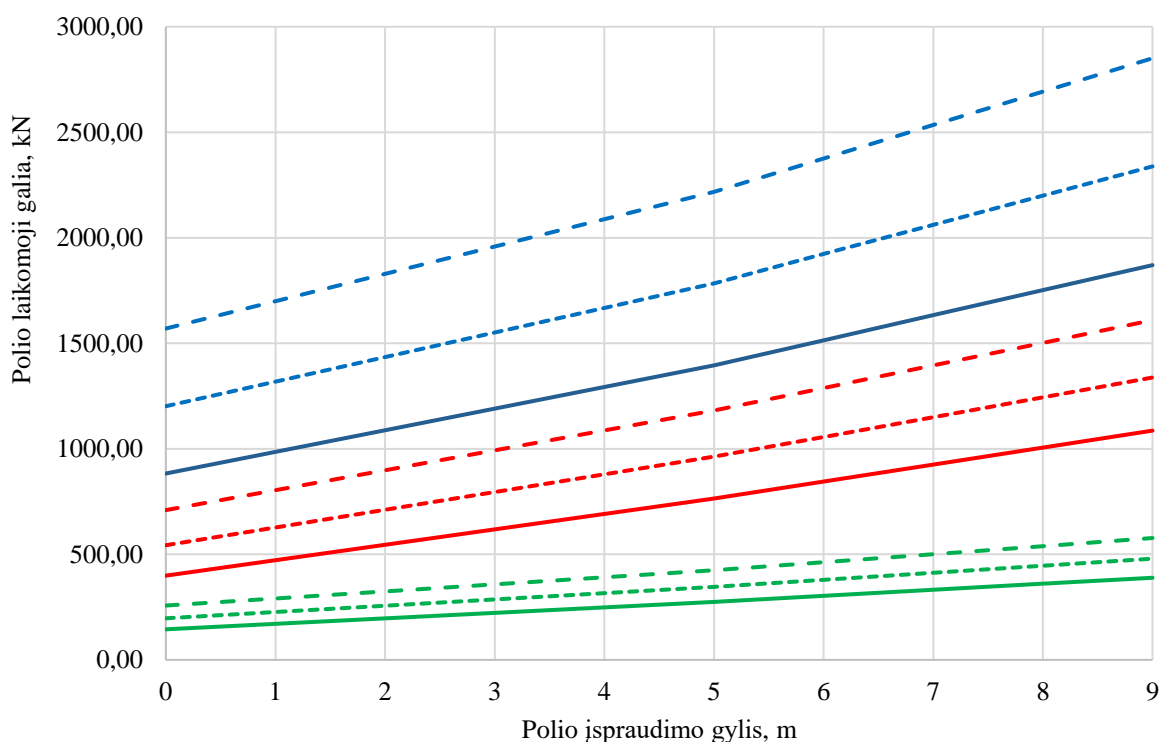
6 lentelė. Skirtingo stiprio smėlis

Smėlio mechaninė savybė	Smėlis (1)	Smėlis (2)	Smėlis (3)
Gniuždomasis stipris q_c , MPa	4,10	11,30	25,00

Skirtingo skersmens polio laikomosios galios priklausomybė nuo skirtingo stiprio smėlio pateikta 26 pav. Pastebėta, kad grafikas (žr. 26 pav.) susideda iš 2 sričių, 1-oji sritis polio išspraudimo gylio

ašyje (0 atskaitos taškas), kuriame matomos polio pado laikomosios galios vertės, terpiant skirtingo skersmens polių į skirtingų stiprių smėlį. 2-oji sritis, tai polio šoninio paviršiaus laikomoji galia, kuri proporcingai didėja didėjant polio gyliui ir ši priklausomybė yra tiesinė.

Grafike 26 pastebėta, kad kuo smėlio stipris didesnis, tuo jo laikomoji galia didėja labiau, lyginant su poliui, įterptu į mažesnio stiprio gruntą. Taip pat pastebėta, kad terpiant skirtingo skersmens polių į vienodo gniuždomojo stiprio smėlį, polio laikomosios galios kitimas skiriasi t. y. skirtingo skersmens polių tiesės nėra lygiagrečios, didesnio skersmens polio laikomosios galios tiesės kampas su horizontale yra didesnis nei mažesnio skersmens polio, įterptu į to paties gniuždomojo stiprio gruntą. Pvz. Polio 0,3 m skersmens, įterptu į smėlį, kurio gniuždomasis stipris yra 4,1 MPa gylyje 0 m, laikomoji galia yra 131,67 MPa. Polio 0,35 m skersmens, įterptu į minėto stiprio gruntą gylyje 0 m, laikomoji galia yra 179,21 MPa. Laikomosios galios skirtumas tarp minėtų skersmenų polių yra 47,55 MPa. Minėtų skersmenų poliams, pasiekus 9 m gylį, įterptu į to paties gniuždomojo stiprio smėlį tarp jų laikomųjų galių skirtumas yra 90,46 MPa. Matoma, kad polio įterpimo pradžioje ir pasiekus 9 m gylį laikomųjų galių skirtumai, lyginant 0,3 m ir 0,35 m skersmens polių, skiriasi t. y. įterpimo pradžioje (0 m gylyje) polių laikomųjų galių skirtumas mažesnis, nei pasiekus 9 m gylį. Laikomųjų galių skirtumų skirtumas, lyginant 0,3 m ir 0,35 m skersmens polių terpimo pradžią (0 m gylyje) ir pabaigoje (9 m gylyje), yra apie 2 kartus.



26 pav. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo polio skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m) ir polio įterpimo skirtinguose smėliuose gylio, kai q_c : ■ 4,10 MPa; ■ 11,30 MPa; ■ 25,00 MPa

Skirtingo skersmens polių laikomųjų galių skirtumų duomenys pateikti 7 lentelėje.

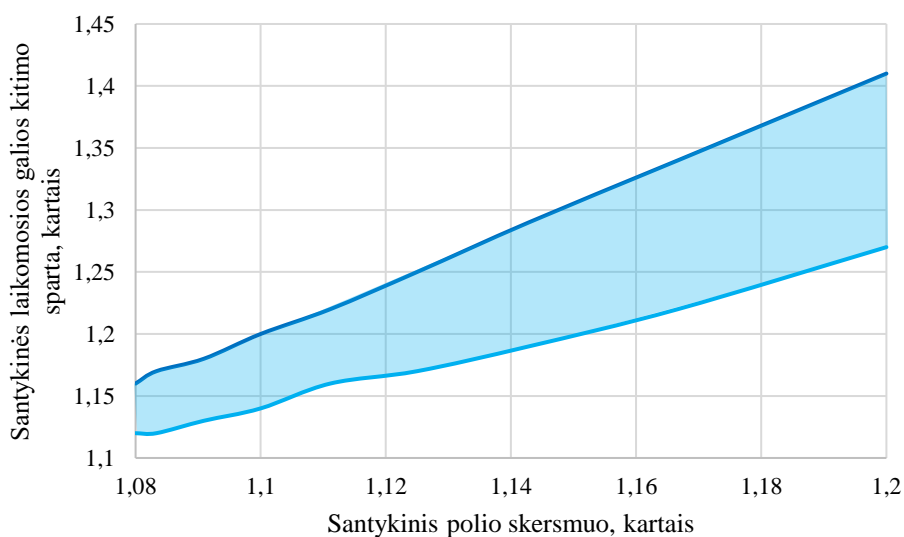
Grafike 26 pastebėta, kad didesnio gniuždomojo stiprio smėlyje įterptų skirtingų skersmenų polių laikomųjų galių skirtumai yra didesni nei polių laikomųjų galių skirtumai įterptu į mažesnio gniuždomojo stiprio gruntą.

7 lentelė. Skirtingo skersmens polių laikomųjų galių skirtumai

Pavadinimas	Laikomosios galios skirtumas (kai grunto gniuždomasis stipris 4,1 MPa), kN	Laikomosios galios skirtumas (kai grunto gniuždomasis stipris 11,3 MPa), kN	Laikomosios galios skirtumas (kai grunto gniuždomasis stipris 25 MPa), kN
Laikomosios galios skirtumas tarp 0,3 m ir 0,35 m skersmens polių įterpimo pradžioje, kai polio įterpimo gylis yra 0 m	47,55	131,04	289,91
Laikomosios galios skirtumas tarp 0,3 m ir 0,35 m skersmens polių įterpimo pabaigoje, kai polio įterpimo gylis yra 9 m	90,46	251,62	467,85
Laikomosios galios skirtumas tarp 0,35 m ir 0,4 m skersmens polių įterpimo pradžioje, kai polio įterpimo gylis yra 0 m	54,86	151,20	334,52
Laikomosios galios skirtumas tarp 0,35 m ir 0,4 m skersmens polių įterpimo pabaigoje, kai polio įterpimo gylis yra 9 m	97,77	271,78	512,45

Tyrimo metu nustatytas polio, įterpto į smėlį, laikomosios galios kitimo dėsningumas, kintant polio skersmeniui, kintant polio įterpimo gyliui ir kintant smėlio gniuždomajam stipriui.

Tiriant polio laikomosios galios kitimo dėsningumą, didinant polio skersmenį, pirmiausia reikia paminėti tai, kad ištirti poliai nuo 0,3 m iki 0,6 m skersmens. Polio laikomosios galios lyginamos keičiant polio skersmenį. Tiriamo smėlio gniuždomasis stipris nuo 1 MPa iki 30 MPa. Gauti rezultatai pateikti 27 pav.

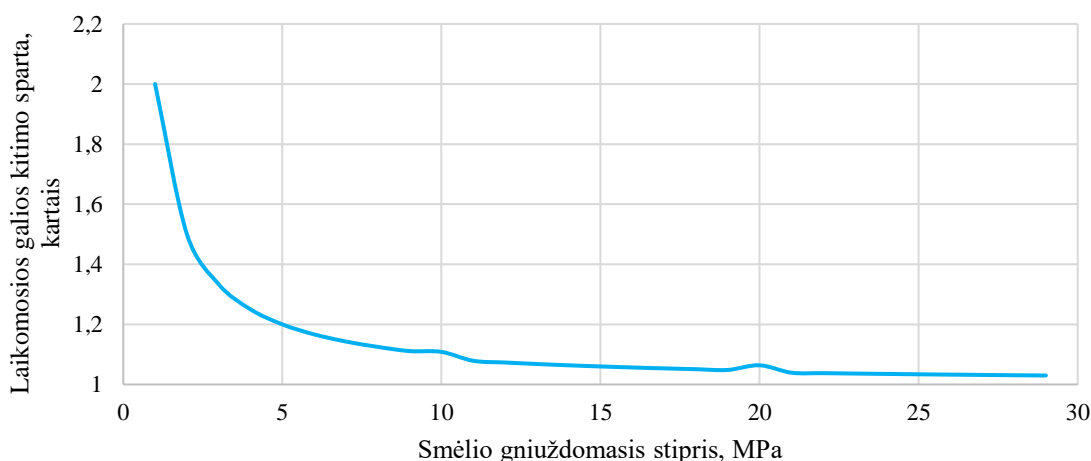


27 pav. Santykinės polio laikomosios galios (kai polio skersmuo lygus d_2 ir d_1 ; $d_1 < d_2$) priklausomybė nuo polio skersmenų santykio d_2 / d_1 : ■ mažiausias laikomosios galios santykis, ■ didžiausias laikomosios galios santykis

Iš grafiko 27 matome, kad polio laikomosios galios santykis turi didėjimo tendenciją mažinant polio skersmenį. Šiame 27 grafike polio skersmuo išreikštas santykiu, didesnio skersmens polį dalinant iš mažesnio polio skersmens. Nustatyta, kad ištirtame polio skersmenų intervale nuo 0,3 m iki 0,6 m

polio laikomosios galios santykis kinta nuo 1,12 iki 1,41 karto. Identiška kitimo tendencija yra ir priesmėlyje.

Didinant polio įterpimo gylį polio laikomoji galia kinta nuo 1,04 iki 1,21 karto, lyginant polio laikomosios galios 1 m pagilėjimo santykį. Polio laikomosios galios santykio kitimas tirtas polių terpiant nuo 0 m iki 9 m gylyje. Smėlio gniuždomasis stipris kinta nuo 1 MPa iki 30 MPa ir naudojami poliai nuo 0,3 m iki 0,6 m skersmens.



28 pav. Polio laikomosios galios kitimo sparta kintant smėlio gniuždomajam stipriui (kai smėlio gniuždomasis stipris lygus q_2 ir q_1 ; $q_1 < q_2$) priklausomybė nuo grunto gniuždomojo stiprio santykio q_2 / q_1

Ištyrus polio laikomosios galios kitimo spartą, kintant smėlio gniuždomajam stipriui, matome, kad esant mažesniajam smėlio gniuždomajam stipriui kitimo sparta yra didesnė, o didinant smėlio gniuždomąjį stiprį, laikomosios galios kitimo sparta mažėja (žr. 28 pav.). Laikomosios galios kitimo sparta kinta nuo 1,01 iki 2 kartų. Grafike 28 galime pastebėti iškilusias bangeles 10 MPa ir 20 MPa vietose, tai yra lokalūs ekstremumai atsirandantys dėl skaičiavimo metodo ypatumų (prie tam tikrų sąlygų gniuždomojo stiprio apribojimas).

3.1.2. Polio spraudimas į priesmėlį

Polis spraudžiamas į skirtingo gniuždomojo stiprio priesmėlį (žr. 8 lentelė).

8 lentelė. Skirtingo stiprio priesmėlis

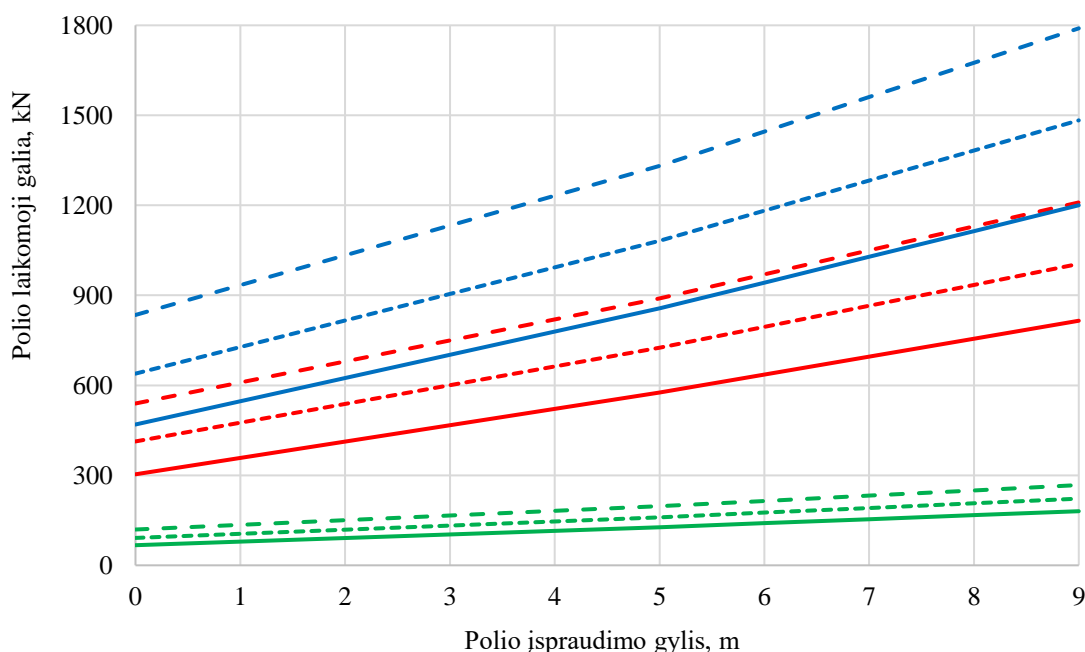
Pavadinimas	Priesmėlis (1)	Priesmėlis (2)	Priesmėlis (3)
Gniuždomasis stipris q_c , MPa	1,90	8,59	13,29

Nustatoma polio laikomosios galios priklausomybė nuo priesmėlio skirtingo gniuždomojo stiprio (žr. 29 pav.).

Atlikus tyrimą pastebėta, kad skirtingo skersmens polių, įterptų į skirtingo stiprio priesmėlį, laikomosios galios kitimas yra tiesiškas keičiantis polio gyliui. Taip pat nustatyta, kad polis 0,40 m skersmens įterptas į 8,59 MPa gniuždomojo stiprio priesmėlį turi didesnę laikomąją galią lyginant su polių 0,35 m skersmens ir įterptu į priesmėlį, kurio gniuždomasis stipris yra 13,29 MPa, tačiau didėjant polio gyliui šių polių laikomosios galios skirtumas mažėja. Polio, įterpto į priesmėlį, laikomosios galios kitimo dėsningumą galima apibrėžti suskaidžius laikomąją galią į dvi dalis. T. y.

įgytą nuo polio pado ir įgytą nuo polio šoninio paviršiaus. Laikomosios galios vertė įgyta poliui, remiantis į gruntą padu, yra tarsi konstanta - ji yra nekintanti. Laikomoji galia priklauso nuo polio pado ploto, t. y. polio pado plotui didėjant, polio laikomoji galia didėja. Pvz. kai polio skerspjūvis 0,3 m laikomoji galia yra 105,98 kN, kai skerspjūvis 0,35 m laikomoji galia yra 144,24 kN ir kai skerspjūvis 0,4 m laikomoji galia yra 188,4 kN. Tyrimo metu naudotas priesmėlis, kurio gniuždomasis stipris 3 MPa. Tiriama polio laikomosios galios priklausomybė nuo grunto tipo ir polio skersmens pastebėta, kad kitimui didžiulę reikšmę turi nustatyta laikomosios galios vertė, kai grunto gniuždomasis stipris lygus 1 MPa. Vienodo skersmens poli, įterptus į skirtingo stiprio gruntą, jo pado laikomoji galia bus gniuždomojo stiprio vertė padauginta iš laikomosios galios gautos prie 1 MPa vertės. Pvz. 0,3 m skersmens polis, įterptas į priesmėlį, kurio gniuždomasis stipris 7 MPa. Tai polio 0,3 m skersmens pado laikomoji galia bus 35,325 kN padauginta iš 7-ių ir gauname 247,275 kN. 35,325 kN yra laikomosios galios vertė, kai priesmėlio gniuždomasis stipris 1 MPa. Polio pado laikomosios galios kitimo tendencija kintant polio skersmeniui irgi geriausia nustatant prie gniuždomojo stiprio, kai jis lygus 1 MPa, nes nuo gniuždomojo stiprio kitimo tendencija jau aptarta. Nustatyta, kad polio skersmenį padidinus 0,05 m polio laikomoji galia padidėja 12,75 kN pridedant dar 1,96 kN, kai atskaitos taškas 0,3 m skersmuo. 0,35 m skersmens polio pado laikomoji galia bus 12,75 kN didesnė už 0,3 m skersmens polio, 0,4 m skersmens polio pado laikomoji galia bus (12,75 + 1,96) kN didesnė už 0,35 m skersmens poli, o 0,45 m skersmens polio pado laikomoji galia bus (12,75 + 1,96 + 1,96) kN didesnė už 0,4 m skersmens poli.

Polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo tendencija, įterpus poli į skirtingo gniuždomojo stiprio priesmėlį, galima suskirstyti į tris sritis.



29 pav. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo polio skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m) ir polio įterpimo skirtinguose priesmėliuose gylio, kai q_c : ■ 1,9 MPa; ■ 8,59 MPa; ■ 13,29 MPa

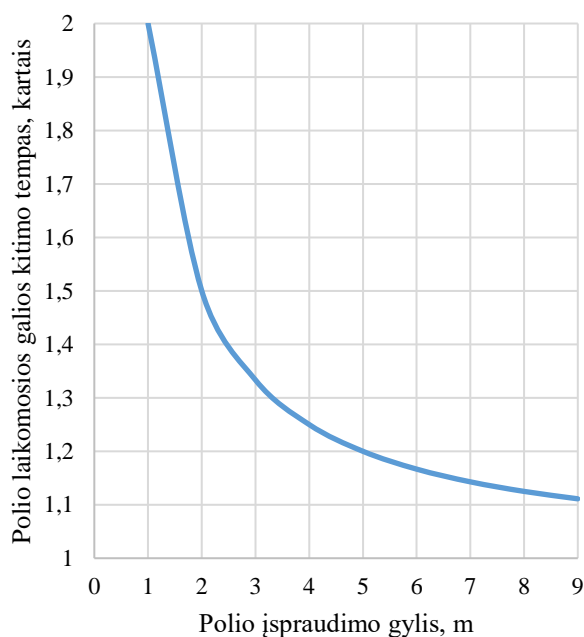
1-oji sritis kai gniuždomasis stipris yra nuo 1 iki 10 MPa. Šioje srityje polio laikomoji galia kinta, per laikomosios galios dydį, įgytą poli įterptus į 1 m gylį. Pvz. polis 0,3 m skersmens įterptas į 1 m priesmėlį, kurio gniuždomasis stipris yra 1 MPa, jo šoninio paviršiaus laikomoji galia yra 9,42 kN.

Polį terpiant gilyn į tokio pat gniuždomojo stiprio gruntą, jo gautą vertę reikia dauginti iš įterpimo gylio. T. y. 9,42 dauginame iš polio įterpimo gylio. Tarkime, kad polis įterptas į 5 m gylį. Tada polio laikomoji galia bus 5 padauginta iš 9,42 ir gausime, kad polio laikomoji galia 47,1 kN. Didinant grunto gniuždomąjį stiprį polio laikomosios galios vertė didėja taip pat per tą patį vertės dydį tai yra 9,42. Pvz. polio 0,3 m skersmens įterpto į 1 m gylį šoninio paviršiaus laikomoji galia, kai priesmėlio gniuždomasis stipris yra 2 MPa , $(9,42 + 9,42 = 18,84 \text{ kN})$, kai priesmėlio gniuždomasis stipris yra 3 MPa , $(9,42 + 9,42 + 9,42 = 28,26 \text{ kN})$. O 0,3 m skersmens polio, įterpto į 2 m gylį, šoninio paviršiaus laikomoji galia, kai priesmėlio gniuždomasis stipris, yra 2 MPa , $(18,84 + 18,84 = 37,68 \text{ kN})$.

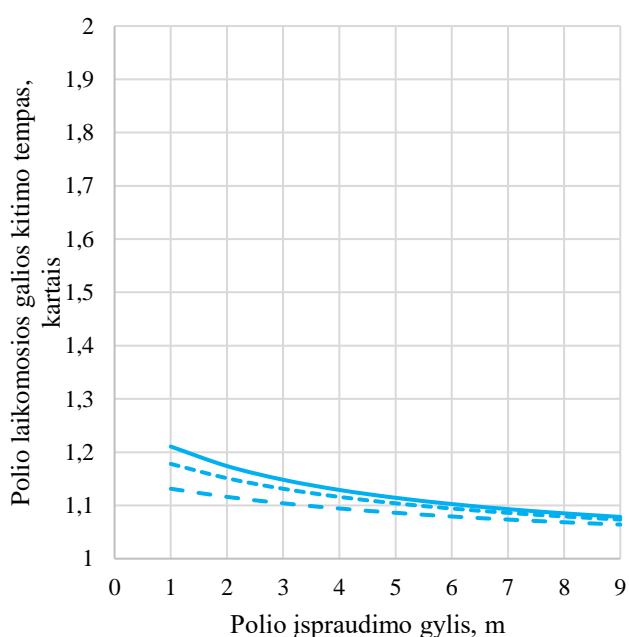
2-oji sritis yra, kai priesmėlio gniuždomasis stipris intervale nuo 11 iki 20 MPa. Šiame intervale laikomosios galios kitimas mažėja. Kintant gniuždomajam stipriui per 1 MPa, tai yra didėjant, laikomoji galia padidėja per 3,768 kN, kai polis 0,3 m skersmens, įterptas į 1 m gylį, polį įterpus į 2 m gylį ši vertė dvigubėja, o įterpus į 3 m gylį trigubėja ir t.t. Ir didinant gniuždomąjį stiprį įterpus į didesnę gylį šios padvigubintos ar patrigubintos vertės jau yra dydis, per kurį kinta polio laikomoji galia, pakeitus gniuždomąjį stiprį.

3-oji sritis yra priesmėlio gniuždomajam stipriui pasiekus 21 MPa ir daugiau. Šioje srityje polio laikomoji galia nuo gniuždomojo stiprio nebekinta, t. y. gniuždomajam stipriui didėjant, polio laikomoji galia nekinta. Polio laikomoji galia didėja tik didinant polio gylį, nes didėja polio paviršiaus plotas.

Polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta palyginama su bendra polio laikomosios galio kitimo sparta, išraiška pateikta 30 pav. a) ir b).



a)



b)

30 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į priesmėlį laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo priesmėlio gniuždomojo stiprio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo įterpimo gylio, kai priesmėlio gniuždomasis stipris: (— nuo 1 MPa iki 10 MPa; - - - 20 MPa; - . - 30 MPa)

Tyrimo metu nustatyta, kad polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta nepriklauso nuo priesmėlio gniuždomojo stiprio dydžio, nes kokį stiprį paimsime laikomosios galios kitimo sparta yra tokia pati (žr. 30 pav. a). Polio bendros laikomosios galios kitimo sparta yra kintanti, o tai priklauso nuo gniuždomojo stiprio dydžio. 30-o grafiko b) dalyje matome, kad didėjant gniuždomajam stipriui laikomosios galios kitimo sparta mažėja. Didėjant gyliui laikomosios galios kitimo sparta dar labiau mažėja (žr. 30 pav. b). Polio laikomosios galios kitimo sparta nekinta, kai priesmėlio gniuždomasis stipris nuo 1 MPa iki 10 MPa.

3.1.3. Polio spraudimas į priemolį

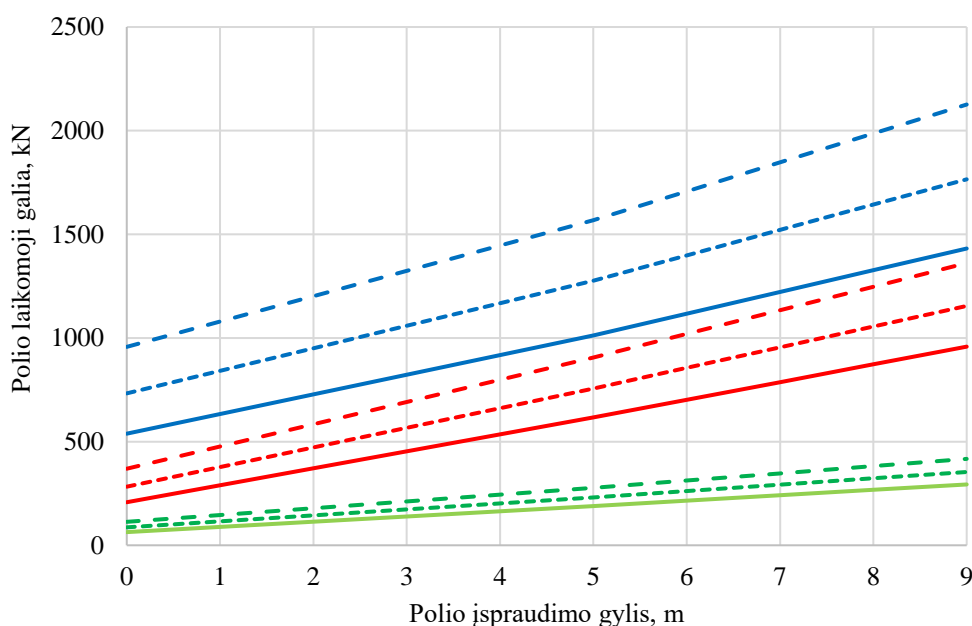
Polis spraudžiamas į skirtingo gniuždomojo stiprio priemolį (žr. 9 lentelė).

Nustatoma polio laikomosios galios priklausomybė nuo skirtingo gniuždomojo stiprio priemolio (žr. 31 pav.).

9 lentelė. Skirtingo stiprio priemolis

Pavadinimas	Priemolis (1)	Priemolis (2)	Priemolis (3)
Gniuždomasis stipris q_c , MPa	1,50	4,90	12,70

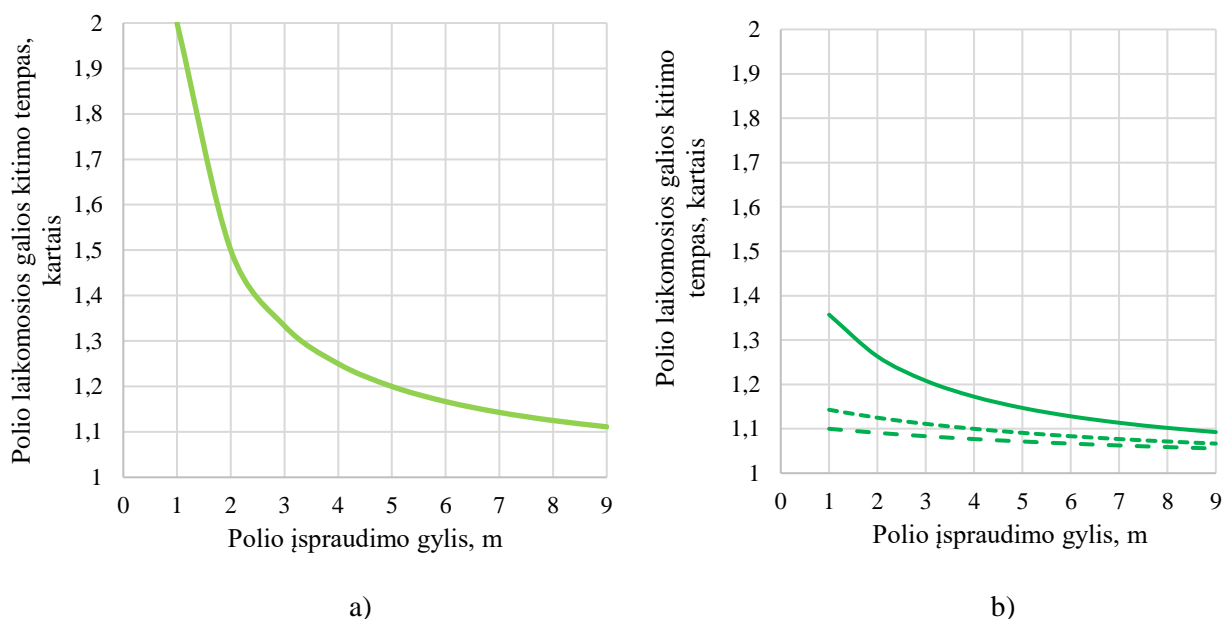
Atlikus tyrimą pastebėta, kad priemolių, kurių gniuždomieji stipriai 4,90 MPa ir 12,70 MPa laikomosios galios kitimo nuo įterpto polio gylio kreivių kampas panašus, lyginant su priemolių, kurių gniuždomasis stipriai 1,50 MPa ir 4,90 MPa, nors gniuždomųjų stiprių skirtumas priemolių, kurių stipriai 1,50 MPa ir 4,90 MPa yra mažesnis.



31 pav. Skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) polio, įterpto į skirtingo gniuždomojo stiprio priemolį (■ 1,50 MPa; ■ 4,90 MPa; ■ 12,70 MPa;), laikomosios galios priklausomybė nuo įterpimo gylio

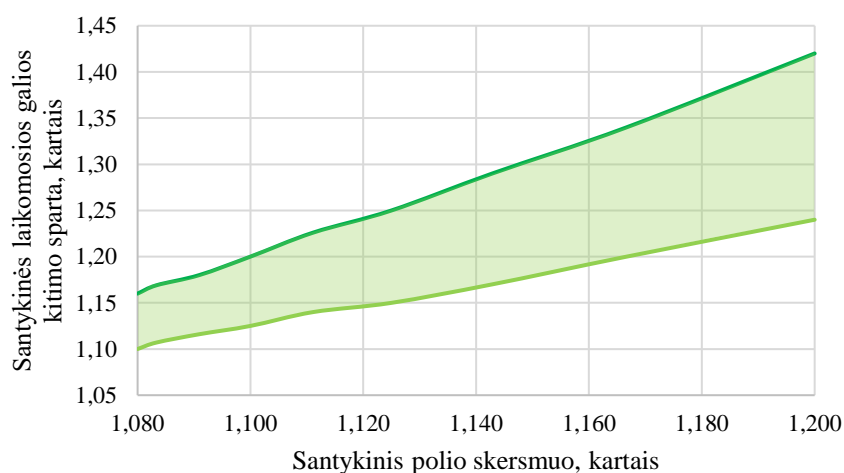
Polio 0,3 m skersmens įterpto į priemolį laikomosios galios kitimo sparta pateikta 32 pav. Nustatyta, kad polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimas nepriklausomai nuo priemolio gniuždomojo stiprio, t. y. vienodas. Mažesniame polio įterpimo gylyje šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta didesnė, o terpiant polį gilyn laikomosios galios kitimo sparta mažėja (žr. 32 pav. a).

Bendra polio laikomoji galia kinta nevienodai, tai priklauso nuo priemolio gniuždomojo stiprio. Gniuždomajam stipriui didėjant, polio laikomosios galios kitimo sparta mažėja (žr. 30 pav. b). Didėjant gniuždomajam stipriui kreivė tiesėja, nes didėja polio pado laikomosios galios įtaka, kuri mažina bendrą laikomosios galios kitimo spartą.



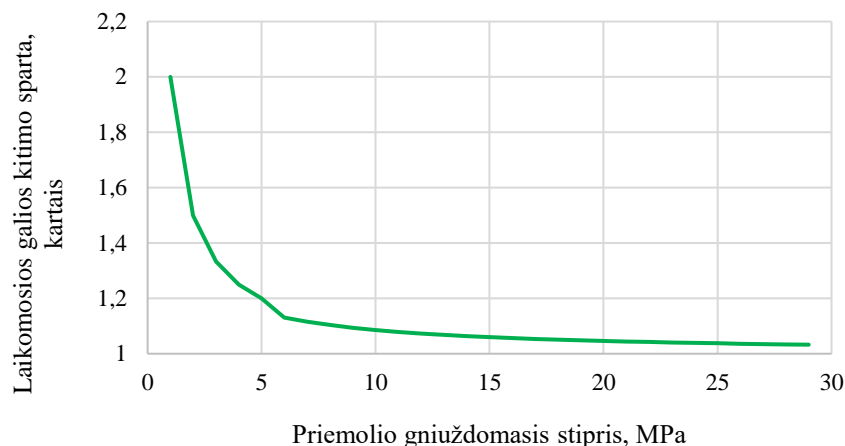
32 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į priemolį laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo priemolio gniuždomojo stiprio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, kai priemolio gniuždomasis stipris: (— nuo 1 MPa iki 5 MPa; ----- 20 MPa; - - - 30 MPa)

Polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo polio įterpimo gylio kinta nuo 1,04 iki 1,36 karto. Mažesnio skersmens poliai (0,3 m), įterpti į mažesnę gylį (1 m), ir į mažesnio gniuždomojo stiprio gruntą (1 MPa), turi didesnę laikomosios galios kitimo spartą 1,36. Tuo tarpu didesnio skersmens polis (0,6m), įterptas į didesnę gylį (9 m), į gruntą, kurio didesnis gniuždomasis stipris (30 MPa), turi mažesnę laikomosios galios kitimo spartą 1,04.



33 pav. Santykinės polio laikomosios galios (kai polio skersmuo lygus d_2 ir d_1 ; $d_1 < d_2$) priklausomybė nuo polio skersmenų santykio d_2 / d_1 : ■ mažiausias laikomosios galios santykis, ■ didžiausias laikomosios galios santykis

Grafike 33 matome, kad didėjant polio skersmeniui polio laikomosios galios santykio kitimo sparta mažėja. Polio laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo polio skersmens, kinta nuo 1,11 iki 1,42 karto (žr. 33 pav.). Grafike 33 pateiktos dvi kreivės, nes laikomosios galios santykio kitimo sparta tiriamą polį terpiant į gylį (nuo 1 m iki 9 m) ir į priemolį, kurio gniuždomasis stipris nuo 1 MPa iki 30 MPa. Iš kiekvieno tirto skersmens paimama didžiausia ir mažiausia laikomosios galios santykio kitimo reikšmė.



34 pav. Polio laikomosios galios kitimo sparta kintant priemolio gniuždomajam stipriui (kai priemolio gniuždomasis stipris lygus q_2 ir q_1 ; $q_1 < q_2$) priklausomybė nuo grunto gniuždomojo stiprio santykio q_2 / q_1

Ištyrus polio laikomosios galios kitimo spartą, kintant priemolio gniuždomajam stipriui, matome, kad esant mažesniai priemolio gniuždomajam stipriui kitimo sparta yra didesnė, o didėjant gniuždomajam stipriui laikomosios galios kitimo sparta mažėja (žr. 34 pav.). Laikomosios galios kitimo sparta kinta nuo 1,01 iki 2 kartų.

3.1.4. Polio spraudimas į molį

Polis spraudžiamas į skirtingo gniuždomojo stiprio molį (žr. 10 lentelė).

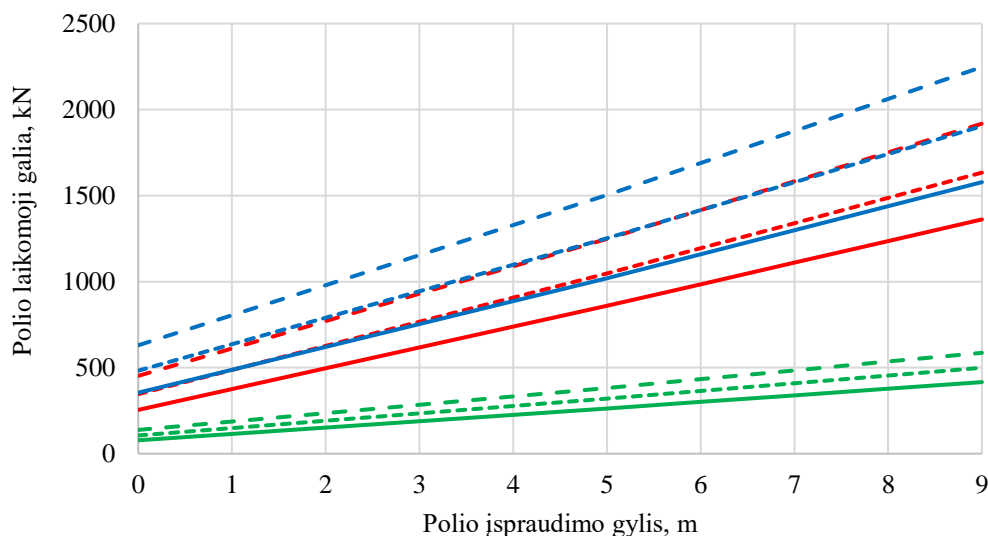
10 lentelė. Skirtingo stiprio molis

Pavadinimas	Molis (1)	Molis (2)	Molis (3)
Gniuždomasis stipris q_c , MPa	1,10	3,60	6,27

Nustatoma polio laikomosios galios priklausomybė nuo skirtingo stiprio molio (žr. 35 pav.). Atlikus tyrimą pastebėta, kad polių, kurių skersmuo 0,35 m ir 0,40 m, įterptų į 3,60 MPa, gniuždomojo stiprio molį ir polių, kurių skersmuo 0,30 m ir 0,35 m, įterptų į 6,27 MPa, gniuždomojo stiprio molį laikomosios galios yra panašios, bet taip pat pastebima, kad į molį (gniuždomasis stipris 6,27 MPa) įspraustų 0,30 m ir 0,35 m skersmenų polių laikomoji galia didėja mažiau, didėjant polio gyliui, lyginant su polių, kurio skersmuo 0,35 m ir 0,40 m, įterpto į molį, kurio gniuždomasis stipris 3,60 MPa t. y. didėjant įterpiamo polio skersmeniui laikomoji galia didėja labiau nei mažesnio skersmens polio, terpiant polį gilyn.

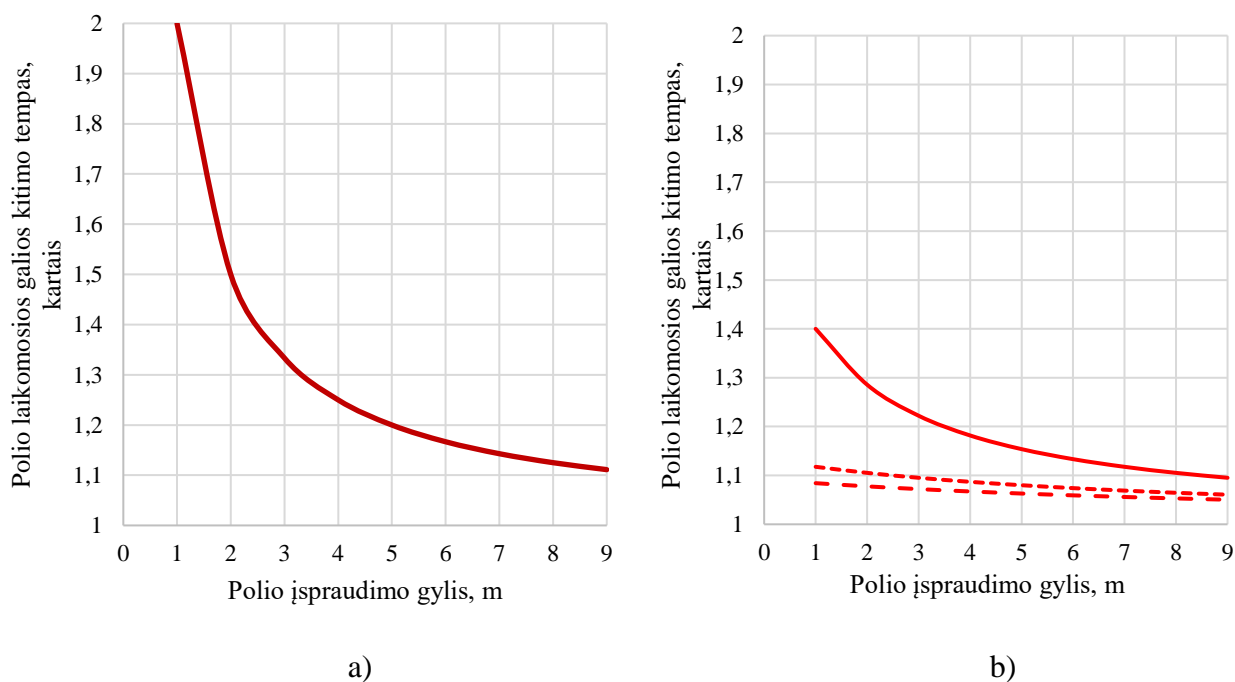
Tyrimas atskleidė, kad polio, įterpto į molį, šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta yra vienoda, nepriklausomai nuo polio skersmens ir grunto gniuždomojo stiprio (žr. 36 pav. a). Tuo tarpu bendra polio laikomosios galios spartos kitimo tendencija yra priklausoma nuo molio gniuždomojo stiprio. Didėjant molio gniuždomajam stipriui, laikomosios galios sparta mažėja (žr. 36 pav. b).

Didėjant gniuždomajam stipriui kreivė tiesėja, nes didėja polio pado laikomosios galios įtaka, kuri mažina bendrą laikomosios galios kitimo spartą.



35 pav. Skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) polio, įterpto į skirtingo stiprio molį (■ 1,10 MPa; ■ 3,60 MPa; ■ 6,27 MPa;), laikomosios galios priklausomybė nuo įterpimo gylio

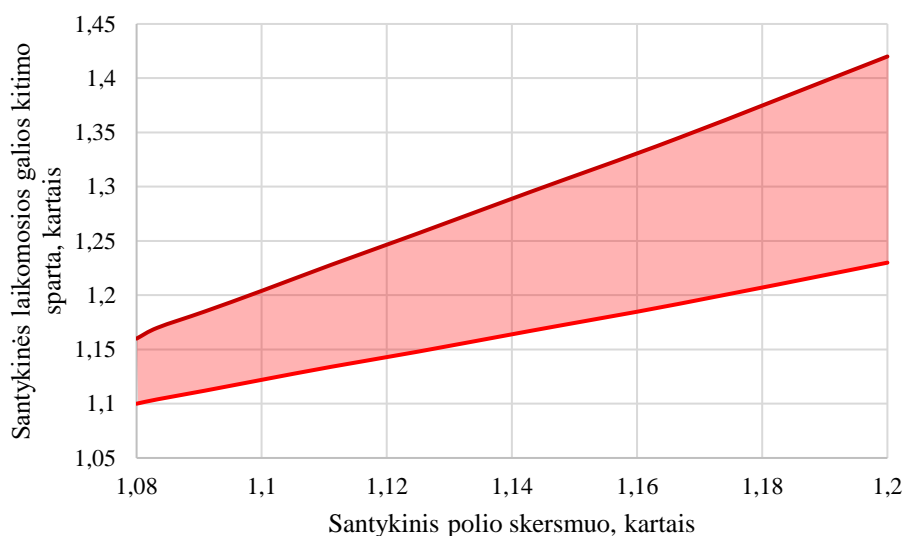
Polio 0,3 m skersmens įterpto į molį laikomosios galios kitimo tempas pateiktas 36 pav.



36 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į molį laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo molio gniuždomojo stiprio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, kai molio gniuždomasis stipris: (— nuo 1 MPa iki 5 MPa; ---- 20 MPa; - - - 30 MPa)

Polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo polio skersmens kinta nuo 1,1 iki 1,42 karto (žr. 37 pav.). Grafike 37 pateiktos dvi kreivės, nes laikomosios galios santykio kitimo sparta tiriama polį terpiant į gylį (nuo 1 m iki 9 m) ir į molį, kurio gniuždomasis stipris nuo 1 MPa iki 30 MPa. Iš

kiekvieno tirtu skersmens paimama didžiausia ir mažiausia laikomosios galios santykio kitimo reikšmė.



37 pav. Santykinės polio laikomosios galios (kai polio skersmuo lygus d_2 ir d_1 ; $d_1 < d_2$) priklausomybė nuo polio skersmenų santykio d_2 / d_1 : ■ mažiausias laikomosios galios santykis, ■ didžiausias laikomosios galios santykis

Polio laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo polio įterpimo gylio, kinta nuo 1,03 iki 1,4 karto. Mažesnio skersmens poliai (0,3 m), įterpti į mažesnę gylį (1 m) ir į mažesnio gniuždomojo stiprio gruntą (1 MPa) turi didesnę laikomosios galios kitimo spartą 1,4. Tuo tarpu didesnio skersmens polis (0,6m), įterptas į didesnę gylį (9 m), į gruntą, kurio didesnis gniuždomasis stipris (30 MPa), turi mažesnę laikomosios galios kitimo spartą 1,03.

Ištyrus polio laikomosios galios kitimo spartą, kintant molio gniuždomajam stipriui, matome, kad esant mažesniai molio gniuždomajam stipriui, kitimo sparta yra didesnė, o didinant gniuždomąjį stiprį, laikomosios galios kitimo sparta mažėja. Laikomosios galios kitimo sparta kinta nuo 1,01 iki 2 kartų.

3.1.5. Polio, įsprausto į skirtingo tipo vienalyčius gruntus, palyginimas

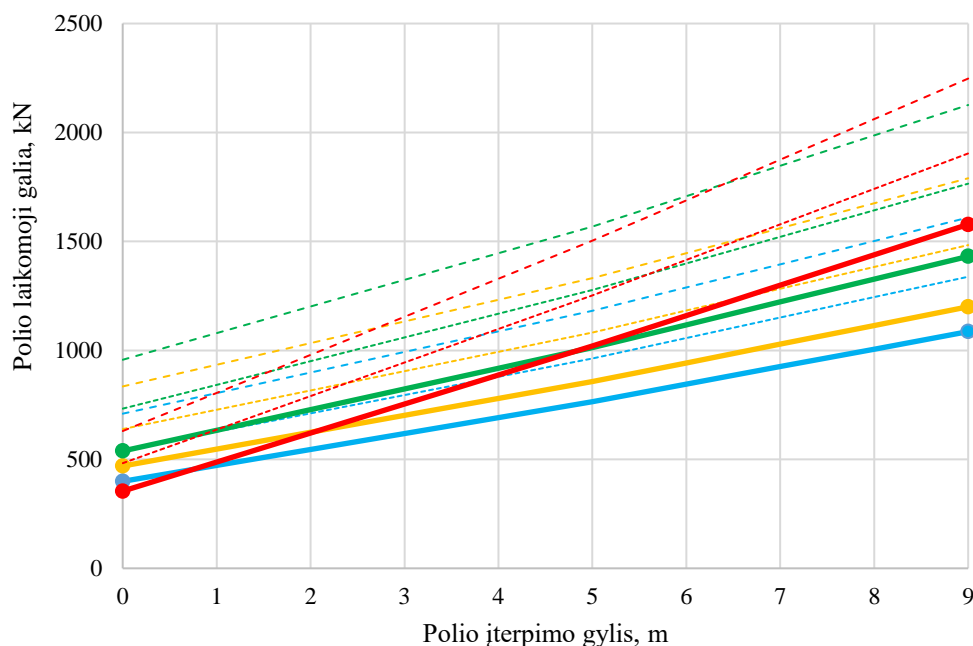
Palyginimui parenkami gruntai: smėlis, kurio gniuždomasis stipris 11,3 MPa; priesmėlis, kurio gniuždomasis stipris 13,29 MPa; priemolis, kurio gniuždomasis stipris 12,7 MPa ir molis, kurio gniuždomasis stipris 6,27 MPa. Parinkti gruntai tarpusavyje palyginami (žr. 38 pav.).

Paveiksle 38 matoma, kad tiesių pradžios taške skirtingo skersmens polio, įterpto į skirtingų tipų gruntą, laikomosios galios vertės skirtingos. Šios vertės dydis priklauso nuo grunto gniuždomojo stiprio ir įterpto polio skersmens. Gruntai, turintys didesnes gniuždomojo stiprio vertes ar į gruntą įspraustas didesnio skersmens polis turi didesnes laikomosios galios vertes lyginant su mažesnio skersmens poliu, įterptu į tokio pat gniuždomojo stiprio ar mažesnio gniuždomojo stiprio gruntą.

Tik pradėjus polius sprausiti į gruntą be grunto laikomosios galios papildomai pradedama vertinti ir polio šoninio paviršiaus laikomoji galia. Gruntai, turintys didesnę šoninio paviršiaus trinties laikomąją galią, polį terpiant gilyn, įgyja didesnes polio šoninio paviršiaus laikomosios galios vertes lyginant su mažesnę šoninio paviršiaus trintį turinčiais gruntai. Pvz., 0,4 m skersmens polio, įterpto

į molio gruntą, 1 m gylyje jo laikomoji galia 1,3 karto mažesnė lyginant su to paties skersmens polio, įterpto į priemolio gruntą 1 m gylį. O tokio pat skersmens polių įgilinus į 9 metrų gylį molio grunte laikomoji galia yra 1,08 karto didesnė lyginant su polių įterptu į priemolį.

38 Grafike palyginus vienodo skersmens polių, įterptų į skirtingų tipų gruntu, laikomosios galios kitimą, keičiantis polio gyliui nustatyta, kad gilėjimo pradžioje (t. y. kai polio gylis lygus 0 m) molis turi mažiausią laikomosios galios vertę lyginant su polių, įterptų į smėlį, priesmėlį ir priemolį. Tačiau pasiekus 9 m gylį, polis, įterptas į molį, turi didžiausią laikomosios galios vertę lyginant su kitais minėtais gruntų tipais.



38 pav. Skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) polio, įterpto į skirtingo tipo gruntą ■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa); ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa); ■ priemolį (gniuždomasis stipris 12,7 MPa); ■ molį (gniuždomasis stipris 6,27 MPa), laikomosios galios priklausomybė nuo įterpimo gylio

Grafike 38 yra daug tiesių, kad būtų paprasčiau suprasti skirtingo tipo gruntų kitimą, lyginant juos tarpusavyje. Grafike 38 paryškinamos tik 0,3 m skersmens polių, įterptų į skirtingo tipo gruntą, tiesės, nes 0,3 m, 0,35 m ir 0,4 m skersmens polių laikomųjų galių verčių kitimo tendencijos panašios.

Nustatyta, kad įterpus skirtingo skersmens polius į skirtingo tipo gruntu laikomosios galios priklausomybė nuo polio įterpimo gylio yra tiesiška. Gruntai turintys didesnę gniuždomąją stiprį ar didesnę šoninę trintį, ar į gruntą įterptas didesnio skersmens polis, minėtais atvejais polio laikomosios galios tiesė grafike sudaro didesnę kampą su horizontale lyginant su mažesnio skersmens polių, įterptų į to paties stiprio ir tipo gruntą, ar polio, įterpto į mažesnio gniuždomojo stiprio, ar mažesnės šoninės trinties gruntą.

Polio, įterpto į skirtingų tipų gruntą, laikomosios galios kitimo sparta pateikta 39 pav.

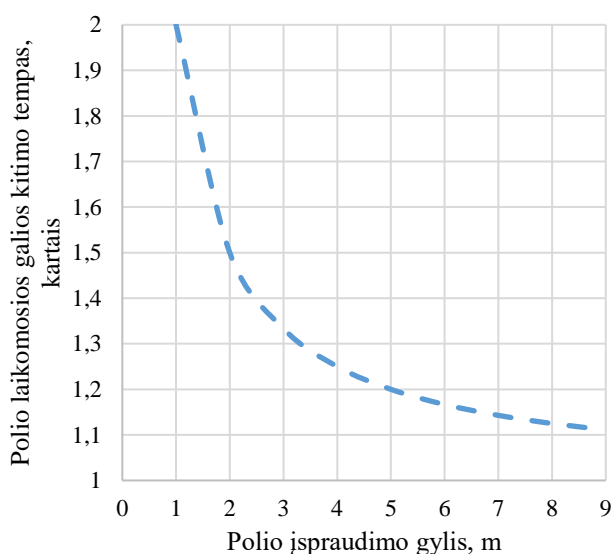
Tyrimo metu nustatyta, kad polio šoninės laikomosios galios kitimo tendencija yra visų tipų gruntams vienoda, nepriklausomai nuo grunto tipo ar grunto gniuždomojo stiprio dydžio. Pradėjus polių terpti gilyn polio laikomosios galios kitimas spartus. Poliui pagilėjus nuo 1 m iki 2 m laikomoji galia

padidėja 2 kartus, įterpus dar metrą polio laikomoji galia padidėja trečdaliu, tendencingai - ketvirtadaliu ir taip po truputį laikomosios galios didėjimo sparta mažėja (žr. 39 pav. a). Polio šoninio paviršiaus spartos kitimo tendenciją galime išreikšti formule:

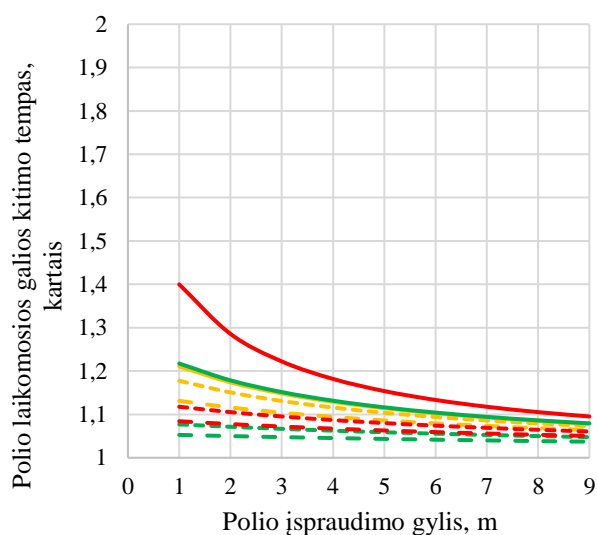
$$R_s = 1+(1/L); \quad (9)$$

čia R_s – polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta, kartais;

L – polio įterpimo gylis, m.



a)



b)

39 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į skirtingų tipų gruntą laikomosios galios kitimo sparta. a) polio šoninio paviršiaus laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, nepriklausomai nuo skirtingo tipo grunto ir gniuždomojo stiprio dydžio. b) bendros polio laikomosios galios kitimo sparta priklausanti nuo įterpimo gylio, kai polis įterptas į ■ smėlį, ■ priemolį, ■ molį kurių gniuždomieji stipriai: (— 1MPa; ---- 20 MPa; - - - 30 MPa)

Bendra polio laikomosios galios kitimo tendencija yra priklausoma nuo grunto, į kurį polis įterpiamas tipo, ir grunto gniuždomojo stiprio. Grafike 39 b) pastebime, kad polio laikomosios galios sparta yra mažesnė, kai polis įterptas į smėlį ar priemolį, o laikomosios galios sparta didesnė, kai polis įterptas į priemolį ar molį. Taip pat matome, kad gruntai, turintys mažesnį gniuždomąjį stiprį, taip pat turi didesnę laikomosios galios kitimo spartą. Polio laikomosios galios spartos kitimo tendencija terpiant polį gilyn bendrai paėmus tirtus gruntų tipus yra nuo 1,03 iki 1,4 karto. (smėlio ir priemolio nuo 1,04 iki 1,21; priemolio nuo 1,04 iki 1,36; molio nuo 1,03 iki 1,4).

Polio laikomosios galios kitimo sparta, kintant polio skersmeniui, yra ribose nuo 1,1 iki 1,345 karto. (smėlio ir priemolio nuo 1,12 iki 1,34; priemolio nuo 1,11 iki 1,34; molio nuo 1,1 iki 1,345).

Polio laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo grunto gniuždomojo stiprio kitimo, yra nuo 1,01 iki 2 kartų. (smėlio ir priemolio nuo 1,01 iki 2; priemolio nuo 1,01 iki 2; molio nuo 1,01 iki 2).

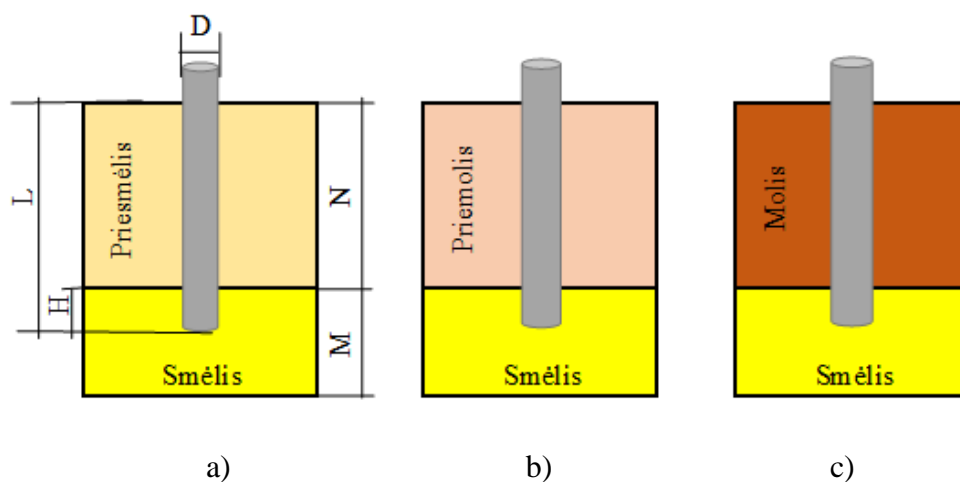
Šiame darbe atlikti tyrimai buvo atliekami terpiant polį į 9 m gylį. Polio skersmenys nuo 0,3 m iki 0,6 m. Polis terpiamas į keturių tipų gruntus (smėlį, priemolį, priemolį ir molį), kurių gniuždomieji stipriai kinta nuo 1 MPa iki 30 MPa.

3.2. Polio spraudimas į dvejų skirtingų tipų gruntą

Į apatinį grunto sluoksnį išspraudžiamas polio padas ir vertinama po polio padu esančio grunto laikomoji galia. Polis spraudžiamas į 9 m gylį, iš kurių 0,5 m spraudžiami į apatinį grunto sluoksnį. Likusi dalis 8,5 - į viršutinį sluoksnį, kuris apima didžiąją dalį polio šoninio paviršiaus, tad šis gruntas nulemia polio šoninio paviršiaus laikomąją galią.

3.2.1. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dvisluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis smėlis

Viršutinis grunto sluoksnio tipas keičiamas (žr.40 pav.) siekiant išsiaiškinti polio laikomosios galios priklausomybę nuo skirtingų tipų grunto. Tyrimui naudojamų skirtingų tipų gruntų gniuždomieji stipriai pateikti 11 lentelėje.



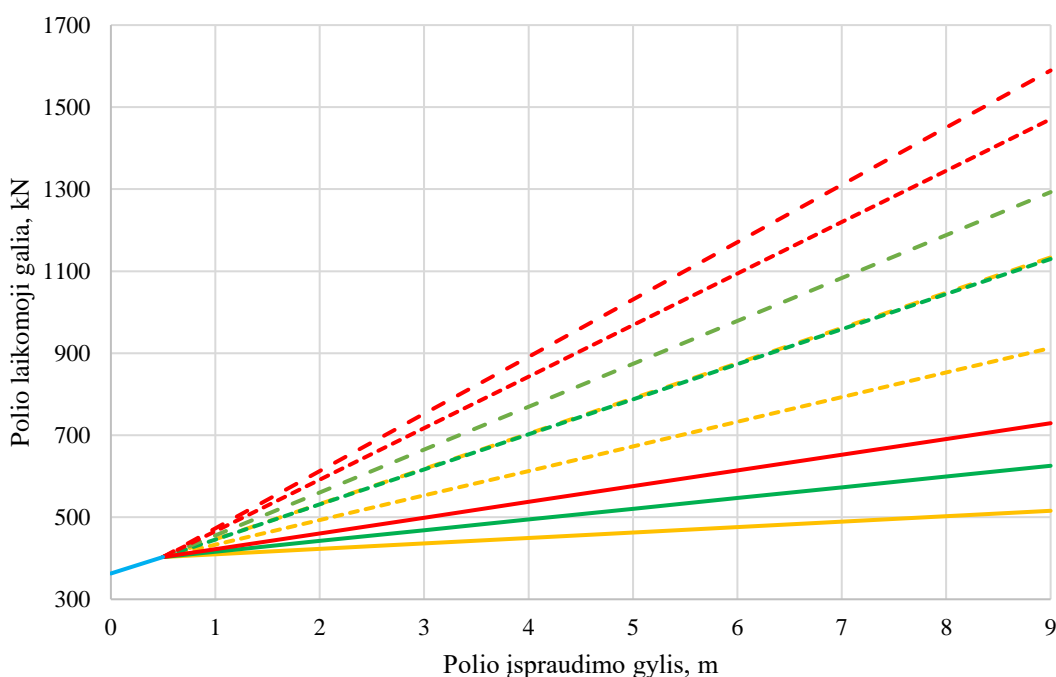
40 pav. Polis, išsprautas į skirtingų variantų dvisluoksnį gruntą, a) priesmėlis – smėlis, b) priemolis – smėlis, c) molis – smėlis

11 lentelė. Skirtingų grunto tipų gniuždomieji stipriai

Grunto tipas	Pavadinimas	Gniuždomasis stipris q_c , MPa
Smėlis	Smėlis (1)	4,10
	Smėlis (2)	11,30
	Smėlis (3)	25,00
Priesmėlis	Priesmėlis (1)	1,90
	Priesmėlis (2)	8,59
	Priesmėlis (3)	13,29
Priemolis	Priemolis (1)	1,5
	Priemolis (2)	4,9
	Priemolis (3)	12,27
Molis	Molis (1)	1,1
	Molis (2)	3,6
	Molis (3)	6,7
	Molis (4)	12,00

Polio, kurio skersmuo yra 0,3 m, laikomosios galios priklausomybė nuo dviejų sluoksnių grunto viršutinio sluoksnio gniuždomojo stiprio ir šoninės trinties savybių pateikta 41 pav.

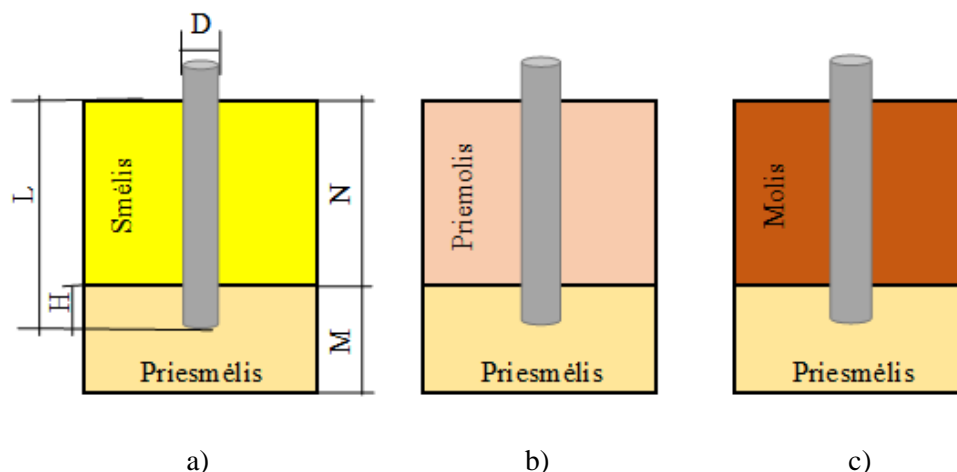
Grafiką 41 galima suskirstyti į tris sritis. 1-oji sritis, kai polio gylis 0 m. Šioje srityje yra grunto po polio padu laikomosios galios vertė. 2-oji sritis (nuo 0 m iki 0,5 m) apatinio grunto sluoksnio laikomoji galia. 3-oji sritis (nuo 0,5 iki 9 m), kai polio šoninio paviršiaus laikomoji galia priklauso nuo grunto tipo ir grunto gniuždomojo stiprio (viršutinis grunto sluoksnis). 3-oji sritis pasidalina į 9 atšakas, nes viršutinio grunto sluoksnio tipas keičiamas (trys skirtingi grunto tipai: priemolis, priemolis ir molis) ir minėtų gruntų sluoksniai turi po 3 skirtingo gniuždomojo stiprio vertes (priemolis 1,9 MPa, 8,59 MPa ir 13,29 MPa; priemolis 1,5 MPa, 4,9 MPa, 12,27 MPa; molis 1,1 MPa, 3,6 MPa, 6,7 MPa.). Galutinę polio laikomosios galios vertę nulemia trečioji dalis. Pvz.: kai viršutinis sluoksnis priemolis (gniuždomasis stipris 1,9 MPa.) polio 0,3 m skersmens laikomoji galia, pasiekus 9 m gylį, yra 515,77 kN, o kai viršutinis sluoksnis molis (gniuždomasis stipris 6,7 MPa.) polio 0,3 m skersmens laikomoji galia, pasiekus 9 m gylį, yra 1589,3 kN. Šiuo atveju keičiant grunto tipą ir grunto gniuždomąjį stiprį, išspraudus polį į dviejų sluoksnių 9 m gylį jo laikomoji galia kinta iki 3 kartų.



41 pav. Polio 0,3 m skersmens išsprauto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ smėlis (gniuždomasis stipris 11,3 MPa), viršutiniai gruntai (■ priemolis; ■ priemolis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (— priemolis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa, molis 1,1 MPa; ---- priemolis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa, molis 3,6 MPa; - - - priemolis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa, Molis 6,7 MPa.), laikomoji galia priklausanti nuo įterpimo gylio

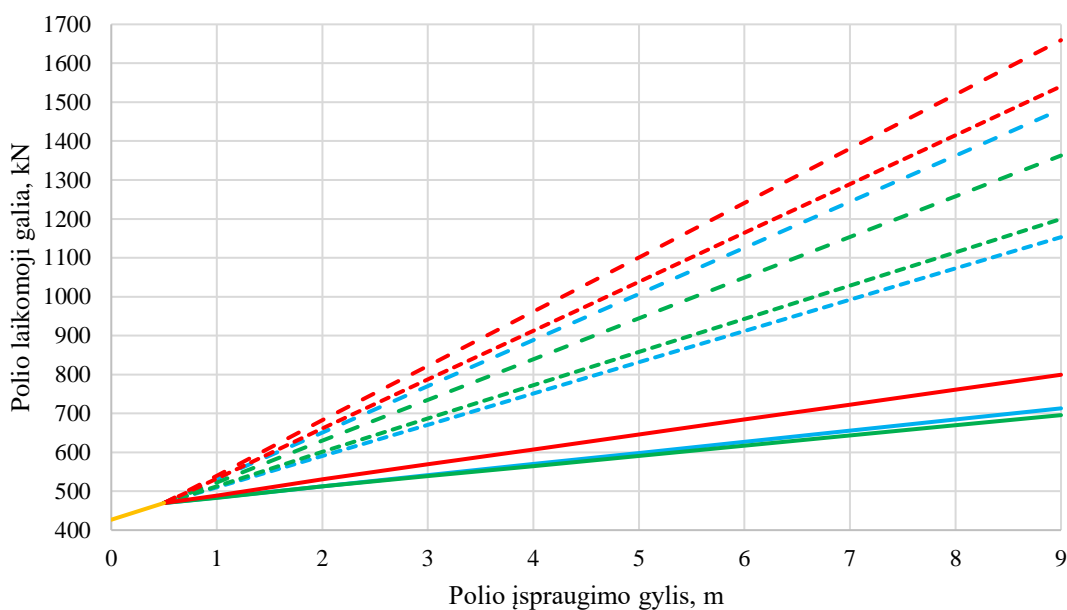
3.2.2. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dvisluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis priemolis

Viršutinis grunto sluoksnio tipas keičiamas (žr. 42 pav.), siekiant išsiaiškinti polio laikomosios galios priklausomybę nuo skirtingų gruntų tipų. Tyrimui naudojamų skirtingų gruntų tipų gniuždomieji stipriai pateikti 11 lentelėje.



42 pav. Polio įspraustas į skirtingų variantų dvisluoksnį gruntą, a) smėlis – priesmėlis, b) priemolis – priesmėlis, c) molis – priesmėlis

Polio, įterpto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis grunto sluoksnis priesmėlis, laikomosios galios vertės, priklausančios nuo įspraudimo gylio, pateiktos 43 pav.



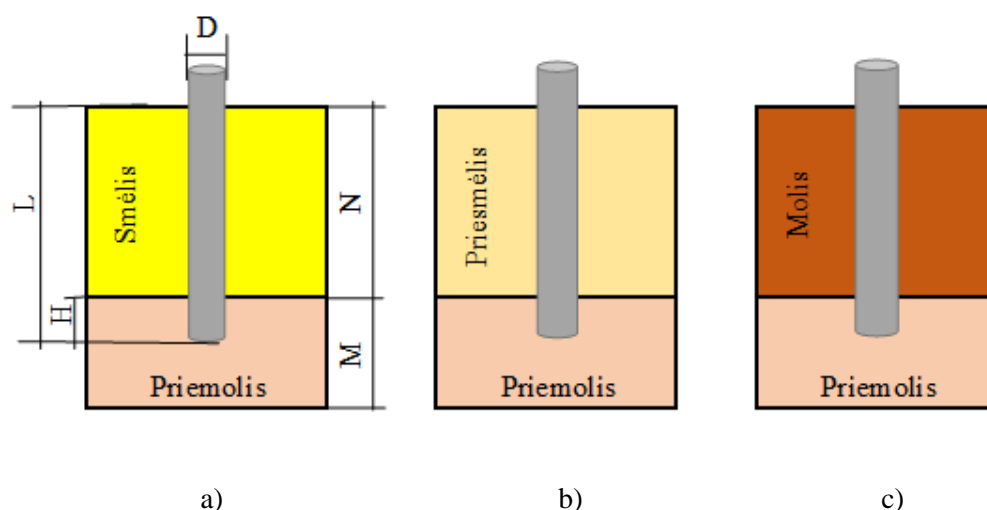
43 pav. Polio 0,3 m skersmens įsprausto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ priesmėlis (gniuždomasis stipris 8,59 MPa), viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priemolis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (— smėlis 4,1 MPa, priemolis 1,5 MPa, molis 1,1 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priemolis 4,9 MPa, molis 3,6 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priemolis 12,27 MPa, Molis 6,7 MPa.), laikomoji galia

Atlikus tyrimą pastebėta, kad viršutiniai gruntai (smėlis, priemolis ir molis), turintys mažiausias gniuždomojo stiprio vertes, yra atsiskyre labiau nei likusių gniuždomųjų stiprių tų pačių tipų gruntų tiesės (žr.43). Taip pat grafike 43 pastebėta, kad įspraudus polį į priesmėlį – smėlį (gniuždomasis stipris 4,1 MPa) ir priesmėlį – priemolį (gniuždomasis stipris 1,5 MPa) smėlio laikomosios galios vertės yra didesnės. Įterpus polį į viršutinis grunto sluoksnis smėlis (gniuždomasis stipris 11,3 MPa),

o priemolio (gniuždomasis stipris 4,9 MPa) didesnės laikomosios galios vertės yra, kai viršutinis gruntas - priemolis.

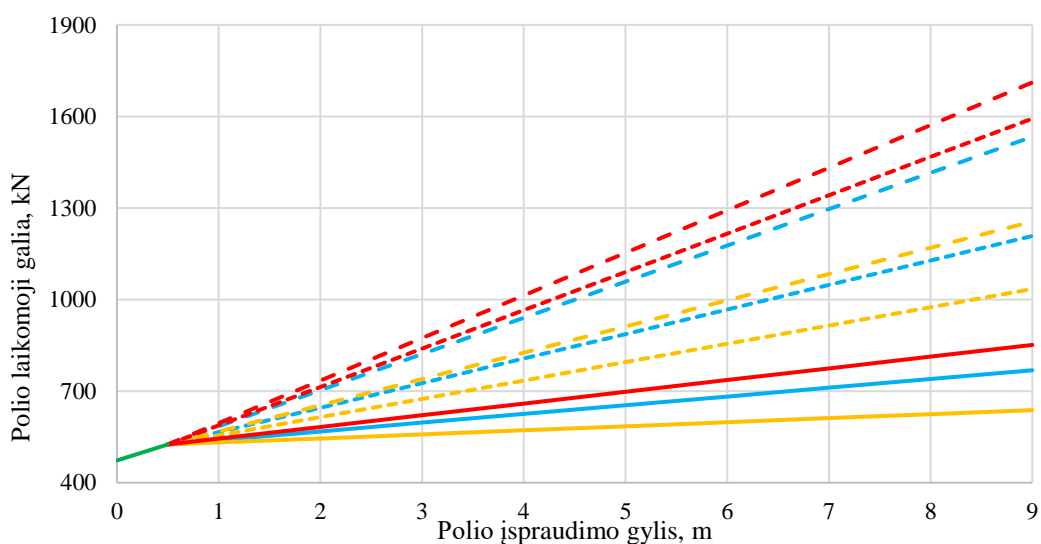
3.2.3. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dvisluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis priemolis

Viršutinis grunto sluoksnio tipas keičiamas (žr. 44 pav.), siekiant išsiaiškinti polio laikomosios galios priklausomybę nuo skirtingų gruntų tipų. Tyrimui naudojamų skirtingų gruntų tipų gniuždomieji stipriai pateikti 11 lentelėje.



44 pav. Polio, išsprautas į skirtingų variantų dvisluoksnį gruntą, a) smėlis – priemolis, b) priesmėlis – priemolis, c) molis – priemolis

Polio, įterpto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis grunto sluoksnis priemolis, laikomosios galios vertės, priklausančios nuo išspraudimo gylio, pateiktos 45 pav.

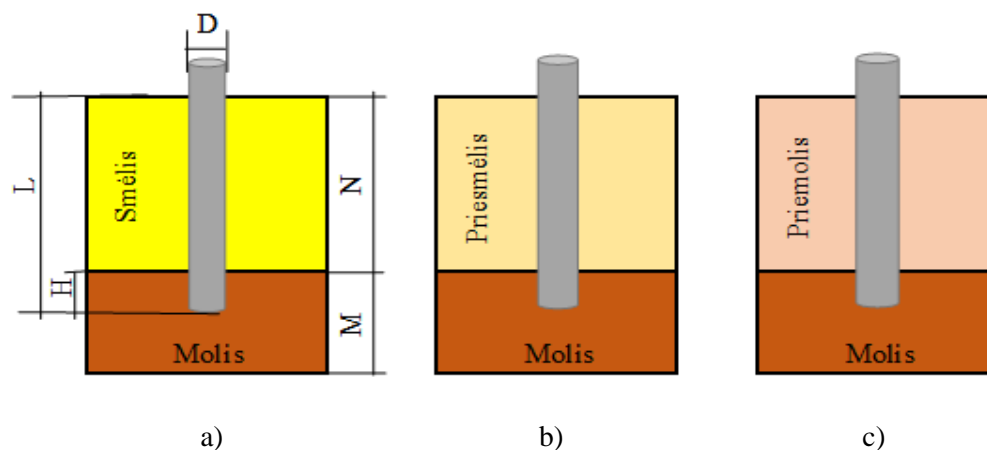


45 pav. Polio 0,3 m skersmens išsprauto į dvisluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ priemolis (gniuždomasis stipris 12,27 MPa), viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priesmėlis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (— smėlis 4,1 MPa, priesmėlis 1,9 MPa, molis 1,1 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priesmėlis 8,59 MPa, molis 3,6 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, molis 6,7 MPa.), laikančioji galia

Atlikus tyrimą matome, kad 45 grafiko 3-ioje srityje, kurioje yra trijų tipų gruntų tiesės, molio gruntas turi didesnę laikomąją galią lyginant su smėlio ir priesmėlio gruntais. Tokia pat tendencija išlieka ir didesnio gniuždomojo stiprio, to paties tipo gruntų tiesėse 45 grafike.

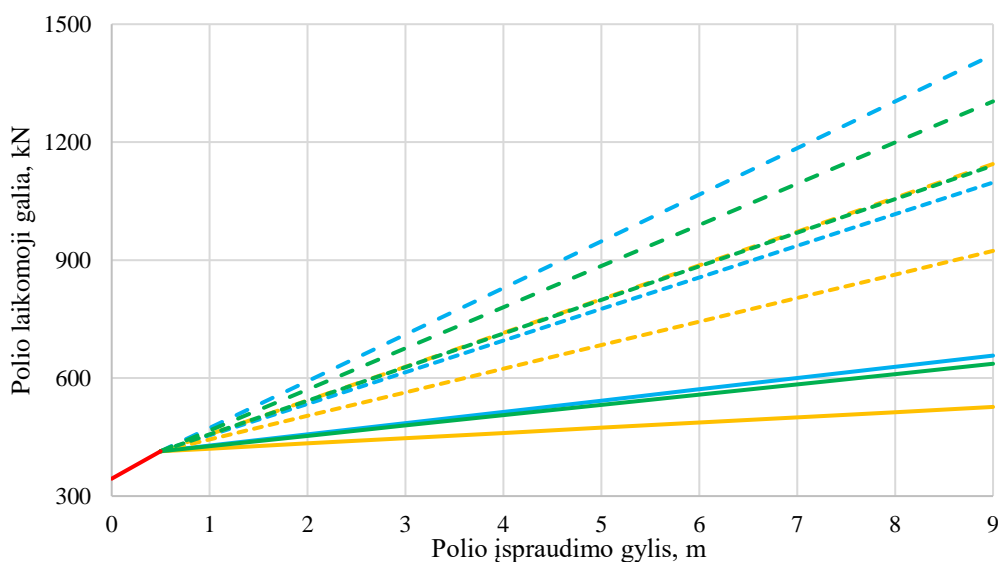
3.2.4. Polio laikomosios galios priklausomybė nuo dv sluoksnio grunto, kurio apatinis sluoksnis molis

Viršutinis grunto sluoksnio tipas keičiamas (žr. 46 pav.), siekiant išsiaiškinti polio laikomosios galios priklausomybę nuo skirtingų gruntų tipų. Tyrimui naudojamų skirtingų gruntų tipų gniuždomieji stipriai pateikti 11 lentelėje.



46 pav. Polio įspraustas į skirtingų variantų dv sluoksnį gruntą, a) smėlis – molis, b) priesmėlis – molis, c) priemolis – molis

Polio, įterpto į dv sluoksnį gruntą, kurio apatinis grunto sluoksnis priemolis, laikomosios galios vertės, priklausančios nuo įsraudimo gylio, pateiktos 47 pav.

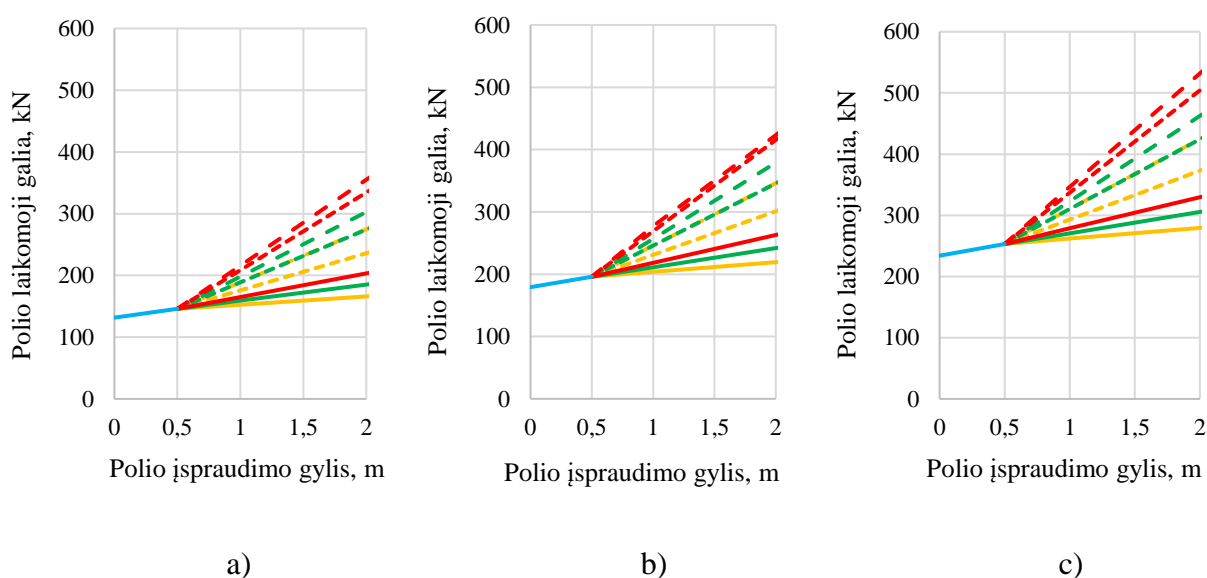


47 pav. Polio 0,3 m skersmens įsprausto į dv sluoksnį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ molis (gniuždomasis stipris 6,7 MPa), viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priesmėlis; ■ priemolis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (— smėlis 4,1 MPa, priesmėlis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priesmėlis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa.), laikančioji galia

Grafike 47 pastebėta, kad palyginus viršutinio grunto sluoksnio 3 skirtingų tipų gruntų laikomosios galios vertes, smėlio grunto laikomosios galios didžiausios t. y. smėlio grunto gniuždomasis stipris yra didesnis lyginant su priemolio ir priemolio gniuždomaisiais stipriais visose trijose stiprio kategorijose.

3.2.5. Skirtingo skersmens polių įterptų į dvisluoksnį gruntą palyginimas

Polių įterpus į dviejų skirtingų gruntų sluoksnius, pastebėta, kad laikomosios galios grafikai yra panašūs ir iš pažiūros lygiagretūs (žr. 48 pav. a, b, c). Tačiau palyginus polio, įterpto į dvisluoksnį gruntą (molis – smėlis), laikomąsias galias skirtinguose gyliuose, matome, kad skirtingo skersmens polių laikomosios galios kinta nevienodai ir įterpimo gyliui didėjant skirtumas didėja. Pvz. įterpus polių į dvilytį gruntą molį (gniuždomasis stipris 6,7 MPa) ir smėlį (gniuždomasis stipris 4,1 MPa) gylyje 2 m 0,3 m skersmens polio laikomoji galia 355 kN, 0,35 skersmens polio laikomoji galia 423 kN, 0,4 m skersmens polio laikomoji galia 532 kN, skirtumai tarp išvardintų laikomosios galios verčių yra 68 kN ir 108 kN. Įspraudus polių į tą patį gruntų derinį, tik pakeitus polio gylį į 9 metrus, gaunamos tokios vertės: 0,3 m skersmens polio laikomoji galia 1332 kN, 0,35 skersmens polio laikomoji galia 1563 kN, 0,4 m skersmens polio laikomoji galia 1834 kN, tarp šių verčių susidaro skirtumai 230 kN ir 271 kN.



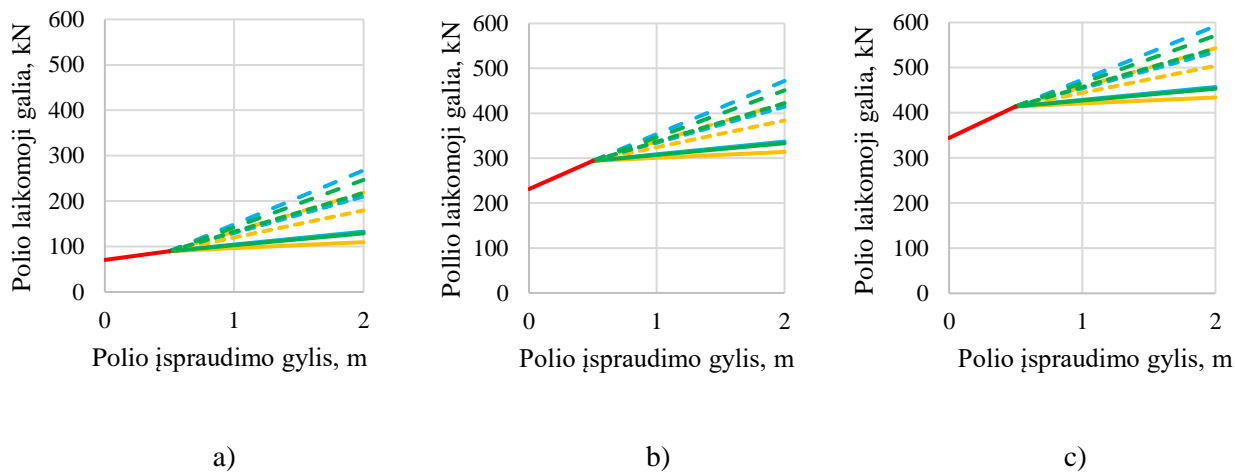
48 pav. Polio a) 0,3 m; b) 0,35 m; c) 0,4 m. skersmens įsprauto į dvilytį gruntą, kurio apatinis gruntas ■ smėlis (gniuždomasis stipris 4,1 MPa), viršutiniai gruntai (■ priemolis; ■ priemolis; ■ molis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (— priemolis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa, molis 1,1 MPa; ---- priemolis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa, molis 3,6 MPa; - - - priemolis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa, Molis 6,7 MPa.), laikančioji galia

Palyginus polio skirtingo skersmens, įterpto į skirtingus gylius laikomųjų galių vertes matoma, kad didėjant gyliui didesnio skersmens polių laikomoji galia labiau didėja nei mažesnio skersmens polių ir to paties gruntų derinio, bet skirtingo skersmens polių laikomosios galios nėra lygiagrečios.

3.2.6. Skirtingo stiprio apatinio grunto įtaka polio laikomajai galiai

Apatinio grunto sluoksnio stiprio įtaka polio laikančiajai galiai pateikta 49 pav. Tyrime atskleista, kad padidėjus apatinio sluoksnio (molio) gniuždomajam stipriui nuo 1,1 MPa iki 6,7 MPa (molio gniuždomasis stipris padidėja 6 kartus), tuo tarpu polio 0,3 m skersmens įsprauto į 2 m gylį

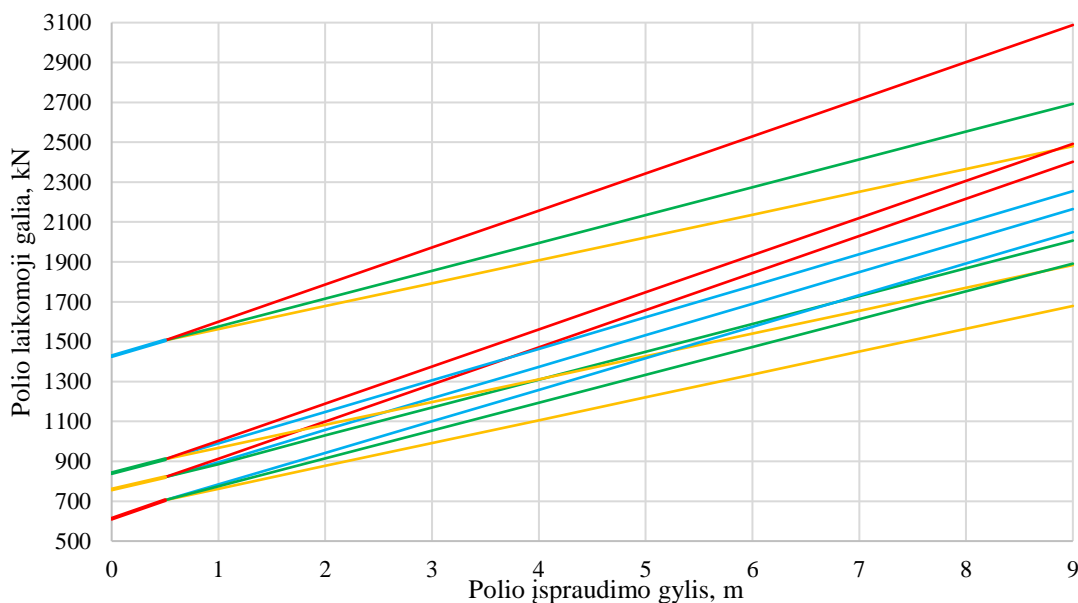
dvisluoksnį gruntą (smėlį – molį ir priesmėlį – molį), polio laikomoji galia padidėja nuo 2,2 iki 4 kartų (gruntų gniuždomieji stipriai pateikti 11 lentelėje). Minėtam laikomosios galios didėjimui įtakos turi polio pado laikomosios galios didėjimas ir polio šoninio paviršiaus laikomoji galia.



49 pav. Polio 0,3 m skersmens išsprauto į dviejų sluoksnių gruntą, kurio apatinis gruntas ■ molis, a) gniuždomasis stipris 1,1 MPa, b) gniuždomasis stipris 3,6 MPa, c) gniuždomasis stipris 6,7 MPa, viršutiniai gruntai (■ smėlis; ■ priesmėlis; ■ priemolis.) jų skirtingi gniuždomieji stipriai (— smėlis 4,1 MPa, priesmėlis 1,9 MPa, priemolis 1,5 MPa; ---- smėlis 11,3 MPa, priesmėlis 8,59 MPa, priemolis 4,9 MPa; - - - smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa.), laikomoji galia

3.2.7. Polio įterpto į dviejų sluoksnių skirtingo tipo gruntą laikomosios galios palyginimas

Ištyrus atskirai polių, įterptų į dvisluoksnį gruntą į 9 m gylį, laikomosios galios priklausomybę nuo Lietuvoje vyraujančių gruntų (smėlio, priesmėlio, priemolio ir molio), šių polių laikomosios galios palyginamos grafike 50.

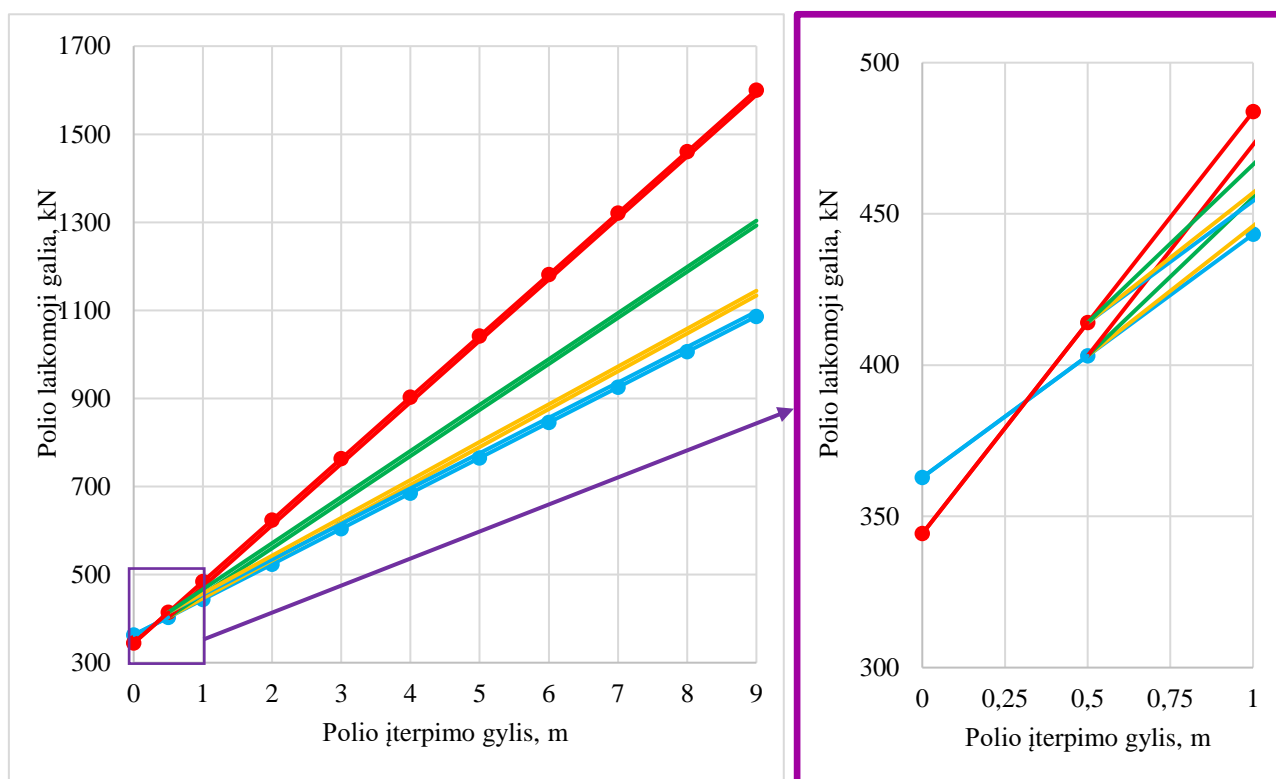


50 pav. Polio 0,4 m skersmens išsprauto į dviejų skirtingo tipo sluoksnių gruntą (■ smėlis ■ priesmėlis; ■ priemolis; ■ molis), kurių gniuždomieji stipriai (smėlis 25,0 MPa, priesmėlis 13,29 MPa, priemolis 12,27 MPa, molis 6,7 MPa), laikomoji galia

Nustatyta, kad polio 0,4 m skersmens įsprausto į molio (viršutinis sluoksnis) – smėlio (apatinis sluoksnis) gruntą laikomoji galia didžiausia, tai nulėmė smėlio gniuždomasis stipris, kurio vertė 1,8 karto didesnė lyginant su priesmėliu, 2 kartus didesnė lyginant su priemoliu ir 3,7 karto didesnė už molio gniuždomojo stiprio vertę ir molio šoninės trinties su polio šoniniu paviršiumi savybės. Mažiausią laikomąją galią turi polis 0,4 m skersmens, įterptas į priesmėlio (viršutinis sluoksnis) – molio (apatinis sluoksnis) gruntą. Minėtiems gruntams mažiausią laikomąją galią lėmė maža molio gniuždomojo stiprio vertė – 6,7 MPa, lyginant su kitų tyrime mynėtų gruntų vertėmis ir prastos priesmėlio šlyties savybės lyginant su moliu ir priemoliu.

3.3. Polio, įterpto į vieno ir dviejų sluoksnių skirtingų tipų gruntus, laikomosios galios palyginimas

Išanalizavus laikomosios galios kitimą polio, įterpto į skirtingo skersmens vieno ir dviejų sluoksnių skirtingo tipo gruntus, atskirai gruntai palyginami grafikuose (žr.51 pav.).



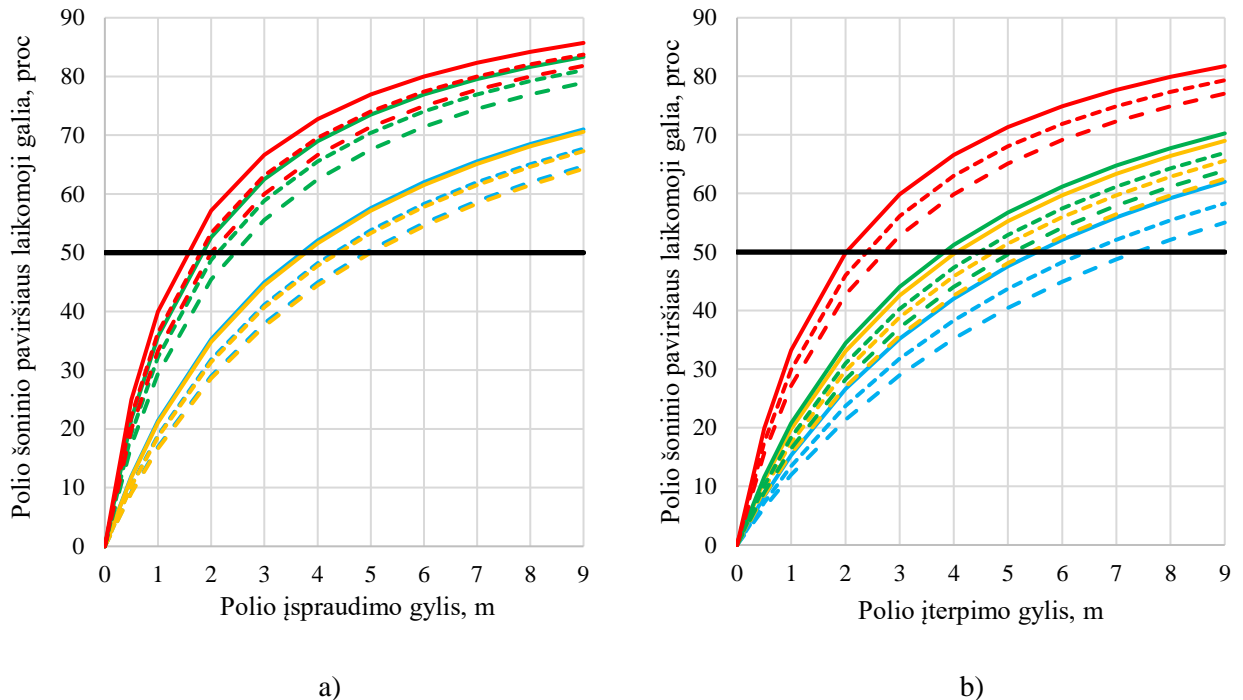
51 pav. Polio, įterpto į vieno (—●—●—) ir dviejų (—) sluoksnių skirtingo tipo gruntus (■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa), ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa), ■ priemolį (gniuždomasis stipris 12,7 MPa) ir ■ molį (gniuždomasis stipris 6,27 MPa)), skirtingame gylyje, laikomosios galios palyginimas

Įterpus a) 0,3 m skersmens polį į vieno ir dviejų sluoksnių skirtingų tipų gruntus pastebima, kad polio laikomoji galia kintant įterpimo gyliui yra tolygiai didėjanti. Polio 0,3 skersmens, įterpto į molio (gniuždomasis stipris 6,27 MPa) vieno ar dviejų sluoksnių grunto, kurio viršutinę dalį sudaro molis, laikomosios galios vertės yra didžiausios.

Taip pat nustatyta, kad vienodo tipo gruntų tiesių kitimo tendencija grafike yra vienodas nepriklausomai nuo to ar polis įterptas į vieno ar dviejų sluoksnių gruntą. Vienodo tipo gruntų tiesės yra lygiagrečios. Kampas su horizontalia priklauso nuo grunto tipo: smėlio, priesmėlio kampas mažesnis lyginant su molio ir priemolio gruntu.

3.3.1. Polio laikomosios galios pasiskirstymas tarp polio pado ir polio šoninio paviršiaus vienalyčiame grunte

Šia tyrimo dalimi siekiama išsiaiškinti kaip skiriasi polio laikomosios galios proporcija skirtingų tipų gruntuose tarp polio pado ir šoninio paviršiaus kintant gruntų stipriui ir polio įterpimo gyliui (žr. 52 pav.).



52 pav. Polio (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) skersmens, įterpto į skirtingo tipo gruntą a) ■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa); ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 8,59 MPa); ■ priemolį (gniuždomasis stipris 4,9 MPa); ■ molį (gniuždomasis stipris 3,6 MPa); b) smėlį (gniuždomasis stipris 25 MPa); priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa); priemolį (gniuždomasis stipris 12,27 MPa); molį (gniuždomasis stipris 6,7 MPa) , polio šoninio paviršiaus laikomosios galios santykio su polio pado laikomąja galia priklausomybė nuo polio įterpimo gylio

Paveikslo 52 a) ir b) dalyse matoma, kad nepriklausomai nuo grunto tipo, stiprio ar polio skersmens, polio pado ir šoninio paviršiaus laikomosios galios santykis terpiant polį gilyn kinta netiesiškai. Minėto santykio kitimo sparta labiausiai priklauso nuo grunto tipo. Ir mažesnę įtaką kitimui turi grunto stipris bei terpiamo polio skersmuo. Tyrime daroma prielaida, kad polio laikomosios galios dominuojantis narys yra tas, kuris sudaro daugiau kaip 50 proc. bendros polio laikomosios galios. Grafikus 52 a) ir b) perskiriame į dvi dalis 50 proc. lygyje. Kreivės ar jų dalys grafikuose 52 a) ir b) nepasiekusios 50 proc. ribą reiškia, kad dominuoja (didžiausią įtaką polio laikomajai galiai daro) polio pado laikomoji galia (polio padas). Kai kreivės ar jų dalys viršija 50 proc. ribą, dominuoja polio šoninio paviršiaus laikomoji galia (šoninis paviršius). Grafiko 52 a) dalyje polį, terpiant gilyn ir pasiekus 5 m gyli, į visų tipų gruntuos smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa); priesmėlį (gniuždomasis stipris 8,59 MPa); priemolį (gniuždomasis stipris 4,9 MPa); molį (gniuždomasis stipris 3,6 MPa) dominuoja polio šoninio paviršiaus laikomoji galia. Grafike 43 b) dalyje polį, įterpus į skirtingo tipo gruntuos: smėlį (gniuždomasis stipris 25 MPa); priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa); priemolį (gniuždomasis stipris 12,27 MPa); molį (gniuždomasis stipris 6,7 MPa) pasiekus 7 m gyli, pradeda dominuoti polio šoninio paviršiaus laikomoji galia. Polį, įterpus į mažesnio gniuždomojo stiprio

gruntą mažesniame gylyje, dominuos polio šoninio paviršiaus laikomoji galia lyginant su poliu, įterptu į gruntą, kurio gniuždomasis stipris didesnis. Ir šiuo atveju didesnę įtaką turės polio pado laikomoji galia. Gruntai (molis, priemolis), turintys didesnę šoninės trinties laikomąją galią mažesniame gylyje pradeda dominuoti polio šoninio paviršiaus laikomoji galia, lyginant su (smėlio, priesmėlio) gruntų tipais. Polio 0,3 m, 0,35 m ir 0,4 m, įterpto į molio gruntą, šoninio paviršiaus laikomosios galios vertės, pasiekus 9 m gylį, yra nuo 1,31 iki 1,4 didesnės nei polio įterpto į smėlį, nuo 1,18 iki 1,23 didesnės nei polio, įterpto į priesmėlį ir nuo 1,16 iki 1,21 didesnės nei polio įterpto į priemolį.

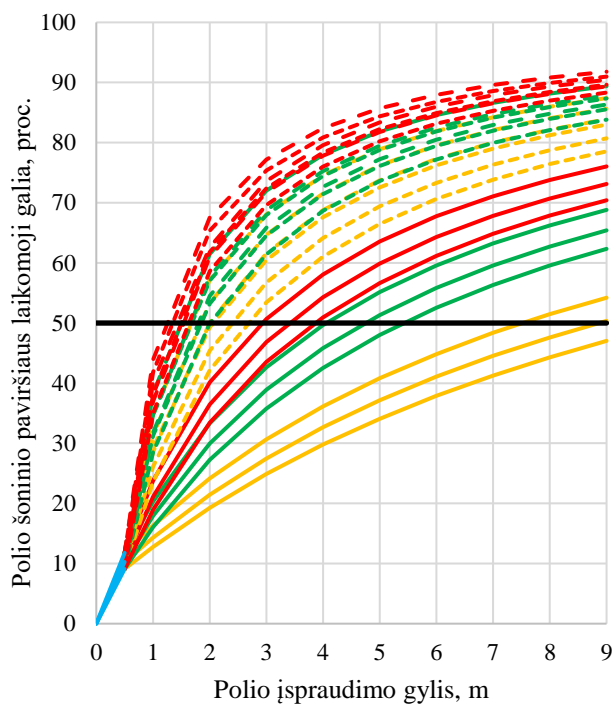
3.3.2. Dviejų sluoksnių skirtingo tipo gruntų laikomosios galios tarp polio galo ir šono santykio palyginimas

Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad keičiantis polio įsraudimo gyliui polio pado ir šoninio paviršiaus laikomosios galios santykis keičiasi netiesiškai. Mažesniame gylyje laikomosios galios tarp šoninio paviršiaus ir polio galo santykis keičiasi labiau, nei polio įsrausto į didesnę gylį.

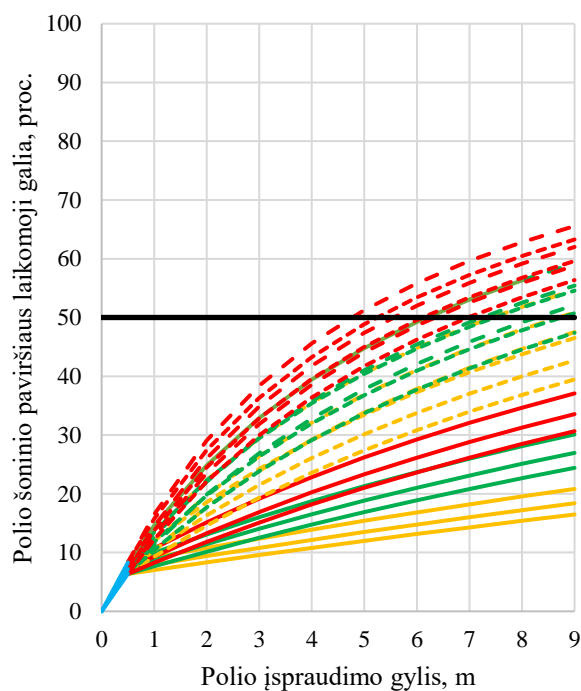
Taip pat pastebėta, kad polio laikomosios galios santykio tarp polio pado ir šoninio paviršiaus dydžiai ir kitimo spartai turi įtakos polio skersmuo, grunto tipas ir grunto gniuždomasis stipris.

Tyrimo rezultatai atskleidė, kad kai polio galas įsraustas į silpnesnę gruntą, polio laikomajai galiai didesnę įtaką daro šoninis paviršius, priešingu atveju didesnė laikomosios galios dalis priklauso nuo polio pado.

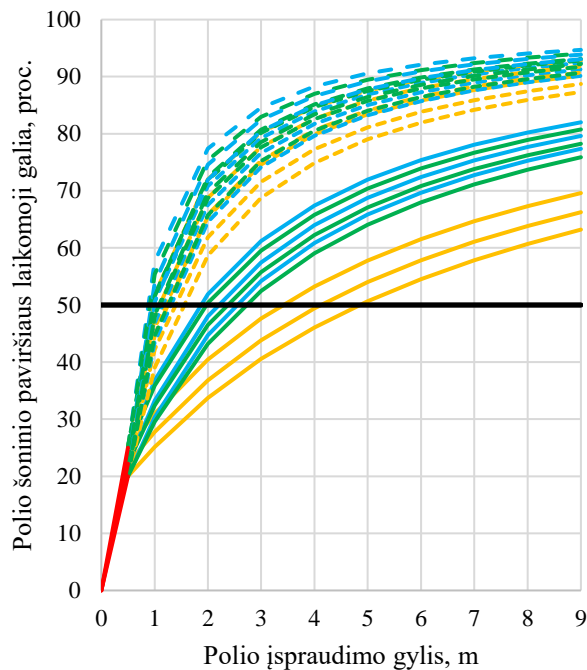
Taip pat iš grafikų, pateiktų 53 pav., a) ir b) matoma, kad gruntų tipai išsirikiuoja pagal literatūroje aprašomą seką smėlis, priesmėlis, priemolis ir molis. Šiuo atveju seka yra priesmėlis, priemolis ir molis.



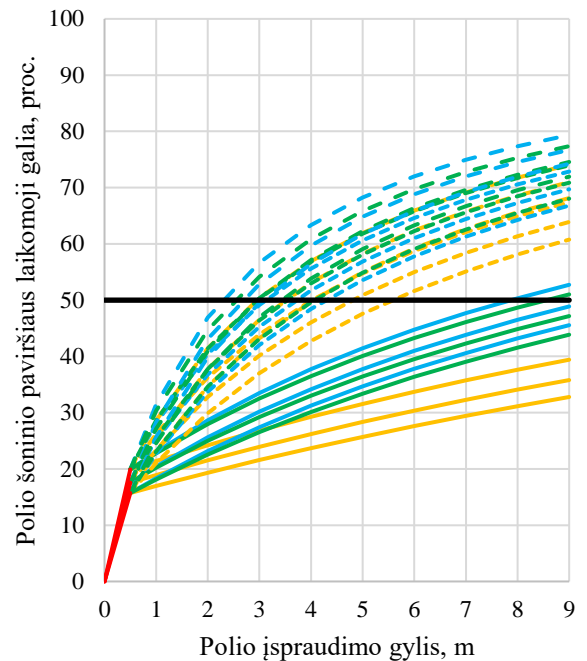
a)



b)



c)



d)

53 pav. Polio skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.), įsprausto į skirtingo tipo gruntą (■ smėlis ■ priesmėlis; ■ priemolis; ■ molis) laikomosios galios priklausomybė nuo polio įspraudimo gylio. a) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis smėlis (gniuždomasis stipris 4,1 MPa), o viršutinis sluoksnis priesmėlis; priemolis; molis. b) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis smėlis (gniuždomasis stipris 25 MPa), o viršutinis sluoksnis priesmėlis; priemolis; molis. c) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis molis (gniuždomasis stipris 1,1 MPa), o viršutinis sluoksnis smėlis, priesmėlis ir priemolis. d) polio įterpto į dviejų sluoksnių gruntą kurio apatinis sluoksnis molis (gniuždomasis stipris 6,7 MPa), o viršutinis sluoksnis smėlis, priesmėlis ir priemolis

3.3.3. Polio, įterpto į vieno ir dviejų sluoksnių skirtingo tipo gruntus, polio galo ir šono laikomosios galios santykio palyginimas

Polio 0,3 m skersmens, įterpto į vieno ir dviejų sluoksnių, skirtingų tipų gruntą šoninio paviršiaus laikomosios galios santykio su polio galu priklausomybė nuo polio įspraudimo gylio pateikta grafike (žr. 54 pav.).

Grafike 49 lyginami vieno ir dviejų sluoksnių gruntai. Skirtingų tipų gruntai vieno ir dviejų sluoksnių gruntuose turi tokio pat dydžio gniuždomuosius stiprius. Grafike 49 matoma, kad dvisluoksniu grunto viršutinis gruntas padidina arba sumažina polio šoninio paviršiaus laikomosios galios vertes santykyje su bendra polio laikomąja galia.

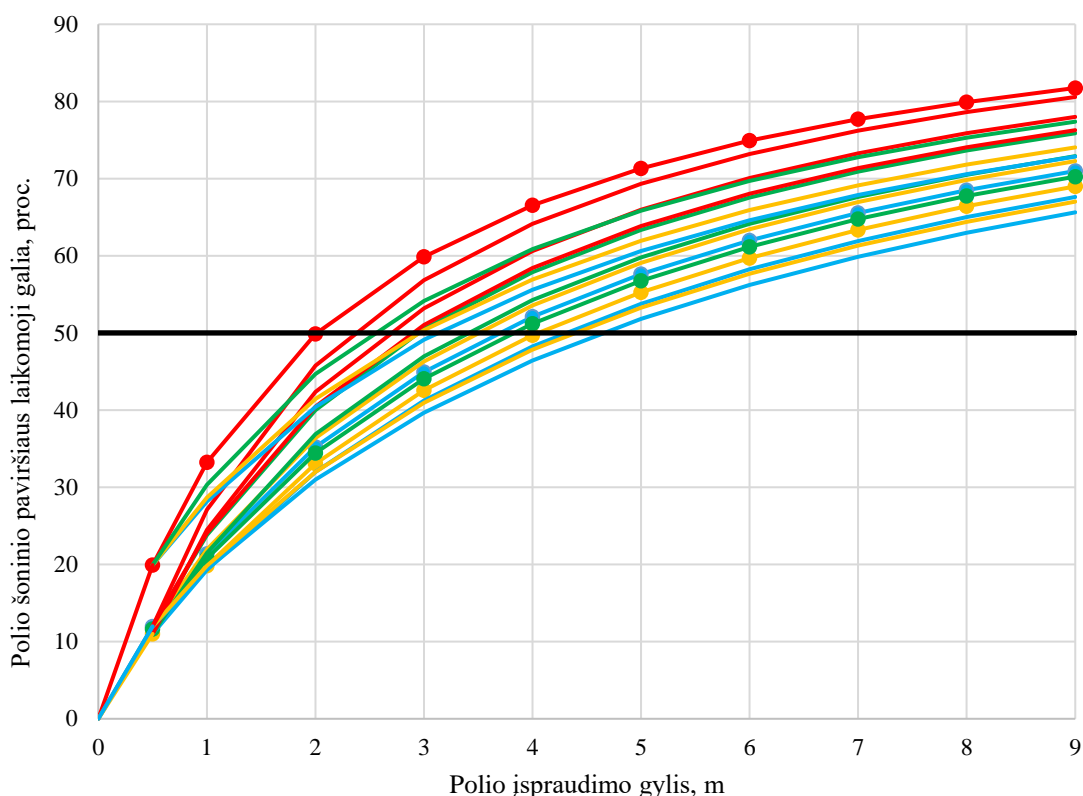
Tyrimo metu nustatyta, kad grafike 49 kreivės kitimo tendencija yra kaip vienakraštės parabolės arba matematikoje Homografinė funkcija. Kreivių kitimą galime išreikšti taip:

$$C = \frac{c_1}{c_1 + c_2}; \quad (10)$$

čia C – polio šoninio paviršiaus laikomosios galios santykio su bendra polio laikomąja galia išraiška, procentais;

C_1 – polio šoninio paviršiaus laikomoji galia, kN;

C_2 – polio pado laikomoji galia, kN.

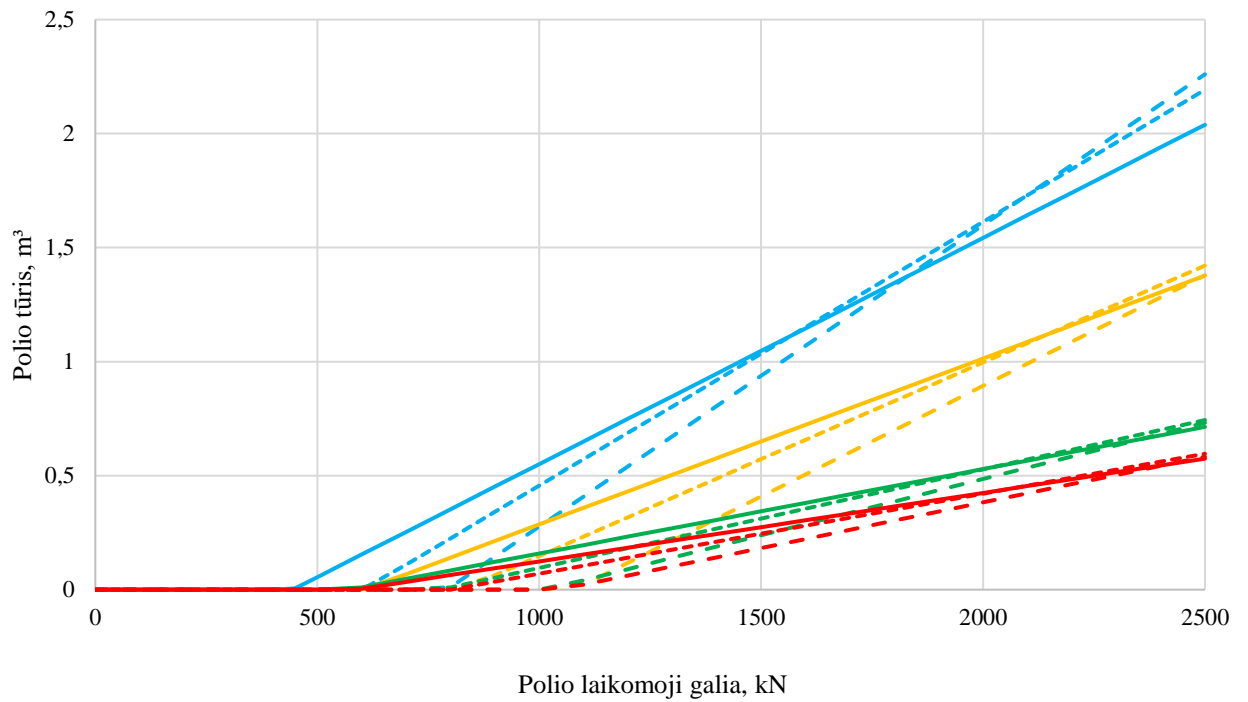


54 pav. Polio 0,3 m skersmens įterpto į vieno (—●—●—) ir dviejų (—) sluoksnių skirtingų tipų gruntus (■ smėlį (gniuždomasis stipris 11,3 MPa), ■ priesmėlį (gniuždomasis stipris 13,29 MPa), ■ priemolį (gniuždomasis stipris 12,7 MPa) ir ■ molį (gniuždomasis stipris 6,27 MPa)) šoninio paviršiaus laikomosios galios santykis su bendra polio laikomąja galia, priklausanti nuo skirtingo polio gylio

3.4. Skirtingo skersmens polių, įterptų į vienalytį skirtingo tipo gruntą, ekonominis vertinimas

Yra žinoma, kad tokio pat dydžio apkrovą galima laikyti su skirtingų parametų poliais. Padidinus polio skerspjūvį (apvalaus skerspjūvio polio) reikia sumažinti polio gylį ir polio laikomoji galia bus vienoda su mažesnio skersmens didesnio gylio poliu. Tik iškyla klausimas, kuris polis yra ekonomiškescnis- trumpas ir storas, ar ilgas ir plonas. Į šį klausimą atsakymas yra pateiktas 50 pav. Palyginus vienodo skersmens polių, įterptus į skirtingų tipų gruntus, matoma, kad molio gruntuose reikalingi mažiausio tūrio poliai lyginant su kitų tipų gruntais norint atlaikyti to paties dydžio apkrovas.

Pastebėta, kad visų tipų gruntuose skirtingo skersmens polių tendencija yra panaši (žr. 55 pav.) t. y. pradėjus poliams gilėti, ekonomiškiausi didžiausio skersmens poliai. Apkrovai didėjant, skirtingo skersmens polių tiesės susikerta, susikirtimo taške skirtingo skersmens poliai turi vienodą tūrį. Apkrovai dar padidėjus, po skirtingo skersmens polių tiesių susikirtimo mažesnio skersmens polis įgyja mažesnio tūrio vertes lyginant su didesnio skersmens poliu veikiant to paties dydžio apkrovai, o tai reiškia, kad mažesnio skersmens polis yra ekonomiškescnis.



55 pav. Polio skirtingo skersmens (— 0,30 m; ---- 0,35 m; - - - 0,40 m.) įsprausto į skirtingo tipo gruntą (■ smėlis ■ piesmėlis; ■ priemolis; ■ molis) tūrio priklausomybė nuo polį veikiančios apkrovos

Skirtingo skersmens polis, gali būti ekonomiškiausias, įterpus polį į skirtingo tipo gruntą, kai jį veikia tokio pat dydžio apkrova. Pvz.: polius, įterptas į skirtingo tipo gruntą, ir jį veikiant 2000 kN apkrova ekonomiškiausias polis, įterptas į smėlio gruntą yra 0,3 m skersmens, o polio, įterpto į piesmėlį, priemolį ir molį ekonomiškiausias - 0,4 m skersmens.

Praktikoje, norint pritaikyti šį skaičiavimą, pirmiausia reikia įvertinti kitas sąlygas ir apribojimus: polio gylis parinkimas pagal statinio zondavimo duomenis, gruntinio vandens lygį, polio kaip konstrukcijos įvertinimą ir kt. Ir tik tada jei galima įrengti skirtingo skersmens ar ilgio polį galima pasirinkti ekonomiškiausią polio variantą.

Išvados

Šiame darbe tyrimai atlikti terpiant polį į 9 m gylį. Polio skersmenys keičiami nuo 0,3 m iki 0,6 m. Polis terpiamas į keturių tipų, Lietuvoje vyraujančius gruntuos: smėlį, priesmėlį, priemolį ir molį. Šių gruntų gniuždomieji stipriai kinta nuo 1 MPa iki 30 MPa.

Atlikus spraustinių polių laikomosios galios tyrimą, taikant LST EN 1997 – 1:2003 metodiką, nustatyta, kad:

1. Didinant polio skersmenį polio laikomoji galia didėja. Padidinus įterpto polio skersmenį apie 1,14 karto polio laikomoji galia padidėja nuo 1,1 iki 1,42 karto.
2. Didinant polio įterpimo į gruntą gylį polio laikomoji galia didėja. Kuo giliau įspraudžiamas polis, tuo jo laikomoji galia lėčiau didėja. Polio įspraudimo gylį padidinus 1 m polio laikomoji galia padidėja nuo 1,03 (polį įgilinus nuo 8 m iki 9 m) iki 1,4 (polį įgilinus nuo 1 m iki 2 m) kartų. Ši kitimo tendencija išsilaiko tokia pat visuose nagrinėtuose gruntuose.
3. Polį įterpus į vienodo gniuždomojo stiprio, bet skirtingo tipo gruntą, didžiausią laikomąją galią turės polis, įterptas į molį, o mažiausią laikomąją galią – įterptas į smėlį. Polio, įterpto į molį, laikomoji galia nuo 1,2 iki 2,6 karto didesnė nei polio, įterpto į smėlį ar priesmėlį, ir nuo 1,3 iki 1,8 karto didesnė už polio, įterpto į priemolį.
4. Polio laikomosios galios kitimo sparta, priklausanti nuo grunto gniuždomojo stiprio kinta nuo 1,01 iki 2 kartų visuose gruntų tipuose.
5. Dviejų sluoksnių grunte polio laikomosios galios priklausomybė nuo polio skersmens, polio įterpimo gylio ir grunto gniuždomojo stiprio išlieka analogiška kaip vieno sluoksniu grunte.
6. Didesnio skersmens polius ekonomiškiau naudoti (medžiagų sąnaudų požiūriu), kai polį veikia sąlyginai nedidelės ašinės apkrovos (maždaug iki 1,5 – 1,7 MN), tai yra polį reikia įterpti į sąlyginai nedidelį gylį.

Literatūros sąrašas

1. JUPATOVA, J., PLUNGYTĖ, D., BEKERIENĖ, V. *Pastatų konstrukcijos: konspektas*. Vilnius, 2011. ISBN 978-9955-926-46-7.
2. SYED MUHAMMAD FAHEEM, R., KUIHUA, W., FAZAL, E. Evaluating the response of piles subjected to static and multiple dynamic axial loads. *Structures* [interaktyvus]. 2022, 40 [žiūrėta 2023-08-18]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.019>.
3. VAHED, G., SATAR, E. Comparing a single pile's axial bearing capacity using numerical modeling and analytical techniques. *Results in Engineering* [interaktyvus]. 2023, 17 [žiūrėta 2023-08-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100893>.
4. ŠIMKUS, J. *Gruntų mechanika, pagrindai ar pamatai*. Vilnius: Mokslas, 1984. ISBN 624-131-624-15.
5. RAŽAITIS, V. *Pastatų konstravimo pagrindai: vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams*. Vilniaus dailės akademijos leidykla, 2004. ISBN 9955-624-12-4.
6. ČERNIUS, B. *Pagrindai ir pamatai: mokomoji knyga*. Kaunas: technologija, 2003. ISBN 9955-09-331-5.
7. SLIŽYTĖ, D., MEDZVIECKAS, J., MACKEVIČIUS, R. *Pamatai ir pagrindai: vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2012. ISBN 978-609-457-176-3.
8. ZAVADSKAS, E. ir kt. *Statybos procesų technologija: vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams*. 2-oji papildyta ir pataisyta laida. Vilnius: technika, 2008. ISBN 978-9955-28-231-0.
9. AKOPYAN, V. Experimental and theoretical investigation of the interaction of the reinforced concrete screw piles with the surrounding soil. *Procedia Engineering* [interaktyvus]. 2016, 150, 2202–2207 [žiūrėta 2022-10-10]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.264>.
10. CARSWELL, W. ir kt. Influence of foundation damping on offshore wind turbine monopile design loads. *Marine Structures* [interaktyvus]. 2022, 83 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2021.103154>.
11. GEHOU., KUIXU., LIAN, J. A review on recent risk assessment methodologies of offshore wind turbine foundations. *Ocean Engineering* [interaktyvus]. 2022, 264 [žiūrėta 2022-10-10]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112469>.
12. JAMSHIDI, A. ir kt. Applied Risk Analysis Approaches for Maintenance of Offshore Wind Turbines; A Literature Review. *IFAC-PapersOnLine* [interaktyvus]. 2019, 52(13), 1075–1078 [žiūrėta 2022-11-09]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.338>.
13. WANG, X. ir kt. Feasibility study of offshore wind turbines with hybrid monopile foundation based on centrifuge modeling. *Applied Energy* [interaktyvus]. 2018, 209, 127–139 [žiūrėta 2022-11-09]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.107>.
14. PENG PENG, N. Ir kt. Compressive and flexural behaviour of reinforced concrete permeable piles. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2017, 147, 316–327 [žiūrėta 2022-10-10]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.007>.
15. FARHANGDOUST, S., ir kt. GFRP composite bars for splicing prestressed precast concrete piles: Design and experimental investigation. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2022, 272 [žiūrėta 2022-10-10]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114969>.
16. ELHAMAYMYA, A. H., MOHAMEDOA, H., BENMOKRANE, B. Durability assessment and behavior under axial load of circular GFRP-RC piles conditioned in severe simulated marine

- environment. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2021, 249 [žiūrėta 2022-10-10]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113376>.
17. MOHAJERANI, A., BOSNJAKAS, D., BROMWICHAS, D. Analysis and design methods of screw piles: A review. *Soils and Foundations* [interaktyvus]. 2016, 56(1), 115–128 [žiūrėta 2022-10-10]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2016.01.009>.
 18. ORANGAS, M., ir kt. An experimental evaluation of helical piles as a liquefaction-induced building settlement mitigation measure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* [interaktyvus]. 2021, 151 [žiūrėta 2022-10-10]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106994>.
 19. WANG, T., ir kt. Frost jacking characteristics of screw piles in seasonally frozen regions based on thermo-mechanical simulations. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. 2017, 91, 27–38 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.06.018>.
 20. WANG, K., ir kt. Model testing study on engineering performances of circular helicoid piles during the whole process of installation and bearing in sandy soil. *Soils and Foundations* [interaktyvus]. 2022, 62(3) [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101150>.
 21. KLAASSEN, R., CREEMERS, J. Wooden foundation piles and its underestimated relevance for cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage* [interaktyvus]. 2012, 13(3), 123–128 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.02.014>.
 22. FLEMING, K., WELTMAN A., RANDOLPH M. ir ELSON K. *Piling Engineering*. 3. London and New York: Taylor & Francis Group, 2008. ISBN 0-203-93764-3.
 23. BJORDAL, Š., ELAM, J. Bacterial degradation of nine wooden foundation piles from Gothenburg historic city center and correlation to wood quality, environment, and time in service. *International Biodeterioration & Biodegradation* [interaktyvus]. 2021, 164 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105288>.
 24. BERNABEI, M., ir kt. The wooden foundations of Rialto Bridge (Ponte di Rialto) in Venice: Technological characterisation and dating. *Journal of Cultural Heritage* [interaktyvus]. 2019, 36, 85–93 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.07.015>.
 25. PIZZO, B. ir kt. Assessing the wood compressive strength in pile foundations in relation to diagnostic analysis: The example of the Church of Santa Maria Maggiore, Venice. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2016, 114, 470–480 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.173>.
 26. ZHOU, W. ir kt. Behavior of steel casing composite piles under lateral loading and parameter optimization. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2020, 220 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110991>.
 27. AUYEUNGASA, S., ALIPOURB, A. SAINIB, D. Performance-based design of bridge piers under vehicle collision. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2019, 191, 752–765 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.005>.
 28. SIANGSOH, W., ir kt. Structural behavior of piles under vehicular collision load on bridge substructure – A case study. *Case Studies in Construction Materials* [interaktyvus]. 2022, 16 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00936>.
 29. SUBEDI, N. ir kt. Flexural performance of cast-in-place concrete-filled steel tube piles under varying axial load. *Thin-Walled Structures* [interaktyvus]. 2022, 174 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109130>.

30. GUNAWARDENAA, Y., ASLANI, F. Static flexural behaviour of concrete-filled spiral-welded stainless-steel tubes. *Thin-Walled Structures* [interaktyvus]. 2020, 151 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106731>.
31. ZHAO, C., DAJUN, V. Application of construction waste in the reinforcement of soft soil foundation in coastal cities. *Environmental Technology & Innovation* [interaktyvus]. 2021, 21 [žiūrėta 2022-10-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101195>.
32. BAGRIACIK, B. Utilization of alkali-activated construction demolition waste for sandy soil improvement with large-scale laboratory experiments. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2021, 302(4) [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124173>.
33. DARYAEI, R. ir kt. Numerical evaluation of the soil behavior during pipe-pile installation using impact and vibratory driving in sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* [interaktyvus]. 2020, 134 [žiūrėta 2022-11-11]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106177>.
34. DONG, S. ir kt. Numerical study on the installation effect of a jacked pile in sands on the pile vertical bearing capacities. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. 2022, 145 [žiūrėta 2023-07-10]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.104690>.
35. MICHAİL, S., LOPEZ-QUEROL, S. Numerical investigation of displacement pile installation in silica sand. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. 2023, 161 [žiūrėta 2023-07-10]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105591>.
36. ZHOU, J. ir kt. Shaft capacity of the pre-bored grouted planted pile in dense sand. *Mokslinis darbas* [interaktyvus]. 2018, 1227–1239 [žiūrėta 2022-11-11]. Prieiga per: https://link.springer.com/article/10.1007/s11440-018-0643-8?utm_source=getftr&utm_medium=getftr&utm_campaign=getftr_pilot.
37. WAN, Z., DAI, G., GONGAS, W. Field study on post-grouting effects of cast-in-place bored piles in extra-thick fine sand layers. *Acta Geotechnica* [interaktyvus]. 2019, 14, 1357–1377 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1007/s11440-018-0741-7>.
38. KAI-FU, L. ir kt. Physical model study of pile type effect on long-term settlement of geosynthetic-reinforced pile-supported embankment under traffic loading. *Transportation Geotechnics* [interaktyvus]. 2023, 38 [žiūrėta 2023-07-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100923>.
39. LIN, L. ir kt. A generalized elastoplastic load-transfer model for axially loaded piles in clay: Incorporation of modulus degradation and skin friction softening. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. 2023, 161 [žiūrėta 2023-07-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105594>.
40. LING-YU, X. ir kt. A simplified piecewise-hyperbolic softening model of skin friction for axially loaded piles. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. 2019, 108 [žiūrėta 2023-07-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2018.12.018>.
41. MARTINKUS, V. Sprautinių polių smėlinio pagrindo įtempių-deformacijų būvio eksperimentiniai ir skaitiniai tyrimai. Doktoro disertacija [interaktyvus]. Vilnius Technika, 2016. [žiūrėta 2023-07-07]. Prieiga per: <https://core.ac.uk/reader/267926660>.
42. WU, J. ir kt. Stiffness and strength development of the soft clay stabilized by the one-part geopolymer under one-dimensional compressive loading. *Soils and Foundations* [interaktyvus]. 2021, 61(4), 974–988 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.06.001>.

43. JIN, F. ir kt. Multi-objective optimization-based updating of predictions during excavation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* [interaktyvus]. 2019, 78, 102–123 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.002>.
44. YANG, J. ir kt. Modeling coupled erosion and filtration of fine particles in granular media. *Research Paper* [interaktyvus]. 2019, 14, 1615-1627 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1007/s11440-019-00808-8>.
45. LING, Z. ir kt. No AccessShaft resistance of pre-bored precast piles in Shanghai clay. *Geotechnical Engineering* [interaktyvus]. 2019, 172(3), 228–242 [žiūrėta 2022-11-11]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1680/jgeen.18.00028>.
46. YU, J. ir kt. Shaft capacity of prestressed high strength concrete (PHC) pile-cemented soil column embedded in clayey soil. *Soils and Foundations* [interaktyvus]. 2021, 61(4), 1086–1098 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.05.006>.
47. ZHOU, J. ir kt. Field behavior of pre-bored grouted planted nodular pile embedded in deep clayey soil. *Acta Geotechnica* [interaktyvus]. 2020, 15, 1847–1857 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11440-019-00891-x>.
48. ZHANG, M. ir kt. Bearing behavior and failure mechanism of squeezed branch piles. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [interaktyvus]. 2018, 10(5), 935–946 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.010>.
49. LUO, X. ir kt. An extended BNWF model for root piles incorporating soil–root interactions under lateral loading. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. 2022, 152 [žiūrėta 2022-11-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.105039>.
50. SUN, B. ir kt. Effect of the pile diameter and slope on the undrained lateral response of the Large – Diameter pile. *Computers and Geotechnics* [interaktyvus]. 2022, 152 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.104981>.
51. WANG, Z., QIU, W. Characteristics of wave forces on pile group foundations for sea-crossing bridges. *Ocean Engineering* [interaktyvus]. 2021, 235 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109299>.
52. DAI, J. ir kt. Effect of wave inhomogeneity on fatigue damage of mooring lines of a side-anchored floating bridge. *Ocean Engineering* [interaktyvus]. 2021, 219 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108304>.
53. SHEN, S. ir kt. Technical challenges in the construction of bridge-tunnel sea-crossing projects in China. *Journal of Zhejiang University: Science A* [interaktyvus]. 2021, 21(7), 509–513 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85088154088&origin=inward&txGid=cecf11c9d89b9d32623a0c60972a261>.
54. ZHANG, M. ir kt. Bearing behavior and failure mechanism of squeezed branch piles. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [interaktyvus]. 2018, 10(5), 935–946 [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.010>.
55. HONGWANG, M., JUN, Y. A novel hybrid monopile foundation for offshore wind turbines. *Ocean Engineering* [interaktyvus]. 2020, 198 [žiūrėta 2022-11-19]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.106963>.
56. ŠIMKUS J. *Gruntų mechanika, pagrindai ar pamatai*. Vilnius, leidykla Mokslas. 1984 m. ISBN 624-131-624-15
57. <https://www.lgt.lt/epaslaugos/elpaslauga.xhtml?jsessionid=60F32B66D25FA51AE40B0398A16F18B3> [žiūrėta 2023-05-05].

58. GAJAUSKAS, J., ŠARAKAUSKAS, J., MOTIEKAITIS, R. Statybos inžinieriaus žinynas. Vilnius, Technika, 2004. ISBN 9986-05-682-9.
59. DOROŠEVAS, V., STELMOKAITIS, G. Gruntų mechanika. *Laboratorinių darbų aprašai*. Kaunas, 2011.
60. <https://th.bing.com/th/id/OIP.CGKet-GrFItGFhrSGp77LQHaJg?pid=ImgDet&rs=1> [žiūrėta 2023-05-05].
61. GHIASI, V. ir ESKANDARI, S. Comparing a single pile's axial bearing capacity using numerical modeling and analytical techniques. *Results in Engineering* [interaktyvus]. 2023, 17 [žiūrėta 2023-05-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100893>.
62. GAJAUSKAS, J., AMŠIEJUS, J. IR FURMONAVIČIUS, L. Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinynas. Kaunas, Naujasis lankas, 2009. ISBN 978-9955-03-565-7.
63. BENJEMINAS, Č. Pamatų projektavimo pagal 7 eurokodą vadovas. *Mokomoji knyga*. Kaunas, Technologija, 2007. ISBN 9955-25-161-1