



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GEOTECHNIKOS KATEDRA

Lauras Ruzgys

**CENTRIŠKAI APKRAUTO POLIO PAGRINDO LAIKOMOSIOS GALIOS
SKAIČIAVIMO METODŲ ANALIZĖ
(ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING THE BEARING
CAPACITY OF A CENTRALLY LOADED PILE)**

Baigiamasis magistro darbas

Geotechnikos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX038

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2023

<table><tr><td>Vilniaus Gedimino technikos universitetas</td></tr><tr><td>Statybos fakultetas</td></tr><tr><td>Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedra</td></tr></table>		Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Statybos fakultetas	Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedra	<table><tr><td>ISBN</td><td>ISSN</td></tr><tr><td>Egz. sk.</td><td></td></tr><tr><td>Data-.....-.....</td><td></td></tr></table>	ISBN	ISSN	Egz. sk.		Data-.....-.....	
Vilniaus Gedimino technikos universitetas											
Statybos fakultetas											
Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedra											
ISBN	ISSN										
Egz. sk.											
Data-.....-.....											
Antrosios pakopos studijų Geotechnikos programos magistro baigiamasis darbas											
Pavadinimas	Centriškai apkrauto polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo metodų analizė										
Autorius	Lauras Ruzgys										
Vadovas	Danutė Sližytė										
<table><tr><td></td><td>Kalba: lietuvių</td></tr></table>			Kalba: lietuvių								
	Kalba: lietuvių										
Anotacija Baigiamajame darbe apžvelgta polių klasifikacija, aprašyti pagrindiniai technologiniai įrengimo būdai. Trumpai aprašytas polio apkrovos perdavimo pagrindui principas. Apžvelgtas ir aprašytas grunto tyrimo statiniu zondavimu bandymas. Aprašyti pagrindiniai principai, kaip yra atliekamas polio bandymas statine ašine apkrova ir metodika kaip vertinami bandymo rezultatai. Pagrindinis dėmesys darbe skirtas apžvelgti ir išanalizuoti polio pagrindo laikomosios galios metodikas, pagrįstas grunto statinio zondavimo bandymų duomenimis. Išanalizuotos penkios pagrindo laikomosios galios skaičiavimo metodikos. Eksperimentinėje darbo dalyje buvo nagrinėjami aštuoni poliai išbandyti statine ašine apkrova. Pagal kiekvieno polio įrengimo inžinerines geologines sąlygas buvo atlikti polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimai, remiantis darbe išanalizuotomis penkiomis metodikomis. Gauti rezultatai palyginti tarpusavyje. Taip pat rezultatai gauti skaičiuojant palyginti su realiai atlikto polio bandymo rezultatais juos vertinant pagal Brinch Hansen 80% metodiką. Pateiktos išvados ir pasiūlymai tolimesniems tyrimams. Darbą sudaro šios dalys: įvadas, polių tipai, polio apkrovos perdavimas pagrindui, grunto tyrimai, polio bandynas ašine statine gniuždymo apkrova, polio pagrindo laikomosios galios prognozavimas remiantis bandymo ašine statine gniuždymo apkrova ataskaita, polio pagrindo laikomosios galios metodų analizė, apskaičiuotos polio pagrindo laikomosios galios palyginimas su bandymų statine ašine apkrova duomenimis, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas. Darbo apimtis – 72 puslapių teksto, 81 paveikslas, 28 lentelės, 27 literatūros šaltiniai											
Prasminiai žodžiai: laikomoji galia, CFA gręžtiniai poliai, gręžtiniai poliai $L/D \leq 5$, polių bandymai											

<table border="1"> <tr> <td>Vilnius Gediminas Technical University</td> </tr> <tr> <td>Faculty of Civil Engineering</td> </tr> <tr> <td>Department of Reinforced Concrete Structures and Geotechnics</td> </tr> </table>		Vilnius Gediminas Technical University	Faculty of Civil Engineering	Department of Reinforced Concrete Structures and Geotechnics	<table border="1"> <tr> <td>ISBN</td> <td>ISSN</td> </tr> <tr> <td>Copies No.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Date-.....-.....</td> <td></td> </tr> </table>		ISBN	ISSN	Copies No.		Date-.....-.....								
Vilnius Gediminas Technical University																			
Faculty of Civil Engineering																			
Department of Reinforced Concrete Structures and Geotechnics																			
ISBN	ISSN																		
Copies No.																			
Date-.....-.....																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="4">Master Degree Studies Geotechnics study programme Master Graduation Thesis</td> </tr> <tr> <td>Title</td> <td colspan="3">Analysis of Methods for Calculating the Bearing Capacity of a Centrally Loaded Pile</td> </tr> <tr> <td>Author</td> <td colspan="3">Lauras Ruzgys</td> </tr> <tr> <td>Academic supervisor</td> <td colspan="3">Danutė Sližytė</td> </tr> </table>				Master Degree Studies Geotechnics study programme Master Graduation Thesis				Title	Analysis of Methods for Calculating the Bearing Capacity of a Centrally Loaded Pile			Author	Lauras Ruzgys			Academic supervisor	Danutė Sližytė		
Master Degree Studies Geotechnics study programme Master Graduation Thesis																			
Title	Analysis of Methods for Calculating the Bearing Capacity of a Centrally Loaded Pile																		
Author	Lauras Ruzgys																		
Academic supervisor	Danutė Sližytė																		
			<table border="1"> <tr> <td>Thesis language: Lithuanian</td> </tr> </table>	Thesis language: Lithuanian															
Thesis language: Lithuanian																			
<table border="1"> <tr> <td> Annotation In the Master's Thesis reviewed the classification of piles, described the main technological methods of installation. The principle of pile load transfer to the foundation is briefly described. The test of soil investigation by cone penetration is reviewed and described. The basic principles of how the pile test is performed under static axial load and the methodology for evaluating the test results are described. The main focus of the Thesis is to review and analyze pile bearing capacity methodologies based on cone penetration test data. Five methods of calculating the bearing capacity of the pile are analyzed. In the practical part of Thesis, eight piles tested under static axial load were analyzed. According to the geological conditions of each pile, calculations of the bearing capacity of the pile were performed based on the five methodologies analyzed in the Thesis. The obtained results are compared with each other. Also, the results obtained by the calculation are compared to the results of the actual pile test results, evaluated according to the Brinch Hansen 80% methodology. Conclusions and suggestions for further research are presented. The work consists of the following parts: introduction, types of piles, testing of piles by static compression load, analysis of methods for calculating the bearing capacity of pile, calculated bearing capacity of pile comparison with static compression load test data, conclusions and suggestions, list of bibliographic sources. Scope of work - 72 pages of text, 81 figures, 28 tables, 27 bibliographic sources </td> </tr> </table>				Annotation In the Master's Thesis reviewed the classification of piles, described the main technological methods of installation. The principle of pile load transfer to the foundation is briefly described. The test of soil investigation by cone penetration is reviewed and described. The basic principles of how the pile test is performed under static axial load and the methodology for evaluating the test results are described. The main focus of the Thesis is to review and analyze pile bearing capacity methodologies based on cone penetration test data. Five methods of calculating the bearing capacity of the pile are analyzed. In the practical part of Thesis, eight piles tested under static axial load were analyzed. According to the geological conditions of each pile, calculations of the bearing capacity of the pile were performed based on the five methodologies analyzed in the Thesis. The obtained results are compared with each other. Also, the results obtained by the calculation are compared to the results of the actual pile test results, evaluated according to the Brinch Hansen 80% methodology. Conclusions and suggestions for further research are presented. The work consists of the following parts: introduction, types of piles, testing of piles by static compression load, analysis of methods for calculating the bearing capacity of pile, calculated bearing capacity of pile comparison with static compression load test data, conclusions and suggestions, list of bibliographic sources. Scope of work - 72 pages of text, 81 figures, 28 tables, 27 bibliographic sources															
Annotation In the Master's Thesis reviewed the classification of piles, described the main technological methods of installation. The principle of pile load transfer to the foundation is briefly described. The test of soil investigation by cone penetration is reviewed and described. The basic principles of how the pile test is performed under static axial load and the methodology for evaluating the test results are described. The main focus of the Thesis is to review and analyze pile bearing capacity methodologies based on cone penetration test data. Five methods of calculating the bearing capacity of the pile are analyzed. In the practical part of Thesis, eight piles tested under static axial load were analyzed. According to the geological conditions of each pile, calculations of the bearing capacity of the pile were performed based on the five methodologies analyzed in the Thesis. The obtained results are compared with each other. Also, the results obtained by the calculation are compared to the results of the actual pile test results, evaluated according to the Brinch Hansen 80% methodology. Conclusions and suggestions for further research are presented. The work consists of the following parts: introduction, types of piles, testing of piles by static compression load, analysis of methods for calculating the bearing capacity of pile, calculated bearing capacity of pile comparison with static compression load test data, conclusions and suggestions, list of bibliographic sources. Scope of work - 72 pages of text, 81 figures, 28 tables, 27 bibliographic sources																			
<table border="1"> <tr> <td> Keywords: Bearing capacity, CFA piles, piles $L/D \leq 5$, pile test </td> </tr> </table>				Keywords: Bearing capacity, CFA piles, piles $L/D \leq 5$, pile test															
Keywords: Bearing capacity, CFA piles, piles $L/D \leq 5$, pile test																			

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	11
ĮVADAS	12
1. POLIŲ TIPAI.....	13
1.1. Polių paskirtis.....	13
1.2. Polių klasifikavimas	13
1.3. Spraustiniai poliai.....	14
1.4. Nespraustiniai (gręžtiniai) poliai.....	17
2. POLIO BANDYMAS AŠINE STATINE GNIUŽDYMO APKROVA.....	21
2.1. Polio bandymo ašine statine gniuždymo apkrova planavimas ir atlikimas.....	21
2.2. Polio pagrindo laikomosios galios prognozavimas remiantis bandymo ašine statine gniuždymo apkrova ataskaita.....	23
3. POLIO PAGRINDO LAIKOMOSIOS GALIOS METODŲ ANALIZĖ.....	24
3.1. Polio apkrovos perdavimas pagrindui	25
3.2. Grunto tyrimai. Statinio zondavimo bandymas (CPT).....	27
3.3. α – metodas.....	28
3.4. β – metodas.....	30
3.5. STR 2.05.21:2016 Gręžtinių pamatų pagrindo projektavimas (10 priedas) metodas	31
3.6. L. Furmonavičiaus metodas	33
3.7. LCPC (Bustamante) metodas	35
3.8. EA-Pfahle (German methode) metodas	37
3.9. EN1997-2 metodas.....	39
4. APSKAIČIUOTOS POLIO PAGRINDO LAIKOMOSIOS GALIOS PALYGINIMAS SU BANDYMŲ STATINE AŠINE APKROVA DUOMENIMIS	44
4.1. BANDOMASIS POLIS NR.1.....	44
4.2. BANDOMASIS POLIS NR.2.....	52
4.3. BANDOMASIS POLIS NR.3.....	56
4.4. BANDOMASIS POLIS NR.4.....	60
4.5. BANDOMASIS POLIS NR.5.....	64
4.6. BANDOMASIS POLIS NR.6.....	68
4.7. BANDOMASIS POLIS NR.7.....	72
4.8. BANDOMASIS POLIS NR.8.....	76
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	80
LITERATŪROS SĄRAŠAS	82

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Poliai, perduodantys apkrovas į pagrindą: a - trinties poliai, b – atremtieji poliai (Tomlinson ir Woodward, 2008)	13
2 pav. Polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą (Sližytė ir kt., 2012)	13
3 pav. Spraustinių polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 12699, 2015).....	14
4 pav. Gelžbetoninių polių skerspjuviai ir armavimai (Sližytė ir kt., 2012)	14
5 pav. Plieninių polių kalimas (Flickr, 2023)	15
6 pav. Įrengti plieniniai poliai (Flickr, 2023)	15
7 pav. Medinių polių kalimas (Koppers, 2023)	15
8 pav. Įrengti mediniai poliai (Steel Giant, 2023)	15
9 pav. Įsriegiamo spraustinio monolitinio polio įrengimo principinė schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 12699, 2015).....	16
10 pav. Įspraudžiamo vibraciniu plaktu monolitinio polio įrengimo principinė schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 12699, 2015).....	16
11 pav. Įspraudžiamo spaudimo būdu monolitinio polio įrengimo principinė schema (Sližytė ir kt., 2012)	17
12 pav. Gręžtinių polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą pagal K. Flemingą (Fleming ir kt., 2009)	17
13 pav. Gręžtinių polių įrengimas be apsauginio apvalkalo (Keller, 2023)	18
14 pav. Gręžtinių polių įrengimas su apsauginiu apvalkalu (Keller, 2023)	18
15 pav. Injekcinių polių įrengimas (Keller, 2023).....	19
16 pav. Ištisinio sraigtinio gręžimo polių įrengimas (Keller, 2023).....	20
17 pav. Ištisinio sraigtinio gręžimo polių VDW įrengimas (Keller, 2023)	20
18 pav. Inkaravimo sistemų principinės schemos (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN ISO 22477-1, 2019)	21
19 pav. Sumontuota polio bandymo sistema statybos aikštelėje (autorius nuotrauka).....	23
20 pav. Brincho Hanseno 80 % metodikos atvaizdavimas (Olgun ir Yenginar, 2017).....	24
21 pav. Polio apkrovos perdavimo gruntui kreivės (Bowles, 1997)	26
22 pav. Statinio zondavimo zondas (Earthquake commission, 2023).....	27
23 pav. Statinio zondavimo principinė schema (Geotestus, 2023).....	28
24 pav. Sukibimo koeficientas α (Xiao ir Barreto, 2015).....	29
25 pav. Apytikslės β ir N_r reikšmės (Xiao ir Barreto, 2015).....	30
26 pav. Vertikalia jėga apkrautas gręžtinis pamatas (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, STR 2.05.21, 2016).....	31
27 pav. Smulkiųjų moreninių gruntų pagrindo n % atsparumo po gręžtinio pamato padu grafikas	32
28 pav. Rupiųjų gruntų pagrindo n % atsparumo po gręžtinio pamato padu grafikas	32
29 pav. Ekvivalentinio grunto kūginio stiprumo q_c , eq nustatymas	35
30 pav. q_c reikšmės nustatymas po polio padu priklausomai nuo polių įrengimo būdo: a – gręžtiniai poliai; b – spraustiniai poliai.....	38
31 pav. β vertės: 1 linija $\beta=1.0$; 2 linija $\beta=0.9$; 3 linija $\beta=0.8$; 4 linija $\beta=0.7$; 5 linija $\beta=0.6$	41
32 pav. $q_{c,I}$; $q_{c,II}$; $q_{c,III}$ nustatymo grafinis paaiškinimas.....	42
33 pav. Bandomasis polis Nr.1	44
34 pav. Bandomasis polis Nr.1 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	45
35 pav. Bandomasis polis Nr.1 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką.	46
36 pav. Brincho Hanseno 80 % prognozavimo metodika	46
37 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	50
38 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	50

39 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.1 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	51
40 pav. Bandomasis polis Nr.2	52
41 pav. Bandomasis polis Nr.2 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	53
42 pav. Bandomasis polis Nr.2 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką	53
43 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	54
44 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	54
45 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.2 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	55
46 pav. Bandomasis polis Nr.3	56
47 pav. Bandomasis polis Nr.3 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	57
48 pav. Bandomasis polis Nr.3 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką	57
49 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	58
50 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	58
51 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.3 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	59
52 pav. Bandomasis polis Nr.4	60
53 pav. Bandomasis polis Nr.4 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	61
54 pav. Bandomasis polis Nr.4 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką	61
55 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	62
56 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	62
57 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.4 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	63
58 pav. Bandomasis polis Nr.5	64
59 pav. Bandomasis polis Nr.5 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	65
60 pav. Bandomasis polis Nr.5 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką	65
61 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	66
62 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	66
63 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.5 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	67
64 pav. Bandomasis polis Nr.6	68
65 pav. Bandomasis polis Nr.6 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	69
66 pav. Bandomasis polis Nr.6 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką	69
67 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	70
68 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	70
69 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.6 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	71
70 pav. Bandomasis polis Nr.7	72
71 pav. Bandomasis polis Nr.7 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	73
72 pav. Bandomasis polis Nr.7 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką	73
73 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	74

74 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	74
75 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.7 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	75
76 pav. Bandomasis polis Nr.8	76
77 pav. Bandomasis polis Nr.8 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.	77
78 pav. Bandomasis polis Nr.8 pagal Brincho Hanseno 80% metodiką	77
79 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis.....	78
80 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.....	78
81 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.8 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %	79

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Rekomenduojamas laikas nuo polio įrengimo iki bandymo (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN ISO 22477-1, 2019)	22
2 lentelė. Pamato gylis priklausomai nuo grunto tipo (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, STR 2.05.21, 2016).....	31
3 lentelė. Grunto stiprio po padu ab ir prie pamato šoninio paviršiaus as reikšmės.....	34
4 lentelė. Koeficientai γ_{Rb} ir γ_{Rs} , kurių vertės priklauso nuo polių įrengimo būdo	34
5 lentelė. Koeficiento αp reikšmės priklausomai nuo q_c reikšmių	36
6 lentelė. Koeficiento αs reikšmės priklausomai nuo q_c , reikšmių ir polių įrengimo būdo	36
7 lentelė. Pagrindo atsparumo q_b reikšmės nesprausiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių.....	38
8 lentelė. Pagrindo atsparumo q_b reikšmės sprausiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių.....	38
9 lentelė. Pagrindo atsparumo q_s reikšmės nesprausiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių.....	39
10 lentelė. Pagrindo atsparumo q_s reikšmės sprausiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių.....	39
11 lentelė. Smėlingų ir žvyringųjų smėlių didžiausios α_p ir α_s vertės	40
12 lentelė. Didžiausios molių, dulkių ir durpių α_s vertės.....	41
13 lentelė. Grunto rodikliai.....	45
14 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	50
15 lentelė. Grunto rodikliai.....	52
16 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	54
17 lentelė. Grunto rodikliai.....	56
18 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	58
19 lentelė. Grunto rodikliai.....	60
20 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	62
21 lentelė. Grunto rodikliai.....	64
22 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	66
23 lentelė. Grunto rodikliai.....	68
24 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	70
25 lentelė. Grunto rodikliai.....	72
26 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	74
27 lentelė. Grunto rodikliai.....	76
28 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė	78

IVADAS

Poliniai pamatai jau gana nemažai metų yra vyraujantis pamatų tipas Lietuvoje. Dėl susiklosčiusių ekonominių kriterijų jie kol kas bene racionaliausias pamatų tipas daugeliu gruntų sąlygų. Per pastarąjį laikotarpį Lietuvoje pastebima tendencija, kad pamatus, sudarytus iš polių grupės ir sujungtų galvenomis, keičia vieno sąlyginai didelio skersmens ($D_{800-1000}$ mm) polis su inkariniais varžtais ar armatūros karkasu, pastato kolonos jungimui. Šie poliai, nemažai atvejų būna trumpi, t.y. jų gylio ir skersmens santykis yra $L/D \leq 5$. Viena darbe nagrinėjama metodika yra pritaikyta skaičiuoti būtent sąlyginai trumpus polius. Tačiau iš eilės polių bandymų rezultatų matyti, kad polių pagrindo laikomoji galia daugeliu atvejų yra gerokai didesnė.

Magistro baigiamajame darbe apžvelgiami penki metodai polių pagrindo laikomajai galiai nustatyti. Pasaulyje pripažintų ir naudojamų metodų yra ir daugiau, tačiau darbe pasirinkti metodai dažniausiai taikomi Lietuvoje. Du iš jų paruošti lietuvių autorių ir orientuoti būtent į Lietuvos grunto sąlygas, likę plačiai naudojami visoje Europoje ir ne tik, taip pat integruoti ir į programinės įrangos paketus, skirtus polių pagrindo laikomajai galiai nustatyti. Metodai pagrįsti grunto statinio zondavimo reikšmių tiesioginiu naudojimu.

Magistro baigiamajame darbe pateikiami polių pagrindo laikomosios galios metodais suskaičiuotų ir polių bandymų ašine statine apkrova rezultatų palyginimas su išvadomis ir pasiūlymais.

Darbo tikslas – nustatyti polių pagrindo laikomosios galios skaičiavimo metodiką, kuria polių su gylio ir skersmens santykiu $L/D \leq 5$ prognozuojama ribinė pagrindo laikomoji galia, artimiausia lauko bandymų statine ašine apkrova rezultatams.

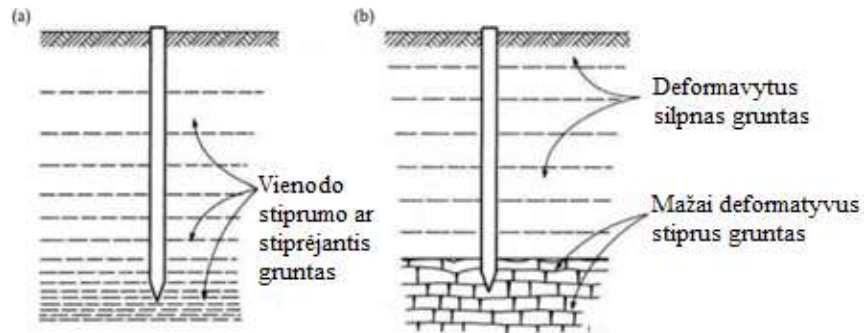
Darbo uždaviniai:

- išanalizuoti literatūrą apie polių įrengimo technologiją, polių bandymo statine ašine gniuždymo apkrova planavimą, atlikimą ir rezultatų interpretavimą;
- atrinkti ir apžvelgti polių pagrindo laikomosios galios skaičiavimo metodikas;
- remiantis turimais įvairiose Lietuvos statybos aikštelėse įrengtų ir išbandytų statine ašine gniuždymo apkrova polių duomenimis (inžineriniais geologiniais grunto tyrimais ir polių bandymo statine ašine gniuždymo apkrova ataskaita), atlikti laikomosios galios skaičiavimus pasirinktomis metodikomis kiekvienam bandomajam poliui bei įvertinti polių bandymų ataskaitos duomenis prognozuojant ribinę polio pagrindo laikomąją galia;
- išanalizuoti gautus prognozuojamos ribinės laikomosios galios ir pagrindo laikomosios galios skaičiavimo rezultatus.

1. POLIŲ TIPAI

1.1. POLIŲ PASKIRTIS

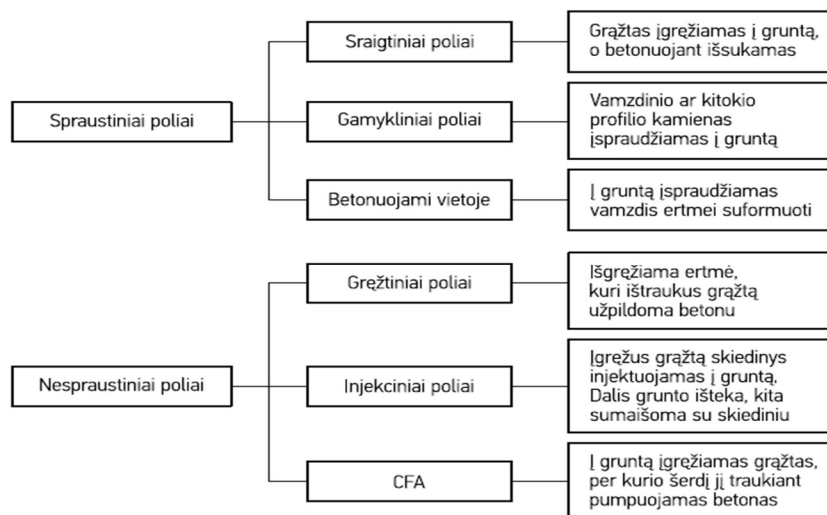
Poliai yra konstrukciniai stulpiniai pamato elementai skirti perduoti statinio ar pastato apkrovą giliau slūgsantiems stipresniems grunto sluoksniams. Taip pat poliai gali būti naudojami ir perimti tempimo poveikiams, kaip pavyzdys po aukštų bokštų, dūmtraukių ar vėjo jėgainių pamatais. Poliai naudojami ir siekiant sumažinti statinio ar pastato sėdimus.



1 pav. Poliai, perduodantys apkrovas į pagrindą: a - trinties poliai, b – atremtieji poliai (Tomlinson ir Woodward, 2008)

1.2. POLIŲ KLASIFIKAVIMAS

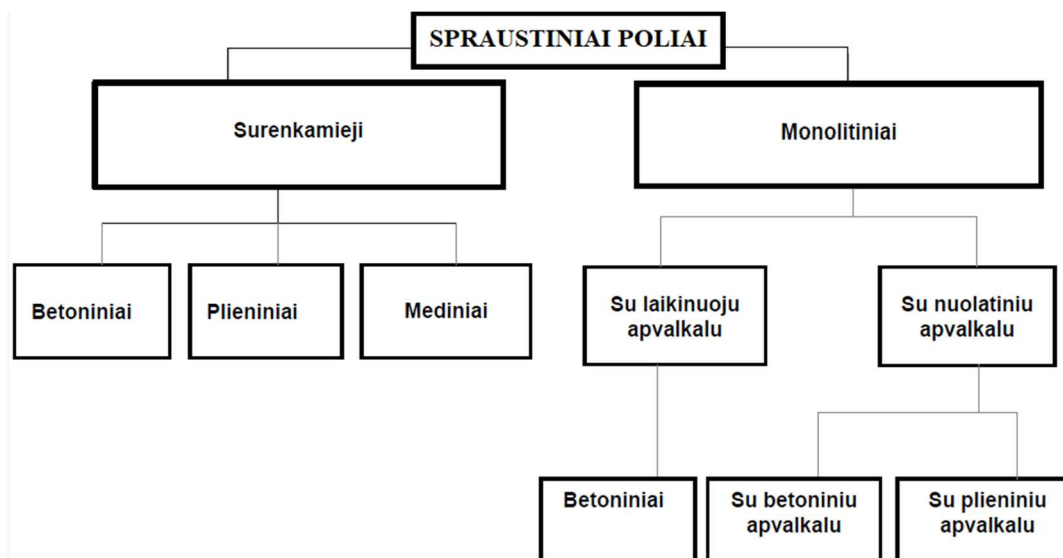
Poliai gali būti skirstomi pagal medžiagas, konstrukciją, gamybos būdą, įrengimo būdą, pagrindo darbo pobūdį. Vertinant iš polių pagrindo laikomosios galios skaičiavimų metodikos perspektyvos, poliai būtų skirstomi į dvi pagrindines grupes: spraustinius polius ir nespraustinius polius (Fleming ir kt., 2009). Atitinkamai šios dvi grupės pagal kitus anksčiau minėtus požymius skirstomos į mažesnius pogrupius. Toliau darbe apžvelgsime tik Lietuvoje dažniausiai naudojamas polių įrengimo technologijas.



2 pav. Polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą (Slizytė ir kt., 2012)

1.3. SPRAUSTINIAI POLIAI

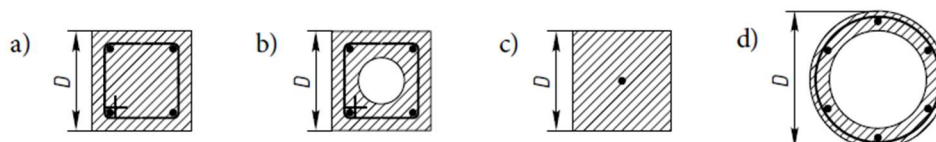
Spraustinių polių įrengimą reglamentuoja standartas LST EN 12699. Spraustiniai poliai tai poliai įrengiami grunte jo nepašalinant, o įrengimo metu perstumiant ir sutankinant. Atskirais atvejais nedidelė dalis grunto gali būti pašalinama, pavyzdžiui, pakilęs gruntas aplink spraužiamus polius, kai reikia pašalinti kliuvinius norint įsprausti polius iki projekcinio gylio ir kt. Poliai į gruntą spraudžiami taikant kalimą, vibravimą, spaudimą, sriegimą arba šių metodų derinius (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 12699, 2015). Spraustinių polių klasifikacija pateikiama 3 paveiksle.



3 pav. Spraustinių polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 12699, 2015)

Kaip matyti iš schemos, pateiktos 3 paveiksle spraustiniai poliai skirstomi į dvi pagrindines grupes – surenkamuosius ir monolitinius.

Surenkamieji poliai gali būti betoniniai ar gelžbetoniniai, plieniniai arba mediniai. Pastaruoju metu Lietuvoje surenkamieji poliai naudojami ypač retai, o kai buvo naudojami, tai dažniausiai taikyti gelžbetoniniai poliai. Atsižvelgiant į veikiančias apkrovas, poliai gali būti su skersine armatūra ir be jos, su iš anksto įtempta ir neįtempta armatūra (Sližytė ir kt., 2012).



4 pav. Gelžbetoninių polių skerspjūviai ir armavimai (Sližytė ir kt., 2012)

Surenkami plieniniai poliai naudojami sudėtingomis gruntinėmis sąlygomis, kai įrengti gelžbetoninius polius netikslinga. Taip pat naudojami rekonstruojamiems pamatams, nes tokius polius nesudėtinga sujungti. Naudojant metalinius polius būtina numatyti patikimą antikorozinę dangą, naudoti legiruotąjį plieną arba įvertinti metalo korozijos greitį (Tomlinson ir Woodward, 2008).



5 pav. Plieninių polių kalimas (Flickr, 2023)



6 pav. Įrengti plieniniai poliai (Flickr, 2023)

Surenkamieji mediniai poliai gaminami iš spygliuočių ir lapuočių veislių medžių tiesių ir ilgų kamienų. Mediniai poliai turi trūkumų: maža laikomoji galia, riboti polio matmenys, greitai pūva kintamo drėgnumo aplinkoje. Reikalaujama, kad šių polių viršus būtų 30–50 cm žemiau žemiausio gruntinio vandens gylio. Dažniausia tokie poliai naudojami laikiniems pastatams ar statiniams (Tomlinson ir Woodward, 2008).



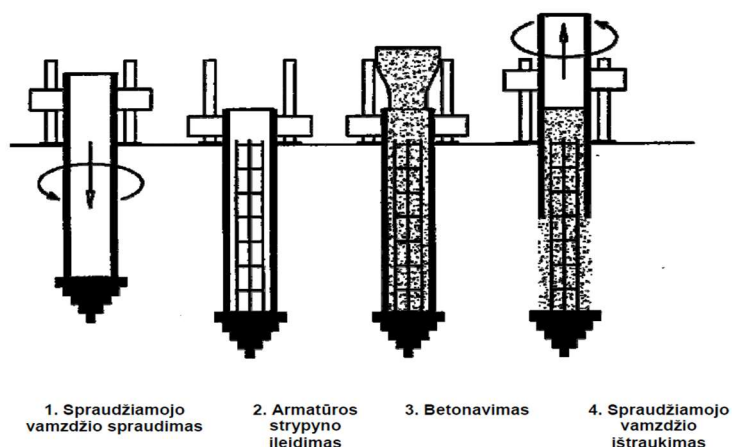
7 pav. Medinių polių kalimas (Koppers, 2023)



8 pav. Įrengti mediniai poliai (Steel Giant, 2023)

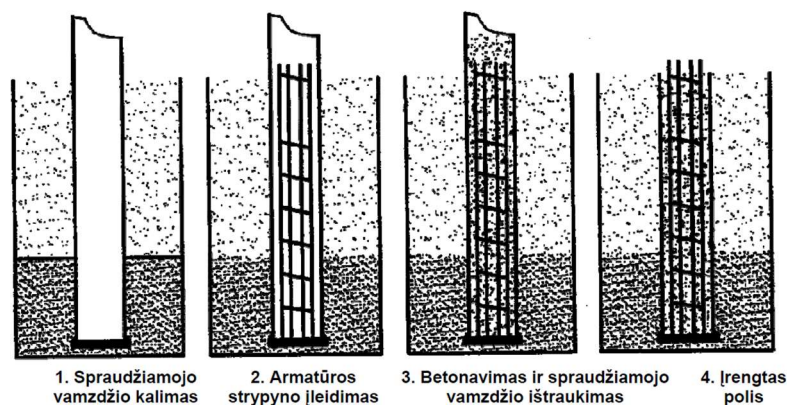
Lietuvoje dažniausiai naudojami spraustiniai monolitiniai poliai su laikinu plieniniu apvalkalu. Yra keletas būdų, kaip įrengti spraustinius polius su laikinu plieniniu apvalkalu. Vienas iš būdų - kai plieninis apvalkalas su paliekamu plieniniu antgaliu sriegiamas į gruntą tuo pat metu naudojant

spaudimo ir sukimo jėgas. Įsriegus apvaskalą yra montuojamas armatūros karkasas, klojamas betonas. Suklojus betoną plieninis antgalis lieka grunte, o plieninis apvaskalas ištraukiamas.



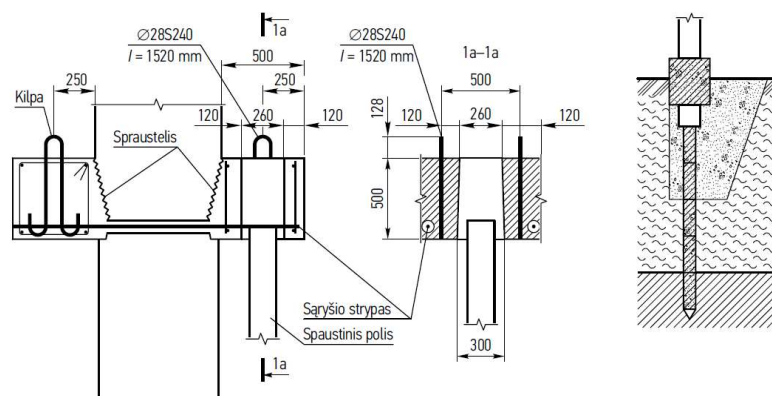
9 pav. Įsriegiamo spraustinio monolitinio polio įrengimo principinė schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 12699, 2015)

Dažniausiai Lietuvoje naudota ir šiuo metu esant poreikiui naudojama monolitinių spraustinių polių su laikinu plieniniu apvaskalu spraudimo naudojant virbroplaktus technologija. Vibraciniais plaktais poliui suteikiami tam tikro dažnio ir amplitudės virpesiai. Priklausomai nuo grunto, esant tam tikrai amplitudei ir dažniui, trintis tarp polio ir grunto tampa mažesnė nei polį į gruntą spaudžianti jėga, polis pradeda smigti į gruntą. Įspaudimo jėgą sudaro polio ir vibratoriaus svoris bei inercijos jėgos, kurios susidaro dėl vibratoriaus ekscentrikų sukimosi (Fleming ir kt., 2009). Pats polio įrengimo principas atitinka aukščiau aprašytą technologiją, tik skiriasi paliekamo plieninio antgalio forma ir paties plieninio apvaskalo paruošimas ir vietinis sustiprinimas vietose, kuriose vibraciniu plaktu suimamas vazdis.



10 pav. Įspraudžiamo vibraciniu plaktu monolitinio polio įrengimo principinė schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 12699, 2015)

Spraustiniai poliai su nuolatinio plieniniu apvaskalu dažnai naudojami pamatų stiprinimo darbams. Dažniausiai šie poliai į gruntą yra spaudžiami hidrauliniiais domkratais. Pamatų stiprinimui naudojami poliai dažnai būna spaudžiami sekcijomis, o pirmoji spaudžiama sekcija būna uždaru galu. Įspaudus polius iki projekcinio gylio ar atsako, polių vidus dažniausiai užbetonuojamas.



11 pav. Įsraudžiamo spaudimo būdu monolitinio polio įrengimo principinė schema (Sližytė ir kt., 2012)

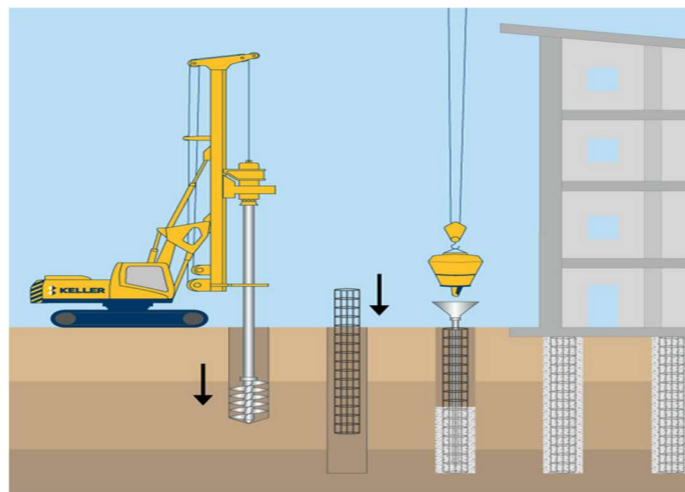
1.4. NESPRAUSTINIAI (GRĘŽTINIAI) POLIAI

Gręžtinių polių įrengimą reglamentuoja standartas LST EN 1536. Gręžtinis polis gaunamas su arba be polinio apvalkalo iškasant ar išgręžiant ertmę grunte ir užpildant ją betonu arba gelžbetoniui (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 1536, 2015). Išgręžus ertmę grunte sumontavus erdvinį armatūros karkasą ir suklojus betono mišinį gaunamas gelžbetoninis gręžtinis polis. Tokiu principu gręžtinius polius tinka įrengti stabiliose, sankabiuose gruntuose, pavyzdžiui molyje. Nesankabiuose ir nestabiliuose gruntuose, kai į išgręžtą ertmę gali byrėti gruntas nuo gręžinio sienelių ar tekėti gruntinis vanduo, taip ardydamas gręžinį, reikėtų naudoti laikinus arba nuolatinius apvalkalus, taip pat šiuo atveju tinkamas būdas ir gręžtinius polius įrengti naudojant ištisinio sraigtinio gręžimo technologiją. Pagal įrengimo technologijas K. Flemingas ir kt. gręžtinius polius suskirstė į grupes, pavaizduotas 12 paveiksle.



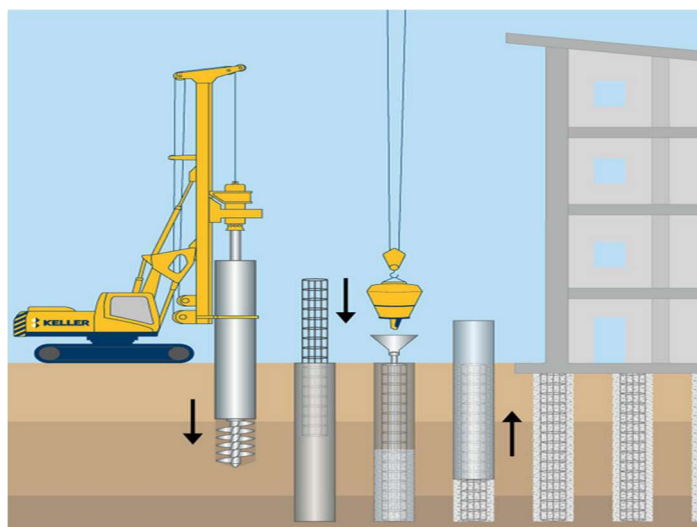
12 pav. Gręžtinių polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą pagal K. Flemingą (Fleming ir kt., 2009)

Gręžtinio polio įrengimas vykdomas tokiu eiliškumu: gręžimo arėgatu išgręžiama ertmė grunte, tuomet pagal reikalavimus turi būti išvalomas gręžinio dugnas, t.y. turi būti užtikrinta, jog galimai pribyrėjęs nuo gręžinio sienelių ar po gręžimo likęs purus gruntas gręžinio dugne bus pašalintas. Tolesniais žingsniais montuojamas erdvinis armatūros karkasas ir klojamas betonas.



13 pav. Gręžtinių polių įrengimas be apsauginio apvalkalo (Keller, 2023)

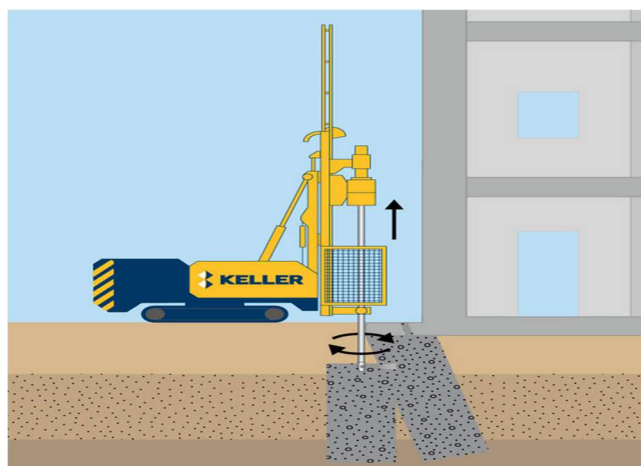
Silpnuose, nestabiliuose, prisotintuose gruntiniu vandeniu gruntuose gręžtiniai poliai įrengiami su laikiniais apvalkalais. Tuomet pirmiausiai įrengiamas laikinas apsauginis apvalkalas. Laikinas apvalkalas gali būti įrengiamas naudojant tą patį gręžimo agregatą arba panaudojant hidraulinius ar vibracinius plaktus. Įrengus laikiną apvalkalą, toliau polio įrengimo procedūros vykdomos analogiškai kaip gręžiant be apvalkalo, t.y. išgręžiamas gruntas, montuojamas erdvinis armatūros karkasas, klojamas betonas ir išsukamas arba ištraukiamas laikinas apvalkalas. Priklausomai nuo grunto sąlygų, apvalkale gali tekti palaikyti tinkamą vandens slėgį, kad gręžiant ar užbetonavus polį būtų užtikrintas tinkamas gręžinio ertmės užpildymas betonu ar kitaip polio vientisumas.



14 pav. Gręžtinių polių įrengimas su apsauginiu apvalkalu (Keller, 2023)

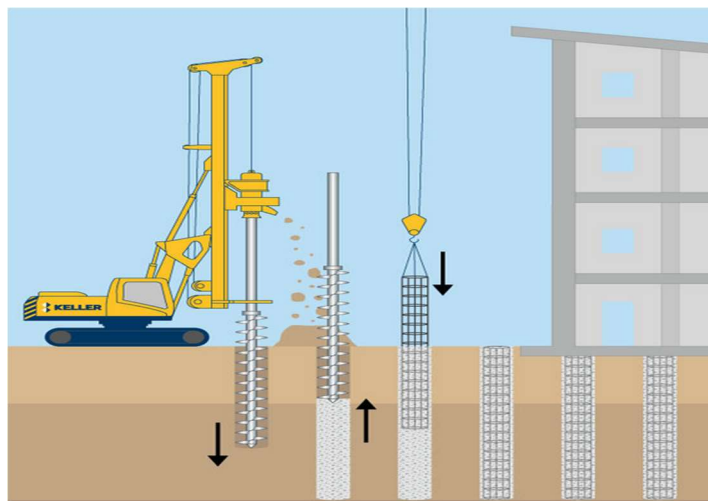
Gręžtinių iš anksto užpildytų polių grupėje Lietuvoje dažnai įrenginėjami injekciniai poliai. Injekciniai poliai įrengiami injektuojant į gruntą tam tikru slėgiu rišamąją medžiagą. Rišamoji medžiaga, susimaišyta su gruntu, stingdama suformuoja polio kamieną. Kai naudojamas iki 10 MPa slėgis, bus žemo slėgio injektavimas. Šiuo atveju suformuojamas nedidelio skersmens iki 0,30 m

polio kamienas. Injektuojant dideliu 30–40 MPa slėgiu suformuojamas 0,5–0,80 m skersmens polio kamienas. Didinant slėgį ir naudojant specialias technologijas galima suformuoti 2,0–3,0 m skersmens polius. Polio kamieno iš gruntbetonio stipris priklauso nuo grunto tipo, injektuoto cemento kiekio ir kietėjimo laiko. Poliai armuojami standžia armatūra, dedama polio centre (Sližytė ir kt., 2012).



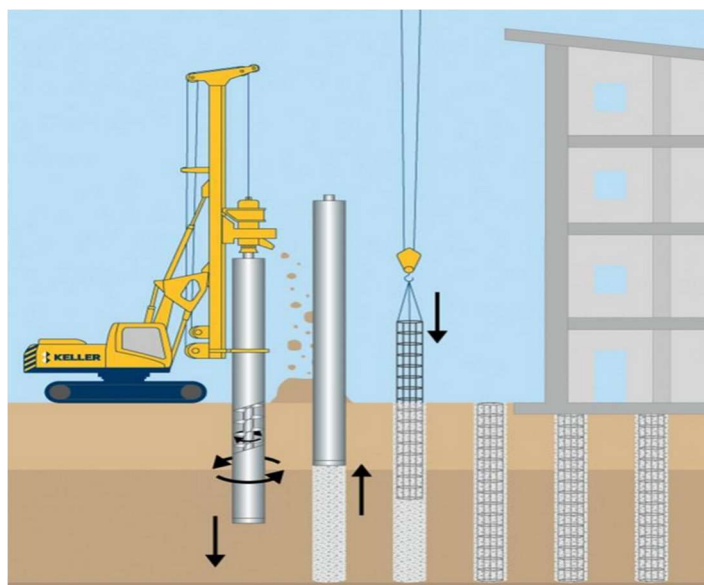
15 pav. Injekcinių polių įrengimas (Keller, 2023)

Lietuvoje labiausiai paplitęs polių įrengimas ištisinio sraigtinio gręžimo (CFA) technologija. Šia technologija įrengiami nuo 300 mm iki 1200 mm skersmens, įvairių gylių poliai. Ištisinio sraigtinio gręžimo metodas yra ekonomiškąs ir tinkantis daugumoje gruntinių sąlygų, netgi prisotintuose vandenių gruntuose. Poliai gali būti įrengiami be kitų gręžinį palaikančių priemonių, naudojant ištisinio sraigtinio gręžimo grąžtą, kai gręžinio sienučių pastovumą palaiko gruntas esantis ant menčių (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN 1536, 2015). Vadovaujantis standartu, galima sakyti, kad gręžimas ištisinio sraigtinio gręžimo technologija prilyginama gręžimui su laikiniais apvaskalais. Tai suteikia šiai technologijai jau minėtą ekonominę pranašumą, nes laikinų apvaskalų įgramzdinimas technologiškai laikui ir mechanizmams imlus procesas. Ištisinio sraigtinio gręžimo polių įrengimas iš principo skiriasi nuo įprastų gręžtinių polių įrengimo tuo, jog gręžimo ertmė niekada nebūna atvira. Ištisinio sraigtinio gręžimo technologijoje naudojamas specialus grąžtas turintis integruotą tučiavidurį betontiekį, per kurį sugręžus grąžtą iki projekcinio gylio paduodamas betonas ir traukiant grąžtą betonas iškarto užpildo gręžinio ertmę. Dėl to atsiranda dar vienas esminis skirtumas tarp įprastų gręžtinių polių ir polių įrengtų ištisinio sraigtinio gręžimo technologija, t.y. armatūros karkasas montuojamas į jau suklotą betoną, o ne į atvirą gręžinio ertmę. Dėl šios technologinės priežasties ištisinio sraigtinio gręžimo poliams turi būti naudojamas savaime susitankinantis, ypač klojus betono mišinys, išlaikantis tinkamas savybes jog po jo suklojimo būtų galima sumontuoti erdvinį armatūros karkasą.



16 pav. Ištinio sraigtinio gręžimo polių įrengimas (Keller, 2023)

Dar viena ištinio sraigtinio gręžimo polių atmaina yra vadinamieji dvigubo gręžimo (VDW) technologijos poliai. Įrengiant gręžtinius polius šiuo metodu, grąžtas sukasi pagal laikrodžio rodyklę, o apsauginis vamzdis – prieš ją. Grąžtas ir vamzdis sukasi priešingomis kryptimis, todėl gruntas mažiau išpurinamas, o pasitaikančios kliūtys – akmenys ar seni pamatai – pragręžiami. Du priešingos krypties sukamieji judesiai leidžia išvengti grunto suardymo gręžinio perimetru, todėl gruntas, esantis po gretimo pastato pamato padu, nepažeidžiamas (Tomlinson ir Woodward, 2008).



17 pav. Ištinio sraigtinio gręžimo polių VDW įrengimas (Keller, 2023)

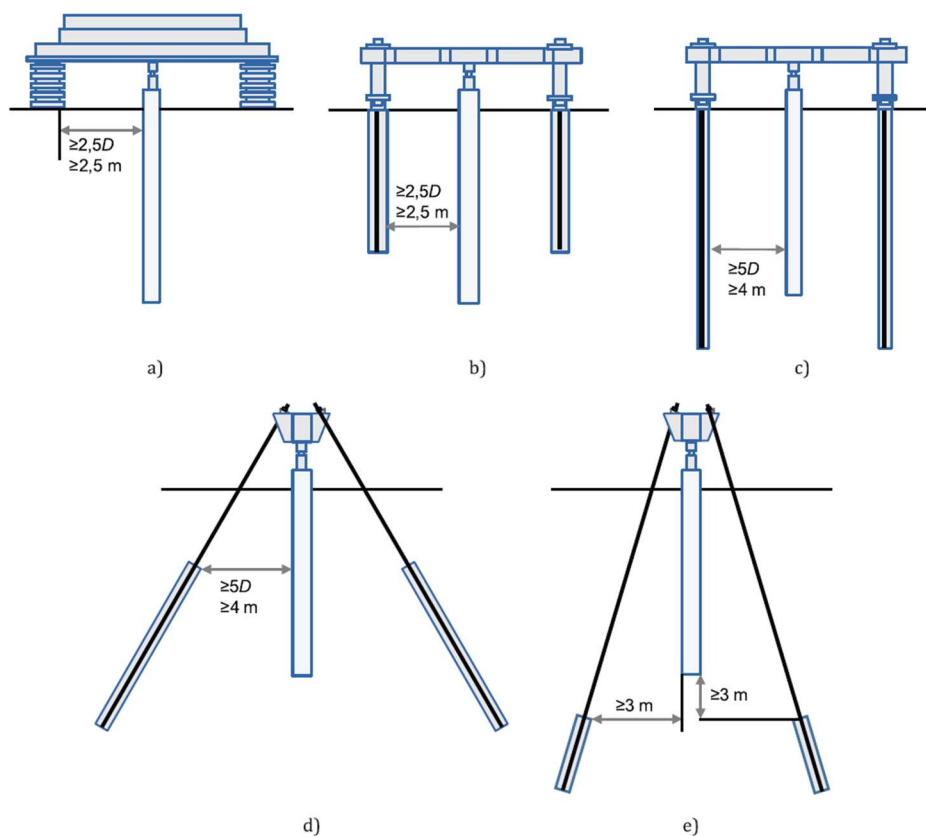
2. POLIO BANDYMAS AŠINE STATINE GNIUŽDYMO APKROVA

2.1. POLIO BANDYMO AŠINE STATINE GNIUŽDYMO APKROVA PLANAVIMAS IR ATLIKIMAS

Planuojant polio bandymą atsižvelgiant bandymo tikslą reikia įsivertinti grunto sąlygas, taip pat ir numanomą sėdimą prie maksimalios bandymo apkrovos.

Bandymui atlikti reikalinga inkaravimosi sistema. Inkaravimo sistema gali būti sudaryta iš sukrauto virš polio kontrasvorio, nemažesnio nei bandymo apkrova. Kitas inkaravimo sistemos tipas yra inkariniai tempiami poliai arba gruntiniai inkarai. Taip pat bandymui galima panaudoti ir esamos konstrukcijos nuosavą svorį.

Norint užtikrinti kaip įmanoma tikslesnius bandymo duomenis, inkarinės sistemos poveikis bandomajam poliui turėtų būti kaip galima mažesnis. Reikalavimus inkaravimo sistemos įrengimui apibrėžia standartas LST EN ISO 22477-1. Standarte patekiamos schemas, kaip turėtų būti montuojama inkarinė sistema.



18 pav. Inkaravimo sistemų principinės schemas (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN ISO 22477-1, 2019)

Inkaravimui taip pat galima naudoti ir darbinius polius, jeigu jų pagrindo stiprumas ir paties polio elemento stiprumas yra pakankamas perimti tempimo apkrovas. Jeigu inkaravimui naudojami darbiniai poliai, bandymo metu turėtų būti matuojamas jų poslinkis.

Gniuždymo apkrova į bandomąjį polį perduodama naudojant vieną ar daugiau hidraulinių domkratų. Visais atvejais domkratai turėtų būti išdėstomi centriškai ir po jais ant polio galvutės turėtų būti plieninė, apkrovą perskirstanti, plokštelė. Pasirenkant domkratus reikėtų įvertinti, kad jų išvystoma jėga nebūtų mažesnė nei maksimali bandomoji apkrova, taip pat domkratų tipą reikėtų rinktis ir pagal jo cilindro eigą, t.y. ji neturi būti mažesnė nei prognozuojamas polio sėdimas.

Bandomojo polio sėdimas turėtų būti matuojamas indikatoriais tvirtinamais ant pagalbinių sijų, kurios atremtos nepriklausomai nuo bandomojo polio. Sėdimas matuojamas mažiausiai trimis indikatoriais, simetriškai išdėstytais ant bandomojo polio galvutės.

Apkrova į bandomąjį polį turi būti matuojama ties polio galvute. Naudojant hidraulinį domkratą ar domkratų sistemą apkrova matuojama pagal slėgį hidraulinėje sistemoje, naudojantis kalibruotais slėgio matavimo prietaisais.

Atliekant polio bandymą turėtų būti kaip įmanoma stengiamasi minimizuoti išorinius poveikius, galinčius daryti įtaką bandymo tikslumui, kaip pavyzdys oro sąlygos: stiprus lietus, sniegas, tiesioginis saulės poveikis. Kadangi poliai gana dažnai bandomi statybinėje aikštelėje vykdant darbus, reikėtų vengti vibracijų šalia ar aplink bandomąjį polį.

Bandomieji poliai turėtų būti įrengiami kaip galima artimesnės konstrukcijos kaip planuojami darbiniai poliai. Bandomieji poliai turėtų įrengiami tokio paties skersmens ir tokia pačia technologija kaip darbiniai poliai. Leidžiama įrengti ir mažesnio skersmens bandomuosius polius, tačiau jie privalo atitikti reikalavimus, nurodytus standarte EN 1997-1.

Įrengtus polius rekomenduojama bandyti praėjus laikui nurodytam 1 lentelėje

1 lentelė. Rekomenduojamas laikas nuo polio įrengimo iki bandymo (Lietuvos standartizacijos departamentas, LST EN ISO 22477-1, 2019)

Grunto tipas	Polio tipas	Minimali trukmė (dienomis)
Stambiagrūdžiai gruntai	Visi	7
Smulkiagrūdžiai gruntai	Gręžtiniai	21
	Spraustiniai	28
Pastaba 1 Tinkamai pagrindus galima nusistatyti ir kitokias trukmes		
Pastaba 2 Jautriuose gruntuose kartais gali būti reikalingas ilgesnė trukmė		

Polio apkrovimo procedūra vykdoma 8 pakopomis apkraunant ir 4 pakopomis nukraunant. Pakopų trukmė skiriasi, priklausomai nuo to, ar vykdomas apkrovimas ar nukrovimas. Apkraunant

pakopos išlaikymo trukmė yra 60 min (trukmė gali būti mažinama pirmose pakopose, jei yra tenkinama valkšnumo reikšmė). Nukraunant pakopos trukmė yra 10-15 min.



19 pav. Sumontuota polio bandymo sistema statybos aikštelėje (autorius nuotrauka)

2.2. POLIO PAGRINDO LAIKOMOSIOS GALIOS PROGNOZAVIMAS REMİANTIS BANDYMO AŠINE STATINE GNIUŽDYMO APKROVA ATASKAITA

Pripažinta, kad pats patikimiausias būdas nustatyti ašine jėga apkrauto polio pagrindo laikomąją yra polio bandymas statine ašine apkrova. Polio bandymo principai aprašyti ankstesniame skyriuje. Įvairiuose šaltiniuose pateikta gana daug informacijos, kaip nustatyti ribinę polio pagrindo laikomąją galią remiantis bandymų statine apkrova rezultatais. Ribinės pagrindo laikomosios galios prognozavimui remiantis bandymų rezultatais pasirinkau *Brincho Hanseno 80 %* metodiką. Tiriamojoje magistrinio darbo dalyje nagrinėju didelio skersmens (730-1000mm) polių pagrindo laikomosios galios skaičiavimų metodikas ir lyginu jas su realiais polių bandymų statybos aikštelėje rezultatais. Atliekant polių bandymus su tokio skersmens poliais, dažnu atveju nėra pasiekama ribinė pagrindo laikomoji galia, o *Brincho Hanseno 80 %* metodas leidžia iš apkrovimo – nuosėdžio kreivės, pagal jos formą prognozuoti ribinę pagrindo laikomąją galią.

Brinchas Hansenas pasiūlė apibrėžimą, kuriame teigiama, kad polio pagrindo apkrova sukelia 4 kartus didesnę polio sėdimą palyginti su reikšme, lygia 80 % tos apkrovos (Hansen, 1963). Jis taip pat pasiūlė ir metodiką, kaip iš bandymo rezultatų kreivės nustatyti tą 80 % kriterijų.

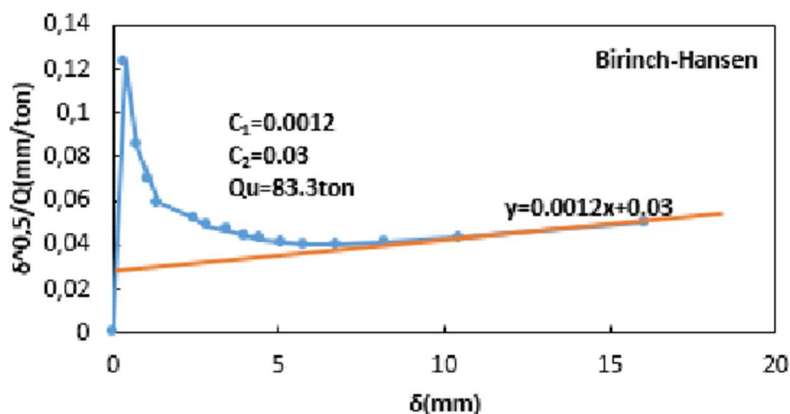
$$Q_u = \frac{1}{2\sqrt{c_1 c_2}}; \quad (1)$$

čia:

Q_u – ribinė polio pagrindo laikomoji galia;

C_1 – tiesios linijos nuolydis;

C_2 – y-ašies reišmė kur ją kerta tiesi linija.



20 pav. Brincho Hanseno 80 % metodikos atvaizdavimas (Olgun ir Yenginar, 2017)

3. POLIO PAGRINDO LAIKOMOSIOS GALIOS METODŲ ANALIZĖ

Polių pagrindo laikomajai galiai skaičiuoti galima naudoti du pagrindinius metodus, paremtus gruntų statinio zondavimo (CPT) duomenimis. Netiesioginiai metodai, kuomet skaičiuojant pagrindo laikomąją galią naudojamos grunto savybėmis, kaip vidinės trinties kampas φ ir nedrenuota grunto sankiba C_u , kurios nustatomos iš gautų statinio zondavimo reikšmių q_c pagal tam tikras prilausomybes. Tiesioginiai metodai kaip išmatuotos q_c tiesiogiai naudojamos polio pagrindo laikomajai galiai nustatyti. Skaičiuojant kai kuriais tiesioginiais metodais gali būti naudojama ir išmatuotos šoninio pavršiaus movos reikšmės. Taip pat dalis metodų vertina ir atsižvelgia į išmatuotas kūgio pasipriešinimo reikšmes, priklausomai nuo polio skersmens. Kaip vieną iš tiesioginių skaičiavimo metodų privalumų galima paminėti ir tai, kad vidutiniai efektyvieji grunto įtempiai, grunto deformatyvumas ir standumas turi įtakos statinio zondavimo q_c vėrtėms, panašiai kaip ir polio elgsenai grunte, todėl nėra būtinybės atlikti laboratorius bandymus, papildančius lauko matavimus CPT metodu, taip pat išskaičiuoti šoninio slėgio ar laikomosios galios koeficientų priklausančių nuo grunto savybių.

Šiame skyriuje apžvelgsime polio apkrovos perdavimo pagrindui principą bei grunto tyrimo statinio zondavimo bandymu metodą, pagal kurio tiesioginius duomenis darbe bus atliekami laikomosios galios skaičiavimai. Apžvelgsime netiesioginio skaičiavimo metodus: α – metodą ir β – metodą, o iš tiesioginio skaičiavimo metodų atirinkti ir bus apžvelgiami penki metodai: a) STR 2.05.21:2016 GRĘŽTINIŲ PAMATŲ PAGRINDO PROJEKTAVIMAS (10 priedas) metodas; b) PKSŽ 2009 L. Furmonavičiaus metodas; c) LCPC (Bustamante) metodas; d) EA Pfahle (German methode) metodas; e) EN 1997-2 metodas.

3.1. POLIO APKROVOS PERDAVIMAS PAGRINDUI

Polio pagrindo laikomoji galia Q_u susideda iš dviejų dedamųjų, t.y. pagrindo ties polio šoniniu paviršiumi Q_s ir pagrindo po polio smaigaliu Q_b laikomųjų galių sumos.

$$Q_u = Q_s + Q_b; \quad (2)$$

čia:

Q_u – suminė polio pagrindo laikomoji galia;

Q_s – pagrindo ties polio šoniniu paviršiumi laikomoji galia;

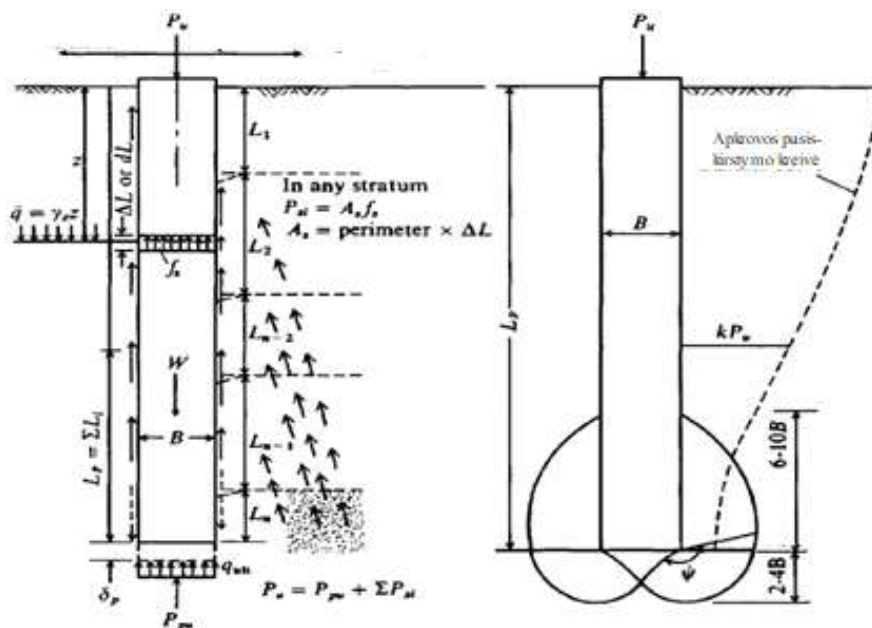
Q_b – pagrindo po polio padu laikomoji galia.

Kokia bus polio pagrindo laikomoji galia arba, kitaip sakant, kaip polis perduos apkrovą į pagrindą priklauso nuo polio geometrijos ir grunto ar skirtingų gruntų, kuriose jis įrengtas, savybių, taip nuo polio įrengimo technologijos ypatumų, bei polio medžiagiškumo. Polis įrengtas sąlyginai nedidelį stiprį turinčiuose grunto sluoksniuose ir atremtas į sąlyginai didelio stiprumo grunto sluoksnį, pagrindinę apkrovos dalį pagrindui perduos padu, arba, kitaip tariant, bus laikomas „atremtuolu poliu“. Esant grunto sąlygoms kai nėra vieno dominuojančio pagal laikomąją galią sluoksnio, į kurį polis būtų atremtas, laikoma, kad polis didžiąją dalį apkrovos pagrindui perduoda šoniniu paviršiumi arba, kitaip sakant, laikomas „trinties poliu“. Sankabiuose gruntuose dažnai šoninės trinties pagrindo laikomosios galios dedamoji būna dominuojanti perduodant apkrovą į pagrindą, o nesankabiuose gruntuose pagrindo laikomosios galios dedamosios tarp šoninio paviršiaus ir polio smaigalio pasiskirsto tolygiau. Paprastai manoma, kad sankabiuose gruntuose pagrindo ties šoniniu paviršiumi atsparumo reikšmė esant tempimo apkrovai yra tolygi pagrindo atsparumo reikšmei ties šoniniu paviršiumi esant gniuždymo apkrovai, tačiau nesankabiuose gruntuose nustatyta, kad pagrindo prie šoninio paviršiaus atsparumas esant tempimo apkrovai yra gerokai mažesnis nei pagrindo atsparumas esant gniuždymo apkrovai (Fleming ir kt., 2009).

Ribinis šoninio paviršiaus pagrindo atsparumas pasiekiamas įvykstant mažam praslydimui tarp polio ir grunto, o poslinkis bet kuriame polio paviršiaus taške apibrėžiamas, kaip sukauptas skirtumas tarp polio šoninio paviršiaus deformacijos nuo ašinės jėgos ir grunto deformacijos nuo apkrovos perduotos į šoninį paviršių trintimi (Bowles, 1997).

Skirtinguose literatūros šaltiniuose nurodomos šiek tiek skirtingos reikšmės, kurioms esant laikoma, kad šoninė trintis jau yra pilnai mobilizuota. K. Felmingas ir kt. nurodo, kad šoninio paviršiaus pagrindo atsparumas mobilizuojamas prie polio nuosėdžio, sudarančio nuo 0,5 iki 2 % polio skersmens (Fleming ir kt., 2009). J.E.Bowles nurodo, kad nuosėdžių ir apkrovos perdavimo kreivių analizė iš daugelio polių parodo, jog maksimali šoninio pagrindo trinties dedamoji susiformuoja esant 5-10 mm praslydimui tarp polio ir grunto, ir mažai priklauso nuo polio skersmens

ir gylio, tačiau priklauso nuo grunto vidinės trinties kampo ϕ ir sankabumo c (Whitaker ir Cooke, 1966; Coyle ir Reese, 1966, AISI, 1975; Bowles, 1997).



21 pav. Polio apkrovos perdavimo gruntui kreivės (Bowles, 1997)

Ribinis pagrindo stiprumas po polio padu mobilizuojamas pasiekus nuosėdžius, atitinkančius maždaug 10 % polio pado skersmens spraustiniams poliems ir iki 30 % polio pado skersmens nespraustiniams (gręžtiniams) poliems (Bowles, 1997). Daugeliu atvejų nurodoma, kad polio apkrovos pasiskirstymas ties šoniniu paviršiumi sankabiuose gruntuose yra labiau parabolinis t.y. apkrovos pasiskirstymo kreivės didžiausia reikšmė yra viršuje, ties polio galvute ir atitinkamai paraboliskai mažėja keliaujant gilyn lik polio smaigalio. Nesankabiuose gruntuose šis apkrovos pasiskirstymas labiau atitiktų linijinę kreivę, taip pat reikšmėms mažėjant link polio smaigalio.

J. E. Bowles siūlo naudoti tokią lygtį ribinei polio pagrindo laikomajai galiai:

$$Q_u = Q_{bu} + \Sigma Q_{si} = Q_b + \Sigma Q_{si,u}; \quad (3)$$

čia:

Q_u – suminė polio pagrindo laikomoji galia;

Q_{bu} – ribinė pagrindo po polio padu laikomoji galia retai pasireiškianti su ribine pagrindo prie polio šoninio paviršiaus laikomąja galia;

Q_b – pagrindo po polio padu laikomosios galios dalis, kuri mobilizuojasi su pagrindo ties polio šoniniu paviršiumi ribine galia. (Netaikoma išimtinai „trinties“ poliems);

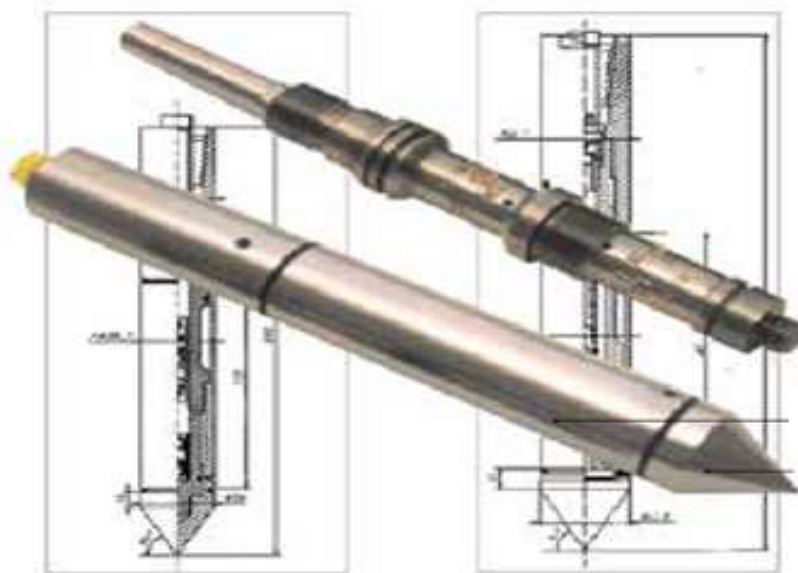
ΣQ_{si} – pagrindo laikomosios galios dalis ties polio šoniniu paviršiumi, kuri mobilizuojasi prie ribinės pagrindo po polio padu laikomosios galios. (Netaikoma išimtinai „atremtiesiems“ poliems);

$\Sigma Q_{si,u}$ – pagrindo laikomoji galia ties polio šoniniu paviršiumi, kuri mobilizuojasi su dalimi pagrindo laikomosios galios po polio padu Q_b .

Iš pateiktos lygties J. E. Bowles daro išvadą, jog polio pagrindo ribinė laikomoji galia nėra pagrindo po polio padu ir pagrindo ties polio šoniniu paviršiumi laikomųjų galių suma, bet yra vieno iš šių dėmenų ir kito mobilizuotos dalies suma (Bowles, 1997).

3.2. GRUNTO TYRIMAI. STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS (CPT)

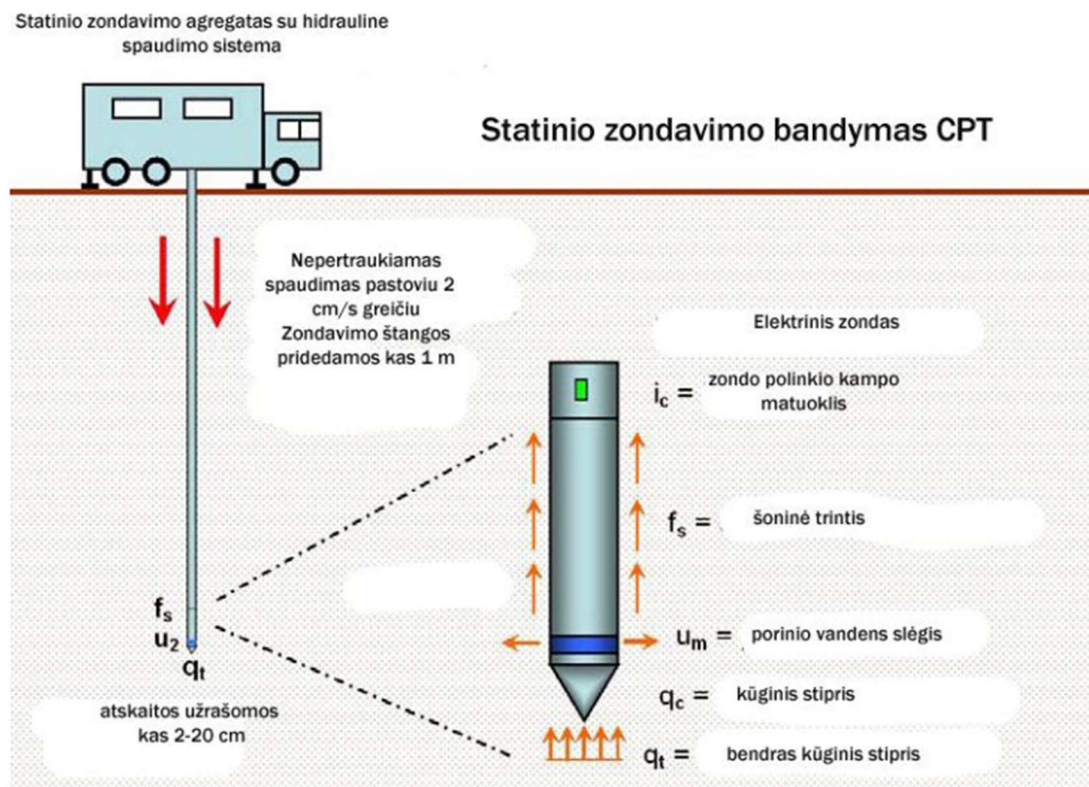
Statinio zondavimo bandymas (*angl. Cone Penetration Test*) buvo skukurtas Europoje, o šiuo metu yra gana plačiai naudojamas visame pasaulyje. Pačių zonų, kaip įrankių, yra keli tipai: mechaninis zondas ir elektroninis zondas. Plačiausiai paplitęs ir dažniausiai naudojamas yra elektroninis zondas. Zondą sudaro plieninis 35,7 mm skersmens strypas su nusmailinta (kampas 60°) kūgio formos priekine dalimi. Zondas yra spaudžiamas į gruntą 2cm/s greičiu, nuolat matuojant pasipriešinimą smigimui po smaigaliu ir ties šoninės trinties mova. Šoninės trinties mova įrengta iškarto virš nusmailinto kūgio. Šoninės trinties movos paviršiaus plotas yra $15\,000\text{ mm}^2$. Elektroninis zondas turi įrangą automatiškai perduodančią pasipriešinimo smigimui reikšmes jas fiksuojančiai ir užrašančiai įrangai. Tokio tipo elektroniniai zondai žymimi CPT. Yra dar vienas elektroninio zondo tipas žymimas CPTU. Šis zondas skiriasi nuo CPT tuo, jog turi įmontuotą porinio vandens slėgio daviklį. Taip pat CPT zonduose gali būti sumontuoti ir kiti davikliai, kaip pavyzdys vibraciniai davikliai.



22 pav. Statinio zondavimo zondas (Earthquake commission, 2023)

Matuojant CPT tipo zondų grunto pasipriešinimo smigimui reikšmes užrašoma kūgio smigimo reikšmė (q_c) ir šoninės trinties movos reikšmė (f_s). Turint šias reikšmes galima nustatyti šoninio paviršiaus trinties ir kūgio pasipriešinimo santykį f_s / q_c , kuris išreiškiamas procentais. CPT zondavimo metu gautos reikšmės tiesiogiai naudojamos polio pagrindo laikomosios galios

skaičiavimuose, taip pat gali būti naudingos naudingos nustatant fizines ir mechanines gruntų savybes.



23 pav. Statinio zondavimo principinė schema (Geotestus, 2023)

3.3. α – METODAS

Vienas iš netiesioginių metodų yra vadinamasis α – *metodas* taikomas nedrenuotiems sankabiems gruntams. Metodą pirmasis pasiūlė Tomlinsonas 1971 m. Šis metodas naudoja nedrenuoto kerpamojo stiprio C_u reišmę apskaičiuoti polio pagrindo laikomajai galiai. Polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi laikomoji galia gaunama pagal formulę (Xiao ir Barreto, 2015)

$$f_s = c_a = \alpha s_u; \quad (4)$$

čia:

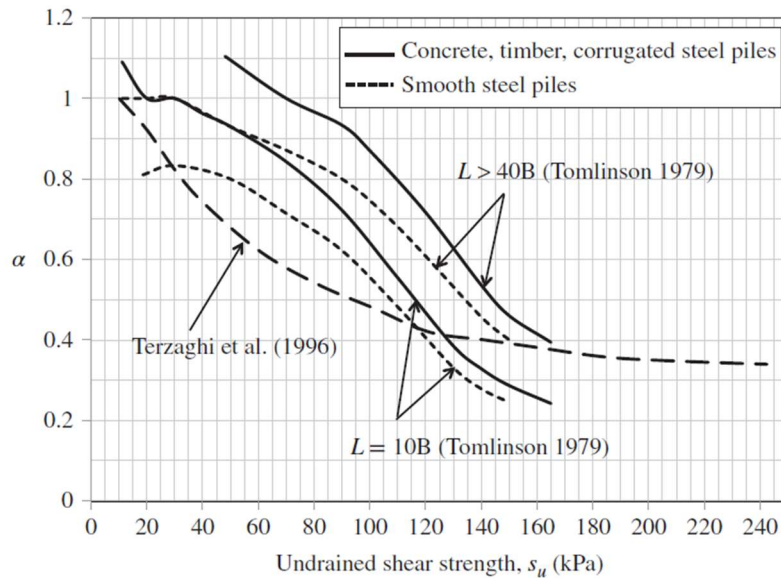
f_s – polio pagrindo pagrindo ties šoniniu paviršiumi laikomoji galia;

c_a – polio sukibimas;

α – sukibimo koeficientas;

s_u – nedrenuotas kerpamasis stipris (C_u).

Sukibimo koeficientas priklauso nuo polio įrengimo technologijos ir nuo gylio santykio su pločiu. Paveiksle 24 pavaizduotos Tomlinsono ir Terzaghi kreivės rasti priklausomybei tarp α ir s_u



24 pav. Sukibimo koeficientas α (Xiao ir Barreto, 2015)

Vėliau Sladenas išvedė formulę, kuria galima apskaičiuoti α reikšmę tiesiogiai, remiantis nedrenuotu kerpamuoju stipriu s_u ir grunto savojo svorio efektyviuoju slėgiu q :

$$\alpha = C_1 \left(\frac{q}{s_u} \right)^{0,45}; \quad (5)$$

čia:

α – sukibimo koeficientas;

C_1 – koeficientas priklausantis nuo polio įrengimo būdo $C_1 = 0,4-0,5$ gręžtiniais poliams, $C_1 \geq 0,5$ sprautiniams poliams;

q – grunto savojo svorio efektyvusis slėgis;

s_u – nedrenuotas kerpamasis stipris (C_u).

Pagrindo laikomoji galia po polio padu nustatoma pagal formulę:

$$q_t = c_u N_c; \quad (6)$$

čia:

q_t – pagrindo stipris po polio padu;

c_u – nedrenuotas kerpamasis stipris po poli padu;

N_c – laikomosios galios koeficientas priklausantis nuo polio skersmens ir įgilinimo. Dažnu atveju giliesiems pamatams N_c reikšmė lygi 9.

3.4. β – METODAS

Antrasis iš apžvelgiamų netiesioginių metodų yra β – *metodas*. Metodą pasiūlė Burlandas 1973 m. Metodas gali būti taikomas drenuotiems nesankabiems ir sankabiems gruntams spraustinių polių pagrindo laikomajai galiai skaičiuoti (Xiao ir Barreto, 2015). Polio pagrindo prie šoninio paviršiaus laikomoji galia apskaičiuojama:

$$f_s = \beta \sigma'; \quad (7)$$

čia:

f_s – polio pagrindo pagrindo ties šoniniu paviršiumi laikomoji galia;

β – Bjerrum - Burland koeficientas;

σ' – vidutinis grunto savojo svorio efektyvusis slėgis;

$$\beta = K_s \tan \delta; \quad (8)$$

čia:

K_s – šoninio slėgio koeficientas;

δ – trinties kampas tarp polio medžiagos ir grunto.

β koeficientas priklauso nuo grunto tipo ir efektyviojo vidinės trinties kampo. Fellenius pasiūlė tokią priklausomybę nustatyti β koeficientui

Grunto tipas	φ (laipsniais)	β	N_t
Molis	25-30	0.23-0.40	3-30
Dulkis	28-34	0.27-0.50	20-40
Smėlis	32-40	0.30-0.60	30-150
Žvyras	35-45	0.35-0.80	60-300

25 pav. Apytikslės β ir N_t reikšmės (Xiao ir Barreto, 2015)

Bhushanas 1982 m. pasiūlė formulę kaip nustatyti β koeficientą spraustiniams poliams įrengiamiems su vamzdžiu uždaru galu

$$\beta = 0.18 + 0.0065 D_r; \quad (9)$$

čia:

D_r – tankumo rodiklis;

Polio pagrindo laikomoji galia po padu išreiškiama tokia formule

$$q_t = N_t \sigma'; \quad (10)$$

čia:

N_t – polio pagrindo laikomosios galios po padu koeficientas (randamas iš 25 pav. pateiktų priklausomybių);

σ' – vidutinis grunto savojo svorio efektyvusis slėgis po polio padu;

N_t koeficientas priklauso nuo grunto tipo ir efektyviojo vidinės trinties kampo.

3.5. STR 2.05.21:2016 GRĘŽTINIŲ PAMATŲ PAGRINDO PROJEKTAVIMAS (10 PRIEDAS) METODAS

Ši metodika pateikta STR 2.05.21:2016 taikoma skaičiuojant polius, kurių skersmens ir įgilinimo santykis $2 \leq D/B \leq 5$, t.y. metodika galioja jeigu gręžtinio pamato gylis atitinka tokias sąlygas:

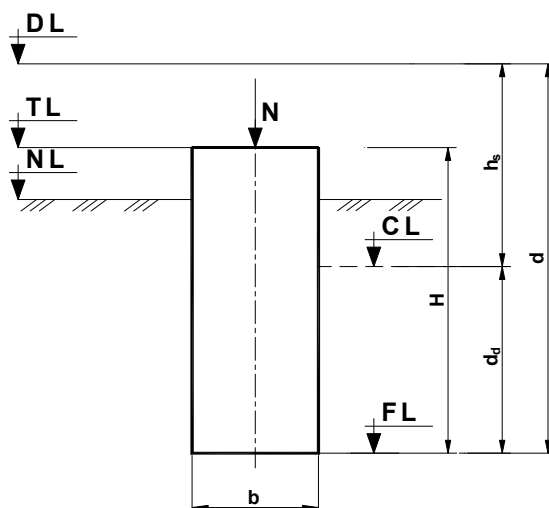
2 lentelė. Pamato gylis priklausomai nuo grunto tipo (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, STR 2.05.21, 2016)

Rupiuose gruntuose	Smulkiuose gruntuose
$D \geq 1.5 B$	$D \geq 2.0 B$

čia:

D – pamato gylis;

B – pamato skersmuo.



26 pav. Vertikalia jėga apkrautas gręžtinis pamatas (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, STR 2.05.21, 2016)

Skaičiuojant šia metodika vidutinis įtempis po pamato padu turi neviršyti $n\%$ pagrindo skaičiuotinio atsparumo:

$$p = \frac{N - F_f}{A_b} \leq q_{c,n}; \quad (11)$$

čia:

N – pamatą veikiančių jėgų vertikalioji komponentė, nepaisant pamato svorio, apskaičiuota pagal tinkamumo ribinio būvio charakteristinę derinį;

F_f – kerpamojo stiprio jėgų atstojamoji prie pamato šonų;

A_b – pamato pado plotas;

$q_{c,n}$ – pagrindo po pamato padu atsparumas, esant $n\%$ pamato skersmens nuosėdžiui.

Skačiuotinis pagrindo atsparumas $q_{c,n}$ apskaičiuojamas tokia tvarka:

labai smėlingų, labai dulkingų ir smėlingų bei dulkingų moreninių molių, taip pat smėlių – iš koreliacinės priklausomybės grafikų $q_{c,n} = f(q_c)$ pagal grunto kūginį stiprį q_c (27 ir 28 pav.). Grunto vidutinis kūginis stipris q_c imamas iš statinio zondavimo grafiko 2b gylyje žemiau pamato pado, kai pagrindą sudaro smėlio gruntai, ir 1,5b gylyje, kai pagrindą sudaro molio gruntai. To paties laikančiojo sluoksnio vidutinio grunto kūginio stiprio q_c reikšmė turi būti imama pagal to zondavimo taško, kuriame q_c yra mažiausias, duomenis;

gruntų, kuriems nėra sudaryti koreliacinės priklausomybės grafikai, orientacinis skaičiuotinis pagrindo stipris $q_{c,n}$ randamas pagal statinio zondavimo duomenis:

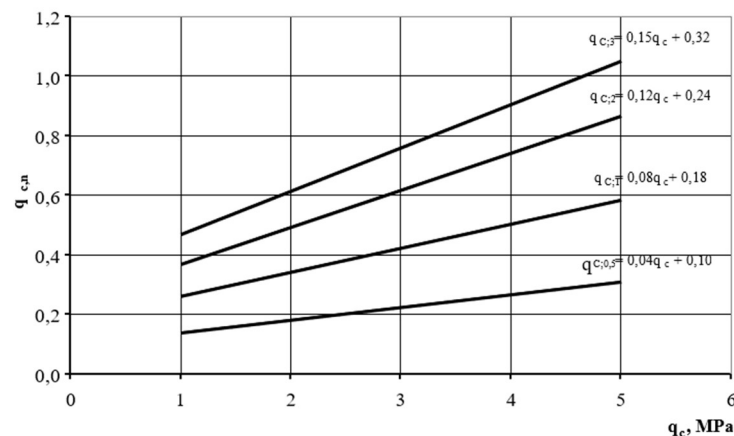
smulkiųjų gruntų:

$$q_{c,n} \approx 0,1nq_c; \quad (12)$$

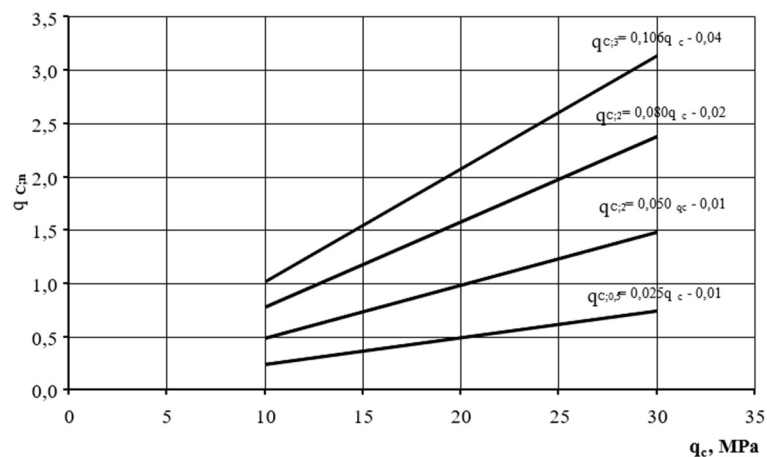
rupiųjų gruntų:

$$q_{c,n} \approx 0,03nq_c; \quad (13)$$

kai laikantysis sluoksnis išbandytas pamatu, jo modeliu arba įsriegiamu stampu, $q_{c,n}$ randamas iš $\frac{s}{b} = f(\rho)$ grafiko:



27 pav. Smulkiųjų moreninių gruntų pagrindo n % atsparumo po gręžtinio pamato pado grafikas



28 pav. Rupiųjų gruntų pagrindo n % atsparumo po gręžtinio pamato pado grafikas

Pagrindo laikomoji galia prie šoninio paviršiaus F_f nustatoma tokia tvarka:

Zonduojant tenzometriniu zonu matuojama kiekvieno grunto sluoksnio vietinės trinties stiprio reikšmė, tuomet suminė F_f reikšmė gaunama pagal lygybę:

$$F_f = \pi b \sum_{i=1}^n h_i q_{s,i}; \quad (14)$$

čia:

F_f – kerpamojo stiprio jėgų atstojamoji prie pamato šonų;

h_i – pagrindo i – tojo sluoksnio storis

A_b – pamato pado plotas;

$q_{s,i}$ – pagrindo prie pamato šoninio paviršiaus i – tojo sluoksnio skaičiuotinis kerpamasis atsparumas.

$$q_{s,i} = \frac{f_{si}}{3}; \quad (15)$$

čia:

$f_{s,i}$ – i – tojo sluoksnio grunto vietinės trinties stipris zonduojant.

3.6. L. FURMONAVIČIAUS METODAS

Šią polių pagrindo laikomosios galios skaičiavimo metodiką pasiūlė geotechnikos ekspertas L. Furmonavičius 2004 m. išleistame „Statybos inžinieriaus žinyne“. Nežymiai metodika buvo pakoreguota 2009 m. atnaujintos laidos „Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinyne“. Polio pagrindo laikomoji galia skaičiuojant šia metodika priklauso nuo polio įrengimo technologijos, gruntų tipo. Naudojantis metodika grunto statinio zondavimo q_c reikšmė tiesiogiai naudojama skaičiavimo formulėse. Taip pat autorius pateikia naudojamų reikšmių apribojimus tiek skaičiuojant pagrindo laikomąją galią po polio padu tiek ir ties šoniniu paviršiumi.

Bendra pamato laikomoji galia R_c apskaičiuojama sumuojant pagrindo po pamato padu R_b ir pagrindo ties pamato šoniniu paviršiumi R_s laikomosios galios reikšmes:

$$R_c = R_b + R_s; \quad (16)$$

čia:

R_c – suminė pamato laikomoji galia;

R_b – pagrindo po polio padu laikomoji galia;

R_s – polio šonų pagrindo laikomoji galia.

Pagrindo po pamato padu laikomosios galios nustatymas:

$$R_b = \alpha_b \times q_c \times A_b; \quad (17)$$

R_b – pagrindo po polio padu laikomoji galia

α_b – empirinis koeficientas tarp q_c ir pagrindo stiprumo (3lentelė)

q_c – grunto kūginis stiprumas

A_b – pamato pagrindo plotas

Pagrindo ties pamato šoniniu paviršiumi laikomosios galios nustatymas:

$$R_s = \sum (\alpha_{si} \times q_{ci} \times A_{si}); \quad (18)$$

R_s – polio šonų pagrindo laikomoji galia

α_{si} – empirinis koeficientas tarp q_c ir trinties stiprumo priklausantis nuo grunto tipo (3 lentelė)

q_{ci} – grunto sluoksnio kūginis stiprumas

A_{si} – i -tojo grunto sluoksnio ties pamato šoniniu paviršiumi plotas

3 lentelė. Grunto stiprio po padu α_b ir prie pamato šoninio paviršiaus α_s reikšmės

Grunto tipas	Kūginis stipris	α_b	α_s	Maksimali šoninės trinties reikšmė
	q_c [MPa]			[kPa]
Moreninis molis	1-3	1,0	0,05	$q_s \leq 200$
	≥ 5	0,8		$q_b \leq 6,5$
Juostuotas molis		1,0	0,03	$q_s \leq 150$
Dulkis		0,6	0,025	$q_s \leq 150$
Smėlis	0 - 10	0,5	0,01	$q_s \leq 180$
	≥ 25		0,008	

Taip pat skaičiuojant pagrindo laikomąją galią turi būti atsižvelgta ir į polio įrengimo būdą. Koeficientai polio pagrindo laikomajai galiai skaičiuoti pagal įrengimo būdą pateikiami lentelėje 4.

4 lentelė. Koeficientai γ_{Rb} ir γ_{Rs} , kurių vertės priklauso nuo polių įrengimo būdo

Polių rūšis	γ_{Rb}	γ_{Rs}
Spraustiniai kaltiniai	1,1	1,1
Spraustiniai gręžtiniai	1,1	1,35
Vientiso sraigtinio gręžimo	2,0	1,5
Gręžtiniai	2,0	1,5

Taigi galutinė polio pagrindo laikomosios galios išraiška atrodo taip:

$$R_{c,cal} = R_b / \gamma_{Rb} + R_s / \gamma_{Rs}; \quad (19)$$

čia:

$R_{c,cal}$ – apskaičiuota polio pagrindo laikomoji galia.

3.7. LCPC (BUSTAMANTE) METODAS

Metodą pristatė Bustamante ir Gianesellis 1982 m. pasiremami 197 polių bandymais statine apkrova (gniuždymas ir tempimas). Bandymai buvo atliekami daugelio tipo gruntų sąlygomis: moliuose, dulkiuose, smėlyje žvyre, durpėje ir kt. Metodika leidžia nustatinėti polių pagrindo laikomąją galią tiek spraustiniams tiek nespraustiniams polių tipams. Metodas remiasi tiesiogiai išmatuotomis q_c reikšmėmis skaičiuojant ir polio pagrindo laikomąją galią ties šoniniu paviršiumi ir po polio padu. Metodas taip pat pateikia tam tikrus apribojimus apskaičiuojant šoninės trinties reikšmes, tačiau jie paremti autorių patirtimi ir klausimas ar galėtų būti taikomi bendrai (Fellenius, 2019).

Pagrindo po pamato padu laikomosios galios nustatymas:

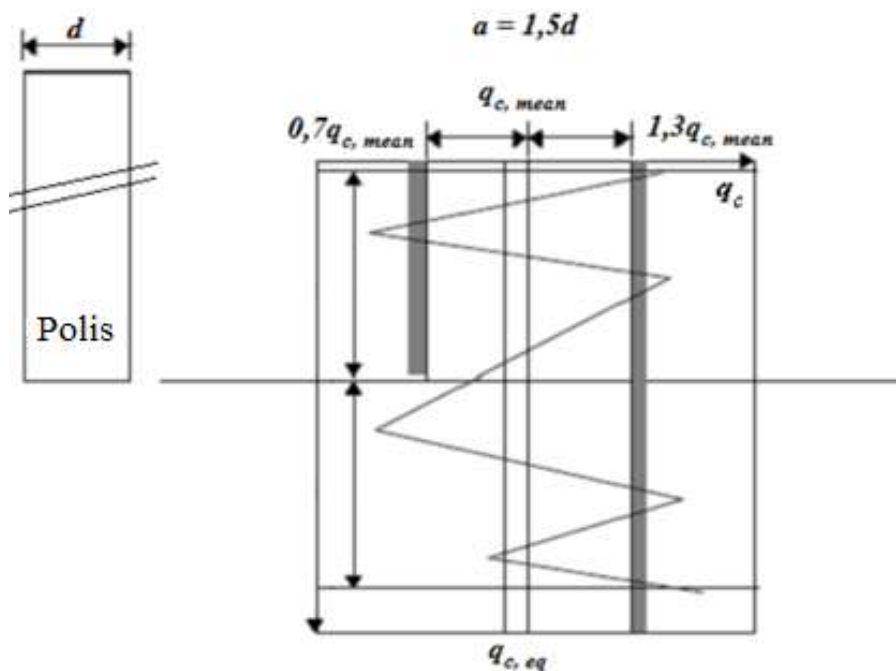
$$P_{max,base} = \alpha_p \times q_{c,eq}; \quad (20)$$

čia:

$P_{max, base}$ – pagrindo po pamato padu laikomoji galia;

α_p – empirinis pamato pagrindo koeficientas priklausantis nuo q_c ;

$q_{c, eq}$ – ekvivalentinis grunto kūginis stiprumas.



29 pav. Ekvivalentinio grunto kūginio stiprumo $q_{c, eq}$ nustatymas

Ekvivalentinis grunto kūginis stiprumas $q_{c, eq}$ nustatomas taikant sekančius žingsnius:

1. Nustatoma vidurkinė $q_{c, mean}$ reikšmė imant reikšmes iš intervalo lygaus $1,5 D$ į viršų nuo polio pado ir $1,5 D$ žemyn nuo polio pado;
2. Iš minėto intervalo q_c reikšmių eliminuojamos reikšmės, kurios yra didesnės nei $1,3x q_{c, mean}$ ir mažesnės nei $0,7x q_{c, mean}$;
3. Dar kartą skaičiuojamas ekvivalentinis reikšmių vidurkis $q_{c, eq}$ iš minėto intervalo, tačiau imant reikšmes turi būti eliminuotos punkte 2 apskaičiuotos reikšmės.

5 lentelė. Koeficiento α_p reikšmės priklausomai nuo q_c reikšmių

LCPC (Bustamante) Grunto tipas	Kūginis stipris	α_p	α_p
	q_c [MPa]	Gręžtiniai poliai	Spraustiniai poliai
Moliniai	< 1	0.04	0.50
	$1 < q_c < 5$	0.35	0.45
	$5 < q_c$	0.45	0.55
Smėliniai	$q_c < 12$	0.40	0.50
	$13 < q_c$	0.30	0.40

Pagrindo ties pamato šoniniu paviršiumi laikomosios galios nustatymas:

$$P_{max,shaft} = \alpha_s * q_{c,z,a}; \quad (21)$$

čia:

α_s – empirinis pamato pagrindo ties šoniniu paviršiumi koeficientas priklausantis nuo q_c ;

$q_{c,z,a}$ – grunto kūginis stiprumas.

6 lentelė. Koeficiento α_s reikšmės priklausomai nuo q_c , reikšmių ir polių įrengimo būdo

LCPC (Bustamante) Grunto tipas	Kūginis stipris	α_s	α_s
	q_c [MPa]	įrengimo tipas "A"	įrengimo tipas "B"
Moliniai	< 1	0.033	0.033
	$1 < q_c < 5$	0.025	0.011
	$5 < q_c$	0.017	0.008
Smėliniai	$q_c < 5$	0.010	0.008
	$5 < q_c < 12$	0.010	0.005
	$12 < q_c$	0.007	0.005

Įrengimo tipas „A“ – betonuojami vietoje, surenkami, betonuojami vietoje su papildomu injektavimu, surenkami su papildomu injektavimu, CFA, gręžtiniai, poliai padengti bentonito sluoksniu.

Įrengimo tipas „B“ – kaltiniai plieniniai, Franki, vibropoliai, plieniniai vamzdžiai, gręžtiniai su plieniniu apsauginiu vamzdžiu.

3.8. EA-PFAHLE (GERMAN METHODE) METODAS

Kempfert ir Beckeris 2010 m. išvedė priklausomybes polio pagrindo laikomosios galios ties šoniniu paviršiumi q_s ir po polio padu q_b nuo CPT testu išmatuoto q_c ir s_u paremtų polių bandymais. Buvo atlikta apie 1000 įvairiomis technologijomis įrengtų polių bandymų. Metodikoje polio pagrindo laikomoji galia priklauso nuo polio įrengimo tipo ir nuo grunto tipo.

Bendra pamato laikomoji galia R apskaičiuojama sumuojant pagrindo po pamato padu R_b ir pagrindo ties pamato šoniniu paviršiumi R_s laikomosios galios reikšmes:

$$R_c = R_b(sg) + R_s(sg); \quad (22)$$

čia:

R_c – suminė polio pagrindo laikomoji galia;

R_b – polio pagrindo laikomoji galia prie sėdimo s_g ;

R_s – polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi laikomoji galia prie sėdimo s_g ;

s_g – ribinė polio sėdimo reikšmė lygi 0,1D

Polio pagrindo po padu ribinė laikomoji galia apskaičiuojama:

$$\text{Nespraustiniams poliams} \quad R_b = q_b \times A_b ; \quad (23)$$

$$\text{Spraustiniams poliams} \quad R_b = \eta_b \times q_b \times A_b ; \quad (24)$$

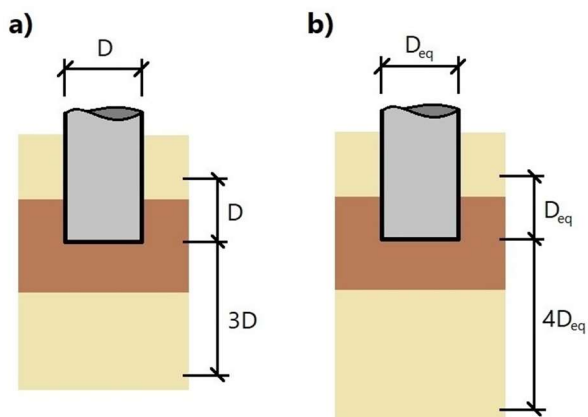
čia:

q_b – pagrindo po polio padu atsparumas;

A_b – polio pado plotas,;

η_b – pado atsparumo korekcijos koeficientas (spraustiniams poliams).

q_b reikšmės nustatymui reikia apskaičiuoti vidurkinę q_c reikšmę pagal 30 paveiksle pavaizduotą principą. Nustačius q_c vidurkinę reikšmę vadovaujantis lentelėmis 7 ir 8 randama q_b reikšmė (priklausomai nuo polio įrengimo technologijos)



30 pav. q_c reikšmės nustatymas po polio padu priklausomai nuo polių įrengimo būdo: a – gręžtiniai poliai; b – spraustiniai poliai

7 lentelė. Pagrindo atsparumo q_b reikšmės nesprausiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių

q_b						
Smėliniai gruntai				Moliniai gruntai		
q_c				c_u		
s/D	7,5	15	25	100	150	250
0,02	550-800	1050-1400	1750-2300	350-450	600-750	950-1200
0,03	700-1050	1350-1800	2250-2950	450-550	700-900	1200-1450
$s_g=0,10$	1600-2300	3000-4000	4000-5300	800-1000	1200-1500	1600-2000

8 lentelė. Pagrindo atsparumo q_b reikšmės spraustiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių

q_b						
Smėliniai gruntai				Moliniai gruntai		
q_c				c_u		
s/Deq	7,5	15	25	100	150	250
0,035	2200-5000	4000-6500	4500-7500	350-450	550-700	800-950
$s_g=0,10$	4200-6000	7600-10200	8750-11500	600-750	850-1100	1150-1500

Polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi ribinė laikomoji galia apskaičiuojama:

$$\text{Nesprausiniams poliams} \quad R_s(s_{sg}) = \sum_{i=1}^n q_{s;i} \times A_{s;i}; \quad (25)$$

$$\text{Spraustiniams poliams} \quad R_s(s_{sg}) = \sum_{i=1}^n \eta_s \times q_{s;i} \times A_{s;i}; \quad (26)$$

čia:

$q_{s,i}$ – i -tojo sluoksnio pagrindo ties polio šoniniu paviršiumi atsparumas;

$A_{s,i}$ – polio šoninio paviršiaus plotas i -tajame sluoksnyje;

s_{sg} – nuosėdis, prie kurio mobilizuojama šoninė trintis

η_b – šoninio paviršiaus atsparumo korekcijos koeficientas (spraustiniams poliams).

q_s reikšmės nustatymas pagal lenteles 9 ir 10 randama q_s reikšmė (priklausomai nuo polio įrengimo technologijos)

9 lentelė. Pagrindo atsparumo q_s reikšmės nespraustiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių

q_s					
Smėliniai gruntai			Moliniai gruntai		
q_c			c_u		
7,5	15	25	60	150	250
55-80	105-140	130-170	30-40	50-65	65-85

10 lentelė. Pagrindo atsparumo q_s reikšmės sprastiniams poliams, priklausomai nuo q_c ir c_u reikšmių

	q_s					
	Smėliniai gruntai			Moliniai gruntai		
	q_c			c_u		
s/D	7,5	15	25	60	150	250
s_{sg}	30-40	65-90	85-120	20-30	35-50	45-65
$s_g=0,10Deq$	40-60	95-125	125-160	20-35	40-60	55-80

3.9. EN1997-2 METODAS

De Ruiteris ir Beringenas 1979 m. pasiūlė CPT tyrimu pagrįstą metodą polių pagrindo laikomajai galiai nustatyti. Šio metodo pagrindu ir remiasi EN1997-2 pateiktas polių pagrindo laikomosios galios skaičiavimas. Priklausomai nuo grunto tipo, sankabus ar nesankabus, metodas taiko skirtingas procedūras laikomajai galiai skaičiuoti. Kadangi darbe nagrinėjami apvalaus skersmens, neišplatinti poliai, metodikos aprašyme su skerspjūvio forma ar pado išplatitinimu susijusios procedūros nebus apžvelgiamos.

Maksimali polio pagrindo laikomoji galia gniuždymui nustatoma taip:

$$R_{c,cal} = R_{cb,cal} + R_{cs,cal}; \quad (27)$$

čia:

$R_{cb,cal}$ – gniuždomojo polio pagrindo po padu ribinė laikomoji galia, pagal formulę 28;

$R_{cs,cal}$ – gniuždomojo polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi ribinė laikomoji galia pagal formulę 29;

$$R_{cb,cal} = A_b \times q_{b,cal}; \quad (28)$$

$$R_{cs,cal} = A_s \times \int_0^{\Delta L} q_{s,cal,z} \times dz; \quad (29)$$

čia:

A_b – polio pado skerspjūvio plotas;

A_s – polio šoninio paviršiaus plotas;

$q_{b,cal}$ – grunto po polio padu ribinis stipris, apskaičiuotas pagal CPT bandymus;

$q_{s,cal, z}$ – trinties ribinis stipris gylyje z , apskaičiuotas pagal CPT bandymus;

ΔL – atstumas nuo polio pado iki pirmojo grunto sluoksnio, esančio virš pado, kurio kūginis stipris

$q_c < 2 \text{ MPa}$;

z - gylis arba vertikali kryptis (teigiama žemyn).

Pagrindo po polio padu ribinis stipris $q_{b,cal}$ skaičiuojamas atsižvelgiant į grunto kūginio stiprio reikšmių pasiskirstymą, polio įrengimo technologiją ir pado formą:

$$q_{b,cal} = 0,5 \alpha_p \beta S \left\{ \frac{q_{c,I,mean} + q_{c,II,mean}}{2} + q_{c,III,mean} \right\}; \quad (30)$$

$$q_{b,cal} \leq 15 \text{ MPa}$$

čia:

α_p – koeficientas priklausantis nuo polio įrengimo technologijos ir tipo, pagal lentelę 11.;

β – koeficientas įvertinantis polio pado formą, randamas pagal paveikslą 31 ;

S – faktorius įvertinantis polio pado skerspjūvio formą, pagal formulę 31.

$$S = \left(1 + \frac{\sin \varphi'}{r} \right) / (1 + \sin \varphi'); \quad (31)$$

čia:

φ' – efektyvusis vidinės trinties kampas;

r – b/a ;

a – trumpesnis stačiakampio polio pado kraštas;

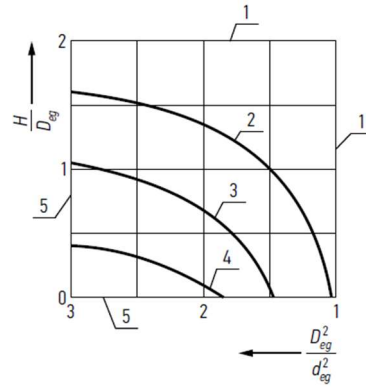
b – ilgesnis stačiakampio polio pado kraštas.

11 lentelė. Smėlingų ir žvyringųjų smėlių didžiausios α_p ir α_s vertės

Polio tipas	α_p	α_s^a
Spraustiniai poliai, kurių skersmuo >150 mm:		
– kaltiniai surenkamieji poliai;	1,0	0,010
– monolitiniai poliai, įrengiami plieniniuose spraudimo vamzdžiuose uždaru galu ir užpildant vamzdžius betonu.	1,0	0,012
Nespraustiniai poliai, kurių skersmuo >150 mm:		
– ištisinio betonavimo poliai (CFA);	0,8	0,006 ^b
– gręžtiniai poliai (naudojant gręžimo skiedinį).	0,6	0,005
Pastabos: ^a Vertės tinka smėliams nuo smulkiųjų iki rupiųjų. Labai rupiems smėliams vertės mažinamos taikant koeficientą 0,75, žvyrams – 0,5; ^b Ši vertė naudojama, kai tyrimas kūgio penetracijos bandymu (CPT) buvo atliktas prieš įrengiant polį; kai tyrimas atliktas įrengus polį, α_s vertė padidinama iki 0,01.		

12 lentelė. Didžiausios molių, dulkių ir durpių α_s vertės

Gruntas	q_c , MPa	α_s
Molis	>3	<0,030
Molis	<3	<0,020
Dulkis		<0,025
Durpės		0



31 pav. β vertės: 1 linija $\beta=1.0$; 2 linija $\beta=0.9$; 3 linija $\beta=0.8$; 4 linija $\beta=0.7$; 5 linija $\beta=0.6$

Vidutinė kūginio stiprio reikšmė $q_{c,I,mean}$ apskaičiuojama taip:

$$q_{c,I,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_0^{d_{crit}} q_{c,I} dz; \quad (32)$$

Sluoksnyje, kurio storis nuo $0,8D_{eq}$ iki $4D_{eq}$ nuo polio pado, randama mažiausia kūginių stiprių vidurkių reikšmė. Gylis, kuriame nustatoma ši reikšmė bus d_{crit} matuojant nuo polio pado.

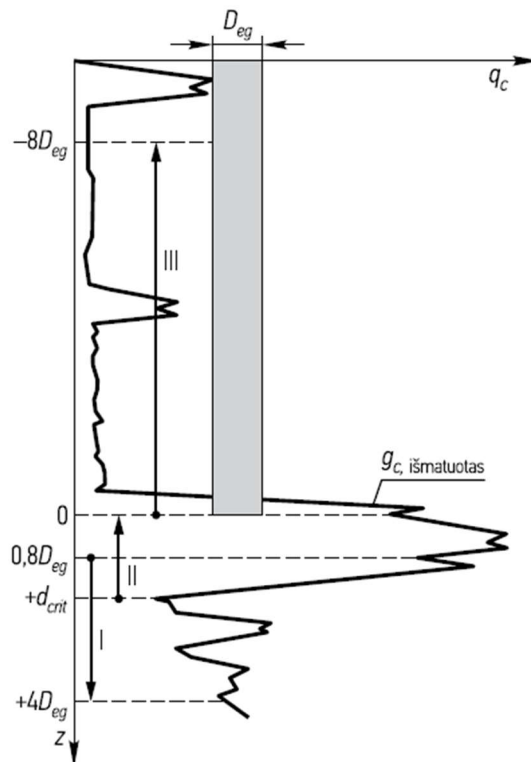
$q_{c,II,mean}$ yra mažiausių kūginių stiprių $q_{c,II}$ vidutinė vertė nuo polio pado iki kritinio gylio, pagal paveikslą 32.

$$q_{c,II,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_{d_{crit}}^0 q_{c,II} dz; \quad (33)$$

$q_{c,III,mean}$ yra mažiausių kūginių stiprių vidutinė vertė nuo polio pado iki 8 skersmenų į viršų. Skaiciuojant šią reikšmę braižoma mažiausiųjų kūgio stiprio reikšmių gaubtinės kreivė, ties polio padu atidedant mažiausią $q_{c,II}$. Pagal išbraižytą gaubtinę nustatomas $q_{c,III,mean}$

$$q_{c,III,mean} = \frac{1}{8D_{eq}} \int_0^{-8D_{eq}} q_{c,III} dz; \quad (34)$$

Pastovaus sraigtinio gręžimo poliams (CFA) $q_{c,III,mean}$ negali viršyti 2 MPa.



32 pav. $q_{c,I}$; $q_{c,II}$; $q_{c,III}$ nustatymo grafinis paaiškinimas

$q_{b,cal}$ skaičiavimas anksčia pateiktu būdu galimas, kai gruntas per visą skaičiuojamąjį gylį d_{crit} yra vienodo tipo. Jeigu gruntas sluoksniuotas, kūginio stiprio grafiką reikia pakeisti grunto stiprio grafiku, kuriama įvertinamas grunto tipo pasikeitimas:

$$q_{b,cal,z} = 0,5 \alpha_p \beta S q_{c,z}; \quad (35)$$

čia:

$q_{b,cal,z}$ – ribinio stiprio po padu, apskaičiuoto pagal grunto tyrimų duomenis reikšmė gylyje z ;

$q_{c,z}$ – kūginis stipris z gylyje.

Ribinis šoninės trinties stipris $q_{s,cal,z}$ apskaičiuojamas pagal grunto tyrimo duomenis pagal tokią formulę:

$$q_{s,cal,z} = \alpha_s \times q_{c,z,a}; \quad (36)$$

čia:

α_s – koeficientas priklausantis nuo polio įrengimo technologijos ir tipo, pagal lentelę 11 ir 12;

$q_{c,z,a}$ – kūginio stiprio reikšmė grunto sluoksnyje gylyje z ;

Jeigu $q_{c,z} \geq 12$ MPa sluoksnyje, kurio storis 1 m arba didesnis, tuomet šiame intervale $q_{c,z} \leq 15$ MPa. Jeigu $q_{c,z} \geq 12$ MPa sluoksnyje, mažesniame negu 1 m, tuomet šiame intervale $q_{c,z} \leq 12$ MPa.

Jeigu, atlikus CPT bandymus, pagrindas yra perkonsoliduojamas arba nukasamas, q_c reikšmes reikia sumažinti.

Polio pagrindo laikomoji galia po padu moliuose ir dulkiuose apskaičiuojama pagal grunto nedrenuotą sankibą c_u nustatytą lauko tyrimais pagal tokią formulę:

$$R_b = S(c_u N_c + \sigma_{vo}) A_b; \quad (37)$$

čia:

c_u – sankabumas nedrenuotomis sąlygomis;

σ_{vo} – bendrieji vertikalieji įtempiai grunte polio pado lygyje;

A_b – polio pado skerspjūvio plotas;

N_c – pagrindo laikomosios galios koeficientas $N_c=9$;

S – polio skerspjūvio dydžio įtakos koeficientas.

Spraustiniams poliams
$$S = \frac{D+0,5}{2D} \leq 1; \quad (38)$$

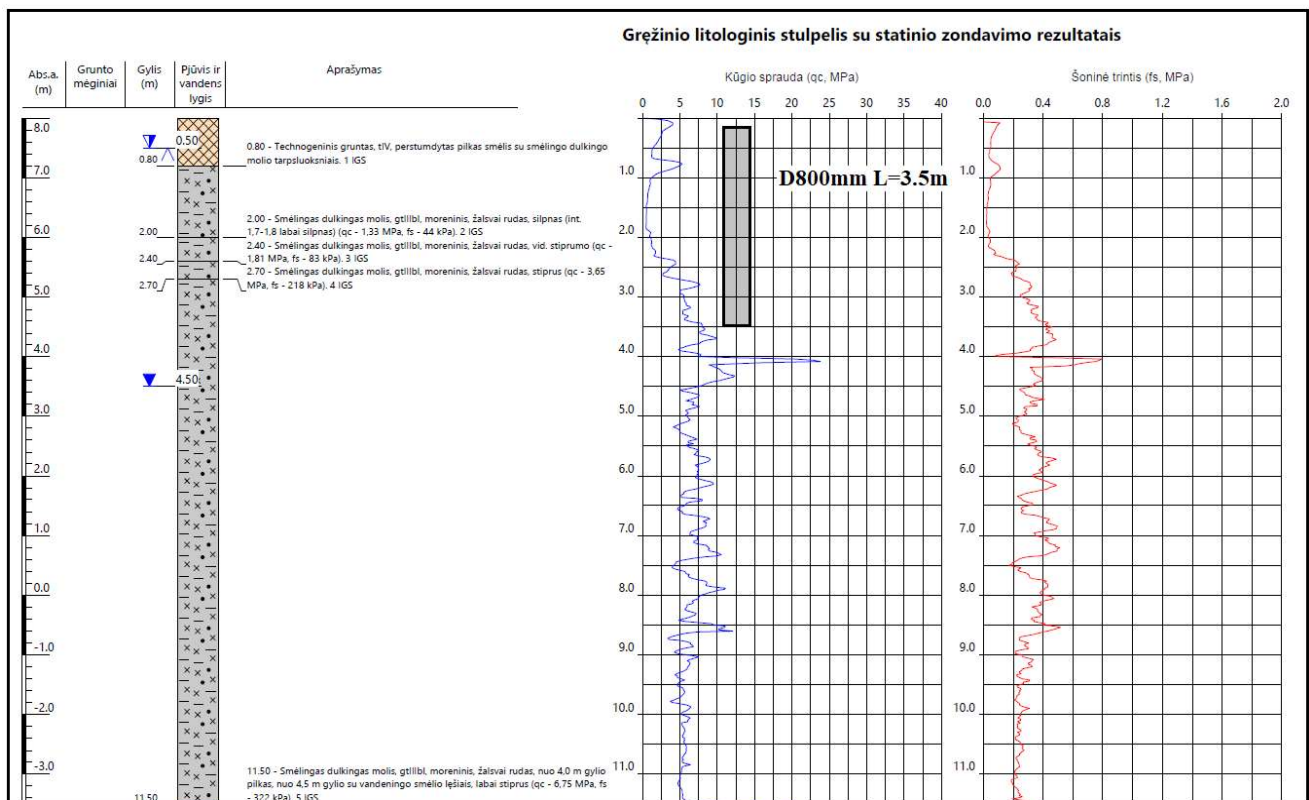
Nespraustiniams poliams
$$S = \frac{D+1,0}{2D+1,0} \leq 1; \quad (39)$$

4. APSKAIČIUOTOS POLIO PAGRINDO LAIKOMOSIOS GALIOS Palyginimas su bandymų statine ašine apkrova duomenimis

Darbe buvo nagrinėjami 8 polių, išbandytų statine ašine apkrova, skirtingose Lietuvos vietovėse, rezultatai palyginant juos su darbe aprašytais 5 polių pagrindo laikomosios galios skaičiavimų metodikomis gautais rezultatais. Ribinės polių laikomosios galios prognozavimui buvo panaudota Brincho Hanseno 80 % metodika. Polių pagrindo laikomoji galia buvo apskaičiuota naudojantis šiomis metodikomis: a) STR 2.05.21:2016 GRĘŽTINIŲ PAMATŲ PAGRINDO PROJEKTAVIMAS (10 Priedas) metodas; b) PKSŽ 2009 L. Furmonavičiaus metodas; c) LCPC (Bustamante) metodas; d) EA Pfahle (German methode) metodas; e) EN 1997-2 metodas.

4.1. BANDOMASIS POLIS NR.1

Bandomasis polis Nr. 1 buvo įrengtas statybos aikštelėje Klaipėdos mieste. Polio skersmuo 800mm, ilgis grunte L=3,5m. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės salygos pavaizduotos 33 paveiksle.



33 pav. Bandomasis polis Nr.1

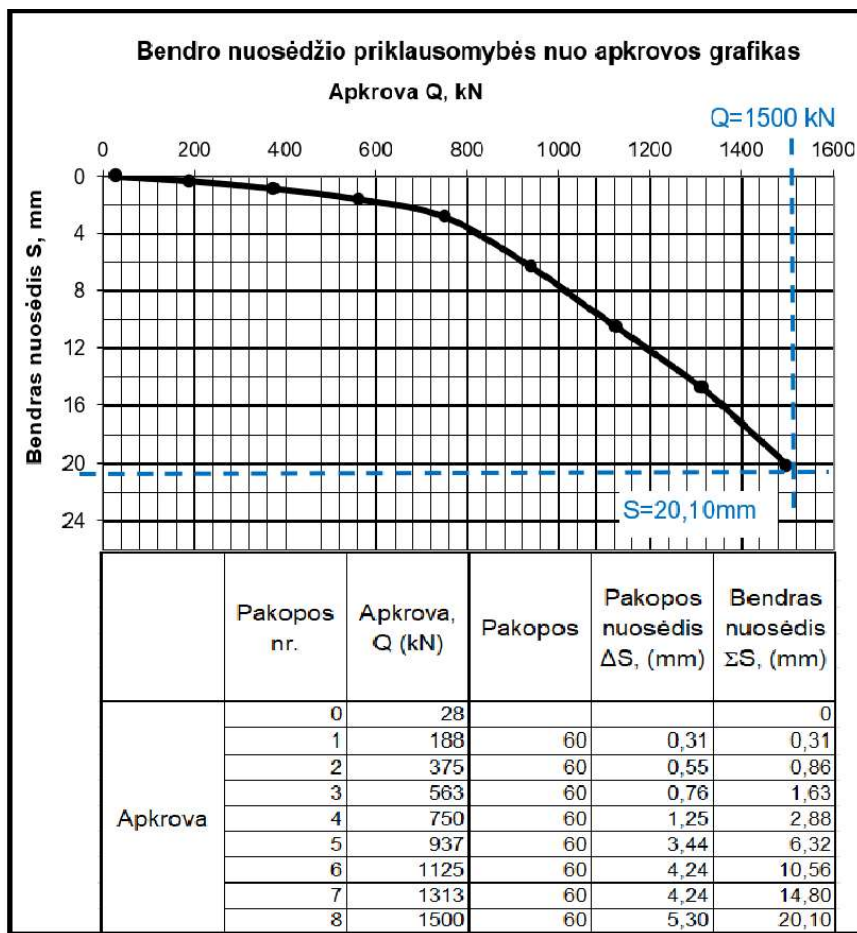
Statybos aikštelėje prie bandomojo polio vyraujantys gruntai yra priskiriami sankabiems, t.y. įvairaus stiprumo smėlingi dulkingi moreniniai moliai. Polio padas remiasi į smėlingą dulkingą

moreninį molį, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=6,75$ MPa; $f_s=322$ kPa. Nuo polio viršaus iki apie 0,8m sutiktas technogeninis gruntas. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 13 lentelėje.

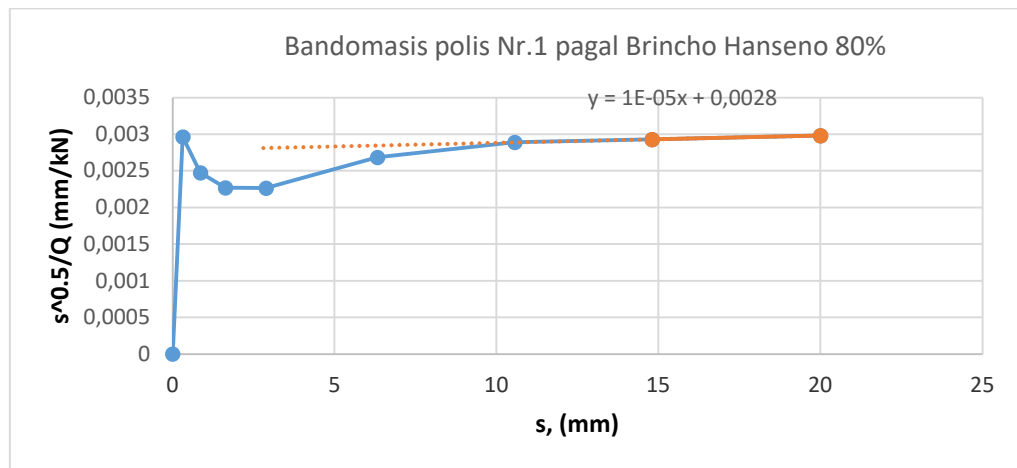
13 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skačiuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			ρ	ϕ	E_0	c_u	Kąginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			Mg/m ³	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Moreninis smėlingas dulkingas molis, silpnas	sasiCL	-	-	8,5	-	0,85	38
3	Moreninis smėlingas dulkingas molis, vid.stiprumo	sasiCL	-	-	19	-	1,9	82
4	Moreninis smėlingas dulkingas molis, stiprus	sasiCL	2,2	-	43,5	-	3,62	177
5	Moreninis smėlingas dulkingas molis, labai stiprus	sasiCL	2,29	-	117,7	-	9,81	522

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 1500 kN apkrova.



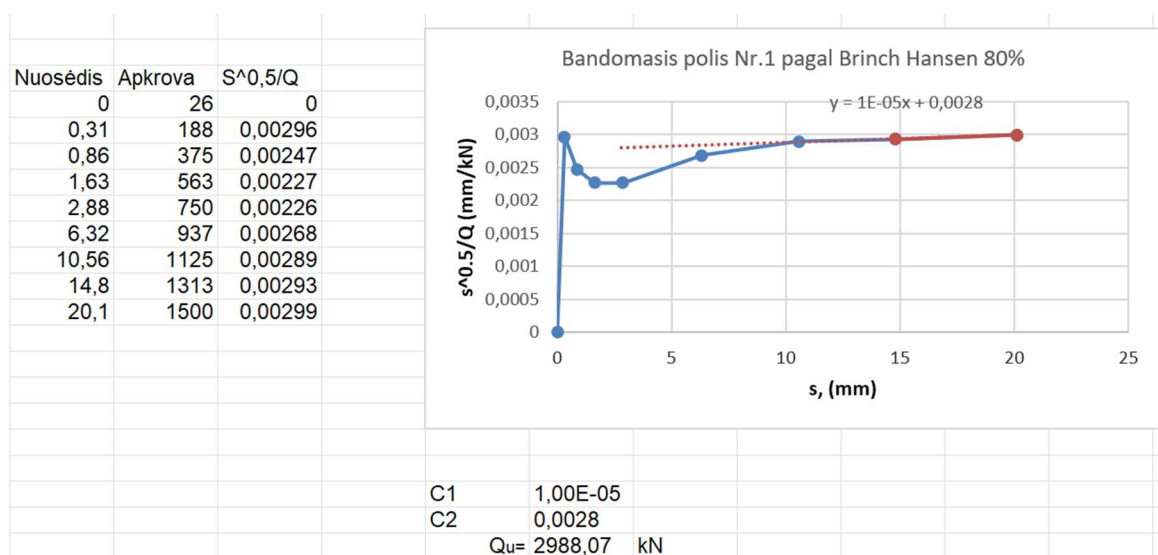
34 pav. Bandomasis polis Nr.1 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



35 pav. Bandomasis polis Nr.1 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką.

Pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 2988,07 kN

Skaičiuojant Brincho Hanseno 80 % metodiką sudaromas grafikas iš taškų atitinkančių Y ašyje atidėtą reikšmę gautą kiekvienos apkrovos pakopos nuosėdžio reikšmę pakėlus laipsniu 0,5 ir padalijus iš pakopos apkrovos reikšmės su X ašyje atidėta atitinkamos apkrovos pakopos nuosėdžio reikšme. Gavus grafiką randama C_1 reikšmė, kuri atitinka tiesios linijos nuolydį ir C_2 reikšmė t.y. reikšmė Y ašyje, kur įsikerta tiesi linija. Grafiko braižymui ir C_1 , C_2 reikšmių radimui naudojama *Excel* programa. Gavus minėtas reikšmes, pagal formulę (1) apskaičiuojama prognozuojama ribinė laikomoji galia Q_u . Analogišku algoritmu grafikas sudaromas ir prognozuojama ribinė laikomoji galia ir polių Nr. 2-8 atvejais.



36 pav. Brincho Hanseno 80 % prognozavimo metodika

Toliau pateikiamas polio pagrindo laikomosios galios apskaičiavimo ties bandomuoju poliu Nr.1 algoritmas, remiantis 3 skyriuje pateikiamų metodikų algoritmais. Skaičiavimuose taikomi tik

daliniai koeficientai priklausantys nuo polių įrengimo technologijos ar skerspjuvio parametrų. Daliniai koeficientai priklausantys nuo apkrovų derinių, ar skaičiavimo atvejų nėra taikomi. Analogiškai skaičiavimai atlikti ir polių Nr. 2-8 atvejais.

Bandomojo polio Nr. duomenys

Polio įrengimo technologija – ištisinio sraigtinio gręžimo (CFA)

Ilgis $L=3,5$ m;

Skersmuo $D=0,8$ m;

Pamato pado plotas $A_b=0,502$ m²

Polio perimetras $A_p=2,512$ m

i -tojo grunto sluoksnio ties pamato šoniniu paviršiumi plotas $A_{si}= A_p \times I$;

i – grunto sluoksnio storis (m).

STR 2.05.21:2016 Gręžtinių pamatų pagrindo projektavimas (10 priedas) metodas

Pagrindo laikomoji galia po polio padu:

Kadangi pagrindas po polio padu - molinis gruntas, taikome (12) formulę. Priimame, kad pagrindo po padu stiprį skaičiuosime esant 3% pamato skersmens nuosėdžiui, tokiu atveju $n=3$. Pagal metodiką apskaičiuotas q_c vidurkis po pamato padu yra 7,53MPa (7530kPa). Taigi pagrindo po polio padu esant 3% nuosėdžiui atsparumas

$$q_{c;3} \approx 0,1 \times 3 \times 7530 = 2259 \text{ kPa};$$

Remiantis (11) formule randama vertikali jėga, kurią galima perduoti pamato padui, tai laikoma pagrindo po polio padu laikomąja galia R_b :

$$R_b = q_{c;3} \times A_b = 2259 \times 0,502 = 1134,02 \text{ kN};$$

Pagrindo laikomoji galia ties polio šoniniu paviršiumi:

Vadvaujantis (14) formule, pagrindo ties polio šoniniu paviršiumi laikomoji galia randama sumuojant esančio kiekviename sluoksnyje polio šoninio paviršiaus plotą padauginant iš išmatuotos CPT bandymu f_s reikšmės padalitos iš 3 ($q_{s,i}$ pagal formulę (15))

$$R_s = A_p (q_{s;1} \times i_1 + \dots q_{s;n} \times i_n) = 2,512 \left(\frac{65}{3} \times 0,8 + \frac{44}{3} \times 1,2 + \frac{83}{3} \times 0,4 + \frac{218}{3} \times 0,3 + \frac{322}{3} \times 0,7 \right) = 359,05 \text{ kN};$$

Suminė pagrindo laikomoji galia

$$R_c = R_b + R_s = 1134,02 + 359,05 = 1493,07 \text{ kN}.$$

L. Furmonavičiaus metodas

Pagrindo laikomoji galia po polio padu:

$$R_b = \alpha_b \times q_c \times A_b = 0,8 \times 6710 \times 0,502 = 2694,74 \text{ kN};$$

$$R_{b,cal} = \frac{R_b}{\gamma_{Rb}} = \frac{2694,74}{2,0} = 1347,37 \text{ kN};$$

α_b – empirinis koeficientas tarp q_c ir pagrindo stiprumo.

q_c – grunto kūginis stiprumas po pamato padu

A_b – pamato pagrindo plotas

Pagrindo laikomoji galia ties polio šoniniu paviršiumi:

$$R_s = \Sigma(\alpha_{si} \times q_{ci} \times A_{si}) = 0,025 \times 2500 \times 0,8 \times 2,512 + 0,05 \times 1330 \times 1,2 \times 2,512 + 0,05 \times 1810 \times 0,4 \times 2,512 + 0,05 \times 3650 \times 0,3 \times 2,512 + 0,05 \times 6750 \times 0,8 \times 2,512 = 832,66 \text{ kN};$$

$$R_{s,cal} = \frac{R_s}{\gamma_{Rs}} = \frac{832,66}{1,5} = 555,11 \text{ kN};$$

Suminė pagrindo laikomoji galia

$$R_c = R_b + R_s = 1347,37 + 555,11 = 1902,48 \text{ kN}.$$

LCPC (Bustamante) metodas

Pagrindo laikomoji galia po polio padu:

$$P_{max,base} = \alpha_p \times q_{c,eq} = 0,45 \times 6490 = 2920,50 \text{ kN};$$

$$R_b = P_{max,base} \times A_b = 2920,50 \times 0,502 = 1466,10 \text{ kN};$$

$P_{max, base}$ – pagrindo po pamato padu laikomoji galia;

α_p – empirinis pamato pagrindo koeficientas priklausantis nuo q_c ;

$q_{c, eq}$ – ekvivalentinis grunto kūginis stiprumas, polio Nr.1 atveju suskaičiuotas $q_{c, eq} = 6,49 \text{ MPa}$ arba 6490 kPa .

Pagrindo laikomoji galia ties polio šoniniu paviršiumi:

$$P_{max,shaft} = \Sigma(\alpha_s \times q_{c,z,a} \times i) = 0,025 \times 2500 \times 0,8 + 0,025 \times 1330 \times 1,2 + 0,025 \times 1810 \times 0,4 + 0,025 \times 3650 \times 0,3 + 0,017 \times 6750 \times 0,8 = 227,18 \text{ kN};$$

$$R_s = P_{max,shaft} \times A_p = 227,18 \times 2,512 = 570,68 \text{ kN}$$

Suminė pagrindo laikomoji galia

$$R_c = R_b + R_s = 1466,10 + 570,68 = 2036,78 \text{ kN}.$$

EA-Pfahle (German methode) metodas

Pagrindo laikomoji galia po polio padu:

$$R_b = q_b \times A_b = 2000 \times 0,502 = 1004,00 \text{ kN};$$

q_b reikšmės nustatymui reikia apskaičiuoti vidurkinę q_c reikšmę pagal 30 paveiksle pavaizduotą principą. Nustatius q_c vidurkinę reikšmę vadovaujantis 7 ir 8 lentelėmis randama q_b reikšmė (priklausomai nuo polio įrengimo technologijos). Po polio Nr.1 padu suskaičiuotas $q_c = 6,71 \text{ MPa}$ arba 6710 kPa .

Pagrindo laikomoji galia ties polio šoniniu paviršiumi:

$$R_s = \Sigma(q_{si} \times A_{si}) = 45 \times 0,8 \times 2,512 + 40 \times 1,2 \times 2,512 + 45 \times 0,4 \times 2,512 + 70 \times 0,3 \times 2,512 + 85 \times 0,8 \times 2,512 = 479,80 \text{ kN};$$

Suminė pagrindo laikomoji galia

$$R_c = R_b + R_s = 1004,00 + 479,80 = 1483,80 \text{ kN}.$$

EN1997-2 metodas

Pagrindo laikomoji galia po polio padu:

$q_{c,vid}$ reikšmė apskaičiuojamas pagal išraišką:

$$q_{c,vid} = \frac{q_{c,I,mean} + q_{c,II,mean}}{2} + q_{c,III,mean} = \frac{7000 + 5000}{2} + 1900 = 7900 \text{ kPa};$$

$q_{c,I}$, $q_{c,II}$, $q_{c,III}$ reikšmės apskaičiuojamos pagal metodikoje pateiktą algoritmą. Polio Nr. 1 atveju $q_{c,I} = 7000 \text{ kPa}$; $q_{c,II} = 5000 \text{ kPa}$; $q_{c,III} = 1900 \text{ kPa}$;

Polio pagrindo laikomoji galia po padu moliuose ir dulkiuose apskaičiuojama pagal grunto nedrenuotą sankibą c_u nustatytą lauko tyrimais pagal tokią formulę:

$$R_b = S(c_u N_c + \sigma_{vo}) A_b = 0,7 (395 \times 9 + 70) 0,502 = 1273,83 \text{ kN};$$

c_u – sankabumas nedrenuotomis sąlygomis;

$$c_u = \frac{q_{c,vid}}{20} = \frac{7900}{20} = 395 \text{ kPa};$$

S – polio skerspjūvio dydžio įtakos koeficientas;

$$S = \frac{D + 1,0}{2D + 1,0} = \frac{0,8 + 1,0}{2 \times 0,8 + 1,0} = 0,7 \leq 1;$$

Pagrindo laikomoji galia ties polio šoniniu paviršiumi:

$$R_{s,sum} = \Sigma(\alpha_s \times q_{c,z,\alpha} \times i) = 0,020 \times 2500 \times 0,8 + 0,020 \times 1330 \times 1,2 + 0,020 \times 1810 \times 0,4 + 0,030 \times 3650 \times 0,3 + 0,030 \times 6750 \times 0,8 = 251,40 \text{ kN};$$

$$R_s = R_{s,sum} \times A_p = 251,40 \times 2,512 = 631,52 \text{ kN};$$

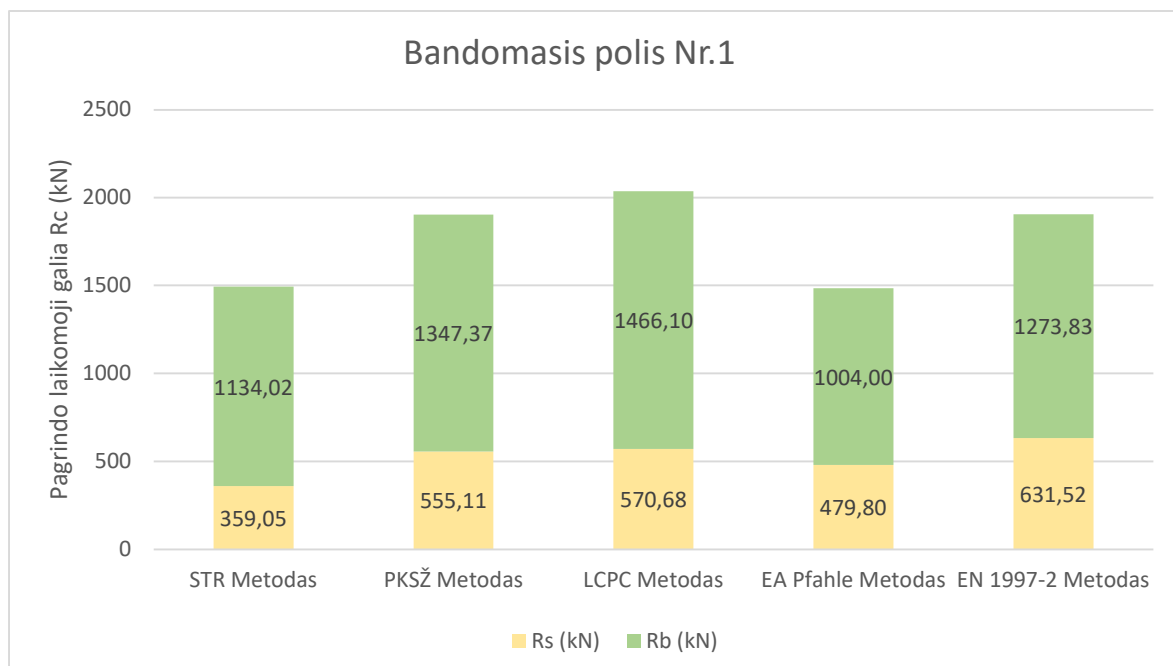
Suminė pagrindo laikomoji galia

$$R_c = R_b + R_s = 1273,83 + 631,52 = 2004,50 \text{ kN}.$$

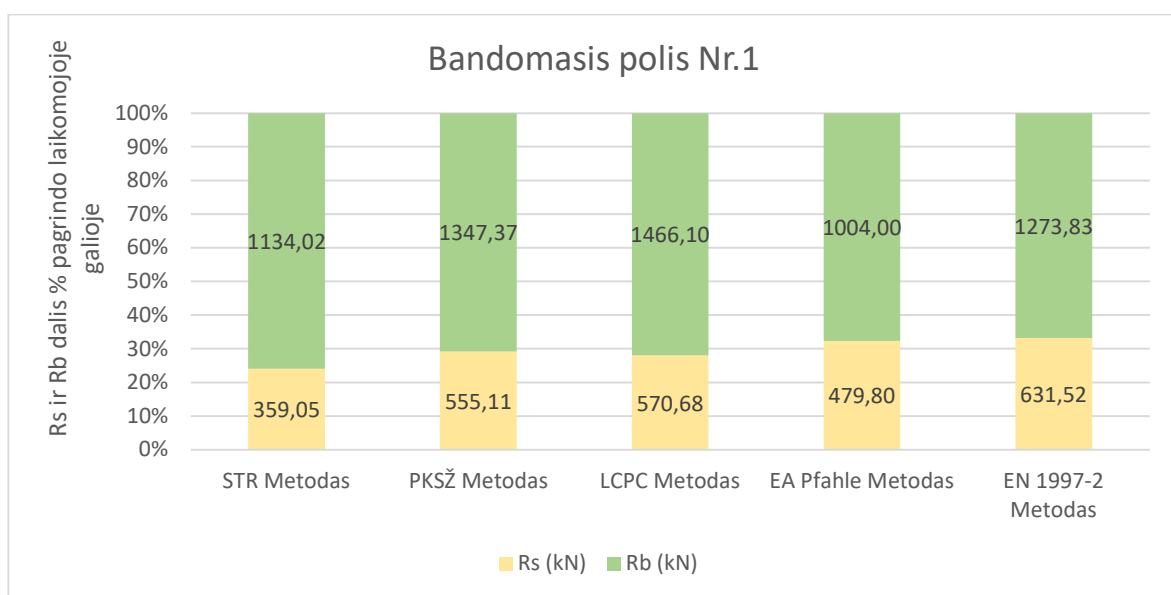
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.1

14 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	359,05	555,11	570,68	479,80	631,52
R_b (kN)	1134,02	1347,37	1466,10	1004,00	1273,83
R_c (kN)	1493,07	1902,48	2036,78	1483,80	2004,50

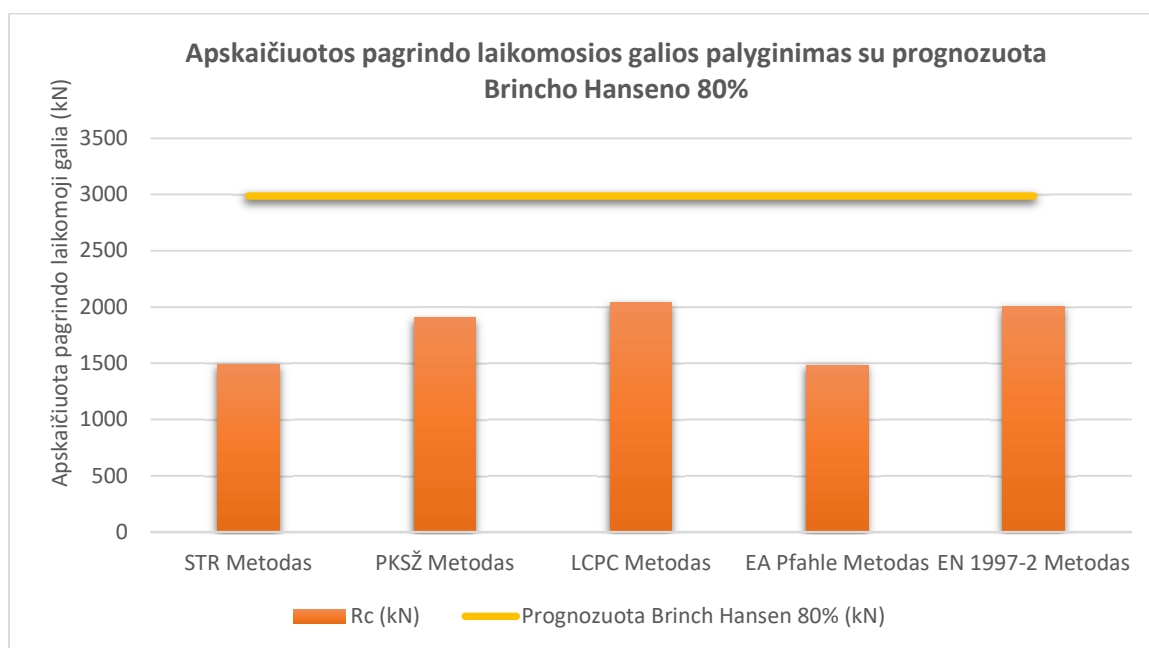


37 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



38 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

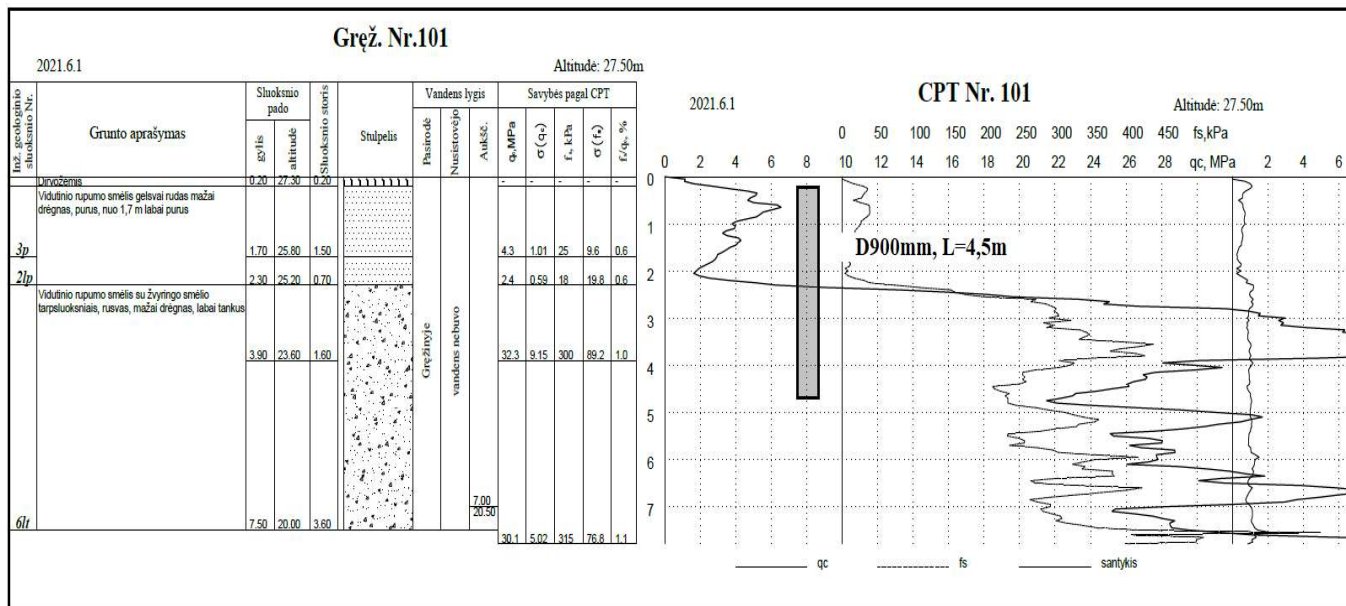
Pagal bandomo polio Nr.1 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios yra LCPC metodika apskaičiuota laikomoji galia. Šiomis gruntų sąlygomis polio pagrindo laikomoji galia tarp LCPC, PKSŽ L. Furmonavičiaus ir EN 1997-2 metodų, galima sakyti, nesiskyrė. STR ir EA Pfahle metodikomis suskaičiuotos pagrindo laikomosios galios taip pat, galima sakyti, nesiskyrė, tačiau turėjo daugiau atsargos nuo laikomosios galios prognozuotos pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką. Visos metodikos ribinę pagrindo laikomąją galią prognozavo su gana didele atsarga - nuo 2,01 iki 1,47 karto. Taip pat pažymėtina, kad visose metodikose pagrindo ties šoniniu polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje sudarė 24-33 %. Tikėtina, kad gana ženklus skirtumas tarp pagal bandymo rezultatus prognozuotos ir metodikomis apskaičiuotos pagrindo laikomosios galios susidaro dėl grunto, kuriame yra polio padas ir 0,8m iš 3,5m (apie 22 %) viso polio ilgio. Skaičiuojant laikomąją galią, metodikos apriboja maksimalias reikšmes po padu ir ties šoniniu paviršiumi, o ties polio padu esančio smėlingo dulkingo moreninio molio sluoksnis, su stiprio reikšmėmis $q_c=6,75$ MPa ir $f_s=322$ kPa, pagrindo laikomąją galią, tikėtina, reikšmingai padidina. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 39 paveiksle.



39 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.1 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

4.2. BANDOMASIS POLIS NR.2

Bandomasis polis Nr. 2 buvo įrengtas statybos aikštelėje Kauno rajone. Polio skersmuo 900mm, ilgis grunte $L=4,5\text{m}$. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės salygos pavaizduotos 40 paveiksle.



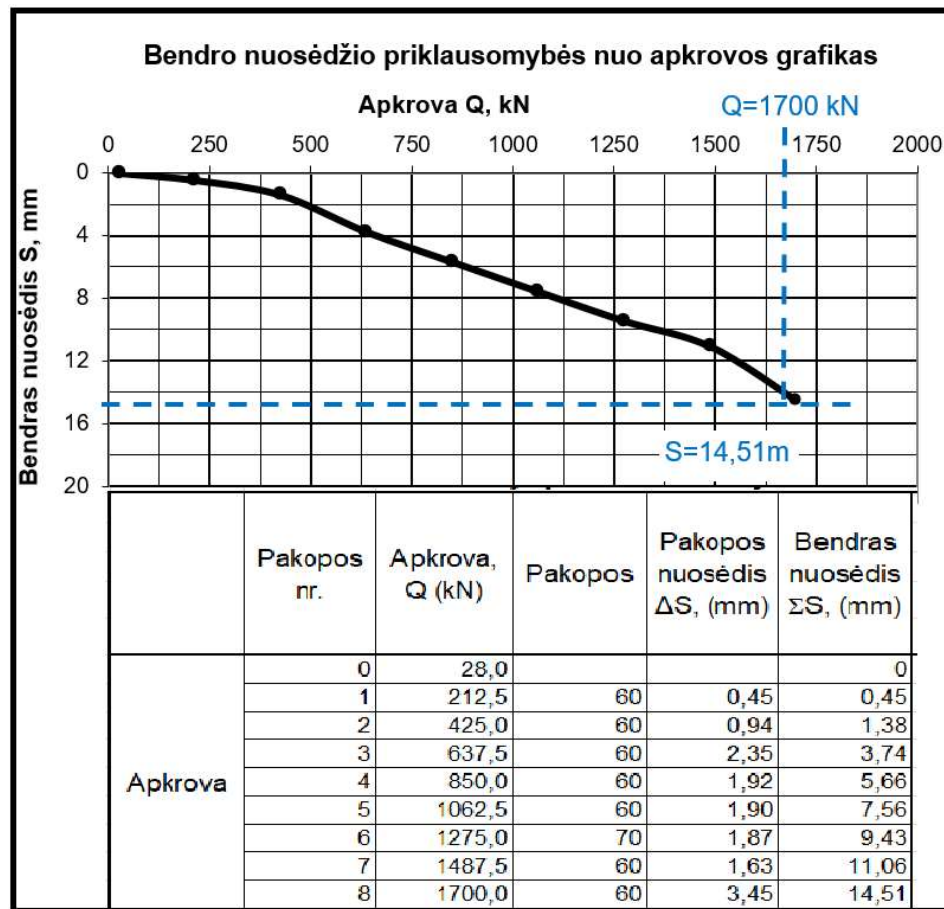
40 pav. Bandomasis polis Nr.2

Statybos aikštelėje prie bandomojo polio vyrauja nesankabūs gruntai – vidutinio rupumo purūs ir labai tankūs smėliai. Polio padas remiasi į labai tankų vidutinio rupumo smėlį su žvyringo smėlio tarp sluoksniais, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=30,1$ MPa; $f_s=315$ kPa. Apie 2,2m nuo polio viršaus vyrauja purūs vidutinio rupumo smėlis. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 15 lentelėje.

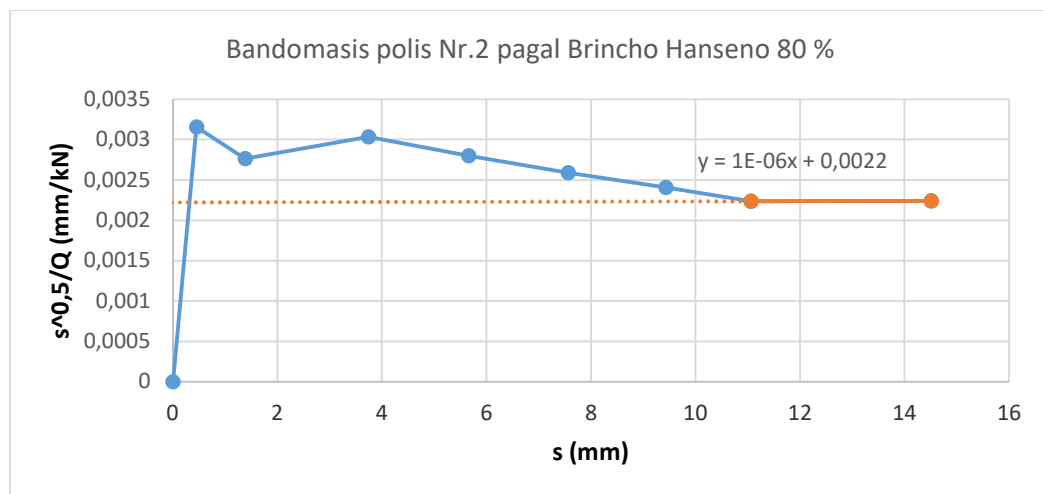
15 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skaičiuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			ρ	ϕ	E_0	c_u	Kūginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			Mg/m^3	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3p	Vidutinio rupumo smėlis, purus	MSa	1,75	31	12	-	4,0	50,0
2p	Vidutinio rupumo smėlis, labai purus	MSa	1,7	26	2,7	-	1,8	22,6
6lt	Vidutinio rupumo smėlis, labai tankus	siCl	1,9	42	84	-	28,8	208,0

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 1700 kN apkrova.



41 pav. Bandomasis polis Nr.2 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



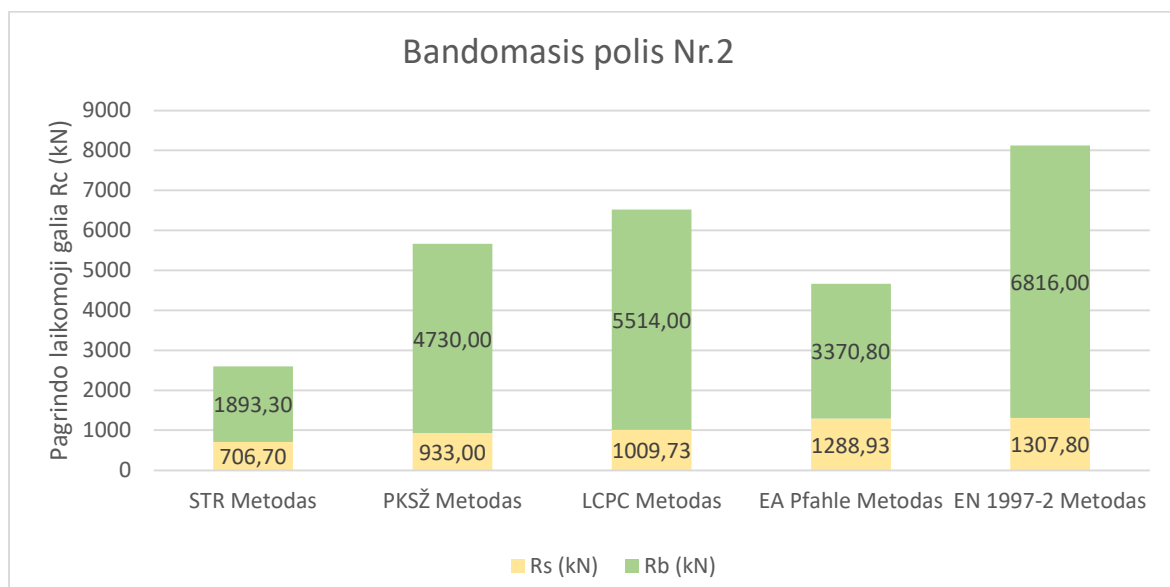
42 pav. Bandomasis polis Nr.2 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką

Pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 10660,04 kN

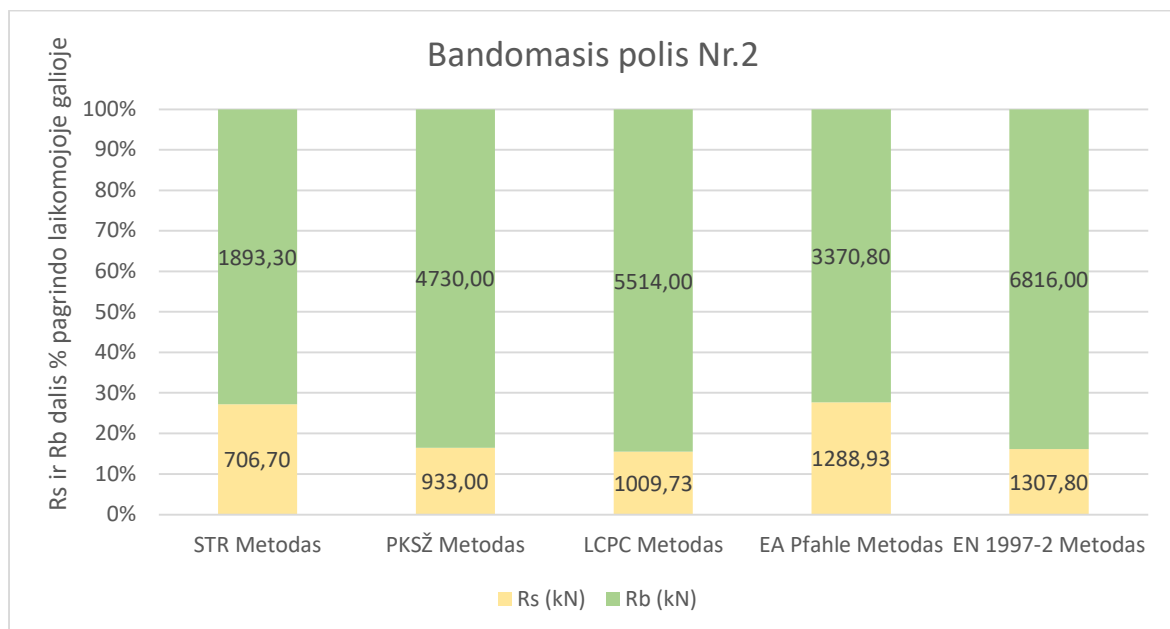
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.2

16 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	706,70	933,00	1009,73	1288,93	1307,80
R_b (kN)	1893,30	4730,00	5514,00	3370,80	6816,00
R_c (kN)	2600,00	5663,00	6523,73	4659,73	8123,80



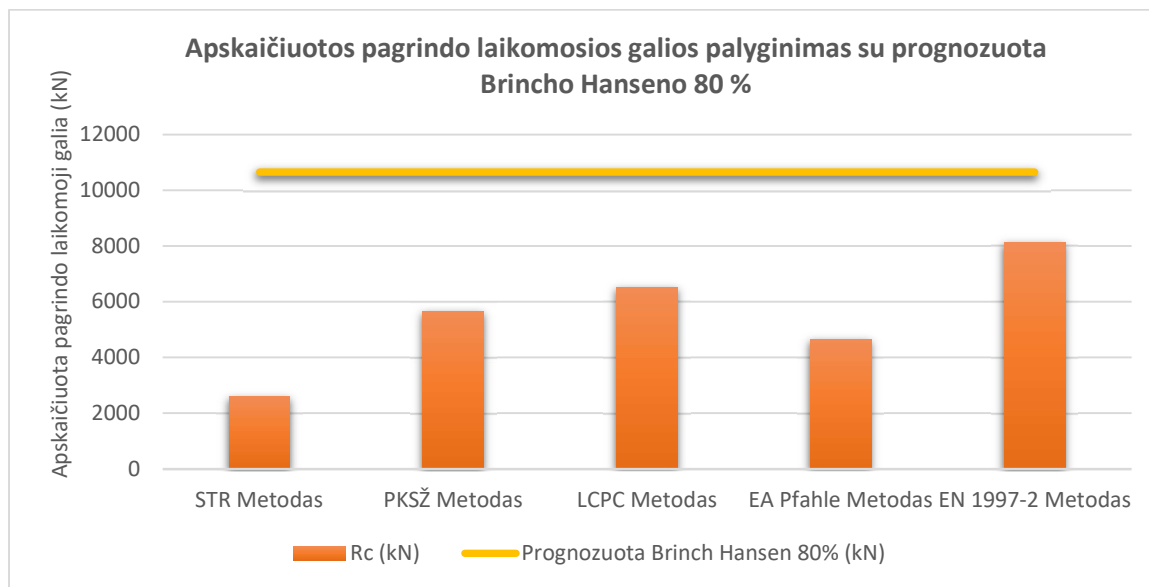
43 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



44 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

Pagal bandomo polio Nr.2 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios yra EN 1997-2 metodika apskaičiuota laikomoji galia. Visos metodikos ribinę pagrindo laikomąją galią prognozavo su gana didele atsarga - nuo 4,10 iki 1,31 karto. Pagrindo ties šoniniu

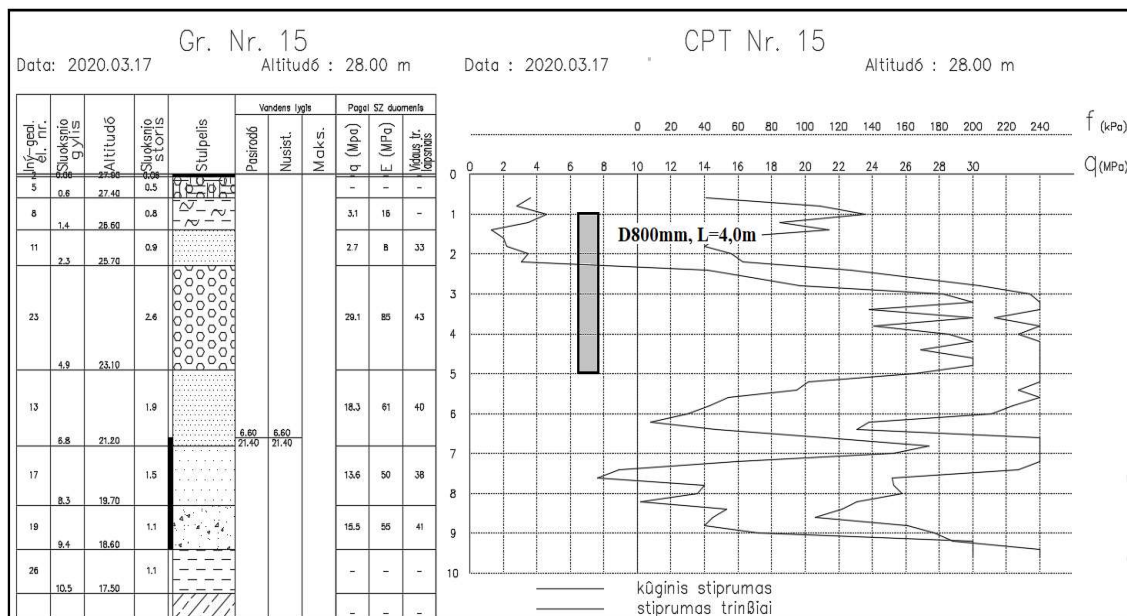
polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje, priklausomai nuo metodikos, sudarė nuo 15 iki 28 %. Tarp pačių metodikų bendrųjų pagrindo laikomųjų galių susidariusį skirtumą šiuo atveju lėmė metodikų taikomi apribojimai polio pado pagrindo laikomosios galios dedamosios skaičiavimuose. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 45 paveiksle.



45 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.2 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

4.3. BANDOMASIS POLIS NR.3

Bandomasis polis Nr. 3 buvo įrengtas statybos aikštelėje Kauno mieste. Polio skersmuo 800mm, ilgis grunte $L=4,0\text{m}$. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės salygos pavaizduotos 46 paveiksle.



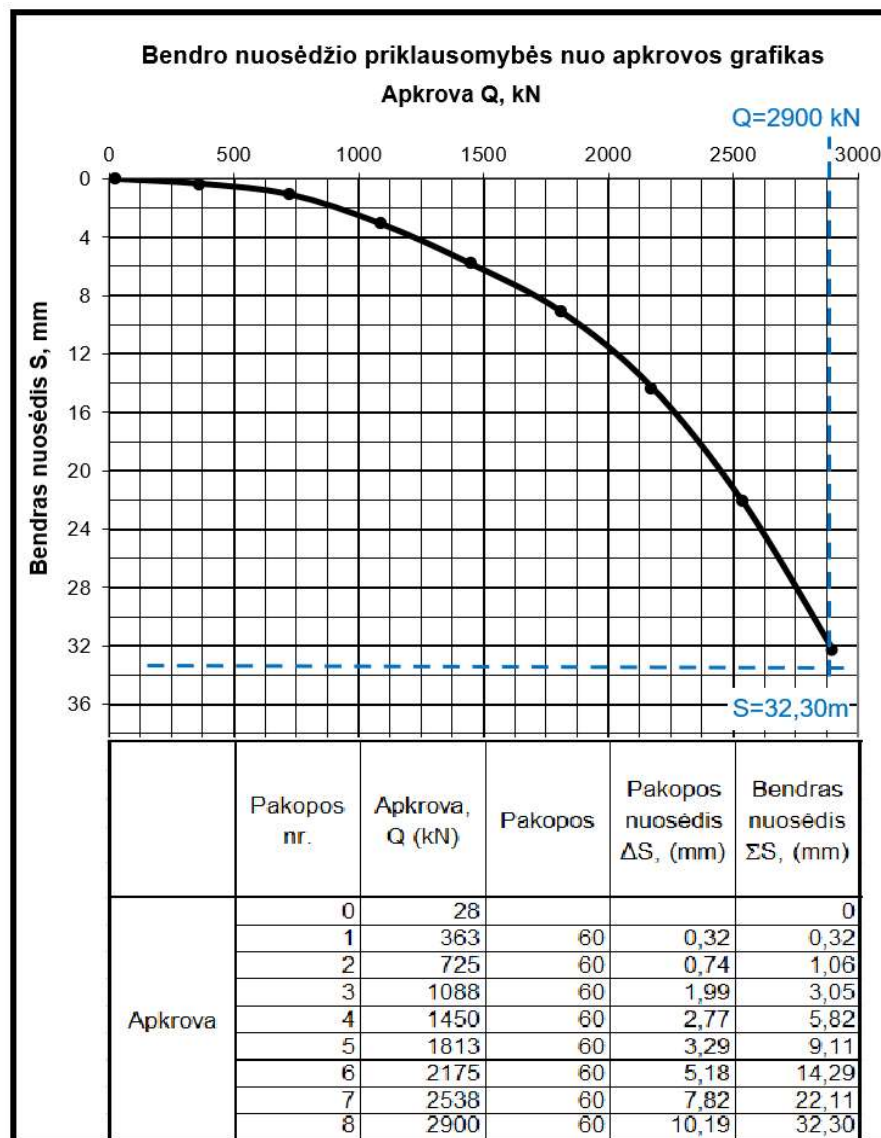
46 pav. Bandomasis polis Nr.3

Statybos aikštelėje prie bandomojo polio nustatyti sankabūs ir nesankabūs gruntai – mažo plastiškumo dulkis, smėlis su smulkios frakcijos priemaiša, smėlis su žvyro lėšiais, smėlingas žvyras. Polio padas remiasi į tankų smėlį su maža smulkios frakcijos priemaiša, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=18,3\text{MPa}$; $f_s=190\text{kPa}$. Apie 1,2m giliau po polio padu stebimas lokalus susilpnėjimas. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 17 lentelėje

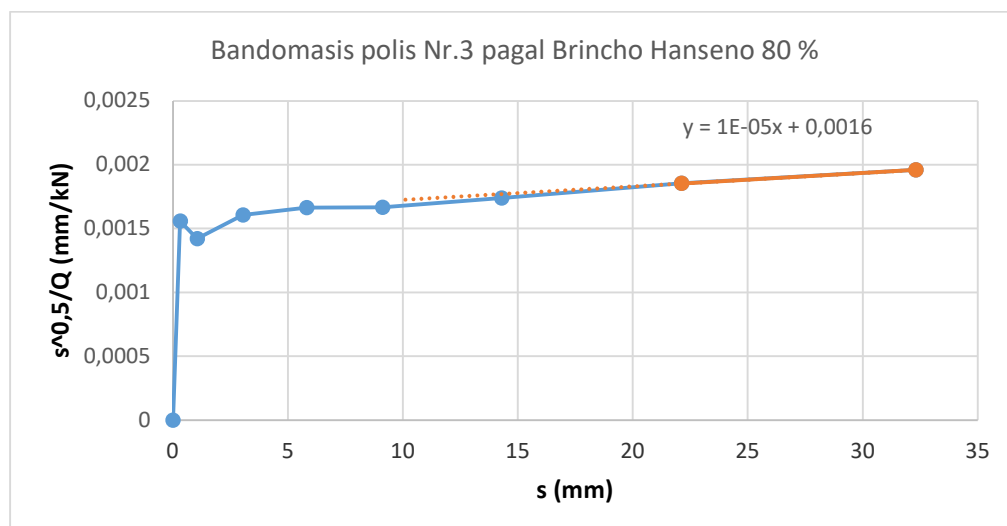
17 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skaiciuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			ρ	φ	E_0	c_u	Kūginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			Mg/m^3	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	Mažo plastiškumo molis, vidutinio stiprumo		1,98	21	12	-	2,3	-
11	Smėlis su maža smulkios frakcijos priemaiša, purus		1,91	34	12	-	4,1	-
13	Smėlis su maža smulkios frakcijos priemaiša, su žvyro lėšiais, tankus		1,95	40	62	-	18,4	-
17	Smėlis su žvyringo smėlio lėšiais, tankus		2,00	39	55	-	15,8	-
19	Žvyringas smėlis, tankus		1,88	41	55	-	15,5	-
23	Smėlingas žvyras, labai tankus		2,00	44	92	-	32,2	-

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 2900 kN apkrova.



47 pav. Bandomasis polis Nr.3 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



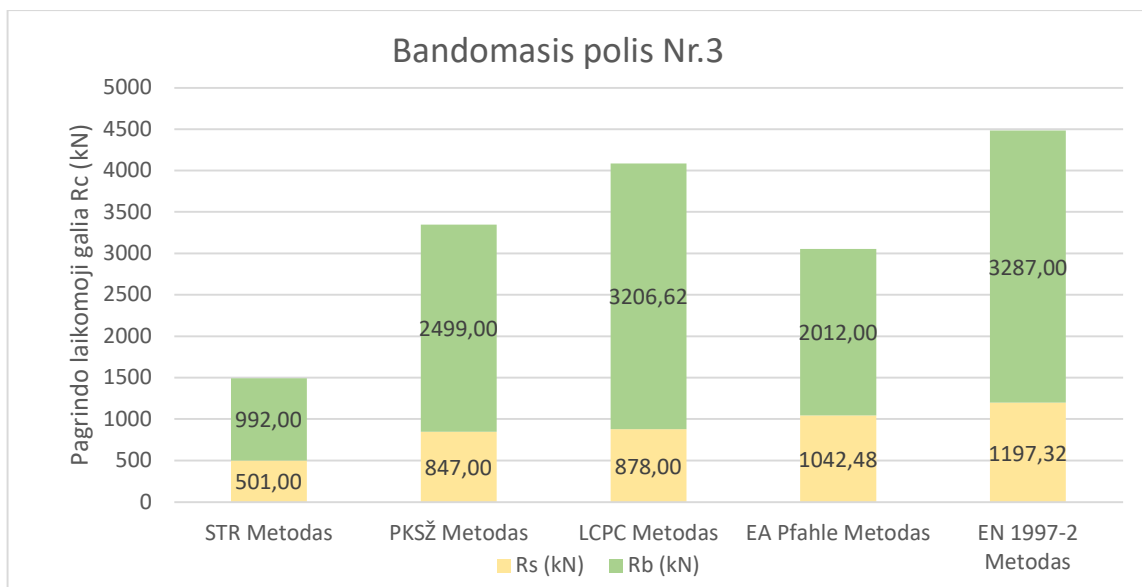
48 pav. Bandomasis polis Nr.3 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką

Pagal Brincho Hanseno 80% metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 3952,85 kN

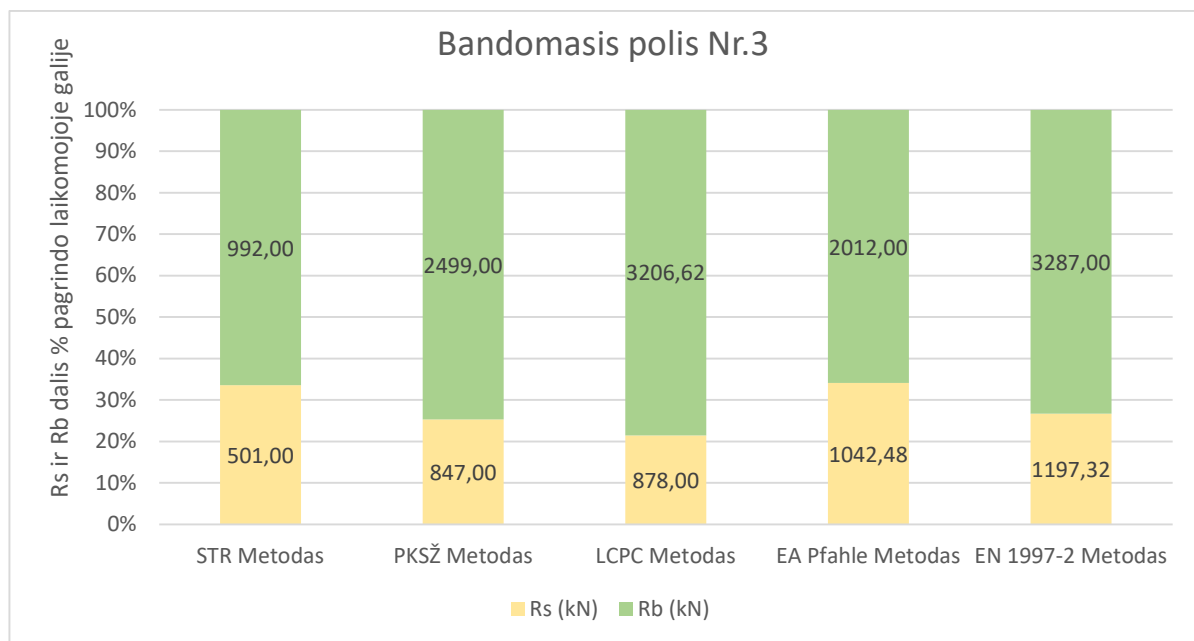
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.3

18 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	501,00	847,00	878,00	1042,48	1197,32
R_b (kN)	992,00	2499,00	3206,62	2012,00	3287,00
R_c (kN)	1493,00	3346,00	4084,62	3054,48	4484,32

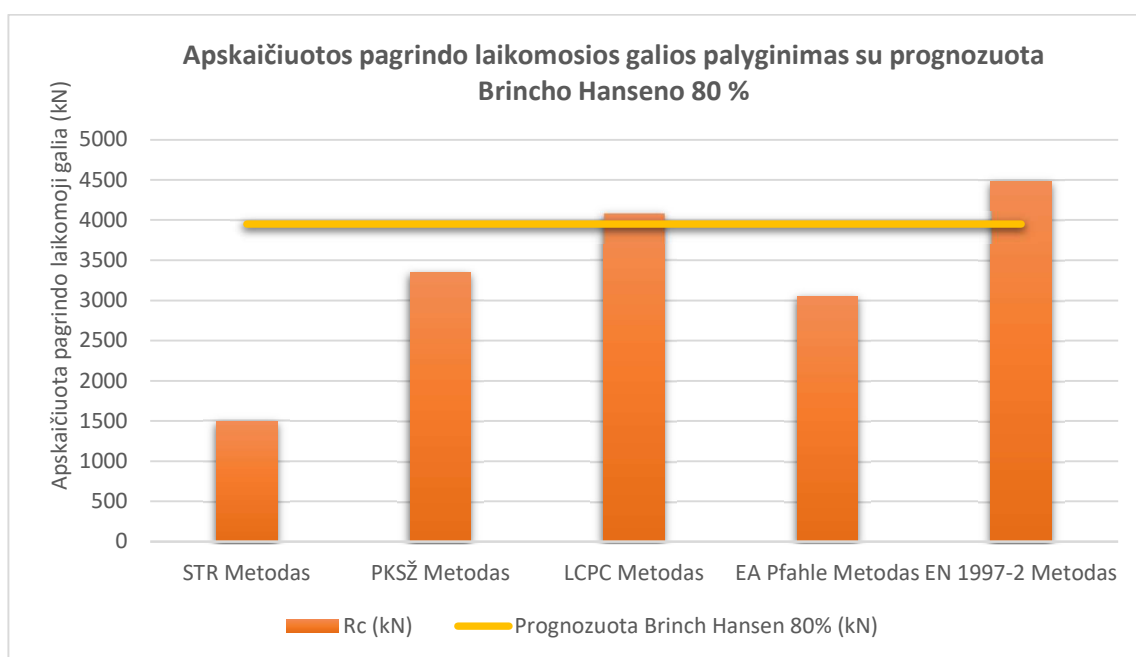


49 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



50 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

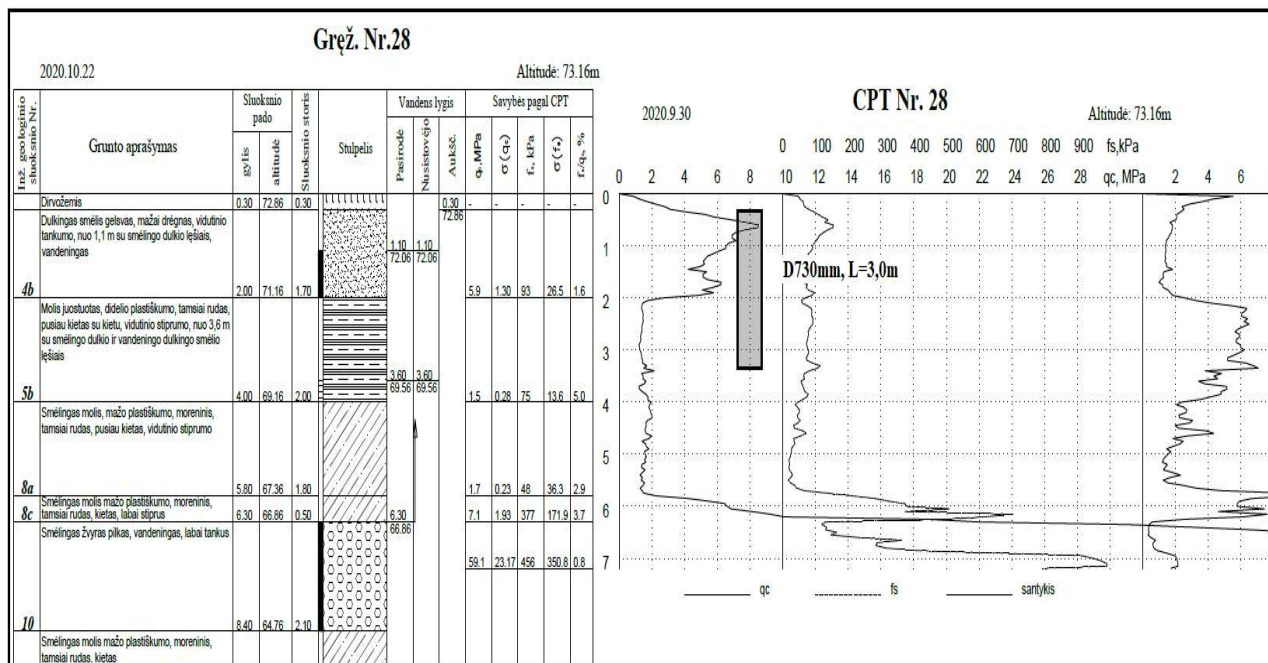
Pagal bandomo polio Nr.3 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios su atsarga 1,18 karto yra PKSŽ L. Furmonavičiaus metodika apskaičiuota laikomoji galia. Su atsarga yra STR bei EA Pfahle metodai, atitinkamai 2,65 ir 1,29 karto. Šiuo atveju LCPC ir EN 1997-2 metodais apskaičiuota laikomoji galia buvo didesnė nei prognozuota ribinė laikomoji galia pagal bandymo rezultatus taikant Brincho Hanseno 80 % metodiką. Pagrindo ties šoniniu polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje, priklausomai nuo metodikos, svyravo nuo 21 iki 42%. Tarp metodikų bendrųjų pagrindo laikomųjų galių susidariusį skirtumą ir šiuo atveju lėmė metodikų taikomi apribojimai polio pado pagrindo laikomosios galios dedamosios skaičiavimuose. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 51 paveiksle.



51 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.3 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

4.4. BANDOMASIS POLIS NR.4

Bandomasis pols Nr. 4 buvo įrengtas statybos aikštelėje Kauno rajone. Polio skersmuo 730mm, ilgis grunte L=3,0m. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės salygos pavaizduotos 52 paveiksle.



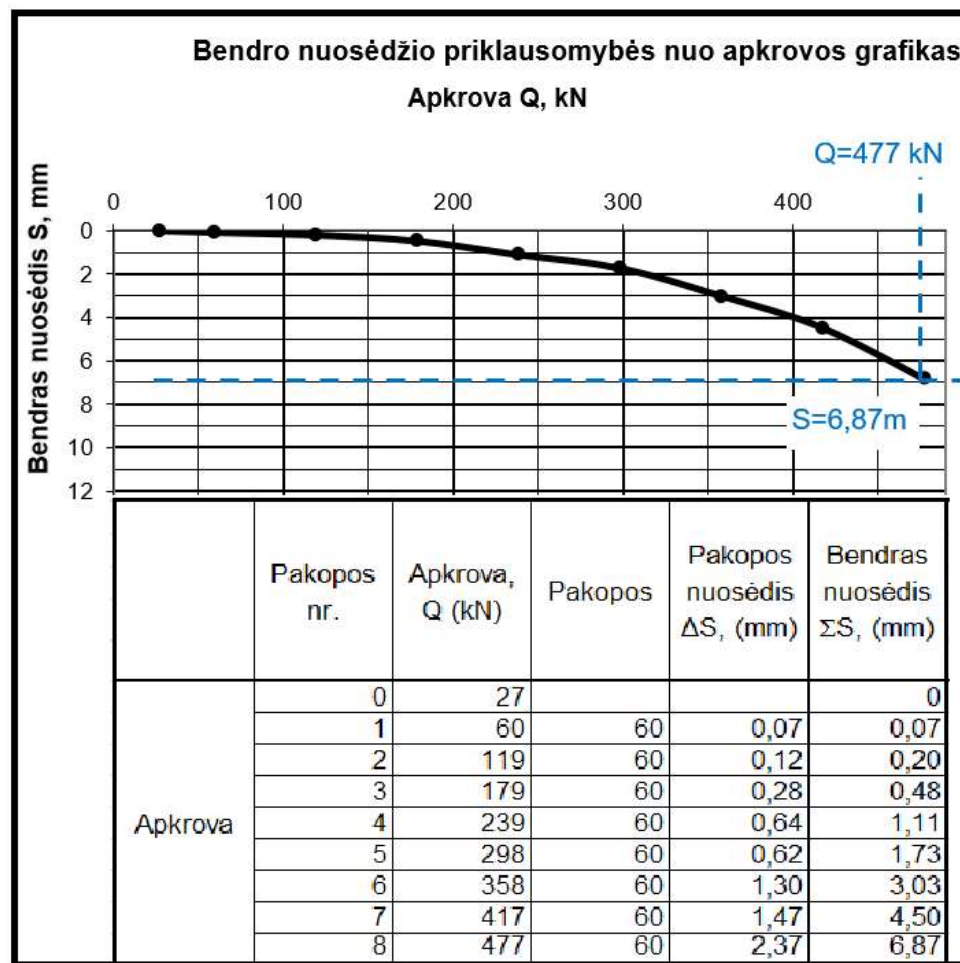
52 pav. Bandomasis pols Nr.4

Statybos aikštelėje prie bandomojo polio sutikta tiek nesankabių gruntų – dulkingi smėliai vidutinio tankumo, tiek sankabių gruntų – didelio plastiškumo juostuoto molio. Polio padas remiasi į didelio plastiškumo juostuoto molio sluoksnį, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=1,5\text{MPa}$; $f_s=75\text{kPa}$. Po padu, galimoje polio pado įtakos zonoje yra smėlingo molio sluoksnis, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=1,7\text{MPa}$; $f_s=36,3\text{kPa}$. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 19 lentelėje.

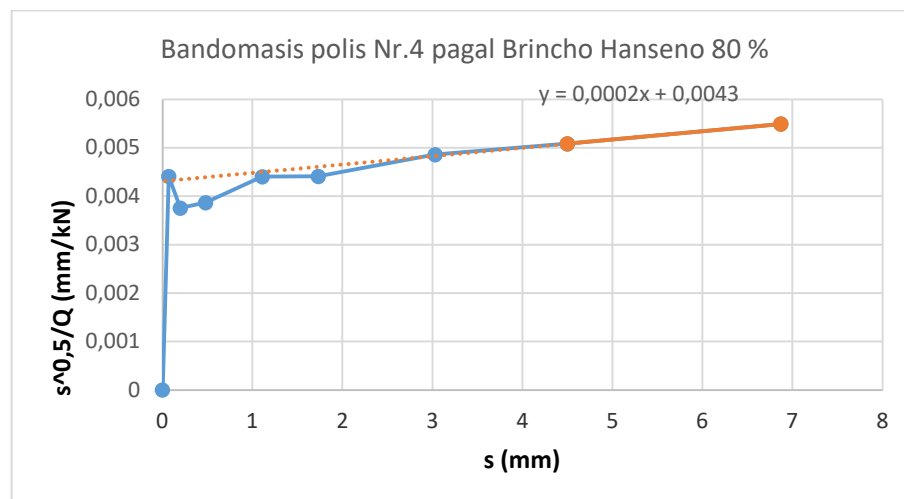
19 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skaičiuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			γ	φ	E_0	c_u	Kūginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			kN/m ³	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4b	Dulkingas smėlis, vidutinio tankumo	siSa	-	33	30	-	6,9	133
5b	Molis juostuotas, didelio plastiškumo, kietas ir pusiau kietas	CIH	-	-	12	80	1,8	112
8a	Smėlingas molis, mažo plastiškumo, moreninis, kietai plstingas ir pusiau kietas	saCIL	-	-	18	70	1,8	59
8c	Smėlingas molis, mažo plastiškumo, moreninis kietas	saCIL	-	-	53	220	6,5	433
10	Žvyringas smėlis ir smėlingas žvyras, labai tankus		-	44	112	-	42,8	683

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 477 kN apkrova.



53 pav. Bandomasis polis Nr.4 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



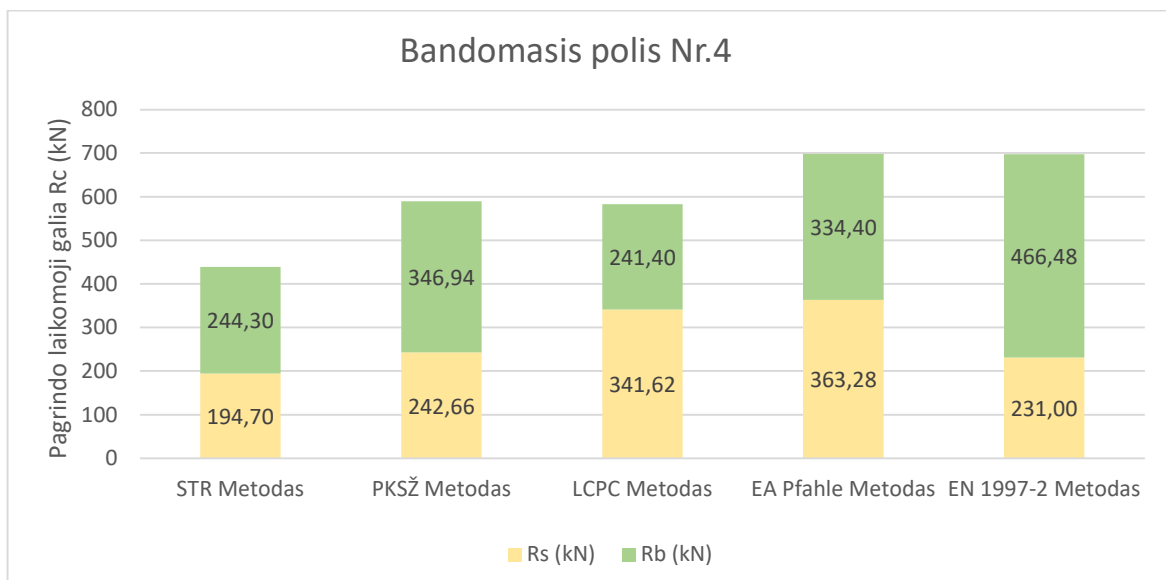
54 pav. Bandomasis polis Nr.4 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką

Pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 539,16 kN

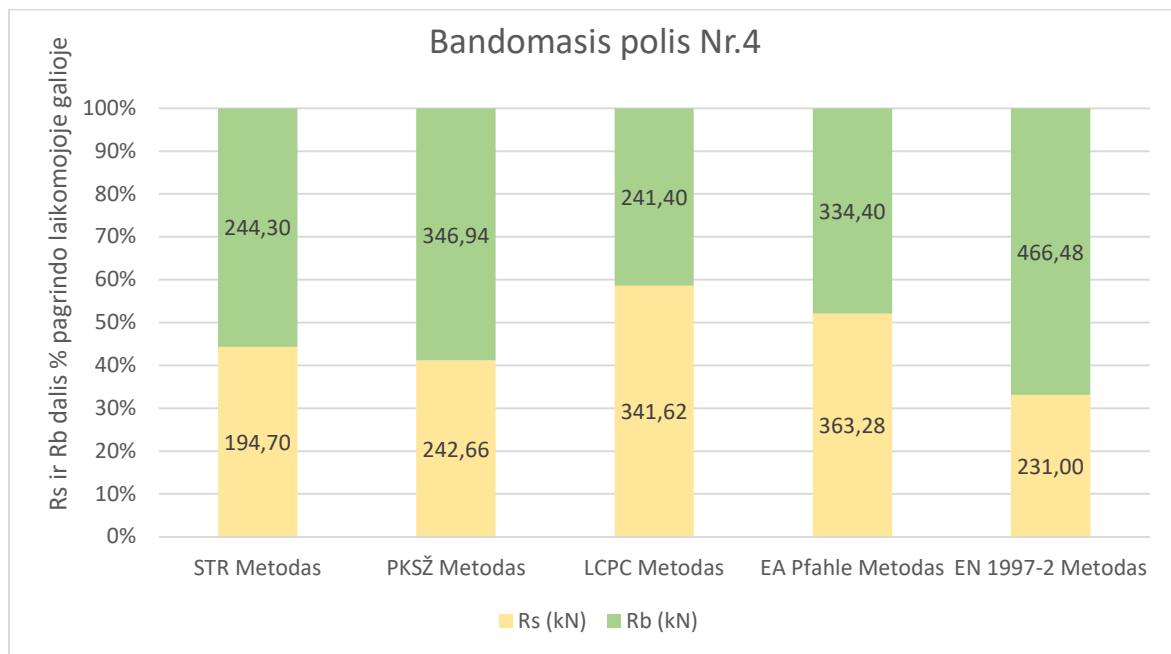
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.4

20 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	194,70	242,66	341,62	363,28	231,00
R_b (kN)	244,30	346,94	241,40	334,40	466,48
R_c (kN)	439,00	589,58	583,02	697,68	697,48



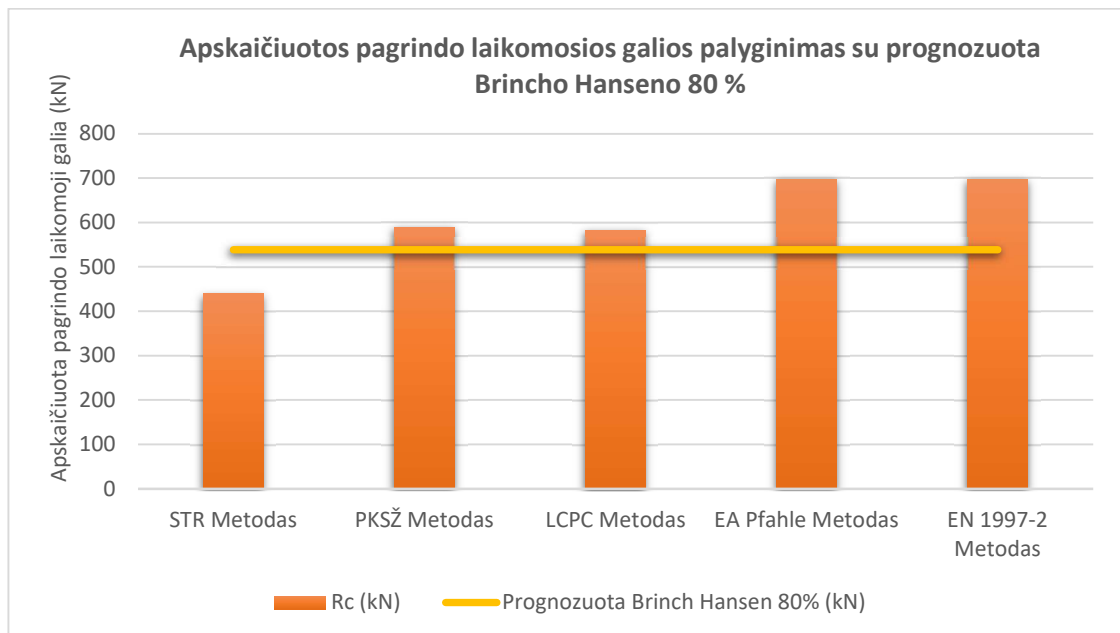
55 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



56 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

Pagal bandomo polio Nr.4 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios su atsarga 1,23 karto yra STR metodika apskaičiuota laikomoji galia. Visi kiti metodai šiomis

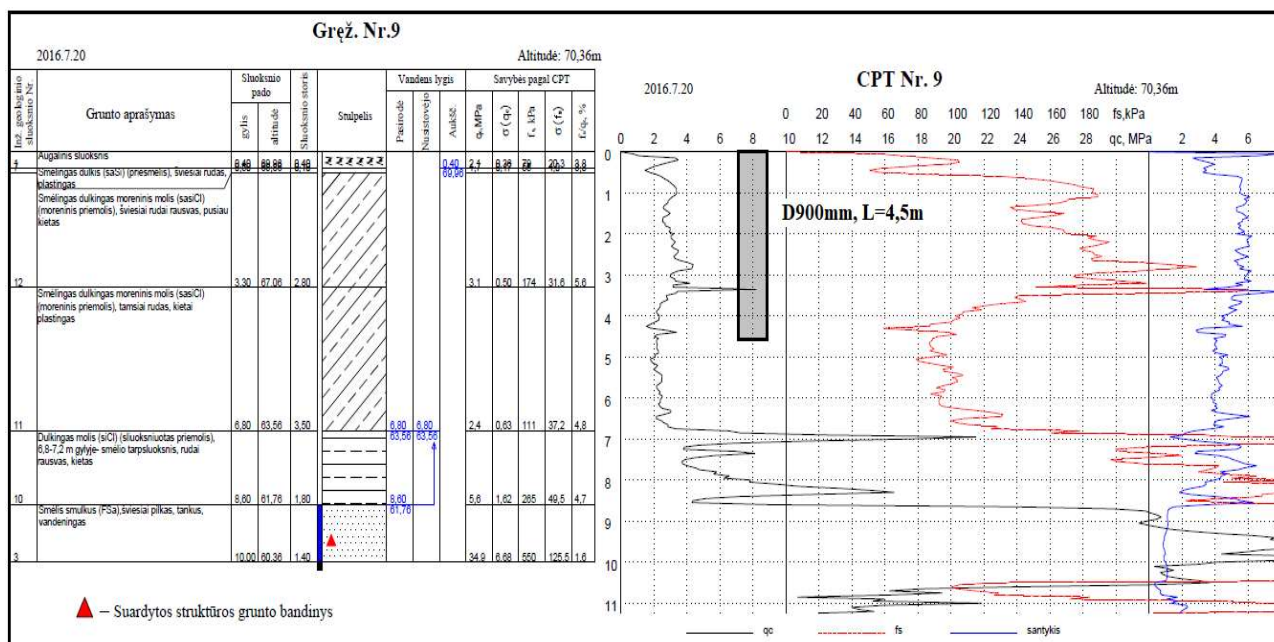
gruntų salygomis prognozavo didesnes ribines laikomasias galias. EA Pfahle ir EN 1997-2 metodais apskaičiuota laikomoji galia buvo didesnė nei prognozuota ribinė laikomoji galia pagal bandymo rezultatus apie 1,29 karto. Pagrindo ties šoniniu polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje, priklausomai nuo metodikos, svyravo nuo 33 iki beveik 60 %. Vertinant bandomojo polio poslinkius matyti jog prie bandomosios apkrovos 477 kN jo sėdimas buvo 6,75mm. Remiantis K. Felmingu ir kt. bei J. E. Bowle esant tokiam sėdimui, galimai polis prie šios apkrovos vis dar dirbo daugiausia šonine trintimi ir Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota ribinė laikomoji galia yra per maža. Realiai didesnė laikomoji galia šoniniu paviršiumi galėjo atsirasti dėl metodų taikomų maksimalių reikšmių apribojimų. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 57 paveiksle.



57 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.4 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

4.5. BANDOMASIS POLIS NR.5

Bandomasis polis Nr. 5 buvo įrengtas statybos aikštelėje Kauno rajone. Polio skersmuo 900mm, ilgis grunte L=4,5m. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės salygos pavaizduotos 58 paveiksle.



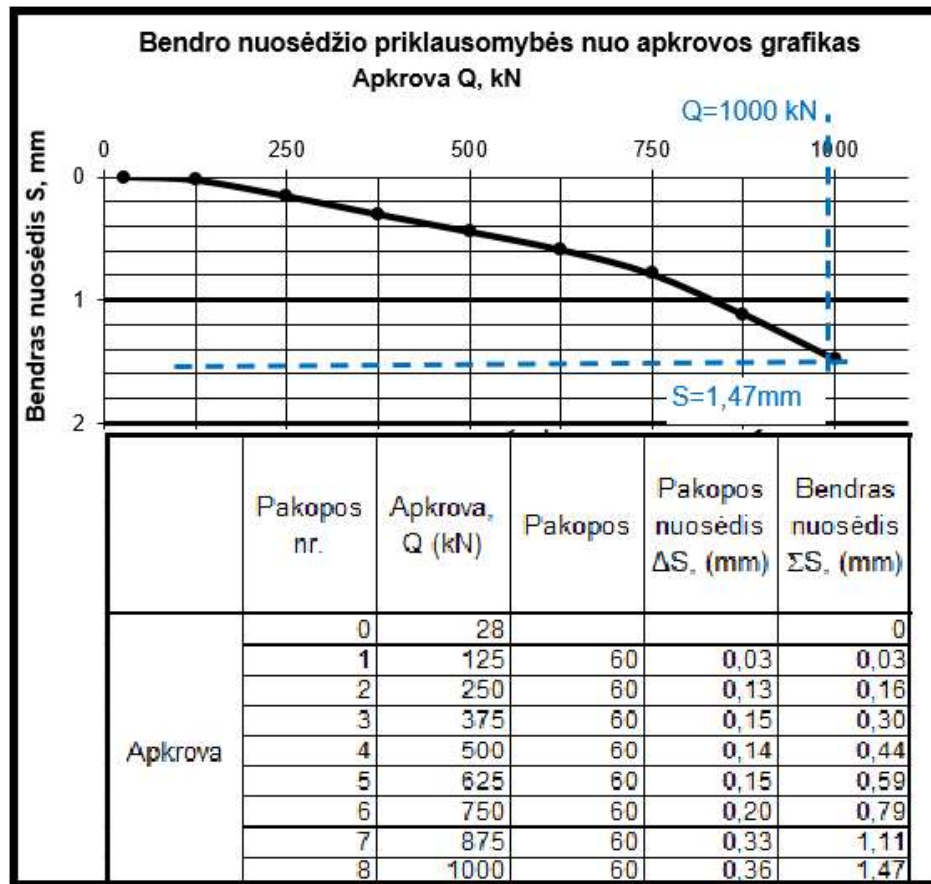
58 pav. Bandomasis polis Nr.5

Statybos aikštelėje prie bandomojo polio sutikta sankabūs grantai – smėlingi dulkingi moreniniai moliai. Polio padas remiasi į smėlingą dulkimą moreninį molį, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=2,4$ MPa; $f_s=111$ kPa. Ties polio šoniniu paviršiumi per visą gylį vyrauja smėlingi dulkingi moreniniai moliai, kurių sluoksnio vidutinis $q_c=2,4-3,1$ MPa; $f_s=111-174$ kPa. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 21 lentelėje.

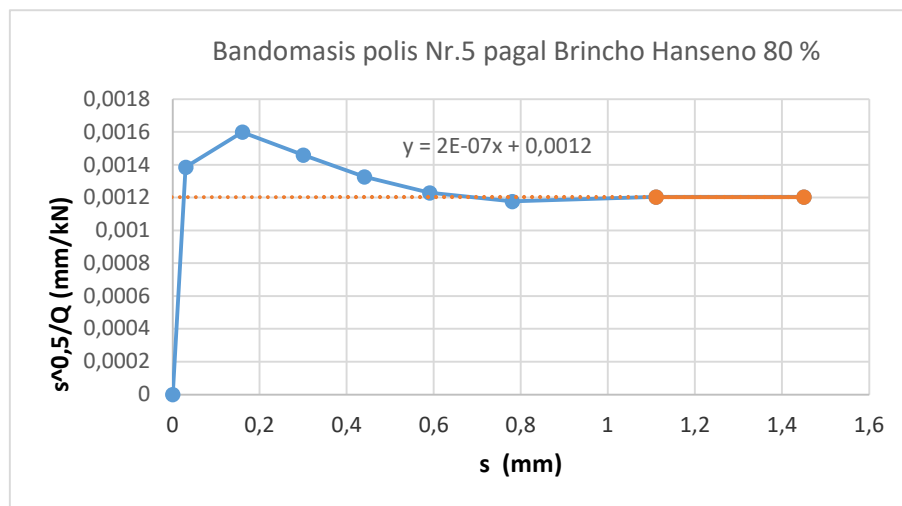
21 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skaičiuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			γ	ϕ	E_0	c_u	Kūginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			kN/m^3	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Smėlis smulkus, tankus	FSa	20,3	42	94	-	33,4	-
7	Smėlingas dulkis, plastingas	saSi	19,3	21	13	65	2,6	-
10	Dulkingas molis, kietas	siCl	21,4	26	43	248	6,2	-
11	Smėlingas dulkingas moreninis molis, kietai plastingas	sasiCl	20,6	23	24	96	2,4	-
12	Smėlingas dulkingas moreninis molis, pusiau kietas	sasiCl	21,4	26	40	132	3,3	-

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 1000 kN apkrova.



59 pav. Bandomasis polis Nr.5 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



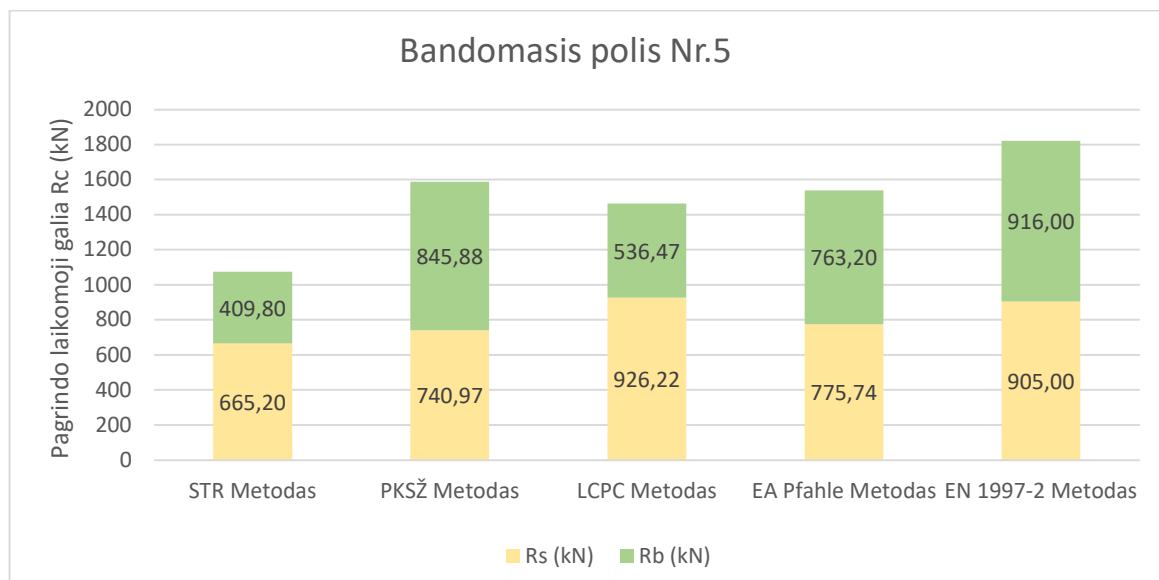
60 pav. Bandomasis polis Nr.5 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką

Pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 3227,50 kN

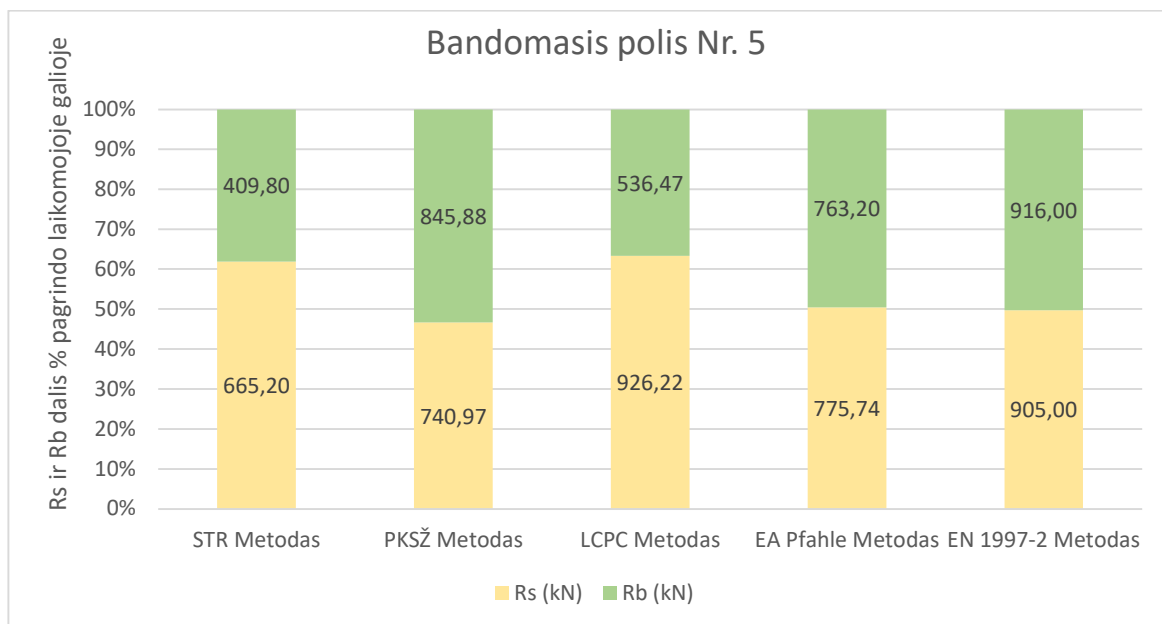
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.5

22 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	665,20	740,97	926,22	775,74	905,00
R_b (kN)	409,80	845,88	536,47	763,20	916,00
R_c (kN)	1075,00	1585,88	1462,69	1538,94	1821,00



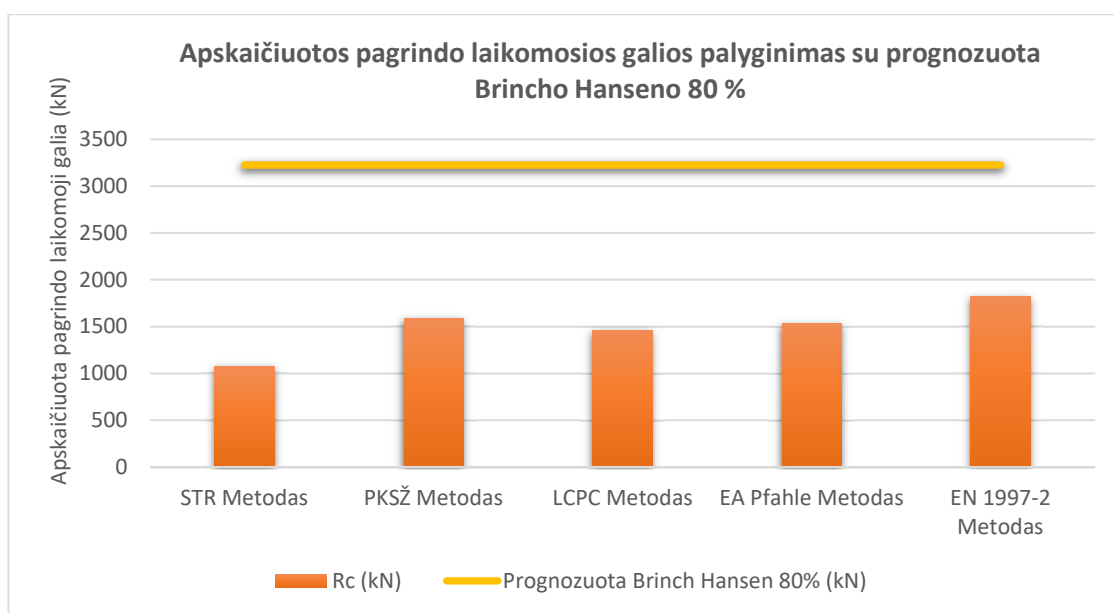
61 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



62 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

Pagal bandomo polio Nr.5 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios su atsarga 1,76 karto buvo EN 1997-2 metodika apskaičiuota laikomoji galia. Trys metodai (PKSŽ, LCPC, EA Pfahle) šiomis gruntų sąlygomis prognozavo, galima teigti, vienodas ribines

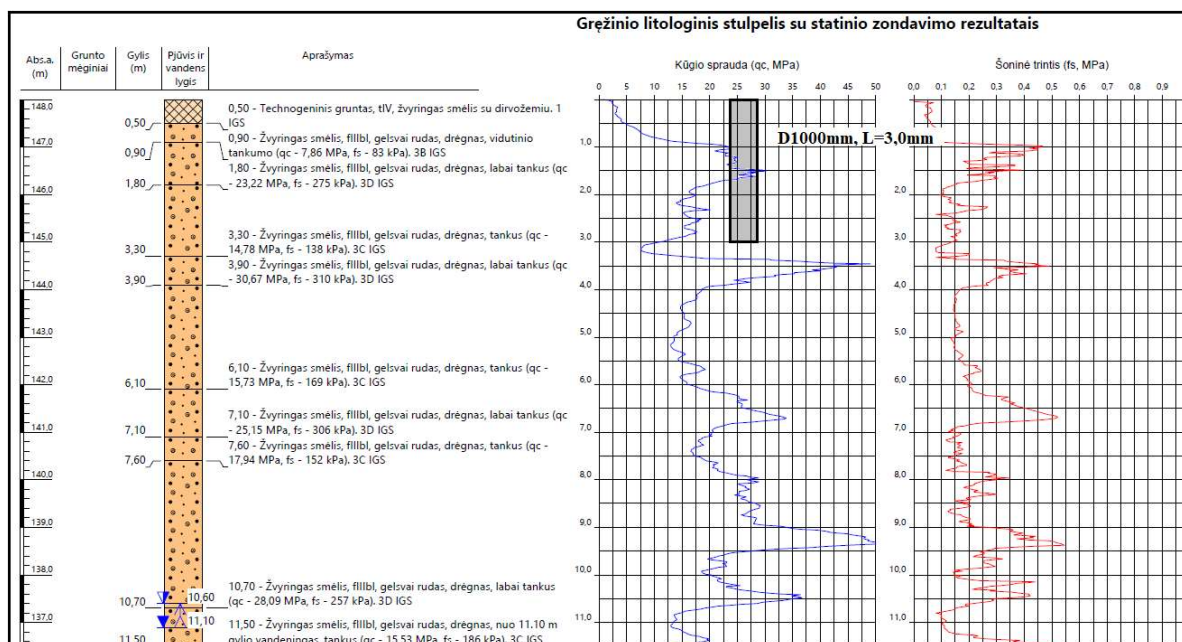
laikomasias galias su maždaug 2,1 karto atsarga. STR metodu apskaičiuota laikomoji galia buvo mažesnė nei prognozuota ribinė laikomoji galia pagal bandymo rezultatus apie 2,9 karto. Pagrindo ties šoniniu polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje, priklausomai nuo metodikos, svyravo nuo 46 iki 63 %. Tokio ženkliaus skirtumo tarp bandymo rezultato ir metodikos galėjo būti moreninio molio trintis, kurios santykis su kūginio stiprio reikšme visame polio gylyje buvo apie 5 %. Kad polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi trintis galimai didesnė nei prognozuota skaičiavimais, rodo ir labai mažas, iki 1,6mm, polio nuosėdis. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 63 paveiksle.



63 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.5 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

4.6. BANDOMASIS POLIS NR.6

Bandomasis polis Nr. 6 buvo įrengtas statybos aikštelėje Vilniaus rajone. Polio skersmuo 1000mm, ilgis grunte L=3,0m. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės salygos pavaizduotos 64 paveiksle.



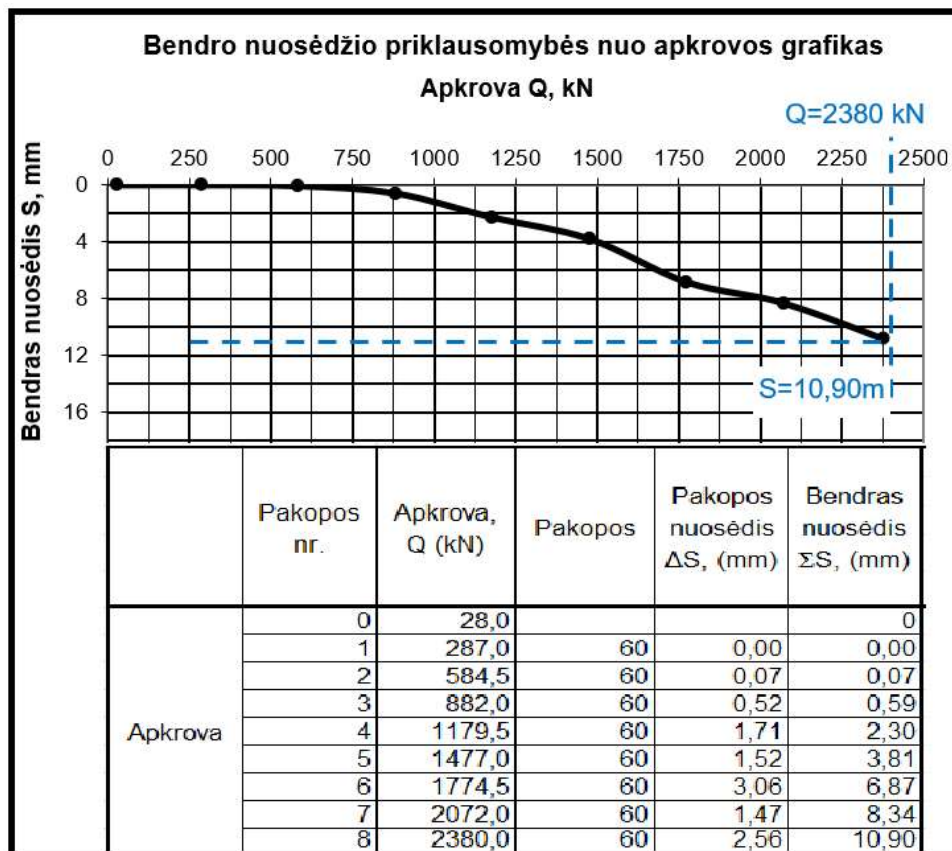
64 pav. Bandomasis pols Nr.6

Statybos aikštelėje prie bandomojo polio vyrauja nesankabūs gruntai – žvyringi smėliai. Polio padas remiasi į tankų žvyringą smėlį, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=14,78$ MPa; $f_s=138$ kPa. Po polio padu pagal zondavimo duomenis galima matyti lokalų susilpnėjimą iki maždaug $q_c=7,5$ MPa. Polio pado įtakos zonoje aptinkamas ir apie 0,6m storio tarp sluoksnis labai tankaus žvyringo smėlio, kurio $q_c=30,67$ MPa; $f_s=310$ kPa. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 23 lentelėje.

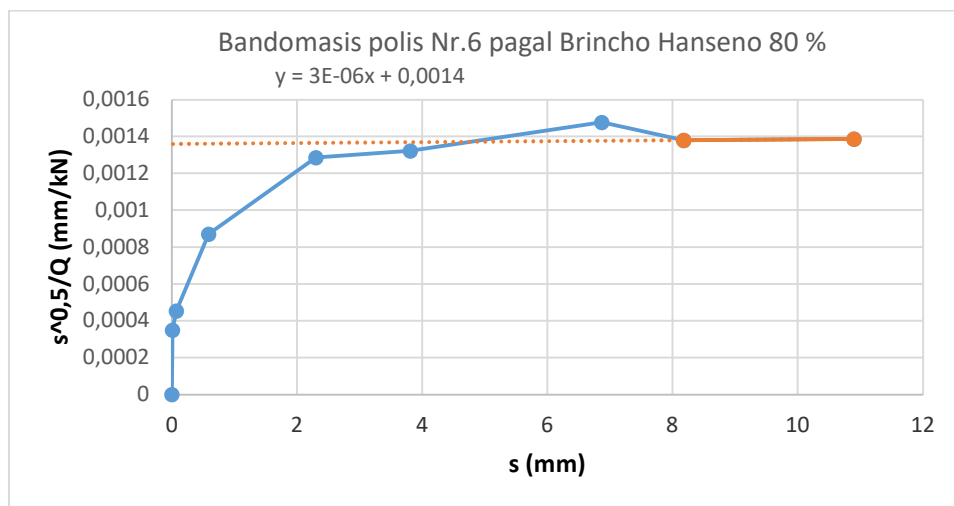
23 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skaiciuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			ρ	φ	E_0	c_u	Kūginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			Mg/m ³	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Technogeninis gruntas	-	-	-	17,78	-	17,78	175
3B	Žvyringas smėlis, vidutinio tankumo	grSa	-	37	34,7	-	8,18	93
3C	Žvyringas smėlis, tankus	grSa	-	41	55,7	-	15,95	169
3D	Žvyringas smėlis, labai tankus	grSa	-	45	86,2	-	29,49	307

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 2380 kN apkrova.



65 pav. Bandomasis polis Nr.6 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



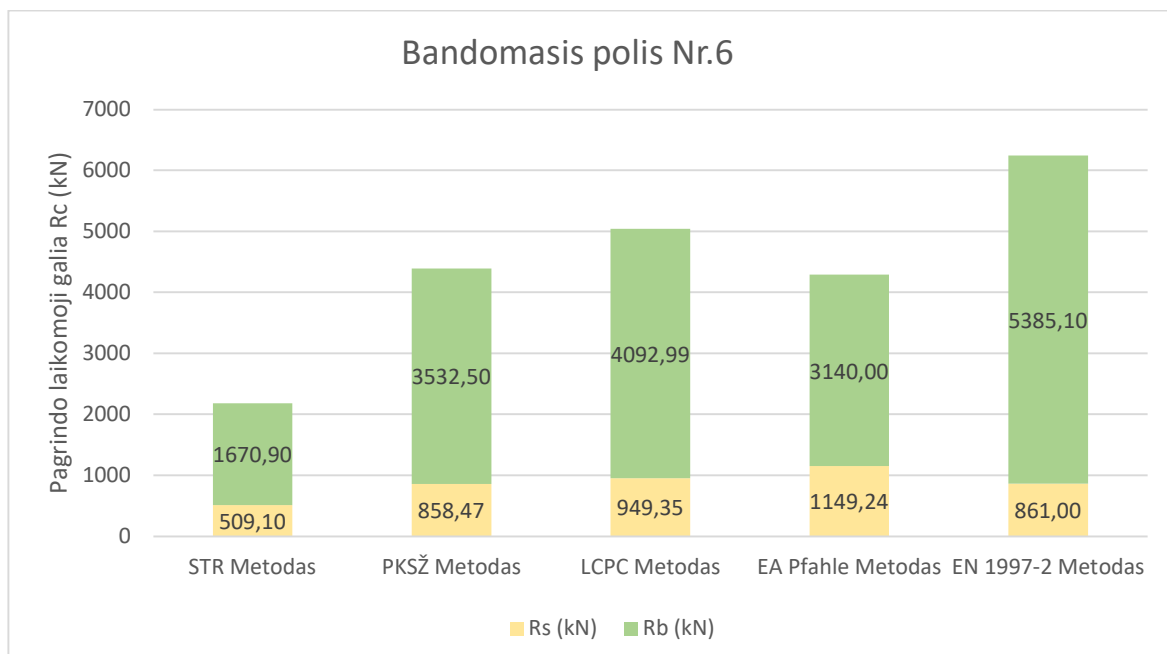
66 pav. Bandomasis polis Nr.6 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką

Pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 7715,17 kN

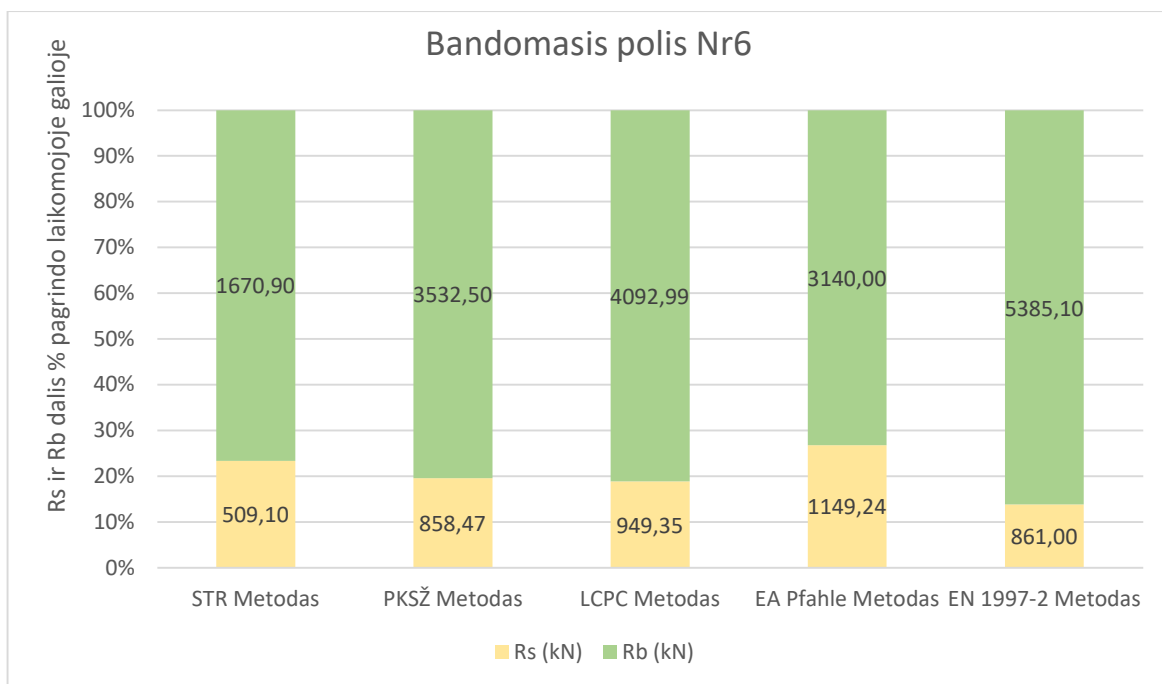
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.6

24 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	509,10	858,47	949,35	1149,24	861,00
R_b (kN)	1670,90	3532,50	4092,99	3140,00	5385,10
R_c (kN)	2180,00	4390,97	5042,34	4289,24	6246,10

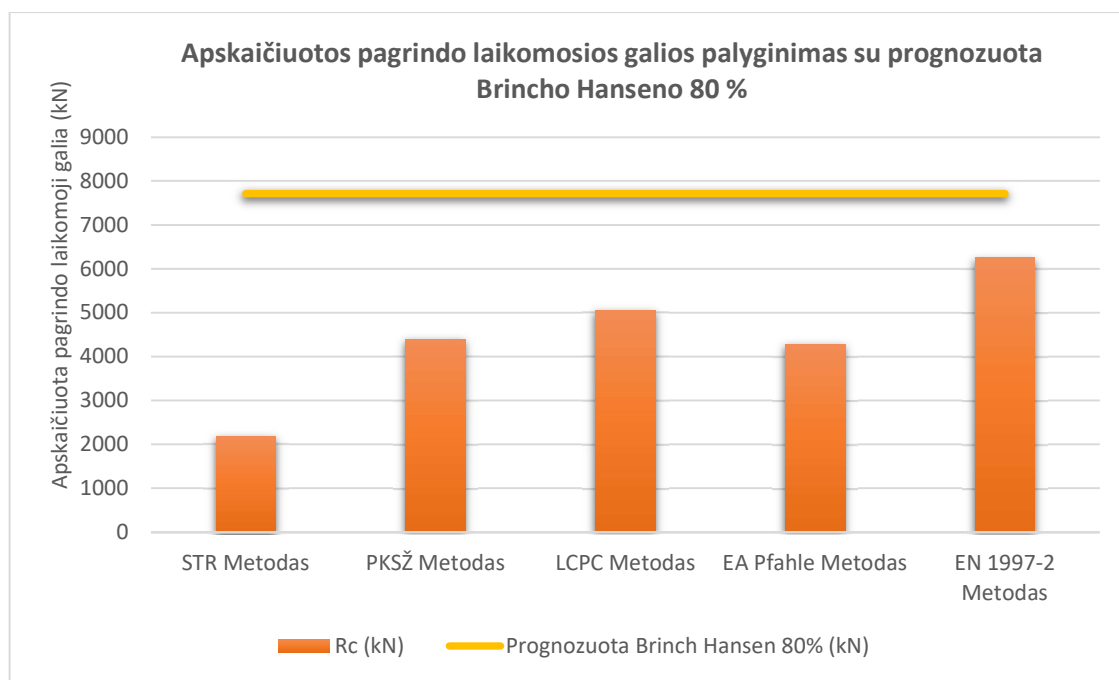


67 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



68 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

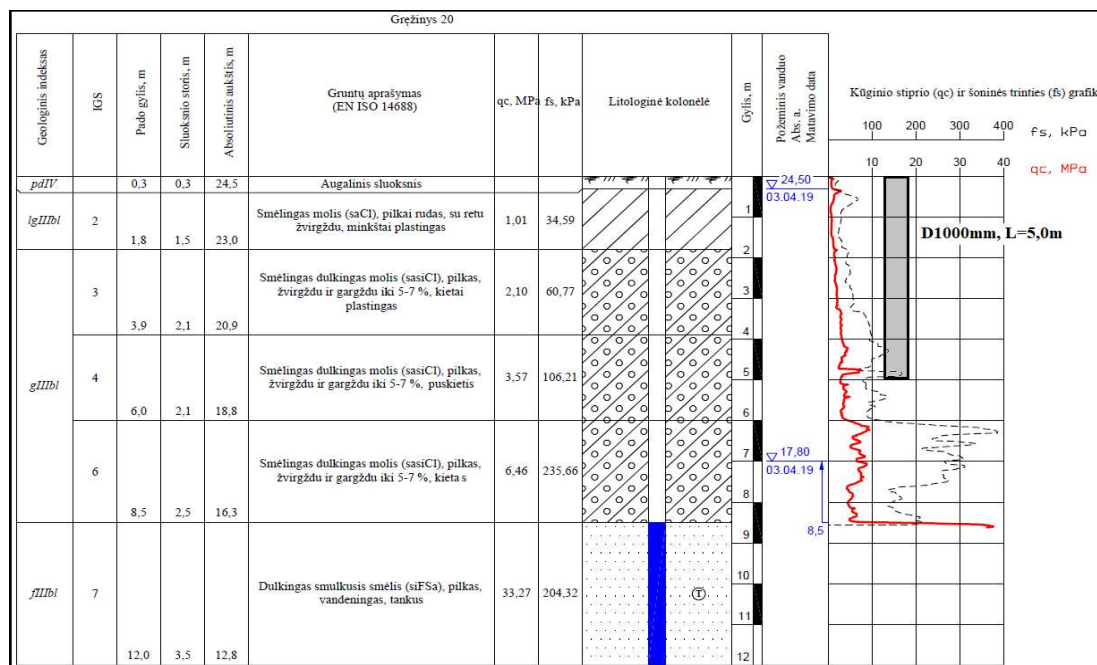
Pagal bandomo polio Nr.6 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios su atsarga 1,24 karto buvo EN 1997-2 metodika apskaičiuota laikomoji galia. Trimis metodais (PKSŽ, LCPC, EA Pfahle) prognozuota pagrindo laikomoji galia šiomis gruntų salygomis buvo su atsarga nuo 1,53 iki 1,79 karto. STR metodu apskaičiuota laikomoji galia buvo mažesnė nei prognozuota ribinė laikomoji galia pagal bandymo rezultatus apie 3,5 karto. Pagrindo ties šoniniu polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje, priklausomai nuo metodikos, svyravo nuo 14 iki 27 %. Geresniems, nei prognozuota skaičiavimo metodikomis, bandymo rezultatams įtakos galėjo turėti pado įtakos zonoje aptinkamas ir apie 0,6m storio tarpsluoksnis labai tankaus žvyringo smėlio, kurio $q_c=30,67$ MPa; $f_s=310$ kPa, taip pat prie polio šoninio paviršiaus esantis apie 1m storio žvyringo smėlio, kurio $q_c=23,22$ MPa; $f_s=275$ kPa, kurio skaičiuotinę reikšmę metodikos apriboja. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 69 paveiksle.



69 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.6 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

4.7. BANDOMASIS POLIS NR.7

Bandomasis polis Nr. 7 buvo įrengtas statybos aikštelėje Klaipėdos rajone. Polio skersmuo 1000mm, ilgis grunte L=5,0m. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės salygos pavaizduotos 70 paveiksle.



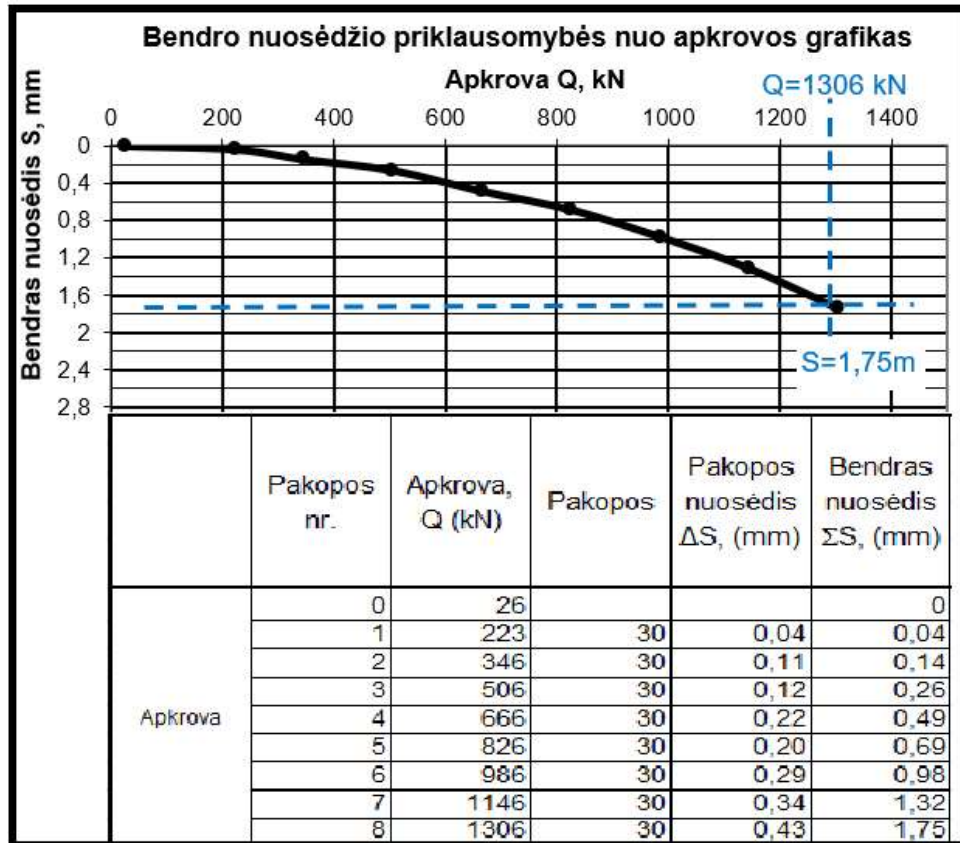
70 pav. Bandomasis polis Nr.7

Statybos aikštelėje prie bandomojo polio vyrauja sankabūs gruntai – smėlingi moliai su retu žvirgždu, taip pat smėlingi dulkingi moliai su žvirgždu ir gargždu. Polio padas remiasi į smėlingą dulkingą molį su žvirgždu ir gargždu, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=3,57$ MPa; $f_s=106,21$ kPa. Ties polio šoniniu paviršiumi vyrauja sankabūs moliniai gruntai, kurių sluoksnio vidutinis $q_c=1,01-3,57$ MPa; $f_s=34,59-106,21$ kPa. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 25 lentelėje.

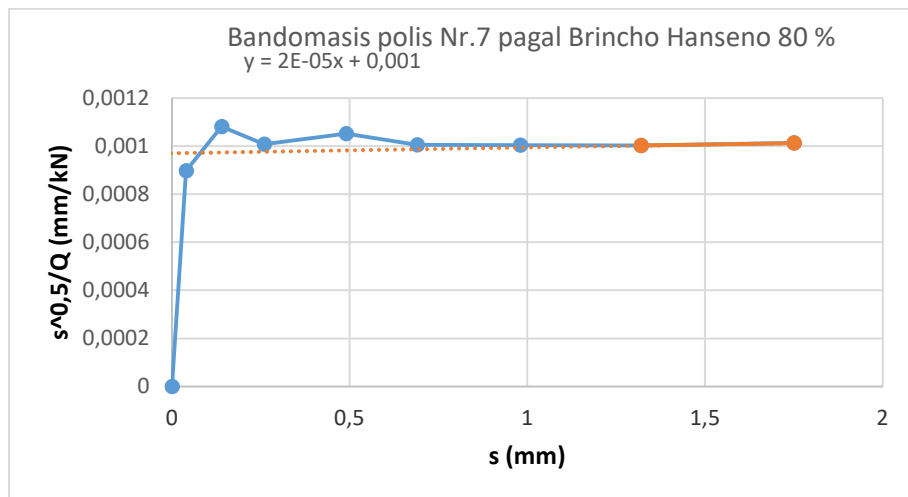
25 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skaičiuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			ρ	φ	E_0	c_u	Kūginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			Mg/m ³	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Dulkingas smulkus smėlis, purus	siFSa	15,59	27,40	6,36	-	2,12	-
2	Smėlingas molis, minkštai plastingas	saCl	20,99	-	8,12	-	1,16	-
3	Smėlingas dulkingas molis, kietai plastingas	sasiCl	21,48	-	25	-	2,50	-
4	Smėlingas dulkingas molis, pusketis	sasiCl	21,87	-	34,40	-	3,73	-
5	Smulkus smėlis, tankus	FSa	17,46	40,48	64,79	-	19,72	-
6	Smėlingas dulkingas molis, kietas	sasiCl	22,16	-	62,07	-	7,80	-
7	Dulkingas smulkus smėlis, tankus	siFSa	17,95	42,52	82,95	-	27,93	-

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 1306 kN apkrova.



71 pav. Bandomasis polis Nr.7 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



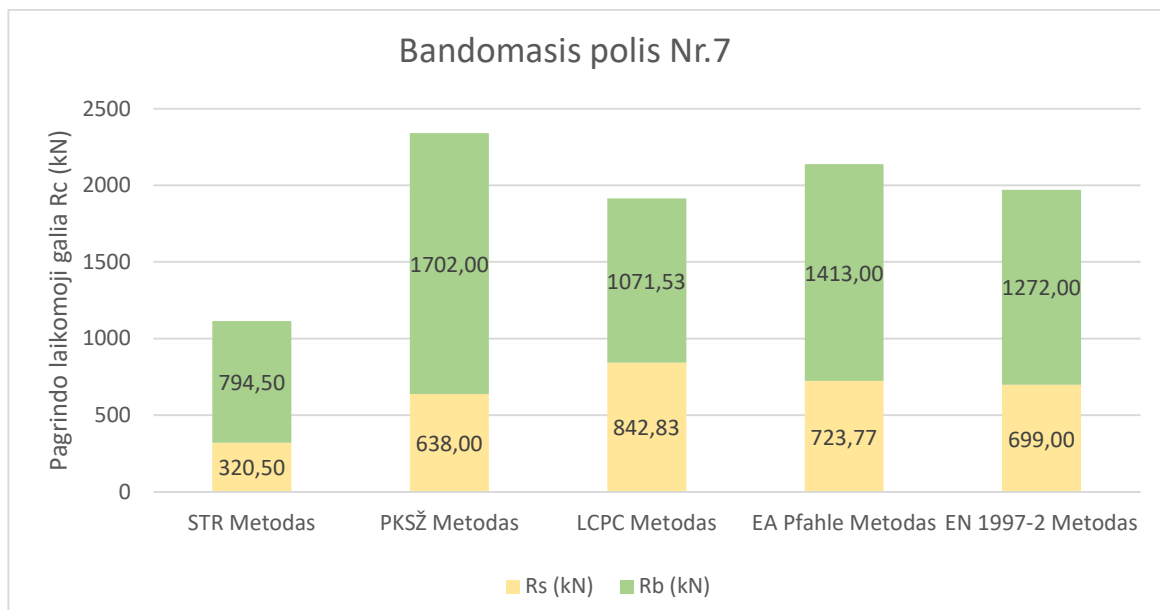
72 pav. Bandomasis polis Nr.7 pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką

Pagal Brincho Hanseno 80 % metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 3535,54 kN

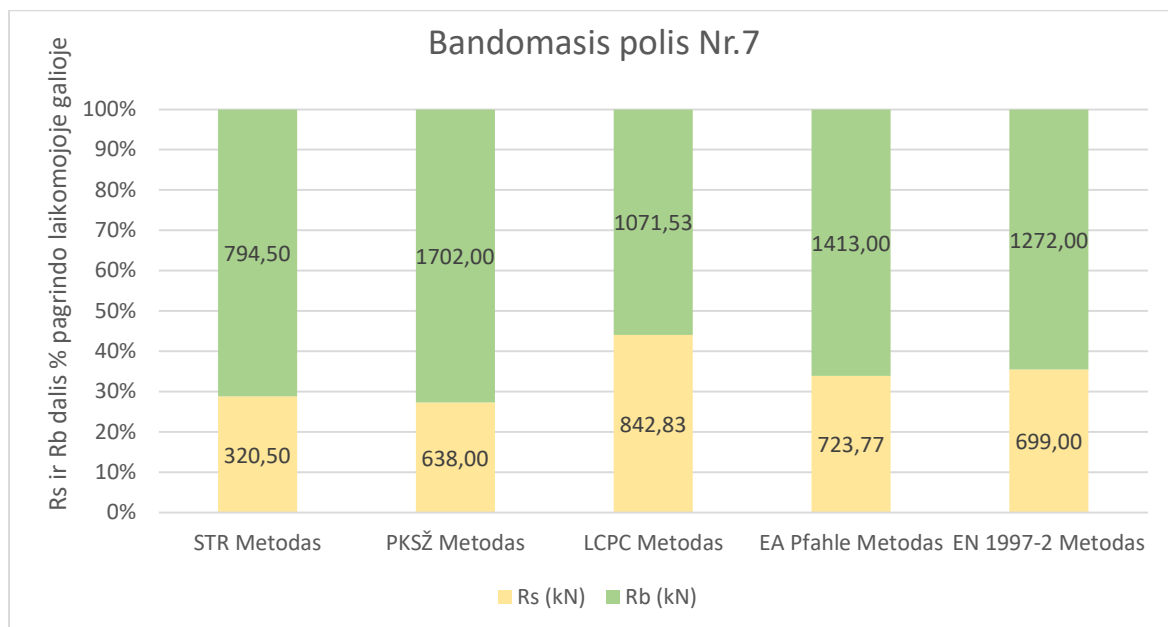
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.7

26 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	320,50	638,00	842,83	723,77	699,00
R_b (kN)	794,50	1702,00	1071,53	1413,00	1272,00
R_c (kN)	1115,00	2340,00	1914,36	2136,77	1971,00

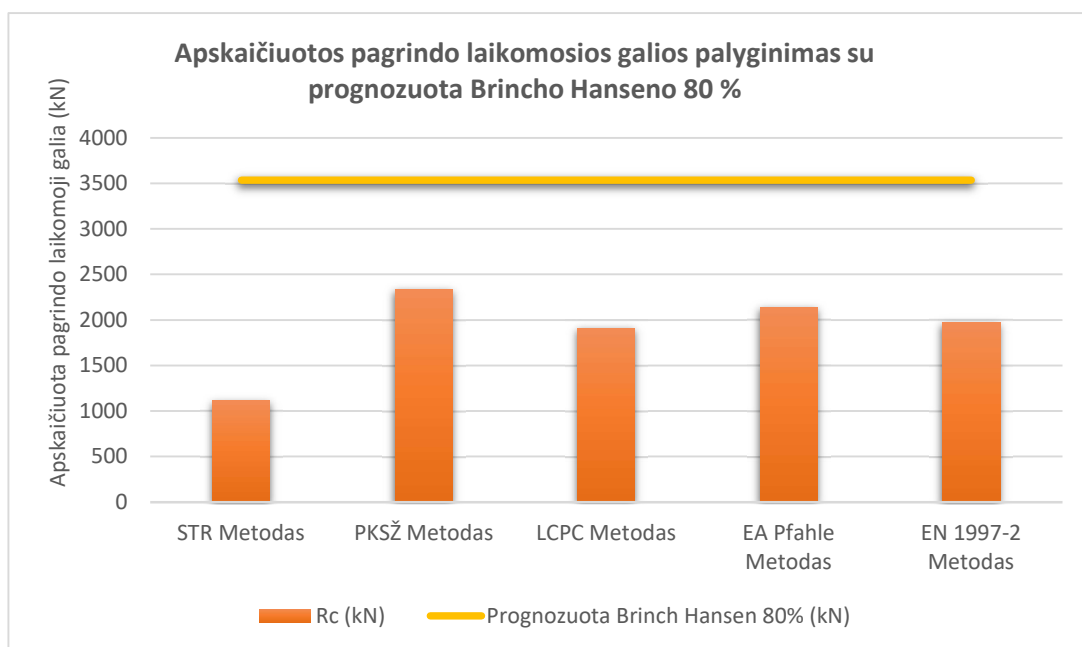


73 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



74 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

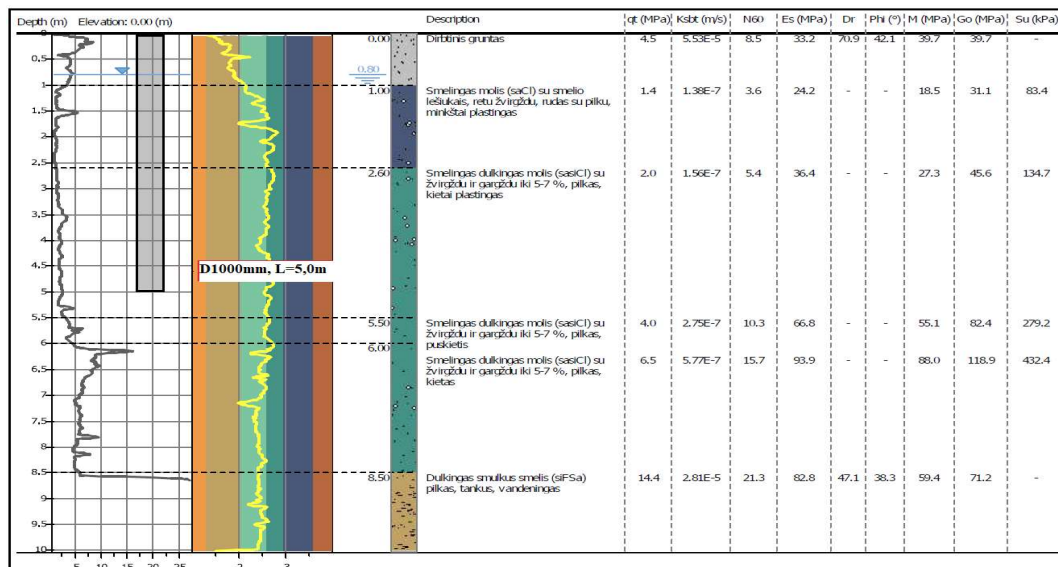
Pagal bandomo polio Nr.7 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios su atsarga 1,51 karto buvo PKSŽ L. Furmonavičiaus ir EA Pfahle metodika apskaičiuota laikomoji galia. Metodais LCPC ir EN1997-2 prognozuota pagrindo laikomoji galia šiomis gruntų salygomis buvo su atsarga apie 1,79 karto. STR metodu apskaičiuota laikomoji galia buvo mažesnė nei prognozuota ribinė laikomoji galia pagal bandymo rezultatus apie 3,1 karto. Pagrindo ties šoniniu polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje, priklausomai nuo metodikos, svyravo nuo 27 iki 44%. Pagal bandymo rezultatą remiantis K. Felmingu ir kt. bei J. E. Bowle galima daryti prielaidą, kad polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi dedamoji yra didesnė nei prognozuojama skaičiavimo metodikomis, kadangi polio sėdimas prie 1306kN apkrovos buvo apie 1,8mm. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 75 paveiksle.



75 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.7 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

4.8. BANDOMASIS POLIS NR.8

Bandomasis polis Nr. 8 buvo įrengtas statybos aikštelėje Klaipėdos rajone. Polio skersmuo 1000mm, ilgis grunte L=5,0m. Polis įrengtas CFA technologija. Geologinės sąlygos pavaizduotos 76 paveiksle.



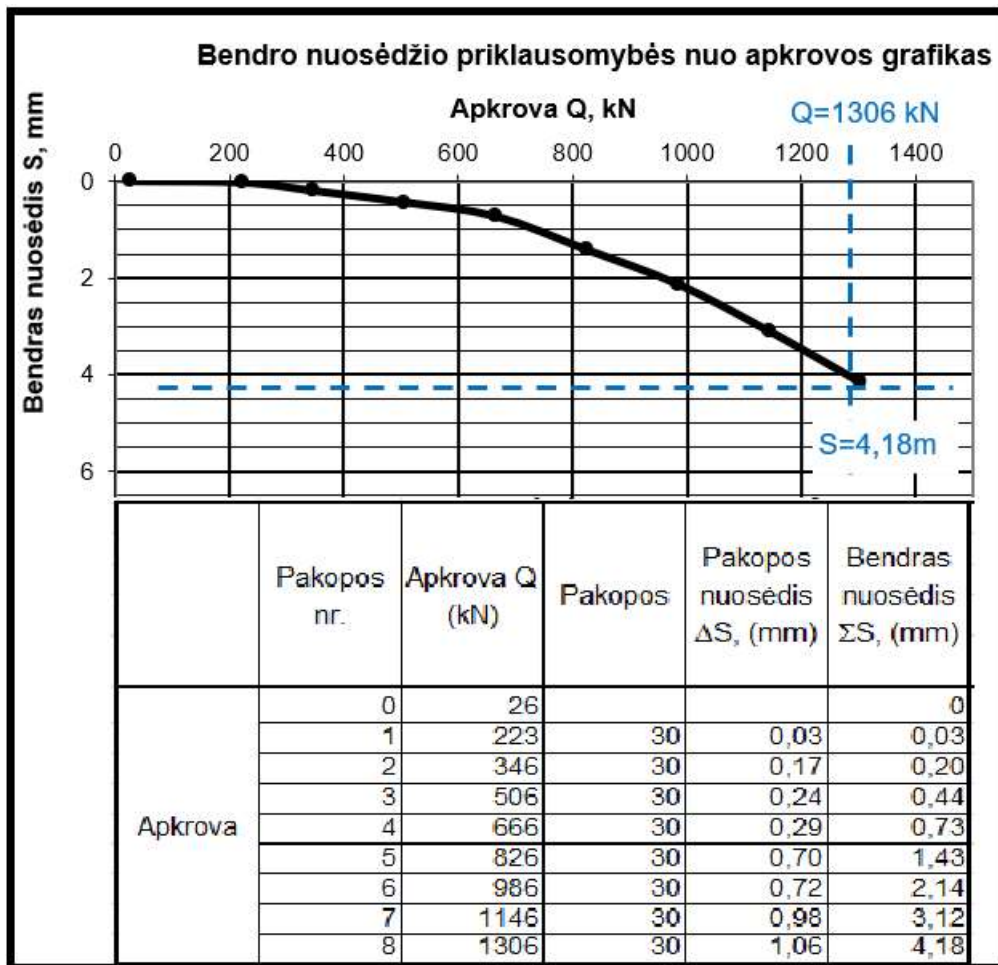
76 pav. Bandomasis polis Nr.8

Statybos aikštelėje prie bandomojo polio vyrauja sankabūs gruntai – smėlingi moliai su retu žvirgždu, taip pat smėlingi dulkingi moliai su žvirgždu ir gargždu. Polio padas remiasi į smėlingą dulkingą molį su žvirgždu ir gargždu, kurio sluoksnio vidutinis $q_c=2,0$ MPa; $f_s=134,7$ kPa. Ties polio šoniniu paviršiumi vyrauja sankabūs moliniai gruntai, kurių sluoksnio vidutinis $q_c=1,4-2,0$ MPa; $f_s=83,40-134,7$ kPa. Detalesnis grunto aprašymas suvestinėje 27 lentelėje.

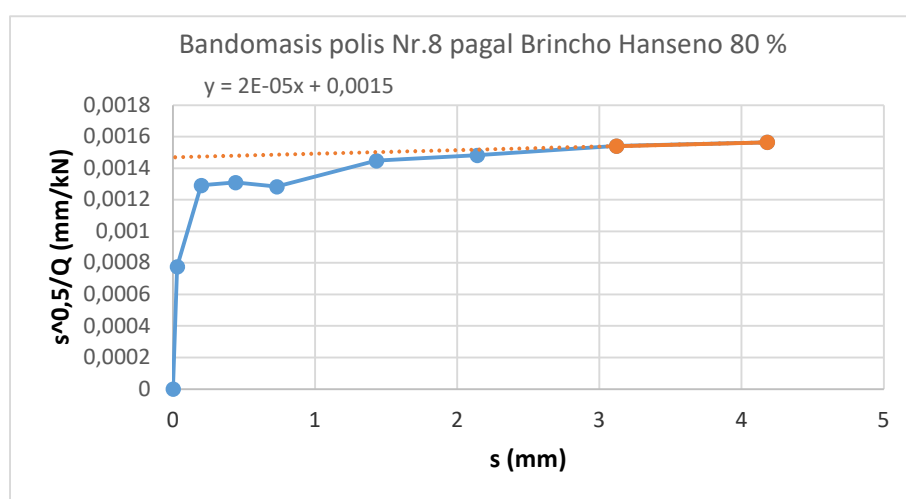
27 lentelė. Grunto rodikliai

Inžinerinis geologinis sluoksnis	Grunto aprašymas	Simbolis pagal klasifikaciją	Skačiuojamųjų rodiklių vidurkinės vertės				CPT parametrų vidurkinės vertės	
			ρ	ϕ	E_0	c_u	Kūginis stipris q_c , MPa	Šoninės trinties stipris f_s , kPa
			Mg/m ³	laipsniai	MPa	kPa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Dulkingas smulkus smėlis, purus	siFsa	15,59	27,40	6,36	-	2,12	-
2	Smėlingas molis, minkštai plastingas	saCl	20,99	-	8,12	-	1,16	-
3	Smėlingas dulkingas molis, kietai plastingas	sasiCl	21,48	-	25	-	2,50	-
4	Smėlingas dulkingas molis, pusketis	sasiCl	21,87	-	34,40	-	3,73	-
5	Smulkus smėlis, tankus	Fsa	17,46	40,48	64,79	-	19,72	-
6	Smėlingas dulkingas molis, kietas	sasiCl	22,16	-	62,07	-	7,80	-
7	Dulkingas smulkus smėlis, tankus	siFsa	17,95	42,52	82,95	-	27,93	-

Bandymo ašine statine gniuždymo apkrova grafikas. Polis bandymo metu buvo apkrautas maksimalia 1306 kN apkrova.



77 pav. Bandomasis polis Nr.8 Nuosėdžių priklausomybės nuo apkrovos grafikas.



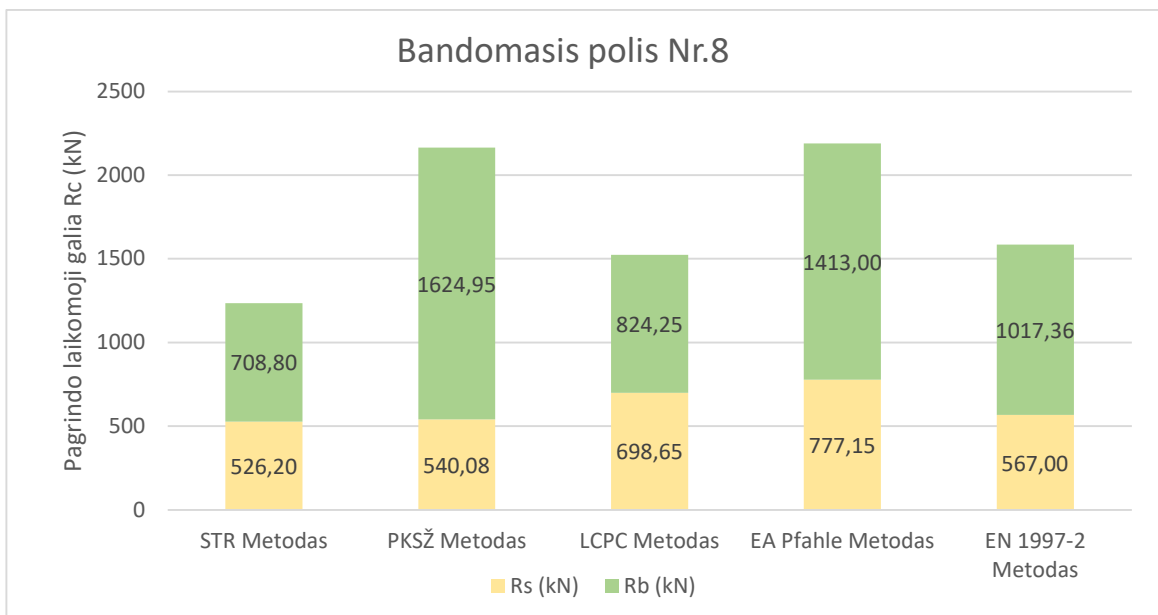
78 pav. Bandomasis polis Nr.8 pagal Brincho Hanseno 80% metodiką

Pagal Brincho Hanseno 80% metodiką gauta, jog prognozuojama polio pagrindo laikomoji galia yra 2886,75 kN

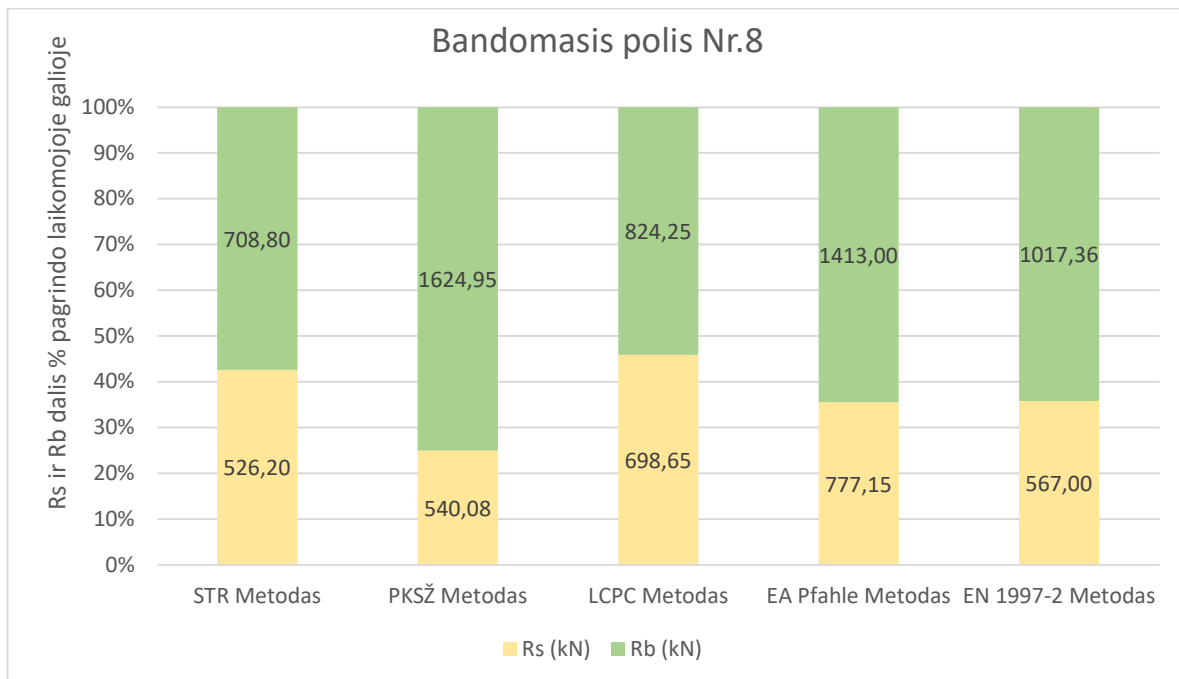
Ribinės polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimo skirtingomis metodikomis rezultatų suvestinė bandomajam poliui Nr.8

28 lentelė. Suvestinė pagrindo ribinės laikomosios galios lentelė

	STR Metodas	PKSŽ Metodas	LCPC Metodas	EA Pfahle Metodas	EN 1997-2 Metodas
R_s (kN)	526,20	540,08	698,65	777,15	567,00
R_b (kN)	708,80	1624,95	824,25	1413,00	1017,36
R_c (kN)	1235,00	2165,03	1522,90	2190,15	1584,36

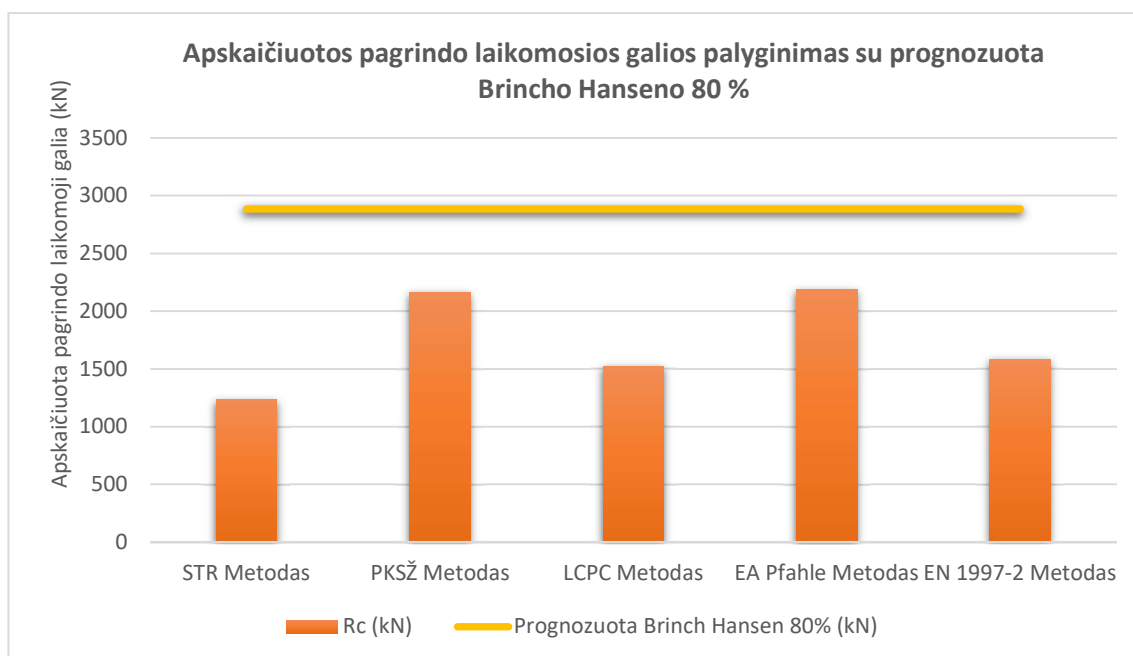


79 pav. Grafinis pagrindo ribinės laikomosios galios palyginimas skaičiuojant skirtingomis metodikomis



80 pav. Polio pagrindo po padu R_b ir ties šoniniu paviršiumi R_s dalis % bendroje polio pagrindo laikomojoje galioje.

Pagal bandomo polio Nr.8 rezultatus arčiausiai prognozuotos ribinės pagrindo laikomosios galios su atsarga apie 1,3 karto buvo PKSŽ L. Furmonavičiaus ir EA Pfahle metodika apskaičiuota laikomoji galia. Metodais LCPC ir EN1997-2 prognozuota pagrindo laikomoji galia šiomis gruntų salygomis buvo su atsarga apie 1,89 karto. STR metodu apskaičiuota laikomoji galia buvo mažesnė nei prognozuota ribinė laikomoji galia pagal bandymo rezultatus apie 2,4 karto. Pagrindo ties šoniniu polio paviršiumi dedamoji bendroje laikomojoje galioje, priklausomai nuo metodikos, svyravo nuo 25 iki 46%. Pagal bandymo rezultatą remiantis K. Felmingu ir kt. bei J. E. Bowle, kaip ir polio Nr.7, kuris įrengtas toje pačioje aikštelėje, atveju, galima daryti prielaidą, kad polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi dedamoji yra gerokai didesnė nei prognozuojama skaičiavimo metodikomis, kadangi polio sėdimas prie 1306kN apkrovos buvo apie 4mm. Apskaičiuotos metodikomis bendros pagrindo laikomosios galios palyginimas su Brincho Hanseno 80 % metodika prognozuota pagrindo laikomąja galia pagal bandymo rezultatus pateikiamas 81 paveiksle.



81 pav. Apskaičiuotos bandomojo polio Nr.8 pagrindo laikomosios galios palyginimas su prognozuota Brincho Hanseno 80 %

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Magistro darbe išnagrinėti polių bandymų statinė ašine apkrova rezultatai ir atlikti skaičiavimai pasirinktomis metodikomis parodė, esant darbe nagrinėtoms inžinerinėms geologinėms sąlygoms ir polių įrengimo technologijai visos metodikos tiko polių su gylio ir skersmens santykiu $L/D \leq 5$ pagrindo laikomosios galios skaičiavimui.

Kai kuriais atvejais skirtingomis metodikomis apskaičiuota pagrindo laikomoji galia tomis pačiomis inžinerinėmis geologinėmis sąlygomis ženkliai skyrėsi.

Metodikose naudojamas skirtingas pagrindo vidutinės reikšmės q_c nustatymo ir apskaičiavimo po polio padu algoritmas, tačiau gautos reikšmės skiriasi nežymiai ir lemiamos įtakos skaičiuojant pagrindo po padu stiprį neturi.

Viena iš pagrindo laikomosios galios skirtumų tarp metodikų priežasčių yra taikomi skirtingi apribojimai maksimalioms pagrindo ties šoniniu paviršiumi ar po polio padu reikšmėms.

Kita skirtumų tarp metodikų priežastis skirtinga leistina polio nuosėdžio reikšmė, kuriai esant laikoma, jog polis pasiekė ribinę pagrindo laikomąją galią.

Polio Nr.4 atveju visos metodikos (išskyrus STR) apskaičiavo didesnę pagrindo laikomąją galią nei prognozuota Brincho Hanseno 80% metodika. Vertinant bandomojo polio poslinkius matyti, jog kai bandomoji apkrova yra 477 kN, jo sėdimas buvo 6,75 mm ir remiantis K. Felmingu ir kt. bei J. E. Bowle galima polis esant šiai apkrovai vis dar dirbo daugiausia šonine trintimi, todėl reali polio pagrindo ribinė laikomoji galia būtų didesnė.

Vertinant polių bandymų ataskaitų duomenis, galima daryti išvadą, kad bandomųjų polių nuosėdžiai esant maksimaliai bandymo apkrovai, nemažai atvejų buvo K. Felmingo ir kt. bei J. E. Bowles aprašytose ribose, kai dar nevisiškai mobilizuojama visa šoninės pagrindo dalies dedamoji. Vadinasi, taikytos skaičiavimo metodikos galima per daug apriboja pagrindo ties šoniniu paviršiumi reikšmes ir Lietuvos sąlygomis, atlikus daugiau detalių tyrimų, jas tam tikriems gruntams galima būtų padidinti.

Vertinant magistro darbe atliktus polio pagrindo laikomosios galios skaičiavimus ir ribinės laikomosios galios prognozavimo rezultatus, pagal bandymų statinė apkrova duomenis, galima padaryti išvadą jog EC 1997-2 ir L. Furmonavičiaus metodikomis apskaičiuotų laikomųjų galių reikšmės buvo arčiausiai prognozuotų.

Pasiūlymai:

Bandant pritaikyti Lietuvos sąlygomis labiausiai tinkančią pagrindo laikomosios galios skaičiavimo metodiką, reikėtų išnagrinėti gerokai didesnę bandomųjų polių imtį.

Esant galimybei polių bandymus reikėtų organizuoti taip, kad būtų pasiekta polio pagrindo ribinė laikomoji galia.

Esant galimybei bandymuose naudoti specialius daviklius padedančius atskirti pagrindo šoninės trinties ir pado dedamųjų reikšmes.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Abdelrahman, G. E., Shaarawi, E. M. ir Abouzaid, K. S. (2003). *Interpretation Of Axial Pile Load Test Results For Continuous Flight Auger Piles*. Proc. of the 9th Arab Structural Engineering Conf., Nov. 29 – Dec. 1, 2003, Abu Dhabi, UAE.

Abdulla Sharo, Batool Al-Shorman, Mousa Bani Baker, Osama Nusier ir Ahmed Alawneh (2022). *New approach for predicting the load-displacement curve of axially loaded piles in sand*. Case Studies in Construction Materials.

Adel, R. ir Shakir, R.R. (2022). *Evaluation of Static Pile Load Test Results of Ultimate Bearing Capacity by Interpreting Methods*. Earth and Environmental Science.

Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill.

Braja M. DAS (2010). *Principles of Geotechnical Engineering. Seventh Edition*. Cengage Learning.

Burland John Boscawen (1973). *Shaft friction of piles in clay-A simple fundamental approach*. Ground Engineering.

Fellenius, B.H. (2019) *Basics of foundation design*.

Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M. ir Elson, K. (2009) *Piling Engineering. Third Edition*. Taylor & Francis Group.

Gwizdała, K., Brzozowski, T. ir Więclawski, P. (2010). *Calculations aspects of pile foundation in Eurocode 7*, Conferece Paper Bratislava 2010.

Hansen J.B. (1963). *Discussion on Hyperbolic Stress-Strain Response, Cohesive Soils*. Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 89, 1963, pp. 241-242.

Krol, M. ir Rybak J.(2013). *Accuracy of Extrapolation Methods for Non-Failed Static Load Tests*. Conferece Paper Bratislava 2013.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2016). *Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai. (STR 2.05.21:2016)*.

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2005). *Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 1 dalis. Pagrindinės taisyklės (LST EN 1997-1:2005)*.

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2007). *Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindo tyrinėjimai ir bandymai (LST EN 1997-2:2007)*.

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2015). *Specialiųjų geotechnikos darbų atlikimas. Gręžtiniai poliai (LST EN 1536:2010+A1:2015)*.

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2015). *Specialiųjų geotechnikos darbų atlikimas. Spraustiniai poliai (LST EN 12699:2015)*.

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019). *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Geotechninių konstrukcijų bandymai. 1 dalis. Polio bandymas ašine statine gniuždymo apkrova (ISO 22477-1:2018, pataisyta 2019-03 versija)*.

Lietuvos statybos inžinierių sąjunga ir Vilniaus Gedimino technikos universitetas (2009). *Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinynas*.

Mandolini, A. ir Di Laora, R. (2019). *Design of Axially-loaded Piles: Experimental Evidence from 400 Field Tests*. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 50 No. 3.

Mandolini, A., Ramondini, M., Russo, G. ir Viggiani, C. (2002). *Full Scale Loading Tests on Instrumented CFA Piles*. Geotechnical Special Publication.

Niazi, F. ir Mayne, P.W. (2013). *Cone Penetration Test Based Direct Methods for Evaluating Static Axial Capacity of Single Piles*. Geotechnical and Geological Engineering.

Olgun, M. ir Yenginar, Y. (2017). *Prediction of Pile Capacity from Field Loading Tests Results by Using different Methods*. 3rd International Soil-Structure Interaction Symposium-Izmir, Turkey.

Pantelidis L. (2022). *Shaft resistance capacity of axially loaded piles in cohesive-frictional soils under static or pseudo-static conditions based on ground parameters*.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1986330/v1>

Sližytė D., Medzvieckas J. ir Mackevičius, R. (2012). *Pamatai ir pagrindai*. Technika.

Šimkus, J., Furmonavičius, L., Zyklus, J., Zakarevičius, V., Vaičaitis, J. ir Alikonis, A. (1985). *Monolitiniai grunte betonuojamieji pamatai*. Mokslas.

Tomlinson, M. ir Woodward, J. (2008). *Pile Design and Construction Practice. Fifth Edition*. Taylor & Francis Group.

Xiao, M. ir Barreto, D. (2015). *Geotechnical Engineering Design*. John Wiley & Sons.