



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Polinio pamato nuosėdžio skirtingų skaičiavimo metodų
palyginamoji analizė**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Mindaugas Kazlauskas
Projekto autorius

Lekt. dr. Donatas Aviža
Vadovas

Panevėžys, 2023



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Polinio pamato nuosėdžio skirtingų skaičiavimo metodų palyginamoji analizė

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

Mindaugas Kazlauskas
Projekto autorius

Lekt. dr. Donatas Aviža
Vadovas

Lekt. Jonas Morkūnas
Konsultantas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2023



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Mindaugas Kazlauskas

Polinio pamato nuosėdžio skirtingų skaičiavimo metodų palyginamoji analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Mindaugas Kazlauskas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Diplomantui **Mindaugui Kazlauskui**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba) *Polinio pamato nuosėdžio skirtingų skaičiavimo metodų palyginamoji analizė*

Baigiamojo projekto tema (anglų kalba) *Comparative Analysis of Different Calculation Methods of Pile Foundation Settlement*

Patvirtinta 2022 m. lapkričio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-30.

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2022 m. sausio 2 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Pastato paskirtis – sandėliavimo; konstrukcinė sistema – karkasinė; pamato tipas – polinis pamatas po vidinėmis kolonomis.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

- Apžvalginėje dalyje išanalizuoti užsienio ir Lietuvos mokslinę literatūrą polinių pamatų ir gruntų mechanikos tematika.*
- Metodologinėje dalyje pateikti polinių pamatų nuosėdžių skaičiavimo metodų apžvalgą. Aprašyti skaičiuojamąjį pastato modelį ir polinio pamato skaičiuojamąją schemą.*
- Tiriamąjoje dalyje atlikti polinio pamato nuosėdžio skaičiavimus skirtingais pateiktais metodais ir palyginti gautus rezultatus. Išanalizuoti kaip kinta kiekvieno metodo skaičiavimų rezultatai, keičiant poliaus: diametrą, ilgį ir vertikaliąją apkrovą.*

Vadovas **dr. Donatas Aviža**
(pareigos, vardas, pavardė)

Konsultantas **lekt. Jonas Morkūnas**
(pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau **Mindaugas Kazlauskas**
(studento vardas, pavardė)

2022 m. lapkričio 22 d.

Kazlauskas, Mindaugas. Polinio pamato nuosėdžio skirtingų skaičiavimo metodų palyginamoji analizė. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas / dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: polinis pamatas, deformacija, nuosėdis, palyginamoji analizė.

Panevėžys, 2023. 69 p.

Santrauka

Statinio pamatas - mažiausiai matomas, tačiau bene svarbiausias pastato konstrukcinis elementas. Tinkamam pamatui suprojektuoti reikia daug specifinių žinių. Net ir labai patyrę inžinieriai gali padaryti klaidų tiek pasirenkant skaičiavimo metodą, tiek pačiame skaičiavimų algoritme.

Atskiro polio, veikiamo vertikalios gniuždančiosios apkrovos, apkrovos perdavimo mechanizmas pagrindui yra esminis giliųjų pamatų projektavimo principas. Labai svarbu, kad fizinė sąveika tarp pamato ir pagrindo būtų ištirta. Projektuojant pamatus nuosėdis dažnai būna kriterijus, nulemiantis pamato matmenis, todėl labai svarbu tiksliai jį įvertinti. Nors poliniai pamatai naudojami jau labai seniai, prognozuoti jų pagrindo deformacijas yra sunku. Lietuvoje ir visame pasaulyje atliekami eksperimentiniai tyrimai ir skaitiniai modeliavimai, siekiant kuo tiksliau išanalizuoti polinių pamatų poveikį pagrindui.

Magistro studijų baigiamojo projekto mokslinės literatūros dalyje išnagrinėtos pagrindinės polinių pamatų rūšys ir įrengimo technologijos. Tyrimo metodikos dalyje išnagrinėtos skirtingos polinių pamatų nuosėdžių skaičiavimo metodikos. Tiriamojoje dalyje atlikta skirtingų skaičiavimo metodų analizė, lyginant gautus rezultatus ir jų kitimą keičiant tokias savybes kaip: poliaus ilgis, skersmuo ir vertikali apkrova.

Darbo tikslas – atlikti polinio pamato nuosėdžio skirtingų skaičiavimo metodų palyginamąją analizę.

Darbo uždaviniai:

1. Išnagrinėti skirtingas polinių pamatų rūšis. Išanalizuoti mokslinę literatūrą polinių pamatų ir gruntų mechanikos tematika.
2. Išanalizuoti skirtingas deformacijų skaičiavimo metodikas
3. Atlikti polinio pamato nuosėdžio skaičiavimus skirtingais pateiktais metodais ir palyginti gautus rezultatus. Išanalizuoti kaip kinta kiekvieno metodo skaičiavimų rezultatai, keičiant poliaus: diametrą, ilgį ir vertikaliąją apkrovą.

Tyrimo metodai – mokslinės ir techninės literatūros analizė, modeliavimas „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ ir „Geo5“ programų aplinkose; empirinis palyginamasis tyrimas.

Magistro baigiamąjį projektą sudaro: santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Darbą sudaro 69 puslapis, kuriuose yra 9 lentelės, 23 paveikslėliai ir 3 priedai.

Kazlauskas, Mindaugas. Comparative Analysis of Different Calculation Methods of Pile Foundation Settlement. Master's Final Degree Project / supervisor dr. Donatas Aviža; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: pile foundation, deformation, settlement, comparative analysis.

Panevėžys, 2023. 69 pages.

Summary

The foundation of the structure is the least visible, but probably the most important structural element of the building. Designing the right foundation requires a lot of specific knowledge. Even very experienced engineers can make mistakes both in choosing a calculation method and in the calculation algorithm itself.

The load transfer mechanism of an individual pile subjected to a vertical compressive load to the foundation is a fundamental principle in the design of deep foundations. It is essential that the physical interaction between the foundation and the subgrade is investigated. In foundation design, settlement is often a criterion that determines the dimensions of the foundation, so it is very important to estimate it accurately. Although pile foundations have been used for a very long time, it is difficult to predict the deformations of their foundation. Experimental studies and numerical simulations are carried out in Lithuania and around the world in order to analyze the effect of pile foundations on the base as accurately as possible.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Mokslinės literatūros analizė.....	13
1.1. Įvadas į gruntų mechaniką.....	13
1.2. Poliniai pamatai	13
1.3. Polinių pamatų tipai.....	13
1.4. Polių ir jų pagrindų suirimo atvejai	17
2. Nuosėdžių skaičiavimo metodų apžvalga	19
2.1. Eurokodo 7 (LST EN 1997-2) metodas.....	19
2.2. Vietinių tampriųjų deformacijų teorijos metodas.....	19
2.3. Sumavimo metodas	20
2.4. Bowles metodas.....	21
2.5. Tiesiškai deformuojamo puserdvio metodas (STR 2.05.21:2016).....	21
2.6. Tercagio metodas.....	22
2.7. Menardo metodas	24
2.8. Pagrindo standumo įvertinimo giliesiems pamatams metodas.....	27
2.9. Skaičiavimas, pasinaudojant programa „Robot Structural Analysis Professional“	28
2.10. Skaičiavimas pasinaudojant GEO5 programinio paketo programa „Pile CPT“	31
3. Tiriamoji dalis.....	33
3.1. Pastato skaičiuojamoji schema	33
3.2. Polinio pamato skaičiuojamoji schema	37
3.3. Palyginamosios analizės rezultatai	38
Išvados	48
Literatūros sąrašas	49
Priedai.....	53

Lentelių sąrašas

1 lentelė Polių, įrengtų rupiuose gruntuose, kuriuose yra mažas smulkių dalelių kiekis arba jų nėra, stiprio po padu nustatymas (LST EN 1997-2:2007) [13].....	19
2 lentelė. Konstantų (L_h) ir (L_h') reikšmės [31].....	23
3 lentelė. Konstantos (k_{sl}) reikšmės moliniam gruntui [31].....	24
4 lentelė. Koeficiento (α') reikšmės [31].....	26
5 lentelė. Proporcingumo koeficientai (k) ir (k_p), (MN/m^4) pagal [27].....	28
6 lentelė. Derinių sąrašas.....	34
7 lentelė. Gruntų sluoksnių aprašymas	37
8 lentelė Kompiuterinių programų rezultatai	38
9 lentelė Analitinių skaičiavimų rezultatai.....	39

Paveikslų sąrašas

1 pav. Poliniai pamatai su skirtingais rostverkais: a – polinis pamatas su žemutiniu rostverku; b – su rostverku ant žemės paviršiaus; c – su aukštutiniu rostverku; d – be rostverko [14].....	14
2 pav. Gruntinių inkarų panaudojimas, norint sustabdyti gruntinio vandens sukiamą kėlimą [20]	15
3 pav. Polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą [14].....	16
4 pav. Polių įrengimas pagal CFA technologiją: 1 – ištisinio sraigto gręžimas; 2 – pasiektas reikiamas gylis; 3 – betono tiekimas pro vidinį sraigto vamzdį, keliant sraigą; 4 – armatūros karkaso panardinimas [19].....	17
5 pav. Galimi polių suirimo atvejai [14].....	18
6 pav. Polinio pamato nusėdimo skaičiavimo sumavimo metodu skaičiuojamoji schema [14].....	20
7 pav. Atraminės sienelės schema [16].....	22
8 pav. Atraminės sienelės schema (inkaruota sienelė) [16].....	24
9 pav. Menardo presiometro veikimo schema [15].....	25
10 pav. Slėgio ir tūrio priklausomybė [17].....	26
11 pav. Giliojo pamato schema [sukurta autoriaus].....	27
12 pav. Programos RSAP pradžios langas su projektavimo aplinkos pasirinkimais.....	29
pav. 13. Programos RSAP integruota gruntų standumo skaičiuoklė „Soil calculator“.....	30
14 pav. Boussinesque formulės išvedimas ir įtempių pasiskirstymo schema elastiniame puserdvyje, po koncentruota jėga [https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2021/ENU/].....	31
15 pav. Įkeltos CPT rezultatų diagramos ir automatiškai sukurti gruntų sluoksniai.....	32
16 pav. Pastato baigtinių elementų modelis programoje „RSA PRO“.....	33
17 pav. 3,0 m ilgio ir 40 cm diametro polio įgilinimas į gruntą (skaičiuojamasis poliaus modelis)	37
18 pav. Nuosėdžio priklausomybė nuo skaičiavimo metodo ir skersmens.....	41
19 pav. Nuosėdžio priklausomybė nuo skaičiavimo metodo ir poliaus ilgio.....	42
20 pav. Nuosėdžio priklausomybė nuo skaičiavimo metodo ir vertikalios apkrovos.....	43
21 pav. Nuosėdžio kitimas procentais, kai skersmuo padidėja nuo 40 iki 50 cm ir kai ilgis padidėja nuo 4,0 iki 5,0 m.....	44
22 pav. nuosėdžio sumažėjimas, kai apkrova sumažėja 6,5 procentais.....	46
23 pav. nuosėdžio sumažėjimas, kai apkrova sumažėja 45,3 procentais.....	46

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

STR – statybos techninis reglamentas;

CFA – nuolatinis sraigtinis gręžimas (angl. *continuous flight auger*);

RSAP – *Robot Structural Analysis Professional* – kompiuterinė programa;

CPT – kūgio spraudos bandymas (angl. *cone penetration test*);

LST – Lietuvos standartas;

EN – Europos normos;

EC – Eurokodas

C_z – pagrindo standumo modulis (kN/ m³);

P – slėgis į pamatą (kN/m²);

s – pamato nusėdimas (m);

b – pamato pado plotis (m);

E – grunto deformacijų modulis (MPa);

v – skersinės deformacijos koeficientas;

ω – koeficientas, kuris priklauso nuo pamato formos, standumo ir taško padėties, kuriame skaičiuojamas nusėdimas;

R – apvalios plokštės spindulys (m);

Hsl – deformuojamojo pagrindo storis (m);

R_{sn} – pagrindo skaičiuojamasis stiprumas, kai pamato nuosėdis lygus n % pamato skersmens, surandamas pagal [21] (kPa);

u – atraminės sienelės poslinkis (m);

D – atraminės sienelės įgylinimas (m);

Lh ir Lh' – konstantos, kurių reikšmės priklauso nuo tankumo laipsnio (ID) ir kūginio stiprumo (qc), (kN/m³);

z – nagrinėjamojo taško gylis nuo žemės paviršiaus (sienelės viršaus) (m);

σ'_v – vertikalūs efektyvieji įtempiai (kPa);

σ'_{hi} – horizontalūs efektyvieji įtempiai (kPa);

EM – Menardo presiometrinis tamprumo modulis pseudo – elastinėje zonoje (kN/m²);

ΔV – tūrio pokytis cilindrinės formos grežinyje pseudo – elastinėje zonoje (m³);

Δp – slėgio riba tarp pseudo – elastinės ir plastinės zonų (kPa);

p1 – slėgio riba tarp pseudo – elastinės ir plastinės zonų (kPa);

Vm – presiometro zondo tūris (m³);

γ – grunto vienetinis svoris (kN/m³);

qc – kūginis stiprumas (MN/m²);

Sj – sijos ir kolonos mazgo standumas;

ki – svarbiausių mazgo komponentų standumo koeficientas;

beff c, wc – efektinė kolonos gniuždomojo pločio reikšmė;

beff t, wc – efektinė kolonos tempiamojo pločio reikšmė;

twc – kolonos sienelės storis;

dc – kolonos aukštis;

Leff, tfc – efektinis kolonos jungės ilgis;

As – varžto pjūvio plotas;

Lb – varžto ilgis;

Fx – spyruoklės jėga veikianti X ašies linkme;

Fy – spyruoklės jėga veikianti Y ašies linkme;

kx – standumo konstanta X ašies linkme (kN);

ky – standumo konstanta Y ašies linkme (kN);

e0 – grunto bandinio poringumo koeficientas;

ρ_s – kietųjų dalelių tankis (g/cm³);

W – natūralaus grunto drėgnis prieš bandymą (%);

Įvadas

Temos aktualumas. Lietuvoje ir pasaulyje poliniai pamatai yra vienas iš labiausiai naudojamų pamatų tipų. Viena iš pagrindinių priežasčių, kodėl jie yra tokie populiarūs – galimybė pasiekti giliai siekiančius didelio stiprumo gruntus, nevykdant didelių žemės darbų. Beveik visų dangoraižių pamatai – stora gelžbetoninė plokštė arba dėžės formos rostverkas, atremtas ant keliasdešimties metrų ilgio polių. Polių apskaičiavimui pasaulyje vyrauja daug metodų. Didelėje dalyje Europos jau kurį laiką konstrukcijų saugumui ir tinkamumui pagrįsti naudojami Eurokodų standartai, o konkrečiai pamatams – EN 1997 „Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas“. Lietuvoje Eurokodai kol kas perimami vangiai. Privalomieji norminiai dokumentai konstrukcijoms skaičiuoti išlieka statybos techniniai reglamentai (STR), kurie sukurti rusiškų statybos normų (SNIP) pagrindu. Konkrečiai pamatams naudojamas santykinai naujas statybos techninis reglamentas STR 2.05.21:2016 „Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai“, dalinai atitinka Eurokodo 7 reikalavimus.

Pamatams įrengti skiriama daug resursų, todėl tinkamas skaičiavimo metodo pasirinkimas ir tikslesnis deformacijų apskaičiavimas leistų ne tik suprojektuoti ekonomišką polinių pamatų konstrukciją, bet ir padidinti jų patikimumą.

Temos iširtumas. Mokslinėje literatūroje labai plačiai išnagrinėtos polinių pamatų laikomosios galios nustatymo charakteristikos, tačiau yra mažai ištyrinėti ir palyginti skirtingi deformacijų skaičiavimo metodai, todėl šiame darbe bus išanalizuoti skirtingi deformacijų (nuosėdžių) skaičiavimo metodai ir gauti rezultatai.

Tyrimų objektas – polinio pamato deformacijų (nuosėdžių) skaičiavimo metodai.

Darbo tikslas – atlikti polinio pamato nuosėdžio skirtingų skaičiavimo metodų palyginamąją analizę.

Darbo uždaviniai:

4. Išnagrinėti skirtingas polinių pamatų rūšis. Išanalizuoti mokslinę literatūrą polinių pamatų ir gruntų mechanikos tematika.
5. Išanalizuoti skirtingas deformacijų skaičiavimo metodikas
6. Atlikti polinio pamato nuosėdžio skaičiavimus skirtingais pateiktais metodais ir palyginti gautus rezultatus. Išanalizuoti kaip kinta kiekvieno metodo skaičiavimų rezultatai, keičiant poliaus: diametrą, ilgį ir vertikaliąją apkrovą.

Tyrimo metodai – mokslinės ir techninės literatūros analizė, modeliavimas „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ ir „Geo5“ programų aplinkose; empirinis palyginamasis tyrimas.

Magistro baigiamąjį projektą sudaro: santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Darbą sudaro 65 puslapiai, kuriuose yra 9 lentelės, 23 paveikslėliai ir 2 priedai.

Autoriaus publikuotas straipsnis: Kazlauskas M., Aviža D., Zacharovienė E. *Polinių pamatų skirtingų nuosėdžių skaičiavimo metodų palyginimas*. Studentų mokslinių darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos 2022“ skaitytas pranešimas 2022 m. lapkričio mėn. 25 d. Panevėžys.

1. Mokslinės literatūros analizė

1.1. Įvadas į gruntų mechaniką

Gruntai yra natūralios daugiafazės dispersinės sistemos, susidedančios iš kietosios, skystosios ir dujinės fazių. Kietoji fazė yra mineralinės dalelės – svarbiausioji gruntų dalis, skystoji – vanduo, dujinė – oras ir vandens garai [18].

Gruntų savybės skirstomos į fizikines ir mechanines. Fizikinės savybės apibūdina gruntą kaip pagrindą sudarančią medžiagą, mechaninės – grunto deformacijas ir stiprumą [18].

Gruntų savybes nusako rodikliai (skaičiai), kurie gaunami tiriant gruntus. Pagal fizikinių savybių rodiklius gruntai klasifikuojami atsižvelgiant į kiekvienoje šalyje galiojančius standartus. Mechaninių savybių rodikliai ir kai kurie fizikinių savybių rodikliai taikomi skaičiuojant pastatų pagrindus. Kiekvienas rodiklis žymimas lotyniška ar graikiška raide, laikantis standarto [18].

1.2. Poliniai pamatai

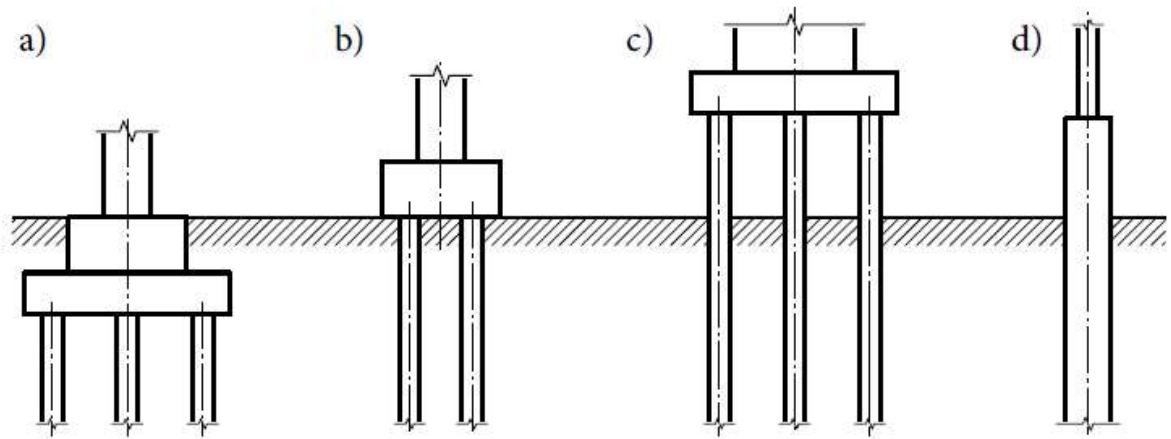
Poliniai pamatai pasirenkami, kai norima pamatams perduoti didesnes apkrovas arba sumažinti pamatų nuosėdžius. Tai galima pasiekti, kai apkrova perduodama giliau slūgsantiems stipriems gruntams. Poliniai pamatai racionaliausi tada, kai viršutiniai grunto sluoksniai silpni arba labai deformuojami (durpės, dumblas ar piltinis netankintas gruntas), arba gruntinio vandens lygis aukštas, o jo pažeminimas brangus [16].

1.3. Polinių pamatų tipai

Poliniai pamatai susideda iš polių ir rostverkų (žr. 1 pav.). Pagal rostverko padėtį konstrukcijoje poliniai pamatai skirstomi į [14]:

- polinius pamatus su žemutiniu rostverku;
- polinius pamatus su rostverku ant žemės paviršiaus;
- polinius pamatus su aukštutiniu rostverku;
- polinius pamatus be rostverko.

Žemutinio rostverko padas žemiau grunto paviršiaus. Tokio tipo polinio pamato rostverkas dalį vertikaliosios apkrovos gali perduoti padu ir perimti horizontaliąsias apkrovas šoniniu paviršiumi. Rostverkas ant žemės paviršiaus gali būti įrengiamas, kai paviršiuje yra nekilsnūs gruntai ir kai yra garantuojama, kad gruntas po rostverku nebus išplautas vandens. Šiuo atveju horizontaliąsias apkrovas ir momentus perima tik poliai. Kadangi viršutiniai gruntai dažniausiai yra silpni, tai esant tokiems rostverkams gruntas neperima apkrovos.



1 pav. Poliniai pamatai su skirtingais rostverkais: a – polinis pamatas su žemutiniu rostverku; b – su rostverku ant žemės paviršiaus; c – su aukštutiniu rostverku; d – be rostverko [14]

Aukštutinio rostverko padas yra virš grunto paviršiaus ir poliai į gruntą įgilinti ne visu ilgiu. Šiuo atveju atliekant polių skaičiavimą reikia įvertinti jų liaunumą, nes poliai gali išklupti. Kadangi vertikaliuose poliuose dėl skersinių jėgų atsiranda dideli lenkimo momentai, tai poliniuose pamatuose su aukštutiniu rostverku neretai įrengiami pasvirę poliai.

Poliniai pamatai be rostverko įrengiami tada, kai po konstrukcija užtenka vieno polio. Tokiais atvejais gali būti įrengiamos polių galvenos – praplatinta viršūnė kolonomis įtvirtinti. Jeigu polio skersmens pakanka konstrukcijai (pvz. kolonai) įtvirtinti, tai galvenos gali būti neįrengiamos.

Poliai gali būti skirstomi ir pagal medžiagą, iš kurios jie pagaminti. Pagal medžiagą poliai gali būti:

- gelžbetoniniai;
- betoniniai;
- metaliniai;
- mediniai;
- kombinuoto skerspjuvio;
- gruntiniai;
- sintetiniai.

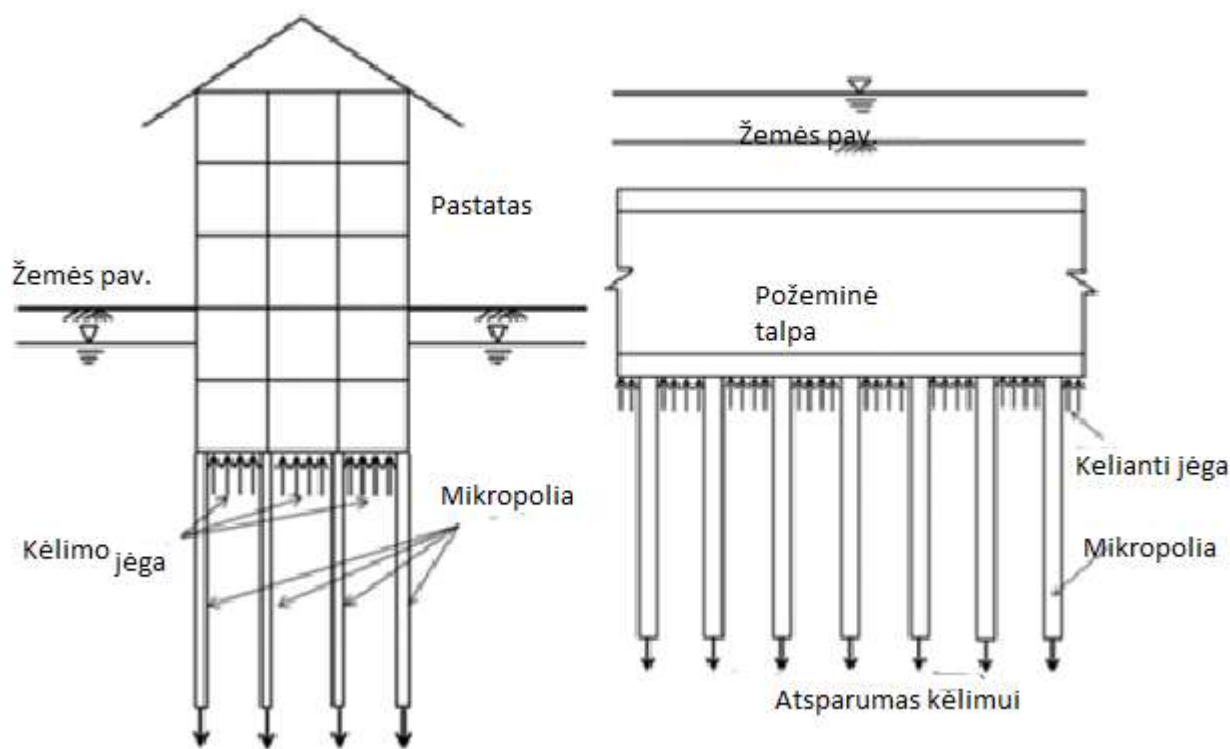
Gelžbetoniniai ir betoniniai poliai naudojami dažniausiai. Betoninius polius (be armatūros) galima naudoti, jeigu polius veikia tik gniuždančios jėgos, o skaičiavimai parodo, kad armavimas nebūtinai. Kadangi poliai yra veikiami sudėtingo drėgminio ir temperatūrinio režimo, o kartais ir agresyvaus grunto, tai naudojamas betonas turėtų būti ne mažesnės kaip C25/30 stiprumo klasės.

Metaliniai poliai naudojami, esant sudėtingoms gruntinėms sąlygoms ir kai įrengti gelžbetoninius polius netikslinga. Dėl anksčiau minėtų priežasčių metaliniai poliai turi būti padengti patikima antikorozine danga.

Mediniai poliai gaminami iš spygliuočių ir lapuočių medienos. Mediniai poliai naudojami rečiau, nes turi trūkumų: maža laikomoji galia, riboti matmenys, lygus šoninis paviršius nesudaro didelės trinties, o svarbiausia – greitai pūva kintamo drėgnumo aplinkoje. Dažniausiai šie poliai naudojami laikiniams statiniams.

Kombinuoto skerspjūvio poliai – tai betoniniai poliai su metaliniu apvalkalu. Tokie poliai naudojami retai, tačiau yra labai svarbūs, kai reikia polių apsaugoti nuo itin šiuurkščios aplinkos. Tiltų per vandens kanalą poliai dažnai susilpnėja dėl horizontalių smūgių nuo laivų [18]. Pavyzdžiui 2010 m. Gušano tilto (Hubėjus, Kinija) atramos buvo smarkiai pažeistos po to, kai potvynio nustumta žemsiurbė į jas atsitrenkė [18]. Tiltu atramos buvo sulaužytos, o poliai stipriai pažeisti. Tokiu atveju poliaus „įvilkinimas“ į metalinį apvalkalą gali tokius pavojus sumažinti, nes, priešingai negu betonas, plienas (normaliomis sąlygomis) yra plastiška, o ne trapi medžiaga.

Gruntiniai inkarai arba mikropoliai, tai ganėtinai mažo skerspjūvio (palyginus su ilgiu) ilgi strypai (min. 3 m), naudojami atraminių sienelių ir šlaitų stabilumui užtikrinti. Taip pat gruntiniai inkarai gali būti naudojami žemiau gruntinio vandens lygio esančioms talpoms inkaruoti. Pavyzdžiui požeminė cisterna arba kelių aukštų rūsys, esantis gerokai žemiau gruntinio vandens lygio yra keliamas aukštyn, panašiai kaip pripūstas kamuolys, panardintas į vandenį. Tokių polių darbo schema pateikta 2 pav. [20].



2 pav. Gruntinių inkarų panaudojimas, norint sustabdyti gruntinio vandens sukeltą kėlimą [20]

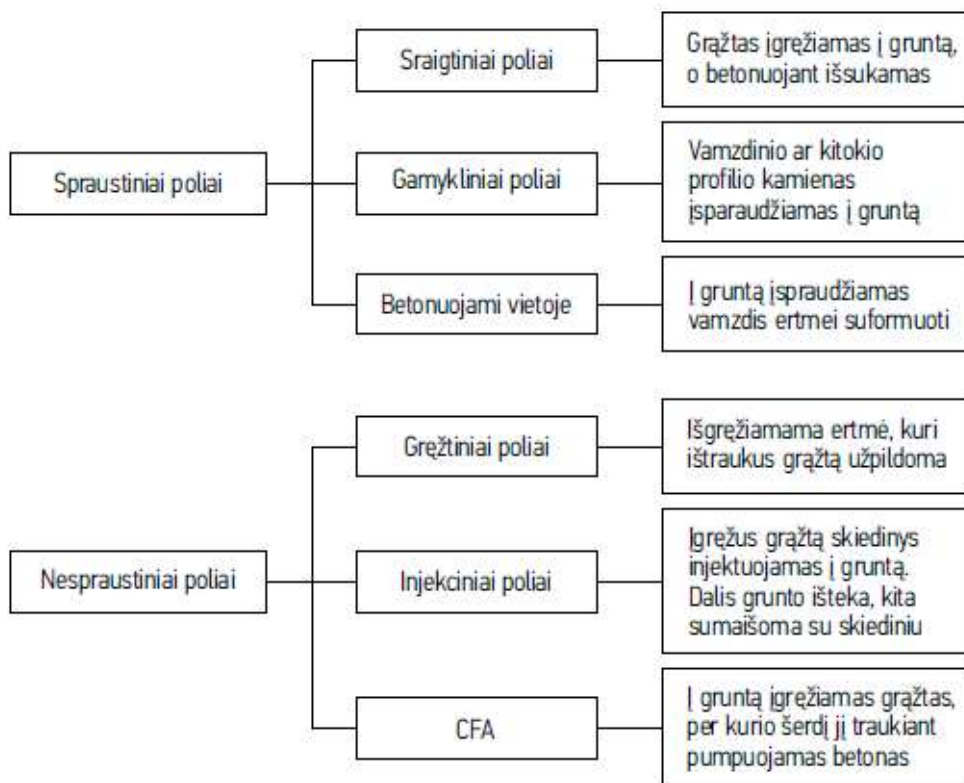
Sintetiniai poliai gaminami iš plastiko ir naudojami nedidelėms apkrovoms perimti. Dažnai naudojami laikiniems pastatams, šiltnamiams, šiltadaržiams ar terasoms įrengti. Neretai jų forma būna sraigtinė t. y. jie įrengiami tiesiog įsukant į gruntą. Sintetinių polių pranašumas tas, kad jie praktiškai neyra. Trūkumas tas, kad plastikas nėra ekologiška žaliava.

Poliai gali būti labai įvairių skerspjūvių. Skerspjūvis gali būti kintamas, tačiau dažniausiai daromi vienodo skerspjūvio poliai arba poliai su išplatintu padu.

Prieš tai išvardintas polių klasifikavimas sutinkamas retai, nes praktikoje daugiausia dominuoja gelžbetoniniai poliai. Dažniausiai praktikoje sutinkamas polių klasifikavimas – pagal įrengimo būdą. Vertinant šiuolaikines technologijas, galima išskirti du pagrindinius polių įrengimo būdus: pirmasis

ir, ko gero, seniausias, kai į gruntą įspraudžiamas iš anksto paruoštas polio kamienas; antras, kai suformuojama ertmė, kuri vėliau užpildoma polio medžiaga – dažniausiai betonas su armatūros karkasais (gelžbetonis). Visos kitos technologijos „išplaukia“ iš šių dviejų, nes jos atsirado tiesiog tobulinant jau esamas. Pagrindiniai rodikliai pasirenkant polių įrengimo technologiją – grunto poslinkiai polio įrengimo metu ir gruntinio vandens lygis. Atsižvelgiant į tai, polius galima skirstyti pagal Flemingo pateiktą schemą (žr. 3 pav.) [14].

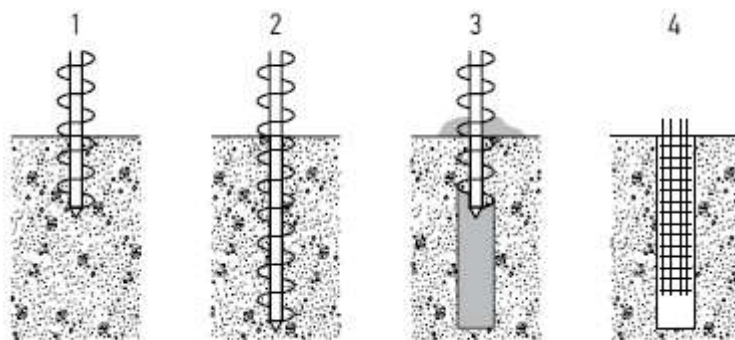
Lietuvoje dažniausiai naudojami nespraustiniai poliai, kurie įrengiami gręžiant, injektuojant ir taikant ištisinio sraigtinio gręžimo (CFA) metodą. Tradiciniai gręžtiniai poliai yra naudojami dažniausiai. Įrengiant šiuos polius 0,3–1,5 m diametro apvali ertmė gręžiama specialių grąžtų pagalba, o gruntas iš ertmės iškeliamas lauk. Šis metodas Lietuvoje labai populiarus dar ir dėl to, kad mažiems statiniams, įrengiant mažo diametro ir mažo ilgio polius, nereikalinga itin sudėtingų ir brangių įrenginių. Tarkime 0,3 m diametro ir iki 1,5 m gylio polius teoriškai galima išgręžti rankiniu žemės grąžtu. Tačiau ne visada ertmė poliems gręžiasi paprastai. Neretas atvejis, kai pasitaiko birūs gruntai ir, ištraukus grąžtą, ertmė vėl užbyra. Tokiais atvejais arba kai gręžinyje kaupiasi gruntinis vanduo, ertmė gręžiama naudojant apsauginį vamzdį arba, jau minėtą, ištisinio sraigtinio gręžimo technologiją.



3 pav. Polių klasifikavimas pagal įrengimo būdą [14]

Esminis ištisinio sraigtinio gręžimo (CFA) polių principas yra tas, kad armatūros karkasas į gręžinį statomas ne prieš pilant betoną, kas yra įprasta paprastiems gręžtiniams poliams, bet po to kai ertmė jau užpildyta betonu. Betonas per grąžto apačia paduodamas į gręžiamą ertmę, kuri užpildoma tik pradėjus grąžtą kelti aukštyn. Tokiu atveju gruntas nuo šonų nespėja užversti gręžinio, o vanduo

nespėja šio gręžinio užpildyti. Po to kai grąžtas ištraukiamas iš betonu užpildytos ertmės, į ją įnardinamas poliaus armatūros karkasas (žr. 4 pav.).



4 pav. Polių įrengimas pagal CFA technologiją: 1 – ištisinio sraigto gręžimas; 2 – pasiektas reikiamas gylis; 3 – betono tiekimas pro vidinį sraigto vamzdį, keliant sraigą; 4 – armatūros karkaso panardinimas [19]

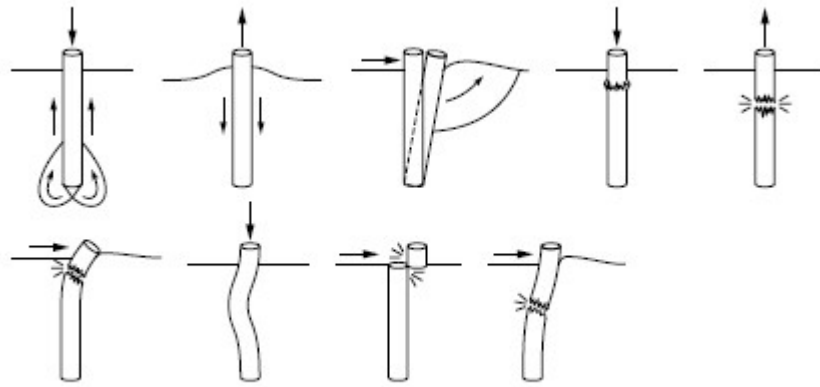
Vibraciniai ir spraustiniai poliai. Gana dažnai naudojamas polių įrengimo būdas, kai poliams įrengti naudojami vibraciniai plaktai. Šiais plaktais poliui suteikiami tam tikro dažnio ir amplitudės virpesiai, ko pasėkoje yra nugalima trintis tarp polio šonų ir grunto, o polius grimzta gilyn. Šitaip įrengiami gali būti jau iš anksto paruošti poliai arba įvibruojamas tik vamzdis su uždaru galu. Vamzdžiui pasiekus projektinę altitudę į jį statomas armatūros karkasas ir užpilamas betonas. Tada vamzdis ištraukiamas, paliekant dugną. Šitoks polių įrengimo būdas yra brangesnis dėl reikalingos specialios poliakalės, tačiau jis turi didelį pranašumą. Įvibruojant vamzdį (arba pagamintą polių), pagrindas po poliaus padu yra papildomai sutankinamas, todėl stipriai padidėja poliaus laikymo galia ir bendra jų įrengimo kokybė. Tuo tarpu išgręžus skylę, net jei ir skylė neužsipildo gruntu arba vandeniu, statybininkas dažnai net nemato kaip atrodo gręžinio dugnas, dėl ko praktiškai niekas negali garantuoti, kad polius atsirėmė ant tinkamo pagrindo, o ne ant minkštos „tešlos“. Tokie neapibrėžtumai skirtingose normose yra įvertinami tam tikrų koeficientų pagalba. Tarkime skaičiuojant polius pagal Eurokodą 7 (LST EN 1997-1-1), spraustinių polių laikymo galia ties padu ir ties šoniniu paviršiumi yra mažinama 1,1 karto, o gręžtinių – atitinkamai net 2 kartus ir 1,5 karto.

1.4. Polių ir jų pagrindų suirimo atvejai

Polinis pamatas, kaip ir bet kuri kita statinio konstrukcija, turi atitikti saugos ir tinkamumo ribinius būvius. Polius netenkina saugos ribinio būvio kai:

- pagrindas prie polio praranda laikomąją galią poli gniuždant, raunant arba apkrovus horizontaliąja apkrova;
- polio kamienas suyra nuo gniuždymo, tempimo ar skersinių jėgų poveikio;
- polius suklumpa, yra nukerpamas arba nulaužiamas.

Galimi polių suirimo atvejai pavaizduoti 5 paveikslėlyje.



5 pav. Galimi polių suirimo atvejai [14]

Atlikus polinio pamato saugos ribinio būvio skaičiavimus, turi būti patikrinti ir tinkamumo ribiniai būviai. Tinkamumo ribiniai būviai poliniams pamatams:

- per didelis atskiro polio nuosėdis;
- per didelis atskiro polio horizontalus poslinkis.

2. Nuosėdžių skaičiavimo metodų apžvalga

Polių analizei per pastaruosius metus pasiūlyta daug metodų. Nuo trumpų analitinių formulių iki sudėtingo baigtinių elementų metodo. Pamatų elgsena iki pat šių dienų yra daugelio mokslininkų tyrimų objektas. Šiame skyriuje bus pateikiami klasikiniai analitiniai metodai, kurie paremti klasikine tamprumo teorija.

2.1. Eurokodo 7 (LST EN 1997-2) metodas

Standarte pateiktas metodas skirtas polių stiprio po padu ir stiprio ties šoniniu paviršiumi nustatymui. Pagal jį galima apskaičiuoti ir polio paviršiaus nuosėdį. Tai analitinis metodas, kuriuo skaičiuojant naudojamos kūginio stiprumo q_c reikšmės. 1 lentelėje pateikta informacija apie polių, įrengtų rupiuose gruntuose, kuriuose yra mažas smulkių dalelių kiekis arba jų nėra, stiprio po padu nustatymą.

1 lentelė Polių, įrengtų rupiuose gruntuose, kuriuose yra mažas smulkių dalelių kiekis arba jų nėra, stiprio po padu nustatymas (LST EN 1997-2:2007) [13]

Normalizuotas nuosėdis s/d_s ; s/d_b	Stipris po padu (σ_b) MPa, esant atitinkamam vidutiniam kūginiam stipriui (q_c) (CPT) MPa			
	$q_c = 10$	$q_c = 15$	$q_c = 20$	$q_c = 25$
0,02	0.70	1.05	1.40	1.75
0,03	0.90	1.35	1.80	2.25
0,10(= s_u)	2.00	3.00	3.50	4.00

PASTABA: Tarpinės vertės nustatomos tiesiškai interpoliuojant. Tuo atveju, jeigu polio padas yra išplatintas, šias vertes reikia padauginti iš 0,75.

Žinant 1 lentelėje pateiktus duomenis, polio viršutinio taško nuosėdis gali būti apskaičiuojamas [9]:

$$S = \alpha \cdot \frac{\sigma_b}{q_c} \cdot d_b; \quad (1)$$

čia α – pado formą įvertinantis koeficientas, σ_b – stipris po poliaus padu (MPa); q_c – vidutinis kūginis stiprumas (MPa); d_b – pamato pado skersmuo (m).

2.2. Vietinių tampriųjų deformacijų teorijos metodas

Teorija pagrįsta tiesinės priklausomybės dėsniu tarp pagrindo įtempių ir deformacijų. Pagal šią teoriją įtempiai sklinda ir pagrindas deformuojasi tik po padu. Schematiškai tai galima pavaizduoti kaip tam tikro standumo spyruokles (Vinklerio modelis), kurios tarpusavyje nesusijusios, ir kurios savo ruožtu atremtos į absoliučiai standų pagrindą. Pamatą nusėda vienodai, kaip štampos. Kontaktiniai įtempiai taške pagal vietinių tampriųjų deformacijų teoriją tiesiogiai proporcingi pamato nuosėdžiui. Bendra išraiška atrodytų taip [10]:

$$\sigma_k = k_s \cdot s; \quad (2)$$

čia s – pamato nuosėdis (m); k_s – pagrindo standumo modulis (kN/m^3), kuris apibūdina pagrindo deformatyvumą veikiant apkrovai per tam tikrą plotą.

Greičiausias būdas pagrindo standumo moduliui nustatyti yra pagrindo bandymas dinaminio štampu [10]. Gautoji E (tamprumo modulio) reikšmė, MPa, yra lygi standartinio standumo modulio reikšmei, kN/m^3 . Analitinei standumo modulio reikšmei nustatyti gali būti naudojama lygtis:

$$k_s = \frac{\sigma_k}{s} = \frac{E}{\omega \cdot b \cdot (1-\nu^2)}; \quad (3)$$

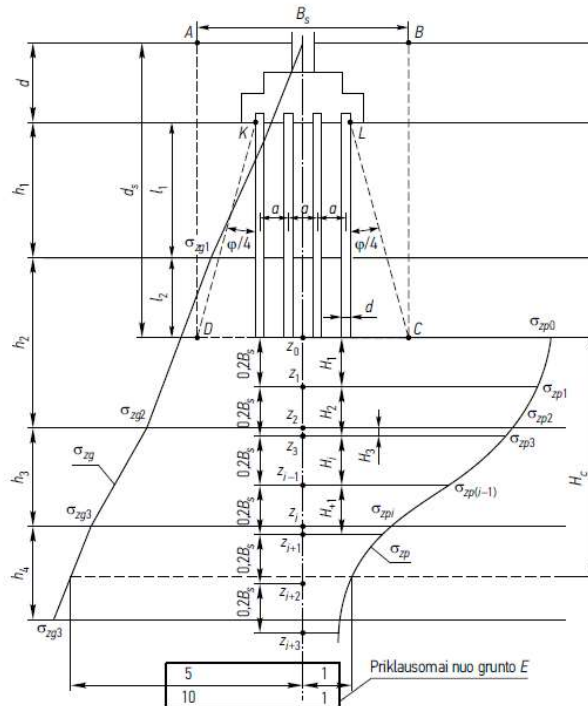
čia b – pamato matmuo (m); ω – koeficientas, įvertinantis pamato formą ir standumą; ν – grunto skersinių deformacijų (Puasono) koeficientas.

2.3. Sumavimo metodas

Sumavimo metodas gali būti taikomas polinių pamatų grupės nuosėdziams skaičiuoti, tarus, kad deformuojasi tik gruntas, žemiau polių pado, o poliai ir gruntas tarp jų nesideformuoja. Iš esmės tai tas pats sumavimo metodas, naudojamas sekliųjų pamatų nuosėdziams nustatyti, tik vietoje seklaus pamato šiuo atveju yra polių ir grunto tarp jų masivas. Skaičiuojant polinio pamato nuosėdį pirma turi būti apskaičiuotas sąlyginio pamato gylis:

$$d_s = d + l;$$

čia d – rostverko gylis (m); l – polio skaičiuojamas ilgis (m).



6 pav. Polinio pamato nusėdimo skaičiavimo sumavimo metodu skaičiuojamoji schema [14]

Kaip ir sekliam pamatui, surandamas pagrindo deformacijų zonos gylis. Sudaromos dvi grunto įtempių diagramos ašiniame pjūvyje: įtempių nuo grunto svorio ir papildomųjų įtempių nuo pamato apkrovos. Kiekvieno sluoksnio suspaudimas skaičiuojamas pagal vidutinius papildomus įtempimus sluoksnyje:

$$s_i = \frac{(\sigma_{zp(i-1)} + \sigma_{zpi})}{2} \cdot \frac{H_i}{E_i}; \quad (4)$$

čia H_i – i -tojo sluoksnio storis (m); E_i – i -tojo sluoksnio tamprumo modulis (MPa); $\sigma_{zp(i-1)}$ ir σ_{zpi} – papildomi grunto įtempiai nuo pastato apkrovos sluoksnio viršuje ir apačioje (MPa).

Tada visas pamato nuosėdis gaunamas susumavus sluoksnelių nuosėdžius per visą pagrindo deformacijų zonos storį:

$$s = 0.8 \sum_{i=1}^n s_i \quad (5)$$

čia 0,8 – skaičiavimo metodo bedimensis dydis, atsiradęs dėl supaprastintos skaičiuojamosios schemos.

Šis metodas tikslus tik tada, kai tariama, kad grunte neatsiranda šlyties deformacijų, ir jeigu įtempių bei deformacijų priklausomybė grunte yra tiesinė.

2.4. Bowles metodas

Pagal sekančiai pateiktą lygtį, bendras pamato nuosėdis apskaičiuojamas sumuojant poliaus ašies nuosėdį su poliaus viršaus taško poslinkiu. Išraiška atrodo šitaip [8]:

$$S_p = \frac{Q \cdot L}{A \cdot E_p} + q \cdot D \cdot \frac{1-\mu^2}{E_s} \cdot m \cdot I_s \cdot I_F \cdot F_L; \quad (6)$$

čia L – poliaus ilgis (m); A – poliaus skerspjūvio plotas (m^2); E_p – poliaus medžiagos tamprumo modulis (N/m^2); q – charakteristinė apkrovos reikšmė (kN); E_s – grunto, po poliaus padu, deformacijų modulis (MPa); μ – grunto skersinių deformacijų (Puasono) koeficientas; $m I_s$ – pado formą įvertinantis koeficientas; I_F – įgilinimą įvertinantis koeficientas; F_L – redukcijos koeficientas.

Metodas geras tuo, kad įvertina ne tik grunto, bet iš pačio polio deformacijas t. y. pačio poliaus susispaudimą nuo vertikalios apkrovos, kas, ypač ilgiems poliams, gali sudaryti iki ~10 proc. viso pamato nuosėdžio.

2.5. Tiesiškai deformuojamo puserdvio metodas (STR 2.05.21:2016)

Nuosėdžiui vienalyčiuose sankibiuose ir biriuosiuose gruntuose skaičiuoti, reglamentas pateikia modifikuotą tamprumo teorijos lygtį, kai naudojama tiesiškai deformuojamo puserdvio skaičiuotinė schema [12]. Išraiška atrodo šitaip:

$$s = \frac{\sigma_{zp0} \cdot B \cdot f}{E}; \quad (7)$$

čia f – nuosėdžio koeficientas, randamas pagal formulę:

$$f = (1 - \nu^2) \cdot \omega; \quad (8)$$

ω – koeficientas, įvertinantis pamato pado formą ir matmenis, pamato standumą ir taško, kuriame skaičiuojamas nuosėdis, padėtį; σ_{zp0} – įtempiai gylyje z (MPa); E – grunto deformacijų modulis (MPa); ν – grunto skersinių deformacijų (Puasono) koeficientas; B – pamato plotis (m).

Metodas nerekomenduojamas skaičiuojant pamatą nehomogeniniuose gruntuose [12].

2.6. Tercagio metodas

a) Pagal Tercagio teoriją smėliniams gruntams standumas skaičiuojamas [31],

- kai $u > 0,0002D$, tai pagrindo standumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C_z = L_h \cdot \frac{z}{D}, \quad (9)$$

- kai $u \leq 0,0002D$, tai pagrindo standumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C_z = L'_h \cdot \frac{z}{D}, \quad (10)$$

čia:

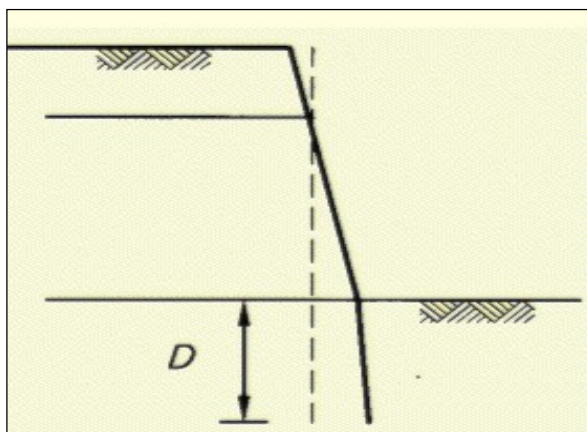
u – atraminės sienelės poslinkis (m);

D – atraminės sienelės įgilinimas (m);

C_z – pagrindo standumo modulis (kN/m^3);

L_h ir L'_h – konstantos, kurių reikšmės priklauso nuo tankumo laipsnio (I_D) ir kūginio stiprumo (q_c) (kN/m^3);

z – nagrinėjamojo taško gylis nuo žemės paviršiaus (sienelės viršaus) (m) (žr. 7 ir 8 pav.).



7 pav. Atraminės sienelės schema [16]

Šių (11) ir (12) formulių nariai (u , D , L_h ir L'_h) yra tam tikro dydžio konstantos. Taigi net neatlikus skaičiavimų pagal šias dvi formules galima gan tiksliai parinkti standumo reikšmes iš 3 lentelės. Reikia žinoti pagrindo kūginį stiprumą (q_c) ir tankumo laipsnį (I_D). Gruntas pagal tankumą skirstomas: purus, kai $q_c = 2,0$ (MPa), vidutinio tankumo, kai $q_c = 4,5$ (MPa), tankus, kai $q_c = 8,5$ (MPa) ir labai tankus, kai $q_c = 12$ (MPa). Nuo šios gruntų klasifikacijos priklauso ir pagrindo standumas, kuris pateiktas 3 lentelėje.

Taigi formules (1.18, 1.19) galima užrašyti taip, jeigu santykis (z/D) lygus 1 (m):

$$C_z = L_h, \quad (11)$$

$$C_z = L'_h, \quad (12)$$

2 lentelė. Konstantų (L_h) ir (L'_h) reikšmės [31]

Parametrai	Reikšmės L_h , (kN/m^3), q_c , (MPa)			
	Purus	Vidutinio tankumo	Tankus	Labai tankus
Tankumo laipsnis I_D	0,15 – 0,35	0,35 – 0,65	0,65 – 0,85	0,85 – 1,0
Kūginis stiprumas q_c	2,0	4,5	8,5	12
Konstanta L sausiams ir drėgniems smėliams	800	2600	6400	14 000
L_h	40 000	64 000	96 000	130 000
L'_h				
Konstanta L smėliams, esantiems žemiau vandens lygio				
L_h	500	1600	4200	9000
L'_h	24 000	38 500	57 600	80 000

b) *Standumo išraiška smėliniams gruntams, įvertinant vertikalius ir horizontalius efektyviusius grunto įtempius* [31]:

$$C_z = \frac{L_h}{\gamma} \cdot \frac{0,5 \cdot (\sigma'_v + 2 \cdot \sigma'_{hi})}{D}, \quad (13)$$

čia:

σ'_v – vertikalūs efektyvieji įtempiai (kPa);

σ'_{hi} – horizontalūs efektyvieji įtempiai (kPa).

Norint apskaičiuoti standumą pagal (1.22) formulę reikia žinoti horizontalius (σ'_{hi}) ir vertikalius (σ'_v) efektyviusius įtempius, sienelės įgylinimą (D) ir grunto vienetinį svorį (γ).

c) *Pagal Tercagio teoriją moliniams gruntams standumo koeficientas skaičiuojamas* [31]:

- *kai laisvai paremta atraminė sienelė* (1.14 pav.),

$$k_z = \frac{1}{14,75} \cdot \frac{k_{sl}}{D}, \quad (14)$$

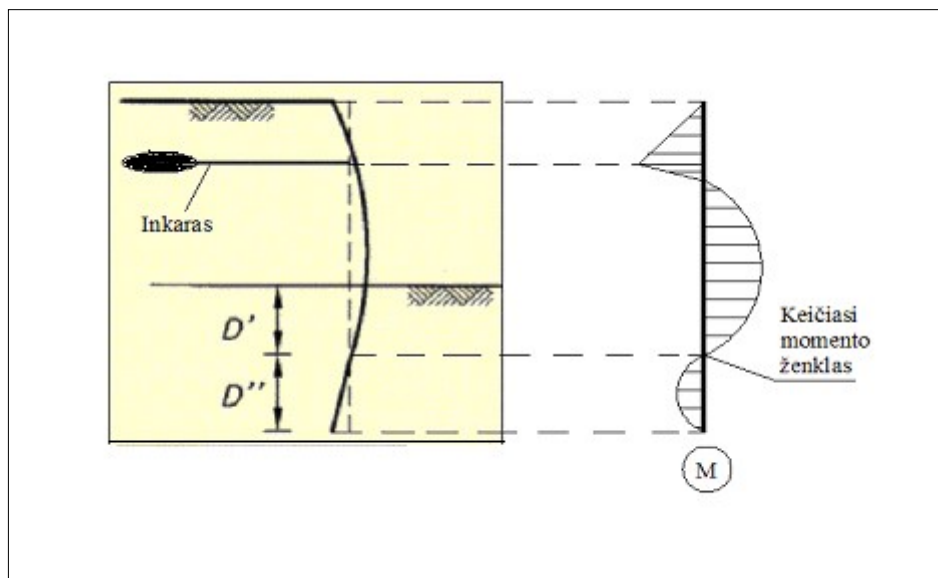
- *kai įtvirtinta inkaru atraminė sienelė* (1.15 pav.),

$$k_z = \frac{1}{14,75} \cdot \frac{k_{sl}}{D'} = \frac{1}{14,75} \cdot \frac{k_{sl}}{D''}. \quad (15)$$

Taigi žinant sienelės įgylinimą (D) ir konstantos ($k_{sl} = C_z$) reikšmę, kuri imama iš 2 lentelės priklausomai koks molinis gruntas, randamas standumas. Iš 1.3 lentelės *molinis gruntas* skirstomas: silpnas, kai $c_u = 20$ (kN/m²), mažo standumo, kai $c_u = 20 - 50$ (kN/m²), standus, kai $c_u = 100 - 200$ (kN/m²), kietas, kai $c_u > 200$ (kN/m²).

3 lentelė. Konstantos (k_{sl}) reikšmės moliniam gruntui [31]

Molis	Silpnas	Mažo standumo	Standus	Labai standus	Kietas
c_u , (kN/m ²)	< 20	20 – 50	50 – 100	100 – 200	> 200
k_{sl} , (kN/ m ³)	< 8000	8000 – 16 000	16 000 – 32 000	32 000 – 64 000	> 64 000



8 pav. Atraminės sienelės schema (inkaruota sienelė) [16]

2.7. Menardo metodas

Tai standartinis efektyvus metodas grunto suspaudžiamumui tirti gręžiniuose. Presiometru galima bandyti gruntus iki 20 m gylio [27].

Pagrindo standumas apskaičiuojamas pagal formulę [31]:

$$C_h = E_M \cdot \left(\alpha' \cdot \frac{a}{2} + 13 \cdot (9 \cdot a \cdot 10^{-4})^a \right)^{-1}, \quad (16)$$

čia:

E_M – Menardo presiometrinis tamprumo modulis (pseudo – elastinėje zonoje) (kN/m²);

α' – koeficientas, pateiktas 1.4 lentelėje;

a – ilgis (m);

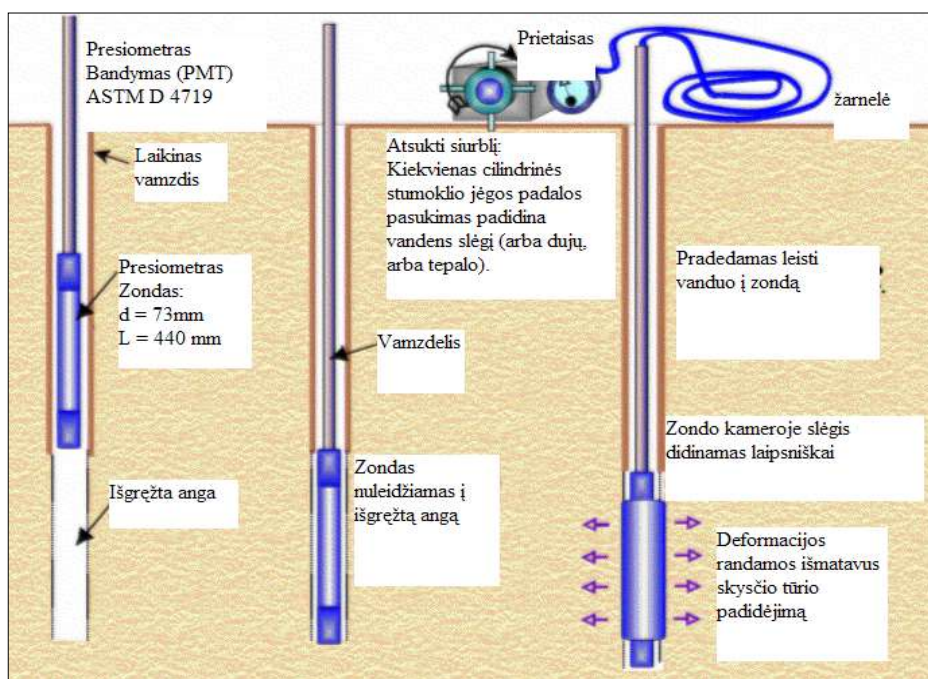
- $a = \frac{2}{3}D$, kai inkaruota atraminė sienelė (m);
- $a = D$, kai laisvai paremta atraminė sienelė (m).

Presiometrą sudaro trys pagrindiniai įtaisai:

1. Presiometro zondas;
2. Vamzdelis;
3. Manometras.

Pagrindinė presiometro dalis yra zondas. Tai elastingas guminis storasienis vamzdis, padalytas į tris kameras [27]. Zondas nuleidžiamas (1.16 pav.) į gręžinį, per vamzdelį į kameras tiekiamas suslėgtas skystis ar dujos (žr 9 pav.).

Slėgis zondo kameroje didinamas laipsniškai po 0,025...0,1 MPa. Jo veikiamas gruntas apie zoną deformuojamas radialiaja kryptimi. Deformacijos randamos išmatavus skysčio tūrio padidėjimą zondo kameroje, rečiau – betarpiškai išmatavus zondo vidurinės kameros sienelių radialiuosius poslinkius specialiais davikliais [27].



9 pav. Menardo presiometro veikimo schema [15]

Menardo presiometrinis tamprumo modulis (pseudo – elastingėje zonoje) skaičiuojamas [31]:

$$E_M = (1 + \nu) \cdot V_m \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}, \quad (17)$$

čia:

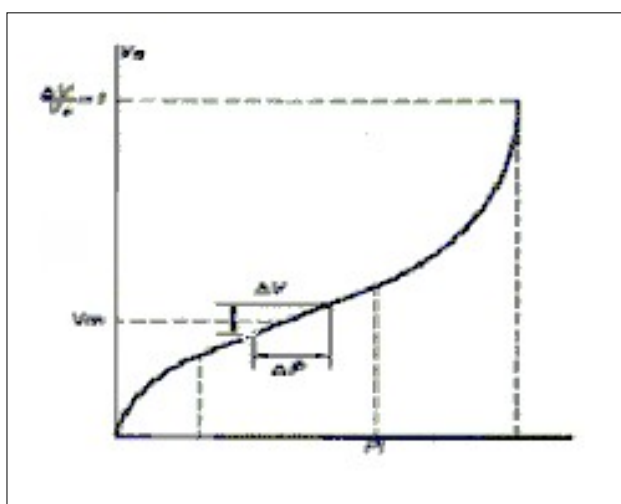
ΔV – tūrio pokytis cilindrinės formos gręžinyje (pseudo – elastingoje zonoje) (m^3);

Δp – slėgio riba tarp pseudo – elastingos ir plastinės zonų (kPa);

V_m – presiometro zondo tūris (m^3);

ν – Puasono koeficientas (imamas dažniausiai 0,33 arba parenkamas iš [2]).

Bandymo presiometru yra du metodai: greitas ir lėtas. Bandant greituoju metodu, tariama, kad veikiant kiekvienam apkrovos laipsniui, grunto deformacijos prieaugis smėliams ne didesnis kaip 0,1 mm per 3 min ir moliniams gruntams – per 6 min. Bandant lėtuoju metodu, ta trukmė smėliams yra 15...30 min ir moliniams gruntams – 30...60 min. Dirbant greituoju metodu, visas bandymas trunka 0,5...1 h, dirbant lėtuoju metodu, - keliolika valandų, kartais visą parą ir ilgiau [27].



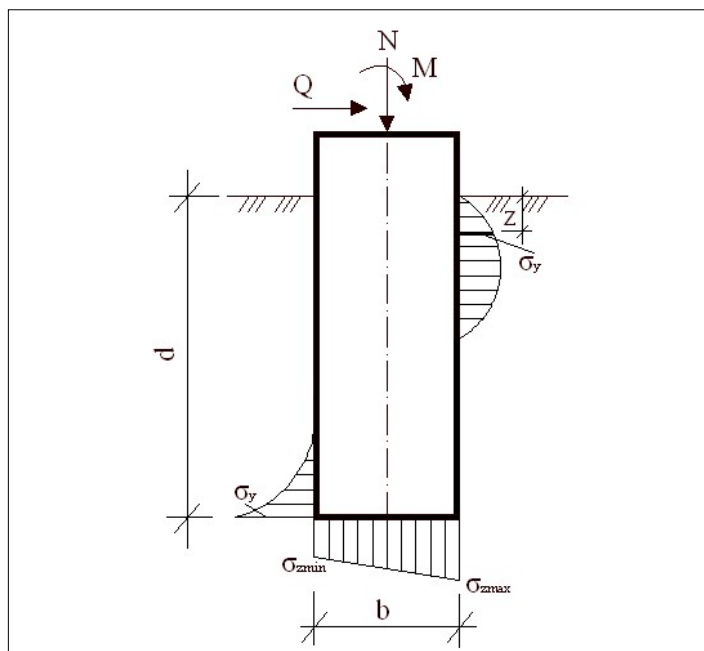
10 pav. Slėgio ir tūrio priklausomybė [17]

4 lentelė. Koeficiento (α') reikšmės [31]

Situacija	Durpės	Molis	Dumblas	Smėlis	Smėlis ir žvyras
Perkonsoliduotas	1	1	2/3	1/2	1/3
Normaliai konsoliduotas	1	2/3	1/2	1/3	1/4
Nekonsoliduotas	–	1/2	1/2	1/3	1/4

2.8. Pagrindo standumo įvertinimo giliesiems pamatams metodas

Skaičiuojant giliųjų pamatų pagrindo įtempius, laikoma, kad pamatas standus, o gruntas tamprus, tiesiškai deformuojamas kūnas. Standžiais laikomi gilieji pamatai, kurių gylio ir pločio santykis $d/b \leq 10$ (11 pav.). Kai jis didesnis, pamatas yra liaunas ir tai yra ne gilusis pamatas, o polis.



11 pav. Giliojo pamato schema [sukurta autoriaus]

Grunto savybės apibūdinamos grunto standumo moduliu (C_z), matuojamu (kN/m^3) ir rodančiu tiesinę grunto įtempių bei deformacijų priklausomybę (pagal Fuso – Vinklerio teoriją) [27].

Prie giliojo pamato šonų grunto standumo modulis, einant gilyn, didėja pagal tiesinį dėsnį [27]:

$$C_y = kz, \quad (18)$$

čia:

k – proporcingumo koeficientas, randamas 5 lentelėje, sluoksniuotam gruntui imamas svertinis vidutinis (MN/m^4);

z – nagrinėjamojo taško gylis nuo žemės paviršiaus (m).

Po giliojo pamato padu grunto standumo modulis pagal [27] formulę:

$$C_z = k_p d, \quad (20)$$

čia:

k_p – proporcingumo koeficientas, randamas 5 lentelėje (MN/m^4);

d – pamato gylis nuo žemės paviršiaus (m).

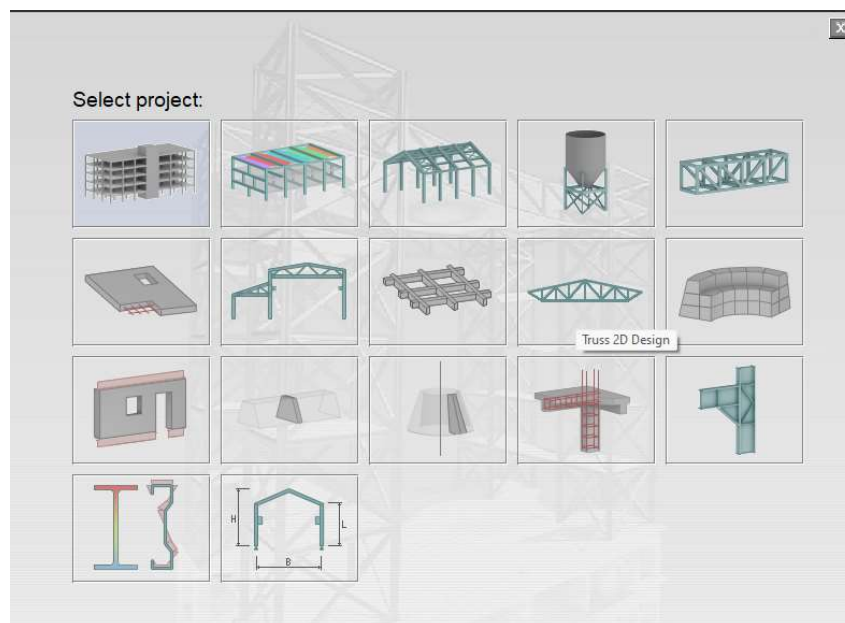
Koeficientų (k) ir (k_p) didžiausios reikšmės 5 lentelėje atitinka mažiausias (I_L) ir (e) reikšmes ir atvirkščiai – mažiausios (k) ir (k_p) reikšmės atitinka didžiausias (I_L) ir (e) reikšmes. Tarpinių (I_L) ir (e) reikšmių koeficientai (k) ir (k_p) randami interpoliuojant. Tankių smėlių koeficientai (k) ir (k_p) imami 30 % didesni negu lentelėje pateiktos didžiausios reikšmės. Čia: I_L – takumo rodiklis; e – grunto poringumo koeficientas.

5 lentelė. Proporcingumo koeficientai (k) ir (k_p), (MN/m⁴) pagal [27]

Gruntai	k	k_p
Moliai ir priemoliai, kurių $0,75 < I_L \leq 1,0$	0,65 – 2,0	0,5 – 2,0
Moliai ir priemoliai, kurių $0,5 < I_L \leq 0,75$, priesmėliai, kurių $0 < I_L \leq 1,0$, dulkiniai smėliai, kurių $0,6 \leq e \leq 0,8$	2,5 – 5,0	2,0 – 4,0
Moliai ir priemoliai, kurių $0 < I_L \leq 0,5$, priesmėliai, kurių $I_L \leq 0$, smulkūs smėliai, kurių $0,55 \leq e \leq 0,7$	5,0 – 8,0	4,0 – 6,0
Moliai ir priemoliai, kurių $I_L \leq 0$, stambūs smėliai, kurių $0,55 \leq e \leq 0,7$	8,0 – 13,0	6,0 – 10,0
Žvyriniai smėliai, kurių $0,55 \leq e \leq 0,7$, gabaliniai gruntai su smėlio užpildu	–	10,0 – 20,0

2.9. Skaičiavimas, pasinaudojant programa „Robot Structural Analysis Professional“

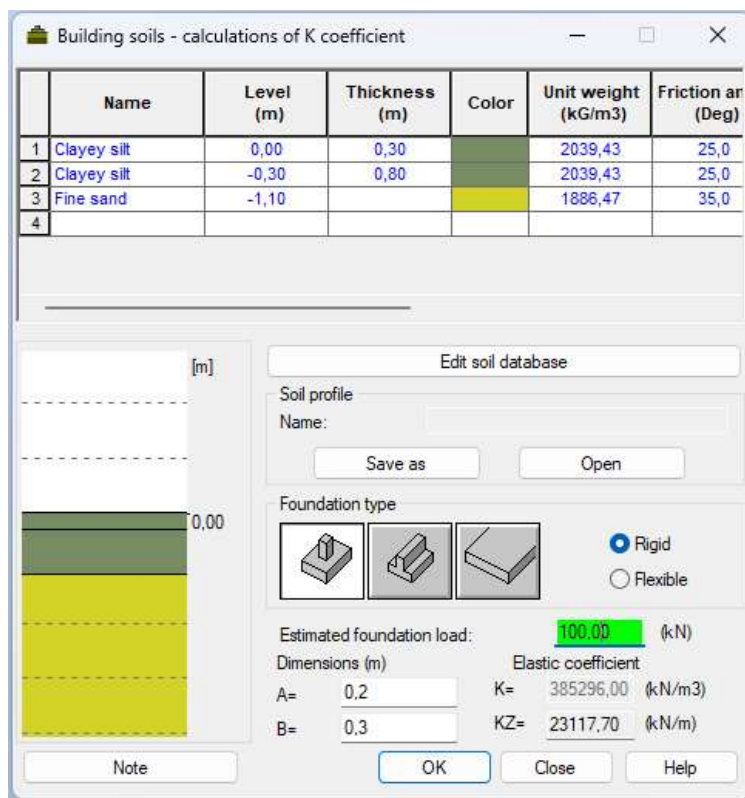
Programa „*Robot Structural Analysis Professional*“ (toliau RSAP) yra „Autodesk“ gamintojo, baigtinių elementų modeliavimu pagrįsta programa, skirta įvairioms konstrukcijoms skaičiuoti. Vartotojo darbo palengvinimui, galima rinktis įvairias modeliavimo aplinkas (žr. 12 pav.), tokias kaip „2D frame design“ (dvimatis rėmų projektavimas), „3D frame design“ (trimatis rėmų projektavimas), „Truss design“ (santvarų projektavimas) ir pan.



12 pav. Programos RSAP pradžios langas su projektavimo aplinkos pasirinkimais

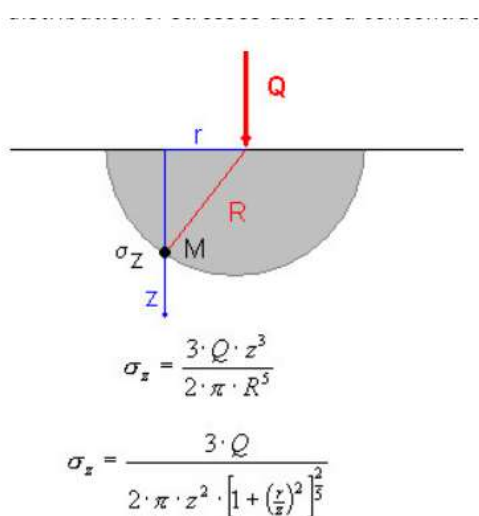
Kiekviena iš aplinkų turi tik tam tikrą įrankių visumą, reikalingą konkrečiai konstrukcijai projektuoti. Viena iš programos RSAP aplinkų yra „RC elements design“ (gelžbetoninių elementų projektavimas), kurioje galima modeliuoti ne tik gelžbetonio kolonas, sijas, bet ir pamatus. Tarp pamatų tipų pasirinkimų nėra polinio pamato, tačiau sukūrus apvalią gelžbetoninę koloną ir įvedus elastines atramas, būtų galima atlikti analizę, artimą polinio pamato skaičiavimams.

Programa turi galimybę sukurti elastines atramas, kurias reprezentuoja tam tikro standumo spyruoklės. Spyruoklių standumą galima apskaičiuoti tampraus puserdvio skaičiuotinės schemos formulėmis arba pasitelkti programos RSAP integruota standumo skaičiuokle „Soil calculator“ (gruntų skaičiuoklė) (žr. 13 pav.).



pav. 13. Programos RSAP integruota gruntų standumo skaičiuoklė „Soil calculator“

Viršutiniame sąrašė įvedamas norimas skirtingų gruntų sluoksnių skaičius, gruntus pasirenkant iš duomenų bazės. Sąrašas neapsiriboja tik 13 duomenų bazėje esančių gruntų. Duomenų bazę gali pildyti vartotojas, sukurdamas naujus gruntus su reikiamais parametrais. Kiekvienas iš gruntų turi 26 skirtingus parametrus. Daugelis jų įtakoja tiek pamatų, tiek gruntų standumo skaičiavimą ir jų ypatumus. Keletas jų nėra tokie svarbūs (grunto atvaizdavimo spalva, tipas, atskyrimo simbolis ir pan.) ir skaičiavimams įtakos neturi. Paspaudus mygtuką „help“, vartotojas nukreipiamas į puslapį, kuriame aprašomas standumo skaičiavimo algoritmas. Spyruoklės standumui programa naudoja *Boussinesque* formulės išvestinę, kuri apibūdina vidutinius įtempius po stačiakampiu plotu (žr. 14 pav.).



14 pav. *Boussinesque* formulės išvedimas ir įtempių pasiskirstymo schema elastiniame puserdvyje, po koncentruota jėga [<https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2021/ENU/>]

Spyruoklės standumas po stulpiniu (kolonos) pamatu gaunamas kN/m dimensijoje, o po juostiniu (linijiniu) pamatu ir po plokštuminiu pamatu atitinkamai kN/m² ir kN/m³. Į skaičiuojamąjį modelį įvedus tam tikro standumo atramas ir sudėliojus apkrovas, rezultatų aplinkoje gaunama elemento deformacija, kuri reprezentuoja poliaus nuosėdį. Nuosėdis gali būti matuojamas bet kuriame elemento ilgio taške. Apatiniame taške gaunamas tik grunto susispaudimas, o viršutiniame – grunto susispaudimas kartu su pačio poliaus deformacija. Kurią iš šių reikšmių naudoti projektuotojas nusprendžia pagal situaciją.

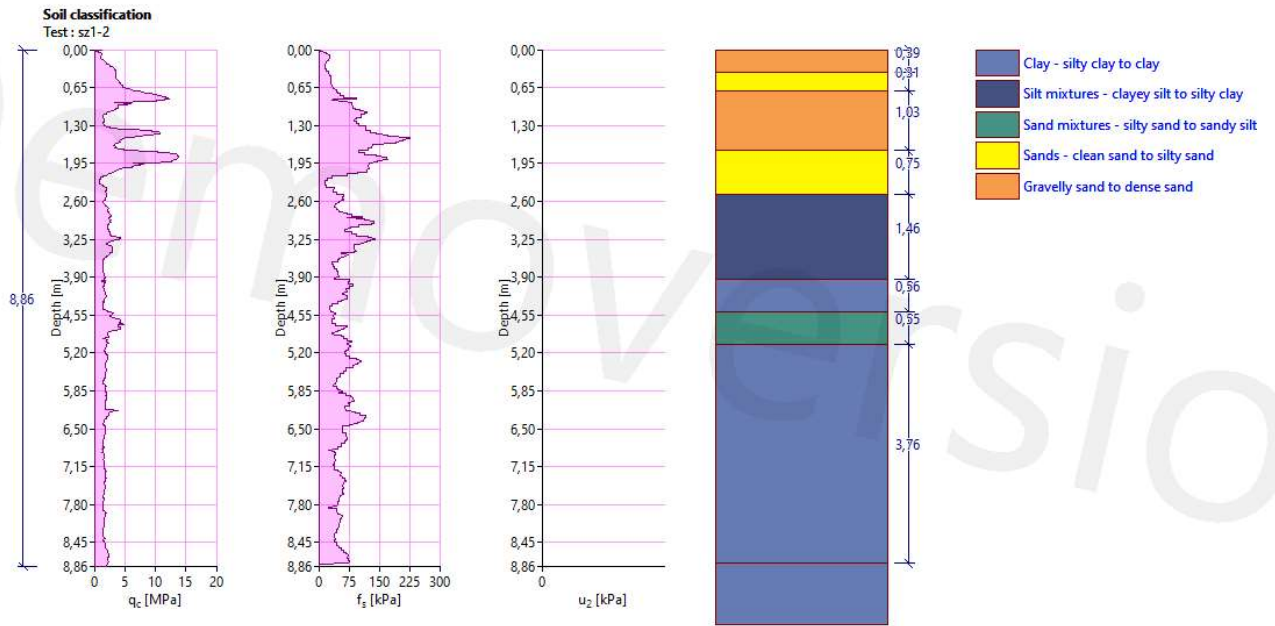
Nepaisant didelės programos RSAP kainos, šis metodas turi dar vieną didžiulį pranašumą prieš kitus. Pasižiūrėjus deformacijas, galima nesunkiai pereiti prie poliaus kaip gelžbetoninio elemento skaičiavimų, nes modelyje gaunamos visos įrašos. Elementas gali būti patikrintas saugos ribiniam būviui, įvertinant jo liaunį, taip pat parinktas reikiamas armavimas.

2.10. Skaičiavimas pasinaudojant GEO5 programinio paketo programa „Pile CPT“

Kompanija GEO5 siūlo didelį programų rinkinį viename pakete. Rinkinyje yra 29 programos, skirtos skaičiuoti ne tik pamatus, bet ir įvairias požemines konstrukcijas, tokias kaip: atraminės sienutės, gabionai, sutvirtinti ir nesutvirtinti šlaitai, tuneliai ir daugybė kitų. Kiekviena iš šių 29 programų yra skirta konkrečiai konstrukcijai skaičiuoti. Šiame darbe konkrečiai nagrinėjama programa „Pile CPT“ skirta pavieniui poliui skaičiuoti, pasinaudojant kūgio spraudos bandymo (angl. Cone Penetration Test (sutrump. CPT)) duomenimis.

Priešingai negu praeitame skyriuje nagrinėta baigtinių elementų programa, „Pile CPT“ nekuria nei grunto masyvų, nei pačio poliaus baigtinių elementų. Ji panašesnė į automatizuotą skaičiuoklę, kur suvedant duomenis gaunamas konkretus rezultatas. Joje galima pasirinkti pagal kokią metodiką bus atlikta analizė ir pagal kokias normas bus tikrinama atitiktis reikalavimams. Europos sąjungoje projektuojant konstrukcijas, jos turėtų atitikti Eurokodų reikalavimus, juos pakoreguojant pagal tam tikros šalies nacionalinius priedus. Šiam darbui pati analizė bus atliekama pagal NEN 6743 standartą. Jis aprašo metodiką maksimalaus slėgio po poliūmi apskaičiavimui, kai yra žinomi statinio zondavimo (CPT) rezultatai. Pagal šią metodiką programoje yra integruotos, iš anksto sukurtos diagramos iš kurių išvedama poliaus nuosėdžio reikšmė.

Šio metodo pranašumas prieš kitus paminėtus, tai kad programa priima statinio zondavimo duomenis įvairiais formatais. Daugelis kūgio spraudos bandymą atliekančių aparatų, zondavimo duomenis išveda tam tikru formatu (geo, xlsx, txt ar pnš.). Bet kurio iš šių formatų failas gali būti įkeltas tiesiai į programą, kur tada bus nubrėžtas kūginio stiprumo ir šoninės trinties stiprumo grafikas. Iš šių grafikų programoje sukuriama gruntų sluoksniai pagal Robertsono 2010 m. metodiką (15 pav.).



15 pav. Įkeltos CPT rezultatų diagramos ir automatiškai sukurti gruntų sluoksniai

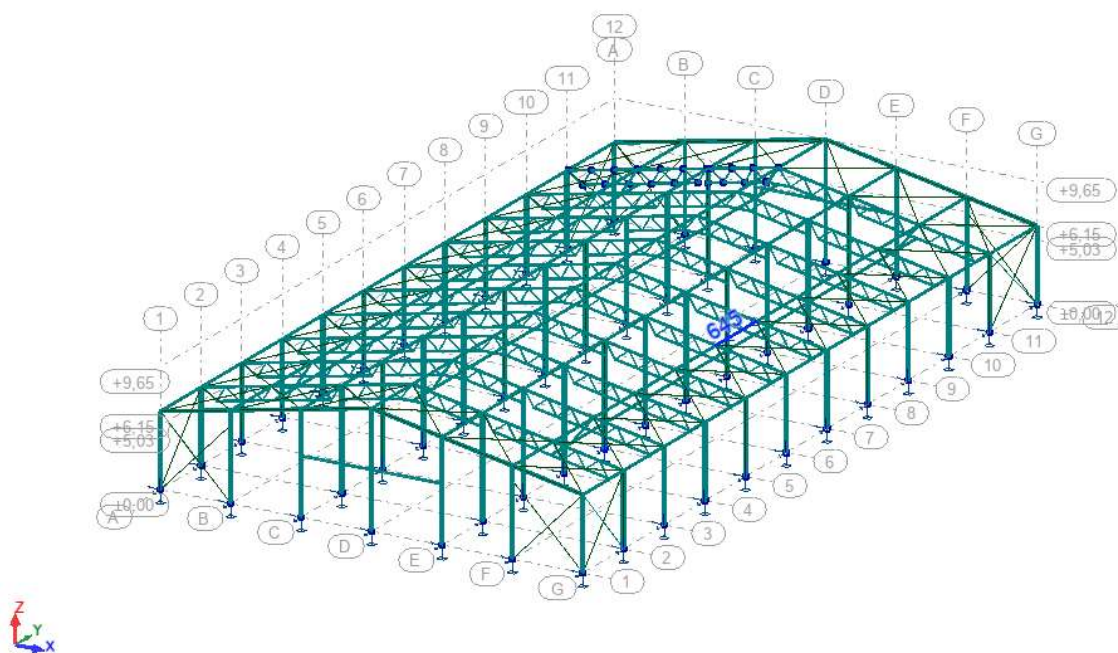
Įvedami papildomi duomenys, tokie kaip pasirodžiusio vandens lygis, pačio poliaus geometrija ir įgilinimas. Rezultatai akimirksniu gaunami sekančiame lange.

3. Tiriamoji dalis

Modelio skaičiavimai atliekami naudojant polio viršuje pridėtų vertikalių apkrovų ir įtempių polio pado lygyje reikšmes. Lyginami antrame skyriuje aprašytais metodais apskaičiuoti polio nuosėdžiai. Praktinėje veikloje polis turi būti apkrautas iki tiesinės priklausomybės tarp apkrovos ir nuosėdžio pabaigos, todėl svarbiausios yra reikšmės apskaičiuotos iki tamprumo ribos.

3.1. Pastato skaičiuojamoji schema

Racionaliam pamatui parinkti ir logiškomis apkrovoms (atraminėms reakcijoms) gauti, buvo kuriamas pastato baigtinių elementų modelis (žr. 16 pav.). Modelis kuriamas naujai statomam sandėliavimo paskirties pastatui, kuris statomas Kėdainių rajone.



16 pav. Pastato baigtinių elementų modelis programoje „RSA PRO“

Programoje buvo modeliuojama tik antžeminė pastato dalis. Visas modelis susideda tik iš strypinių baigtinių elementų. Apkrovas perduodantys plokštieji elementai – „claddings“ bendro pastato standumo neįtakoja. Apkrovų surinkimas ir deriniai atlikti pagal Eurokodo 1 reikalavimus. Nuolatinėms apkrovoms priskirtas konstrukcijų savasis svoris, kuris programoje apskaičiuotas automatiškai, priimant tūrinio svorio nominalias reikšmes. Kintamosioms apkrovoms priskirta sniego apkrova (I apkrovos rajonas – $1,20 \text{ kN/m}^2$), vėjo apkrova (I apkrovos rajonas – 24 m/s) ir stogų naudojimo apkrova (H kategorija – $0,40 \text{ kN/m}^2$). Visos kintamosios apkrovos parinktos atitinkamai pagal Eurokodo 1-2 ir 1-4 dalis. Apkrovų deriniai programoje sugeneruojami automatiškai, pagal pirmojo Eurokodo 1-1 dalį. Derinių sąrašas pateikiamas 3 lentelėje. Lentelėje naudojami apkrovimo variantų numeriai:

- 1 – nuolatinė apkrova (DL1);
- 2 – kintamoji apkrova – stogų naudojimo apkrova (H kat.)
- 3 – kintamoji apkrova – sniegas

Nuo 4 iki 7 – kintamosios vėjo apkrovos, kiekvienai iš 4 krypčių.

6 lentelė. Derinių sąrašas

Apkrovimo varianto numeris	Derinio formulė (ULS – saugos ribinis būvis; SLS:CHR – tinkamumo ribinis būvis, charakteristinis derinys; SLS:FRE – tinkamumoribinis būvis, dažninis derinys; SLS:QPR – tinkamumo ribinis būvis, tariamai nuolatinis derinys)
8	$ULS/1=1*1,35 + 2*1,50 + 3*0,75$ (lietuvių k. kableliai)
9	$ULS/2=1*1.35 + 2*1.50$
10	$ULS/3=1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90 + 3*0.75$
11	$ULS/4=1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90$
12	$ULS/5=1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90 + 3*0.75$
13	$ULS/6=1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90$
14	$ULS/7=1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90 + 3*0.75$
15	$ULS/8=1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90$
16	$ULS/9=1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90 + 3*0.75$
17	$ULS/10=1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90$
18	$ULS/11=1*1.35$
19	$ULS/12=1*1.00 + 2*1.50 + 3*0.75$
20	$ULS/13=1*1.00 + 2*1.50$
21	$ULS/14=1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90 + 3*0.75$
22	$ULS/15=1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90$
23	$ULS/16=1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90 + 3*0.75$
24	$ULS/17=1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90$
25	$ULS/18=1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90 + 3*0.75$
26	$ULS/19=1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90$
27	$ULS/20=1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90 + 3*0.75$
28	$ULS/21=1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90$
29	$ULS/22=1*1.00$
30	$ULS/23=1*1.35 + 4*1.50 + 3*0.75$
31	$ULS/24=1*1.35 + 4*1.50$
32	$ULS/25=1*1.35 + 5*1.50 + 3*0.75$
33	$ULS/26=1*1.35 + 5*1.50$
34	$ULS/27=1*1.35 + 6*1.50 + 3*0.75$
35	$ULS/28=1*1.35 + 6*1.50$
36	$ULS/29=1*1.35 + 7*1.50 + 3*0.75$
37	$ULS/30=1*1.35 + 7*1.50$
38	$ULS/31=1*1.00 + 4*1.50 + 3*0.75$
39	$ULS/32=1*1.00 + 4*1.50$

40	$U\text{LS}/33=1*1.00 + 5*1.50 + 3*0.75$
41	$U\text{LS}/34=1*1.00 + 5*1.50$
42	$U\text{LS}/35=1*1.00 + 6*1.50 + 3*0.75$
43	$U\text{LS}/36=1*1.00 + 6*1.50$
44	$U\text{LS}/37=1*1.00 + 7*1.50 + 3*0.75$
45	$U\text{LS}/38=1*1.00 + 7*1.50$
46	$U\text{LS}/39=1*1.35 + 3*1.50$
47	$U\text{LS}/40=1*1.35 + 4*0.90 + 3*1.50$
48	$U\text{LS}/41=1*1.35 + 5*0.90 + 3*1.50$
49	$U\text{LS}/42=1*1.35 + 6*0.90 + 3*1.50$
50	$U\text{LS}/43=1*1.35 + 7*0.90 + 3*1.50$
51	$U\text{LS}/44=1*1.00 + 3*1.50$
52	$U\text{LS}/45=1*1.00 + 4*0.90 + 3*1.50$
53	$U\text{LS}/46=1*1.00 + 5*0.90 + 3*1.50$
54	$U\text{LS}/47=1*1.00 + 6*0.90 + 3*1.50$
55	$U\text{LS}/48=1*1.00 + 7*0.90 + 3*1.50$
56	$S\text{LS:CHR}/1=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.50$
57	$S\text{LS:CHR}/2=1*1.00 + 2*1.00$
58	$S\text{LS:CHR}/3=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.60 + 3*0.50$
59	$S\text{LS:CHR}/4=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.60$
60	$S\text{LS:CHR}/5=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60 + 3*0.50$
61	$S\text{LS:CHR}/6=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60$
62	$S\text{LS:CHR}/7=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.60 + 3*0.50$
63	$S\text{LS:CHR}/8=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.60$
64	$S\text{LS:CHR}/9=1*1.00 + 2*1.00 + 7*0.60 + 3*0.50$
65	$S\text{LS:CHR}/10=1*1.00 + 2*1.00 + 7*0.60$
66	$S\text{LS:CHR}/11=1*1.00$
67	$S\text{LS:CHR}/12=1*1.00 + 4*1.00 + 3*0.50$
68	$S\text{LS:CHR}/13=1*1.00 + 4*1.00$
69	$S\text{LS:CHR}/14=1*1.00 + 5*1.00 + 3*0.50$
70	$S\text{LS:CHR}/15=1*1.00 + 5*1.00$
71	$S\text{LS:CHR}/16=1*1.00 + 6*1.00 + 3*0.50$
72	$S\text{LS:CHR}/17=1*1.00 + 6*1.00$
73	$S\text{LS:CHR}/18=1*1.00 + 7*1.00 + 3*0.50$
74	$S\text{LS:CHR}/19=1*1.00 + 7*1.00$
75	$S\text{LS:CHR}/20=1*1.00 + 3*1.00$
76	$S\text{LS:CHR}/21=1*1.00 + 4*0.60 + 3*1.00$
77	$S\text{LS:CHR}/22=1*1.00 + 5*0.60 + 3*1.00$
78	$S\text{LS:CHR}/23=1*1.00 + 6*0.60 + 3*1.00$

79	$SLS:CHR/24=1*1.00 + 7*0.60 + 3*1.00$
80	$SLS:FRE/25=1*1.00$
81	$SLS:FRE/26=1*1.00 + 4*0.20$
82	$SLS:FRE/27=1*1.00 + 5*0.20$
83	$SLS:FRE/28=1*1.00 + 6*0.20$
84	$SLS:FRE/29=1*1.00 + 7*0.20$
85	$SLS:FRE/30=1*1.00 + 3*0.20$
86	$SLS:QPR/31=1*1.00$

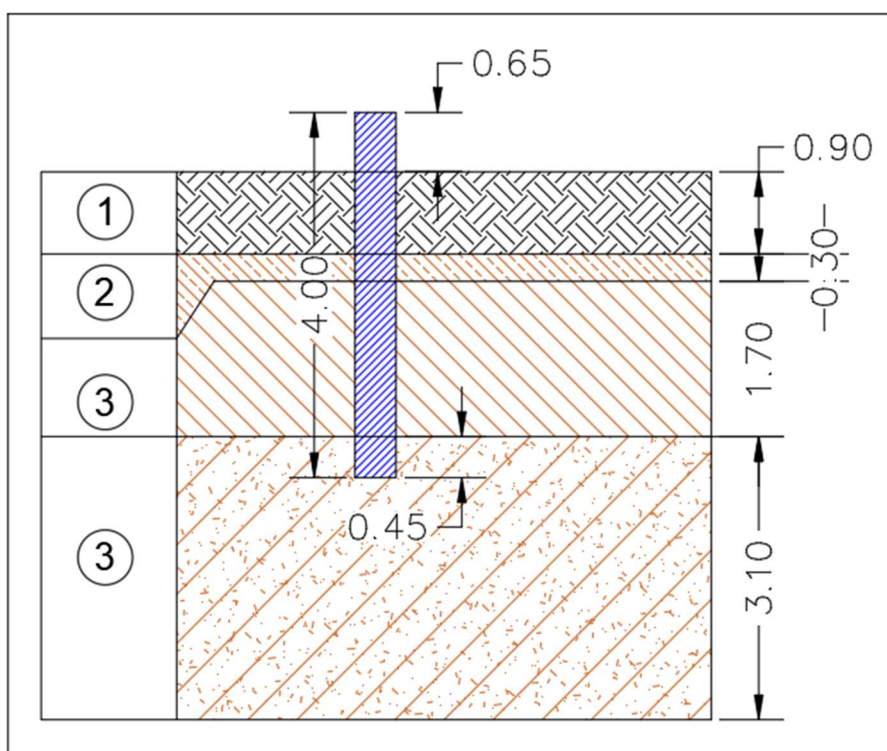
3.2. Polinio pamato skaičiuojamoji schema

Projektuojamo polinio pamato neveikia horizontalios jėgos ir lenkimo momentai. Kolona ant poliaus pritvirtinta lanksčiai. Analizei atlikti pasirinkti trijų ilgių ir trijų skirtingų skersmenų poliai. Iš derinių sąrašo taip pat išrinktos trys didžiausios vertikalios apkrovos. Tyrimų objektas randasi Kėdainių rajone. Nagrinėjamoje vietoje išskirti 4 gruntų sluoksnius, kurų parametrai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Gruntų sluoksnių aprašymas

IGS Nr.	Aprašymas	Vid. kūginis stiprumas, MPa	Vid. šoninės trinties stiprumas, kPa
1	Žvyringas smėlis su organinės medžiagos priemaiša	3,3	59
2	Vidutinio stiprumo mažo plastiškumo moreninis molis	1,7	75
3	Labai stiprus mažo plastiškumo moreninis molis	12,7	455
4	Tankus vidutinio rupumo smėlis	13,0	210

Trumpiausio ilgio polius įgilinamas tiek, kad į laikantįjį sluoksnį būtų įsikišęs ne mažiau kaip pačio polio skersmuo (žr. 17 pav.). Likusio skersmens ir ilgio poliai įgilinami remiantis ta pačia taisykle.



17 pav. 3,0 m ilgio ir 40 cm diametro polio įgilinimas į gruntą (skaičiuojamasis poliaus modelis)

Praeitame skyriuje pateiktame baigtinio elemento modelyje gautos atraminės reakcijos į pamatą. Iš visų derinių pasirenkamos trys didžiausios polių veikiančios vertikalios apkrovos reikšmės:

1. Derinys Nr. 8 – 228,77 kN.
2. Derinys Nr. 13 – 214,78 kN.
3. Derinys Nr. 14 – 117,44 kN.

Skaičiavimuose taip pat vertinami skirtingi poliaus skersmenys:

1. Apvalus, skersmuo – 40 cm.
2. Apvalus, skersmuo – 50 cm.
3. Apvalus, skersmuo – 60 cm.

Kiekvienai iš trijų apkrovų taip pat vertinami skirtingi poliaus ilgiai:

1. 4,0 m.
2. 5,0 m.
3. 6,0 m.

3.3. Palyginamosios analizės rezultatai

Nagrinėjami skaičiavimo metodai šiame darbe išskirti į dvi dalis (2 tipai). Pirmasis tipas – kompiuterinių programinių paketų naudojami metodai, o antrasis tipas – analitiniai, literatūroje aprašyti metodai, kurie susideda iš tam tikrų analitinių formulių. 8 lentelėje pateikti kompiuterinių programų rezultatai. Vertikaliai žemyn didinamas poliaus skersmuo ir mažinama vertikalė apkrova. Horizontaliai – didinamas poliaus ilgis.

8 lentelė Kompiuterinių programų rezultatai

Metodas	Poliaus ilgis – 4,0 m			Poliaus ilgis – 5,0 m			Poliaus ilgis – 6,0 m		
	Skersmuo, cm	Vertikali apkrova, kN	Nuosėdžio reikšmė, mm	Skersmuo, cm	Vertikali apkrova, kN	Nuosėdžio reikšmė, mm	Skersmuo, cm	Vertikali apkrova, kN	Nuosėdžio reikšmė, mm
RSA Pro	40	228,77	5,6	40	228,77	5,8	40	228,77	5,9
		214,78	5,3		214,78	5,4		214,78	5,6
		117,44	3,0		117,44	3,1		117,44	3,2
	50	228,77	4,5	50	228,77	4,6	50	228,77	4,8
		214,78	4,3		214,78	4,4		214,78	4,5
		117,44	2,5		117,44	2,6		117,44	2,7
	60	228,77	3,8	60	228,77	3,9	60	228,77	4,1
		214,78	3,6		214,78	3,7		214,78	3,9
		117,44	2,1		117,44	2,3		117,44	2,4
GEO5	40	228,77	7,1	40	228,77	5,3	40	228,77	4,5
		214,78	6,5		214,78	4,9		214,78	4,2
		117,44	3,2		117,44	2,5		117,44	2,1
	50	228,77	-	50	228,77	4,2	50	228,77	3,4
		214,78	-		214,78	3,9		214,78	3,2
		117,44	-		117,44	2,0		117,44	1,7
	60	228,77	-	60	228,77	-	60	228,77	2,8
		214,78	-		214,78	-		214,78	2,6
		117,44	-		117,44	-		117,44	1,4

Lentelėje aiškiai matyti, kad du, skirtingų kompiuterinių programų metodai ir jų gauti rezultatai skiriasi net iki 1,5 karto. Nepaisant šito skirtumo, tendencija nuosėdžio reikšmei mažėti, didinant skersmenį ir mažinant apkrovą, abiejuose metoduose išlieka ta pati. Nuosėdis proporcingai mažėja

ties, kiek sumažinama apkrova. Didinant skersmenį, nuosėdžio reikšmė sumažėja proporcingai ties, kiek padidėja pado skerspjūvio plotas. Pavyzdžiui skirtumas tarp 40 cm ir 50 cm skerspjūvio plotų yra 56 procentai, o skirtumas tarp nuosėdžių, kai poliaus skersmuo 40 cm ir 50 cm, svyruoja tarp 25 - 45 procentų. Visgi keičiant poliaus ilgį, rezultatų kitimo tendencijos abiejuose metoduose išsiskiria. Programos „RSA Pro“ naudojamame metode, didinant poliaus ilgį (pamato gylį) nuosėdis ne mažėja, o netgi šiek tiek didėja. Taip yra todėl, kad programoje „RSA Pro“ nėra įvertinama poliaus šoninė trintis. Programoje didinant poliaus ilgį, padidėja ir pačio pamato svoris, nes keičiasi pats baigtinis elementas, o kai šoninė trintis nevertinama ir grunto po poliaus padu savybės nesikeičia, tai nuosėdis turi šiek tiek didėti. Kitos kompiuterinės programos „Pile CPT“ metodikoje (NEN 6743 standartas), didinant poliaus gylį, poliaus nuosėdis mažėja vidutiniškai 25 procentus kiekvienam papildomam poliaus ilgio metrui.

9 lentelė Analitinių skaičiavimų rezultatai

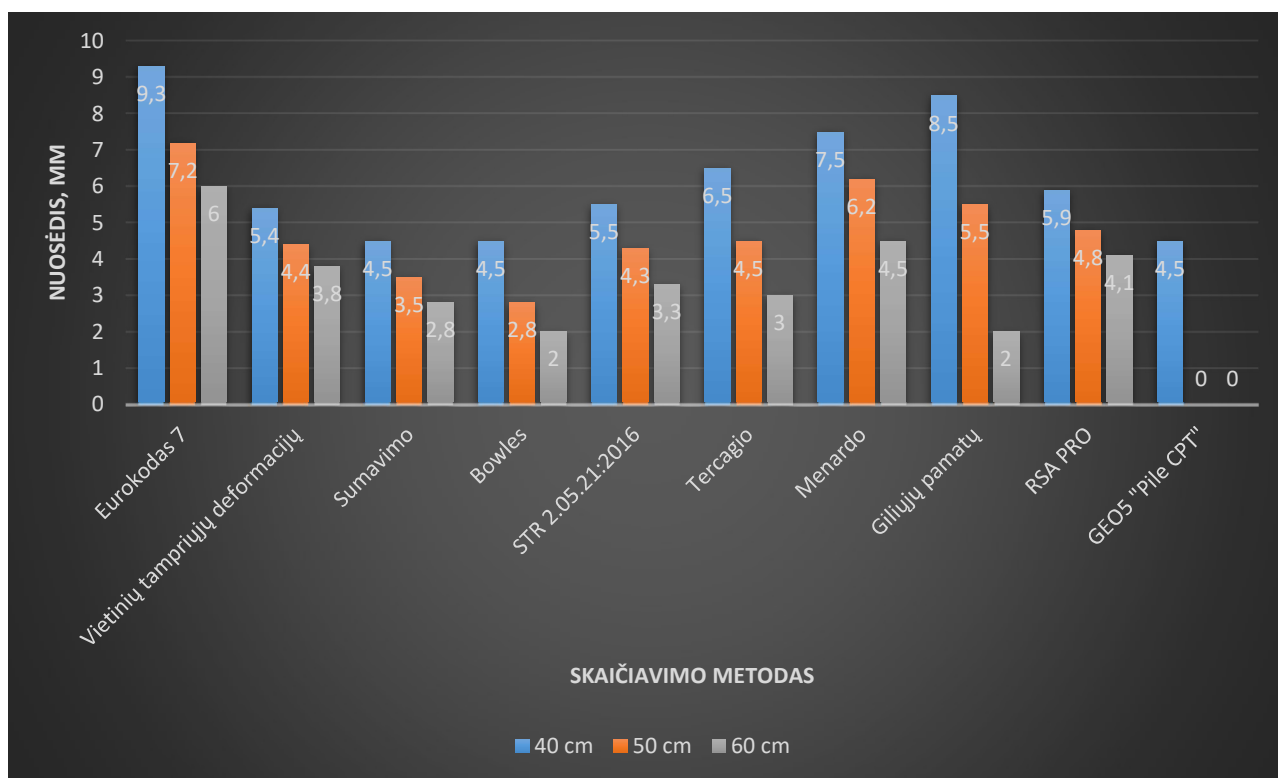
Metodas	Poliaus ilgis – 4,0 m			Poliaus ilgis – 5,0 m			Poliaus ilgis – 6,0 m		
	Skersmuo, cm	Vertikali apkrova, kN	Nuosėdžio reikšmė, mm	Skersmuo, cm	Vertikali apkrova, kN	Nuosėdžio reikšmė, mm	Skersmuo, cm	Vertikali apkrova, kN	Nuosėdžio reikšmė, mm
EC 7	40	228,77	9,3	40	228,77	6,3	40	228,77	4,0
		214,78	8,5		214,78	5,9		214,78	3,8
		117,44	4,5		117,44	3,2		117,44	2,2
	50	228,77	7,2	50	228,77	4,9	50	228,77	3,5
		214,78	6,8		214,78	4,6		214,78	3,3
		117,44	3,7		117,44	2,5		117,44	1,8
	60	228,77	6,0	60	228,77	4,0	60	228,77	2,8
		214,78	5,6		214,78	3,8		214,78	1,7
		117,44	3,1		117,44	2,1		117,44	0,9
Viet. tampr. def.	40	228,77	5,4	40	228,77	5,3	40	228,77	4,8
		214,78	5,1		214,78	5,0		214,78	4,5
		117,44	2,8		117,44	2,7		117,44	2,5
	50	228,77	4,4	50	228,77	4,7	50	228,77	4,0
		214,78	4,1		214,78	4,4		214,78	3,8
		117,44	2,3		117,44	2,4		117,44	2,1
	60	228,77	3,8	60	228,77	4,1	60	228,77	3,2
		214,78	3,6		214,78	3,8		214,78	3,0
		117,44	2,0		117,44	2,1		117,44	1,6
Sumavimo	40	228,77	4,5	40	228,77	2,8	40	228,77	2,0
		214,78	4,2		214,78	2,6		214,78	1,9
		117,44	2,3		117,44	1,3		117,44	1,1
	50	228,77	3,5	50	228,77	2,2	50	228,77	1,7
		214,78	3,3		214,78	2,1		214,78	1,6
		117,44	1,8		117,44	1,1		117,44	0,9
	60	228,77	2,8	60	228,77	1,9	60	228,77	1,5
		214,78	2,6		214,78	1,8		214,78	1,4
		117,44	1,4		117,44	1,0		117,44	0,8
Bowles	40	228,77	4,5	40	228,77	3,2	40	228,77	2,5
		214,78	4,2		214,78	3,0		214,78	2,5
		117,44	2,1		117,44	1,6		117,44	1,3
	50	228,77	2,8	50	228,77	2,5	50	228,77	1,9
		214,78	2,6		214,78	2,3		214,78	1,8
		117,44	1,5		117,44	1,3		117,44	1,0
	60	228,77	2,0	60	228,77	1,9	60	228,77	1,4
		214,78	1,9		214,78	1,8		214,78	1,3
		117,44	1,1		117,44	1,0		117,44	0,7
STR	40	228,77	5,5	40	228,77	4,0	40	228,77	3,0
		214,78	5,2		214,78	3,8		214,78	2,8
		117,44	2,8		117,44	2,1		117,44	1,5

	50	228,77	4,3	50	228,77	3,2	50	228,77	2,5	
		214,78	4,0		214,78	3,0		214,78	2,3	
		117,44	2,2		117,44	1,6		117,44	1,3	
	60	228,77	3,3	60	228,77	2,8	60	228,77	2,1	
		214,78	3,1		214,78	2,6		214,78	2,0	
		117,44	1,7		117,44	1,4		117,44	1,1	
	Tercagio	40	228,77	6,5	40	228,77	4,8	40	228,77	4,0
			214,78	6,1		214,78	4,5		214,78	3,8
			117,44	3,3		117,44	2,5		117,44	2,1
50		228,77	4,5	50	228,77	4,1	50	228,77	3,1	
		214,78	4,2		214,78	3,8		214,78	2,9	
		117,44	2,3		117,44	2,1		117,44	1,6	
60		228,77	3,0	60	228,77	2,6	60	228,77	2,2	
		214,78	2,8		214,78	2,4		214,78	2,1	
		117,44	1,5		117,44	1,3		117,44	1,1	
Menardo	40	228,77	7,5	40	228,77	6,0	40	228,77	5,1	
		214,78	7,0		214,78	5,6		214,78	4,8	
		117,44	3,9		117,44	3,1		117,44	2,6	
	50	228,77	6,2	50	228,77	4,9	50	228,77	4,4	
		214,78	5,8		214,78	4,6		214,78	4,1	
		117,44	3,2		117,44	2,5		117,44	2,3	
	60	228,77	4,5	60	228,77	4,0	60	228,77	3,2	
		214,78	4,1		214,78	3,9		214,78	3,0	
		117,44	2,2		117,44	2,3		117,44	1,6	
Giliųjų pamatų	40	228,77	8,5	40	228,77	6,1	40	228,77	5,2	
		214,78	8,0		214,78	5,7		214,78	4,9	
		117,44	4,4		117,44	3,1		117,44	2,7	
	50	228,77	5,5	50	228,77	5,1	50	228,77	4,3	
		214,78	5,2		214,78	4,8		214,78	4,0	
		117,44	2,8		117,44	2,6		117,44	2,2	
	60	228,77	2,0	60	228,77	3,7	60	228,77	3,2	
		214,78	1,7		214,78	3,5		214,78	3,0	
		117,44	1,0		117,44	1,9		117,44	1,5	

Lentelėje suvesti duomenys rodo, kad tendencija mažėti nuosėdžiui, kai didinamas poliaus skersmuo ir ilgis, vyrauja panaši visiems metodams. Visi šie metodai yra analitiniai, visi įvertina šoninės trinties stiprį, todėl didėjimo ir mažėjimo tendencija yra panaši. Pavyzdžiui didinant poliaus ilgį po 1 metrą, nuosėdis mažėja 15-25 procentais visuose skaičiavimų metoduose. Nepaisant panašaus nuosėdžio kitimo keičiant ilgį ir skersmenį, galutiniai rezultatai tarp skirtingų metodų gan žymiai skiriasi. Pavyzdžiui didžiausias nuosėdis, kai skersmuo 40 cm, o ilgis 6,0 m – 5,2 mm, o mažiausias – 2,0 mm. Reikšmės skiriasi daugiau negu 2 kartus (2,6 karto). Aiškesnis nuosėdžių kitimas, kai keičiasi skaičiavimo metodai, pateiktas 18 pav. pateiktame grafike.

Rezultatai skiriasi ne dėl to, kad viena formulė yra teisingesnė už kitą, o dėl to, kad kiekviena iš jų daro tam tikras prielaidas. Pavyzdžiui sumavimo metodas labiau skirtas nuosėdžiui skaičiuoti, kai pamatas įrengiamas sluoksniuotame grunte, nes skaičiavime sumuojami skirtingi sluoksniai. Tuo tarpu Menardo metodas gauna didesnes nuosėdžio reikšmes, nes jis įvertina pačio poliaus susispaudimą. Kitaip tariant formulėje yra narys, įvertinantis poliaus medžiagos tamprumą. Vėlgi, trumpiems poliams (iki 3 m) tas susispaudimas yra nedidelis ir, priklausomai nuo skersmens, siekia viso labo 0,2 - 0,5 mm. Didesnio ilgio poliams jis gali siekti daugiau kaip 1 mm, todėl konstruktorius, projektuodamas pamatus turi į tai atsižvelgti. Paklaidos, siekiančios daugiau kaip 1 mm, gali įtakoti per didelio polio skersmens parinkimą ir mažesnę pačio pamato racionalumą.

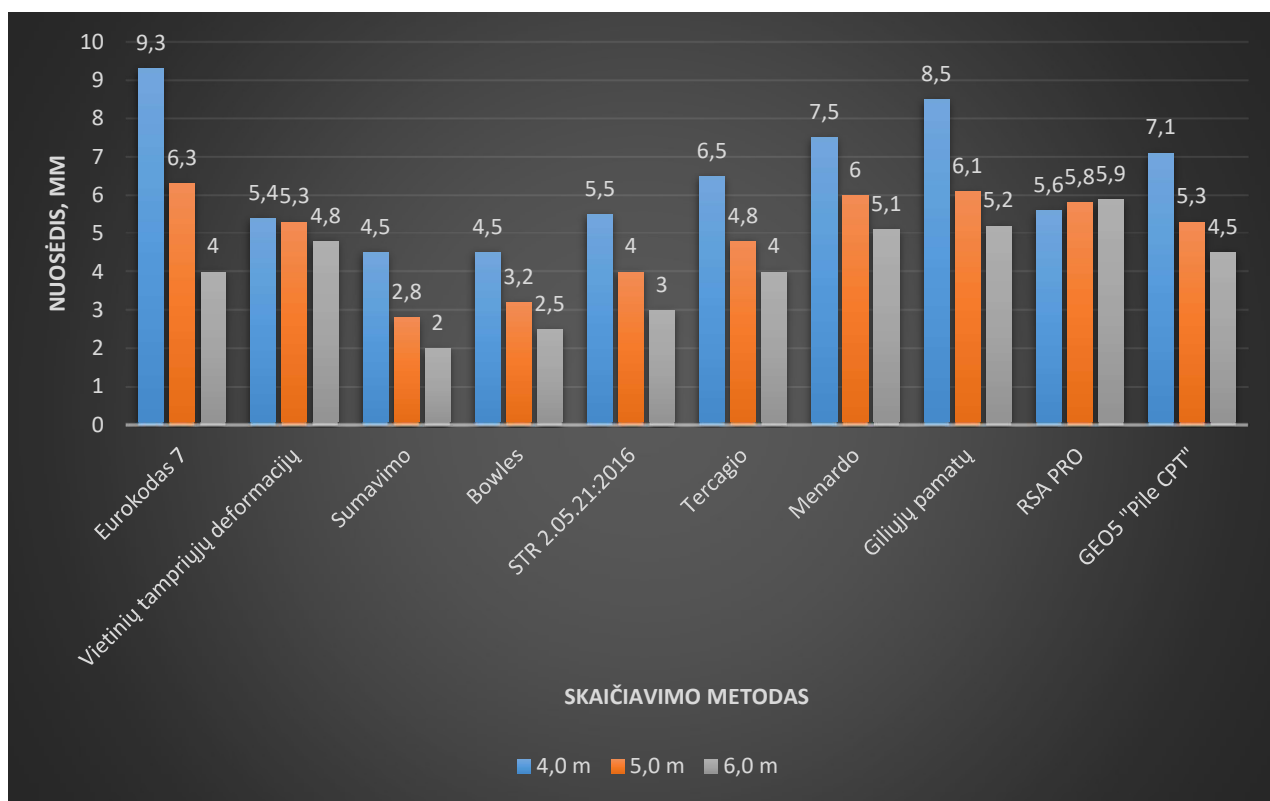
Sekančioje diagramoje (žr. 18 pav.) pateikta pamato nuosėdžio priklausomybė nuo skaičiavimo metodo. Skirtingų spalvų stulpeliai rodo skirtingą poliaus skersmenį. Vertikali apkrova – 228,77 kN. Poliaus ilgis – 4,0 m.



18 pav. Nuosėdžio priklausomybė nuo skaičiavimo metodo ir skersmens

Atlikus skirtingų skaičiavimo metodų palyginamąją analizę, nustatyta, kad programiniais paketais apskaičiuotas nuosėdis, didėjant skersmeniui mažėja nespārčiai t. y. 15-25 proc. Skaičiuojant analitiniais metodais, didėjant diametru nuosėdis mažėja drastiškiau – apie 25-45 proc. Prie programos „Pile CPT“ naudojamo metodo, kai diametras 50 cm ir 60 cm pavaizduoti nuliai. Programa turi sąlygų – poliumi įvardijamas tik toks pamatas, kurio ilgis yra didesnis negu 8 skersmenys. T.y. jeigu poliaus ilgis 4,0 m, o diametras 60 cm, tai programa rezultatų neišveda.

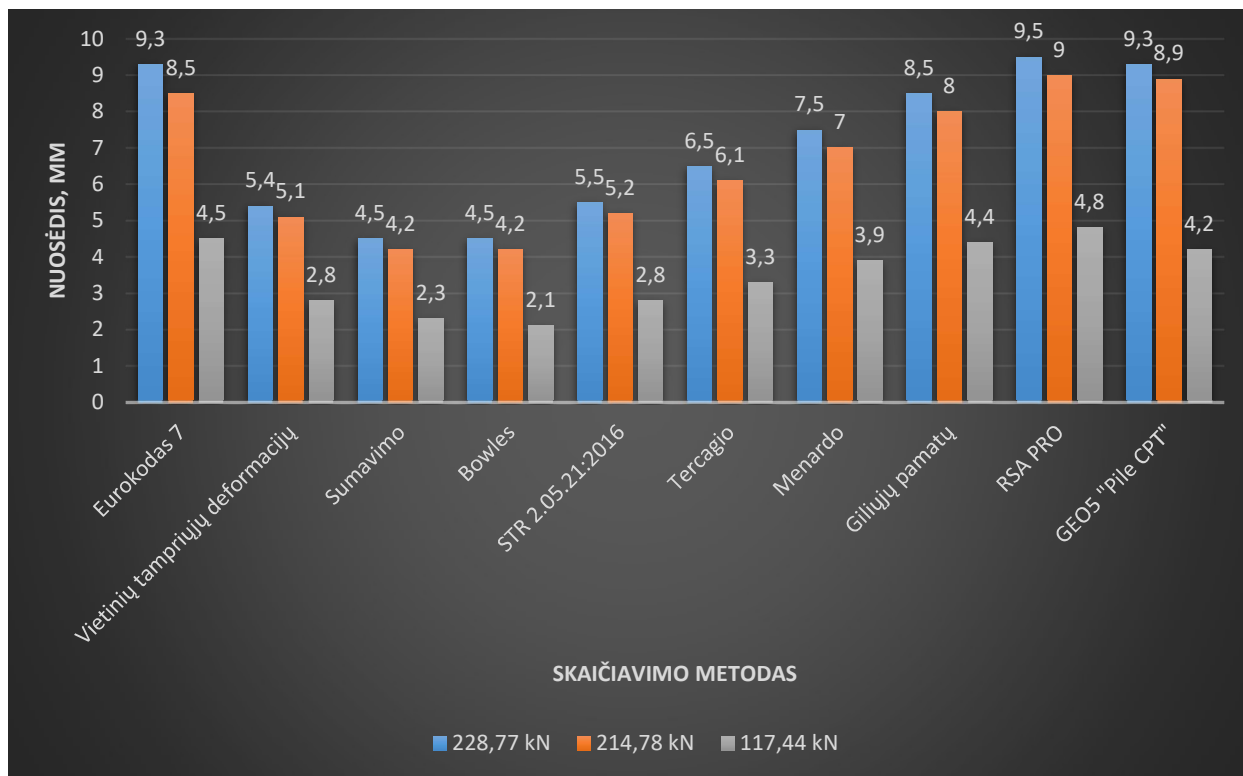
Sekanti diagrama (žr. 19 pav.) rodo kaip kinta nuosėdis, skaičiuojant skirtingais skaičiavimo metodais ir keičiant pačio poliaus ilgį. Poliaus skersmuo - 40 cm. Vertikali apkrova – 228,77 kN.



19 pav. Nuosėdžio priklausomybė nuo skaičiavimo metodo ir poliaus ilgio

Diagramoje (19 pav.) matyti, kad beveik visuose metoduose ilgėjant poliui, nuosėdis mažėja apie 15-25 proc. Skaičiuojant „RSA Pro“ metodu – nuosėdis didėja 1-3 procentus. Priežastis – nevertinama poliaus šoninė trintis. Didžiausias gautas nuosėdis, skaičiuojant pagal Eurokodą 7 – 9,3 mm, o mažiausias pagal sumavimo ir mokslininko Bowles metodą – 4,5 mm. Skirtumas – daugiau negu 2 kartai. Keičiantis poliaus ilgiui, didžiausias nuosėdžio sumažėjimas matomas Eurokodo 7 metode, kur 1 metro pailgėjimui, nuosėdis sumažėja ~30 procentų. Mažiausiai nuosėdis kinta skaičiuojant vietinių tamprųjų deformacijų metodu. Čia 1 m poliaus pailgėjimui, nuosėdis sumažėja tik 9 procentais.

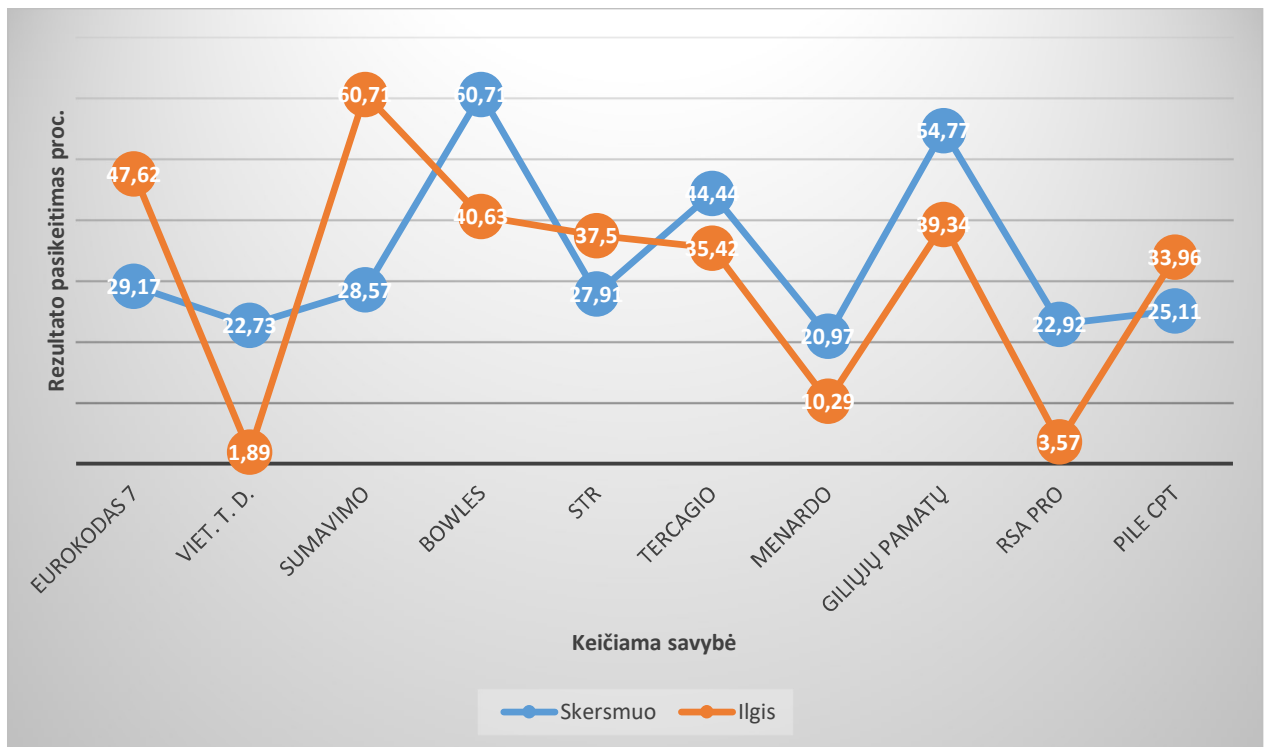
Sekančioje diagramoje (žr. 20 pav.) rodomas nuosėdžio kitimas, kai poliaus skersmuo ir ilgis vienodas (atitinkamai 40 cm ir 4,0 m). Keičiasi vertikali apkrova (atraminė reakcija).



20 pav. Nuosėdžio priklausomybė nuo skaičiavimo metodo ir vertikalios apkrovos

Skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios reikšmės tarp skirtingų metodų siekia daugiau negu 2 kartus ($9,3/4,5 = 2,066$), tačiau keičiant apkrovos dydį, nuosėdžio kitimo tendencija visuose methoduose labai panaši. Nuosėdis sumažėja proporcingai tiek, kiek sumažėja polių veikianti apkrova. Skirtumas tarp 228,77 kN ir 214,78 kN yra 7 procentai. Skirtumas tarp nuosėdžių Eurokodo 7 metodui – 9 procentai, sumavimo arba Bowles metodui – 7 procentai – lygiai tiek, kiek sumažėjo apkrovos reikšmė. Nei vienas iš metodų nenukrypsta daugiau kaip 2 procentais nuo faktinio apkrovos sumažėjimo procento.

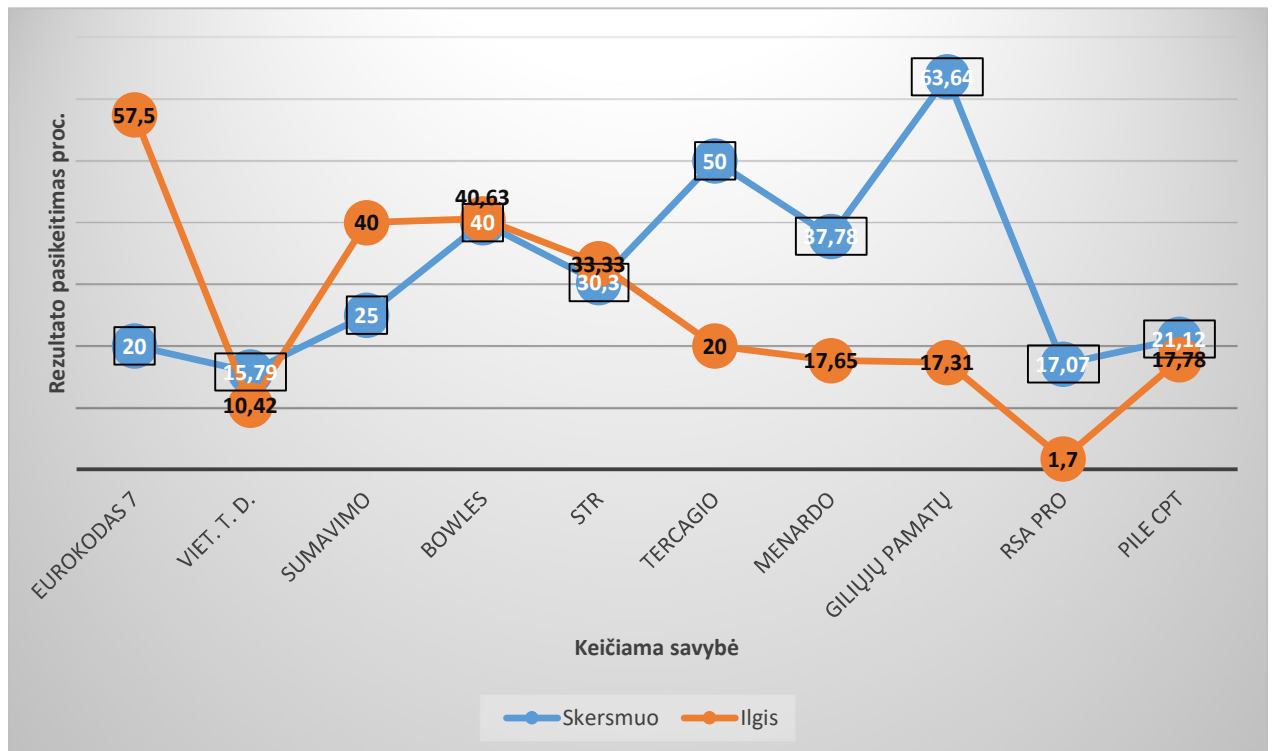
Sekančioje diagramoje (21 pav.) pavaizduota kaip stipriai keičiasi nuosėdžio reikšmė keičiant diametrą iš 40 cm į 50 cm ir keičiant ilgį iš 4,0 m į 5,0 m.



21 pav. Nuosėdžio kitimas procentais, kai skersmuo padidėja nuo 40 iki 50 cm ir kai ilgis padidėja nuo 4,0 iki 5,0 m

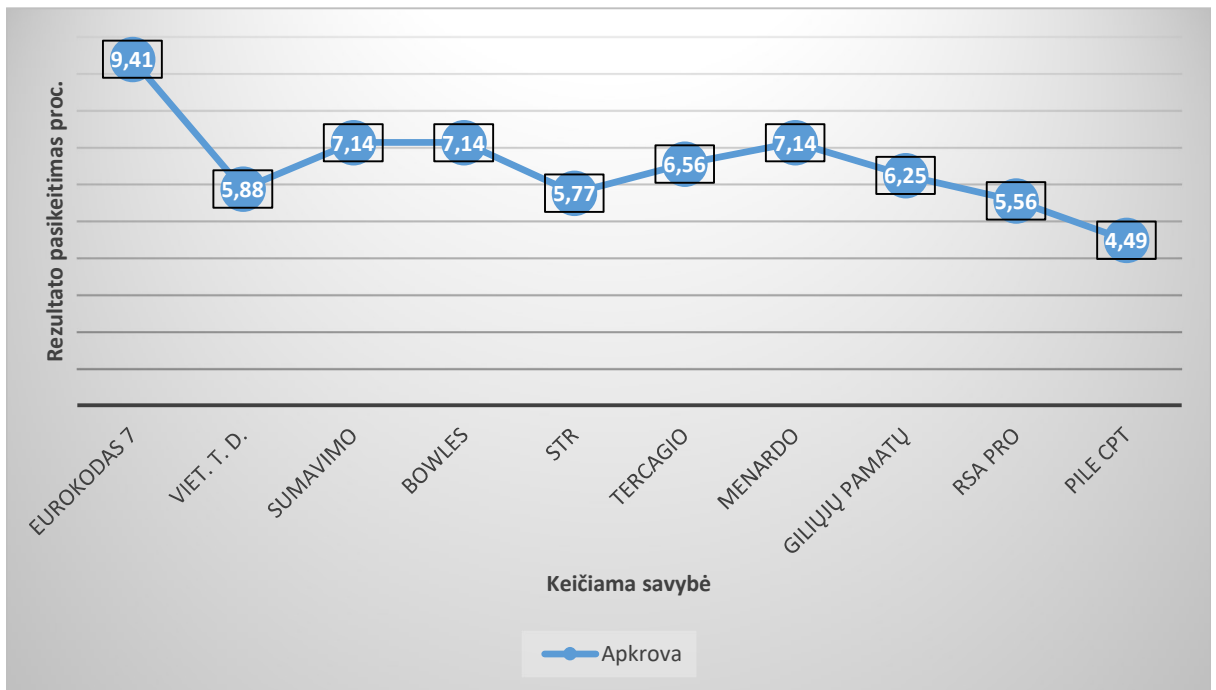
Labiausiai išsiskiria Bowles metodas, kuriuo skaičiuojant, kai diametras pakeičiamas iš 40 cm į 50 cm, nuosėdis sumažėja net 60,71 proc. Didinant poliaus ilgį iš 4,0 m iki 5,0 m labiausiai išsiskiria sumavimo metodas, kur nuosėdis sumažėja net 60,21 proc. Mažiausias nuosėdžio skirtumas tarp 4,0 m ir 5,0 m ilgio polių matomas vietinių tamprųjų deformacijų metode. Programos RSA Pro metode nuosėdis netgi padidėja 3,57 proc.

Atitinkamai kai skersmuo ir ilgis didinamas nuo 50 cm iki 60 cm ir nuo 5,0 m iki 6,0 m gaunami tokie rezultatai (žr. 22 pav.)



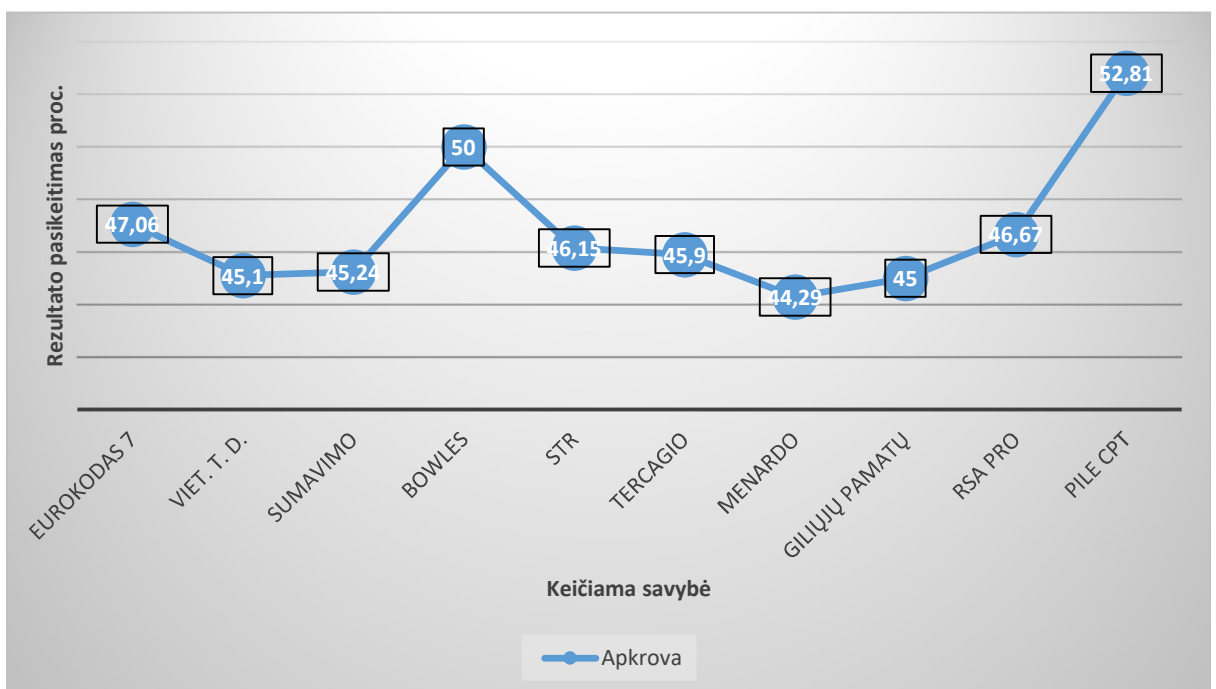
Didinant skersmenį nuo 50 iki 60 cm linijinė diagrama šiek tiek plokštesnė. Čia labiausiai išsiskiria giliųjų pamatų skaičiavimo metodas, kur 10 cm padidintas skersmuo nuosėdį sumažina net 63,64 procentais. Mažiausi pasikeitimai vietinių tampriųjų deformacijų metode. Čia 10 cm skersmens padidėjimui nuosėdis sumažėja tik 15,79 proc.

Poliaus ilgį didinant nuo 5,0 iki 6,0 m, ryškiai išsiskiria Eurokodo 7 metodas, kur 1 m pailgėjimui nuosėdis sumažėja net 57,5 procentais. Programos RSA Pro naudojamas metodas išsiskiria tuo, kad nuosėdis beveik nesikeičia, netgi padidėja 1,7 procentais. Nevertinant šoninės trinties, didesnis poliaus ilgis nuosėdžio nemažina, netgi šiek tiek padidina dėl didesnio baigtinio elemento svorio.



22 pav. nuosėdžio sumažėjimas, kai apkrova sumažėja 6,5 procentais

Iš pirmųjų apkrovų derinių paimtos apkrovos reikšmės 228,77 kN ir 214,78 kN tarpusavyje skiriasi 6,51 procentais. 22 pav. matyti, kad esant tokiam apkrovos sumažėjimui, nuosėdis sumažėja nuo 4,49 procentų iki 9,41 procento. Vidutinis apkrovos sumažėjimas – 6,53 procento. Galima teigti, kad minėtame apkrovų diapazone nuosėdžio sumažėjimas yra beveik identiškas apkrovos sumažėjimui.



23 pav. nuosėdžio sumažėjimas, kai apkrova sumažėja 45,3 procentais

Iš antrojo ir trečio apkrovų derinio paimtos apkrovų reikšmės 214,78 kN ir 117,44 kN skiriasi 45,32 procentais. Grafikas 23 paveikslėlyje rodo, kiek procentų sumažėja pamato nuosėdis, kai apkrova

|

sumažėja prieš tai paminėtais dydžiais. Reikšmės svyruoja nuo 45,00 iki 52,81 procento. Vidutinė reikšmė – 46,82 proc. Galima teigti, kad minėtame apkrovų diapazone nuosėdžio sumažėjimas yra beveik identiškas apkrovos sumažėjimui.

Išvados

1. Atlikta analizė parodė, kad rezultatai, skaičiuojant nuosėdį skirtingais metodais, tarpusavyje skiriasi iki 2,5 karto. Taip yra todėl, kad skirtingi metodai daro skirtingas prielaidas, o kai kurie įvesties duomenys yra svarbūs tik tam tikrai konkrečiai situacijai (grunto vienalytiškumas, poliaus ilgis ir t.t.).
2. 9 iš 10 pasirinktų metodų parodė, kad didinant poliaus ilgį nuosėdis nuosekliai mažėja, nes padidėja šoninio paviršiaus plotas ir poliaus šoninė trintis su gruntu. Programos RSAP metodo rezultatai parodė didėjantį nuosėdį, nes metodas nevertina šoninės trinties, o padidėjęs poliaus ilgis reiškia didesnę pačio poliaus svorį, kas reiškia didesnę nuosėdį.
3. Nustatyta, kad polių veikianti apkrova nėra esminis kriterijus, lemiantis skaičiavimo metodo pasirinkimą. Keičiantis apkrovai nuosėdis keičiasi proporcingai ir nenukrypsta daugiau kaip 2 procentais.
4. Poliaus skersmuo ir ilgis turi didesnę įtaką metodo pasirinkimui, nes keičiantis šiems kriterijams nuosėdžio (rezultato) reikšmė stipriai keičiasi. Labiausiai išsiskiria Bowles ir sumavimo metodai, kur pakeitus atitinkamai skersmenį ir ilgį, galutinis nuosėdis pasikeitė 60,71 proc. ir 60,21 proc.

Literatūros sąrašas

1. BOGUMIL, W. Pile load capacity – calculation methods. *Studia Geotechnica et Mechanica* [interaktyvus]. Krokuvu: Krokuvos technologijos universitetas, 2015, 37(4) [žiūrėta 2021-11-23]. Prieiga per: DOI: 10.1515/sgem-2015-0048.
2. CHUNHUI, L., LIANG, T. and X. LING. Investigation of piles behaviour under lateral cyclic loading. *Engineering Review*. Šandongas, Kinija: Čingdao technologijos universitetas, 2019, 39(3), ISSN 213-220.
3. CECCONI, M., PANE, V., VECHIETTI, A. and D. BELLAVITA. Horizontal capacity of single piles: an extension of Broms theory for $c-\phi$ soils. *Soils and foundations*. Perugia: Department of Engineering. University of Perugia, 2018. ISSN 840-856. Prieiga per: Science Direct.
4. YAO, J., WANG, Y. Non-linear calculation and analysis on horizontal bearing pile. *Department of Architectural Engineering.*, 2016, 51, DOI: 10.3303/CET1651177.
5. CORIC, S., RAKIC, D., CORIC, S. and I. BASARIC. Lateral capacity and deformations if vertical piles loaded by horizontal forces. *Building Materials and Structures. Review paper*. Belgradas: Belgrado Universitetas, 2018, 61. DOI:10.5937/GRMK 1801111C.
6. KOZUBAL, J., PULA, W., WYJADLOWSKI, M. and J. BAUER. Influence of varying soil properties on evaluation of pile reliability under lateral loads. *Journal of Civil Engineering and Management*. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2013, 19(2), DOI: 10.3846/13923730.2012.756426.
7. ORR, T. Defining and Selecting Characteristic Values of Geotechnical Parameters for Designs to Eurocode 7. *Georisk: Assesment and Management of Risk For Engineered Systems and Geohazards*. [interaktyvus]. 2017, 11(1) [žiūrėta 2021-11-19]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1080/17499518.2016.1235711>.
8. GABRIELAITIS, L., PAPINIGIS, V. ir G. ŽARŽOJUS. Estimation of Settlements of Bored Piles Foundation. *Procedia Engineering* [interaktyvus]. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2013, 57(1) [Žiūrėta 2021-11-19], prieiga per: www.elsevier.com/locate/procedia.
9. KADAR, I. and L. NAGY. Evaluation and Application of Characteristic Values Based on Eurocode 7 Design Methodology. *Geotechnical Safety and Risk V*. [interaktyvus]. Budapeštas: Budapešto technologijų ir ekonomikos universitetas, 2015 [žiūrėta 2021-11-19], prieiga per: DOI: 10.3233/978-1-61499-580-7-496.
10. WEI, H., GUI-YAO, W and W. HONG-HUA. Nonlinear calculating method of pile settlement. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2008, 15(2), DOI: 10.1007/s11771-008-0437-5.
11. CHENG, Y., XINGMIN, H. and B. HANYING. The elastic model of a pile foundation horizontal displacement. *Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. Yantai: Yantai University, 2015. DOI: 10.1109/ICMTMA.2015.291.
12. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Dėl statybos techninio reglamento STR 2.05.21:2016 „Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai“ patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas 2016 liepos 4 d. Nr. 2016-19388 [Interaktyvus] [žiūrėta 2021-11-29]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/f701a690440311e6bd3bfefc575ccac4>.
13. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 1997-1:2006. *Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. Pagrindinės taisyklės*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.

14. SLIŽYTĖ, D., MEDZVIECKAS, J. ir R. MACKEVIČIUS. *Pamatai ir pagrindai: vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2012. ISBN 978-609-457-176-3.
15. ČERNIUS, Benjaminas. *Pamatų projektavimo pagal 7 Eurokodą vadovas: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2014. ISBN 9955-25-161-1.
16. ČERNIUS, Benjaminas. *Pamatai ir pagrindai: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2003. ISBN 978-9955-09-331-2.
17. FURMONAVIČIUS, L. *Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinynas: mokomoji knyga*. Kaunas: Naujas lankas, 2009. ISBN 978-9955-03-565-7.
18. AMŠIEJUS, J., MACKEVIČIUS, R., MEDZVIECKAS, R. IR D. SLIŽYTĖ *Gruntų mechanika: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2006. ISBN 9986-05-978-x.
19. ZHOU, W., GAO, R. and H. ZHU. Behaviour of steel casing composite piles under lateral loading and parameter optimisation. *Engineering structures* [interaktyvus]. Wuhan: School of Civil Engineering and Mechanics, 2020 [žiūrėta 2021-12-10], prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110991>.
20. BERSAN, S., BERGAMO, O. And L. PALMERI. Distributed strain measurements in a CFA pile using high spatial resolution fibre optic sensors. *Engineering structures* [interaktyvus]. Padova: University of Padova, 2018 [žiūrėta 2021-12-10], prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.046>.
21. HONG, W. And N. CHIM. Prediction of uplift capacity of a micropile embedded in soil. *Geotechnical engineering* [interaktyvus]. Seoul: Chung-Ang University, 2014 [žiūrėta 2021-12-10], prieiga per: DOI 10.1007/s12205-013-0357-2.
22. AVIŽA, D., SUŠINSKAS, S. ir R. BALTUŠNIKIENĖ. *Metodiniai nurodymai ištisinio sraigtinio gręžimo polių (CFA) įrengimo technologijai ir projektavimui rupiuose gruntuose. Mokomoji knyga*. Panevėžys: KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto Technologijų katedra, 2014. ISBN-978-609-95612-2-6.
23. R. SIMANAVIČIENĖ. Statistinių metodų taikymas daugiatikslių sprendimų patikimumui įvertinti. *Informacijos mokslai*. Vilnius: Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, 2013. ISSN 1392-0561.
24. DAYIARI, M. Study on compressional energy contribution into total energy of pile deformation in cut-pile carpet. *The Journal of The Textile Institute* [Interaktyvus]. Kashan: Islamic Azad University, 2014 [žiūrėta 2022-01-11], prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2014.988436>
25. ZHANG, Q., LIU, S., ZHANG., J. and K. WANG. Simplified non-linear approaches for response of a single pile and pile groups considering progressive deformation of pile-soil system. *Soils and foundations* [interaktyvus]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016 [žiūrėta 2022-01-11], prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sandf.2016.04.013>.
26. YUAN, B., CHEN, Y and J. TENG. Investigation on 3D ground deformation and response of active and passive piles in loose sand. *Environ Earth Sci* [interaktyvus]. Shenzhen: Shenzhen Graduate School, 2014 [žiūrėta 2022-01-11], prieiga per: DOI 10.1007/s12665-014-3935-9.
27. SALES, M. and T. S. CURADO. Interaction Factor Between Piles: Limits on Using the Conventional Elastic Approach in Pile Group Analysis. *Soils and Rocks* [interaktyvus]. Goiania: University of Goiania, 2018, 41(1). Prieiga per: DOI 10.28927/SR.411049
28. Pronozin, Y A, L R Epifantseva, and M D Kajgorodov. "Structural Safety of Buildings in Excess Values of Differential Settlements." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 481 (March 11, 2019): 012013. doi:10.1088/1757-899x/481/1/012013.

29. Utenov, E. S., A. Zh. Zhusupbekov, S. N. Sotnikov, A. T. Mukhamedzhanova, and B. O. Kaldanova. "Interaction Analysis of Adjacent Foundations of Renovated Buildings." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 54, no. 1 (March 2017): 17–23. doi:10.1007/s11204-017-9427-7.
30. Khomyakov, V. A., Y. M. Shokbarov, and A. A. Bryantsev. "Experience in Handling Differential Settlements of Multi-Storey Buildings on Soft Soil." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 54, no. 5 (November 2017): 330–335. doi:10.1007/s11204-017-9477-x.
31. Mali, Shivanand, and Baleshwar Singh. "Behavior of Large Piled-Raft Foundation on Clay Soil." *Ocean Engineering* 149 (February 2018): 205–216. doi:10.1016/j.oceaneng.2017.12.029.
32. Samorodov, A. V. "Combined Pile and Slab Foundations of Multistory Buildings: Calculation, Design, and Evaluation." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 54, no. 6 (January 2018): 395–401. doi:10.1007/s11204-018-9486-4.
33. Stepanov, M A, D V Volosyuk, and O S Poroshin. "Investigation of Contact Layer «Foundation Grill – Ground Base» Soil Structure Damage and Its Regeneration by Crimping." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 463 (December 31, 2018): 042074. doi:10.1088/1757-899x/463/4/042074.
34. Polishchuk, A. I., and A. A. Tarasov. "CFA Pile Carrying Capacity Determination in Weak Clay Soils for Renovated-Building Foundations." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 54, no. 1 (March 2017): 38–44. doi:10.1007/s11204-017-9430-z.
35. Stepanov, M.A., and G.I. Rybak. "Experimental Studies of Soil Compaction Effect on Pile Operation." *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations* (April 29, 2019): 357–362. doi:10.1201/9780429058882-69.
36. Pronozin, Ya.A., I.S. Salnyi, and D.V. Volosyuk. "'Normal' Bored Injection Pile with Increased Bearing Capacity." *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations* (April 29, 2019): 296–300. doi:10.1201/9780429058882-58.
37. Shamsi Sosahab, Javad, Masoud Jamshidi Chenari, Reza Jamshidi Chenari, and Mehran Karimpour Fard. "Physical and Numerical Modeling of Piled Raft Foundation in Chamkhaleh Sand." *International Journal of Civil Engineering* 17, no. 6 (November 1, 2018): 765–779. doi:10.1007/s40999-018-0365-1.
38. Lee, Tae-Hyung, Jong-Chul Im, Changyoung Kim, and Minsu Seo. "An Experimental Study for Reinforcing the Ground underneath a Footing Using Micropiles." *Geotechnical Testing Journal* 41, no. 4 (May 9, 2018): 20160241. doi:10.1520/gtj20160241.
39. Al-abboodi Ihsan, and Tahsin Toma Sabbagh. "Model Tests on Piled Raft Subjected to Lateral Soil Movement." *International Journal of Geotechnical Engineering* 12, no. 4 (March 6, 2017): 357–367. doi:10.1080/19386362.2017.1296061.
40. Al-abboodi Ihsan, and Tahsin Toma Sabbagh. "Model Tests on Piled Raft Subjected to Lateral Soil Movement." *International Journal of Geotechnical Engineering* 12, no. 4 (March 6, 2017): 357–367. doi:10.1080/19386362.2017.1296061.
41. Pronozin, Y A, L R Epifantseva, and M D Kajgorodov. "Structural Safety of Buildings in Excess Values of Differential Settlements." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 481 (March 11, 2019): 012013. doi:10.1088/1757-899x/481/1/012013.
42. Mali, Shivanand, and Baleshwar Singh. "Behavior of Large Piled Raft Foundation on Different Soil Profiles for Different Loadings and Different Pile Raft Configurations." *Innovative Infrastructure Solutions* 4, no. 1 (January 11, 2019). doi:10.1007/s41062-018-0193-9.

43. Kumar, Ashutosh, Milind Patil, and Deepankar Choudhury. "Soil–structure Interaction in a Combined Pile–raft Foundation – a Case Study." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering* 170, no. 2 (April 2017): 117–128. doi:10.1680/jgeen.16.00075.
44. Mangushev, R.A., Nikiforova, N.S. "Technological settlements of buildings in underground development influence zone". *M:ASV*. (2017):168-173.

Priedai

1. Polinio pamato skaičiavimų ataskaita iš programos *RSA Pro*.
2. Polinio pamato skaičiavimų ataskaita iš programos *Pile CPT*.
3. Polinių pamatų skaičiuojamosios schemos programoje *RSA Pro*.

1 Level:

- Name :
- Reference level : -4,00 (m)
- Concrete creep coefficient : $\phi_p = 2,77$
- Cement class : N
- Environment class : XC2
- Structure class : S4

2 Column: Column1

Number of identical elements: 1

2.1 Material properties:

- Concrete : C25/30 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
- Unit weight : 2501,36 (kG/m³)
- Aggregate size : 20,0 (mm)
- Longitudinal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
- Ductility class : C
- Transversal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500,00$ (MPa)

2.2 Geometry:

- 2.2.1 C
- Diameter = 40,0 (cm)
- 2.2.2 Height: L = 4,00 (m)
- 2.2.3 Slab thickness = 0,00 (m)
- 2.2.4 Beam height = 0,00 (m)
- 2.2.5 Cover = 4,0 (cm)

2.3 Calculation options:

- Calculations according to : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Seismic dispositions : No requirements
- Precast column : no
- Pre-design : no
- Slenderness taken into account : yes
- Compression : with bending
- Ties : to slab
- Fire resistance class : No requirements

2.4 Loads:

Case	Nature (kN*m)	Group	γ	N (kN)	MyA (kN*m)	MyB (kN*m)	MyC (kN*m)	MzA (kN*m)	MzB (kN*m)	MzC (kN*m)
DL1	dead load(Structural)	1	1,35	241,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

γ - load factor

2.5 Calculation results:

Safety factors $R_d/E_d = 4,11 > 1.0$

2.5.1 ULS/ALS Analysis

Design combination: 1.35DL1 (C)
Combination type: ULS

Internal forces:

$$N_{sd} = 325,49 \text{ (kN)} \quad M_{sdy} = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_{sdz} = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

Design forces:

Cross-section in the middle of the column

$$N = 325,49 \text{ (kN)} \quad N^*e_{totz} = 6,51 \text{ (kN*m)} \quad N^*e_{toty} = 6,51 \text{ (kN*m)}$$

Eccentricity:		e_z (My/N) (cm)	e_y (Mz/N) (cm)
Initial	e_0 :	0,0	0,0
Imperfection	e_i :	1,0	1,0
1 order ($e_0 + e_i$)	e_0Ed :	1,0	1,0
Minimal	e_{Edmin} :	2,0	2,0
Total	e_{Ed} :	2,0	2,0

2.5.1.1. Detailed analysis-Direction Y:

2.5.1.1.1 Slenderness analysis

Non-sway structure

L (m)	L_0 (m)	λ	λ_{lim}	
4,00	4,00	40,00	27,20	Slender column

2.5.1.1.2 Buckling analysis

$$M_A = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_B = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_C = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

Case: Cross-section in the middle of the column, Slenderness taken into account

$$M_0 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0 = \max(|M_0e|, |M_0e_{min}|) = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e = 0.6*M_02 + 0.4*M_01 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e_{min} = 0.4*M_02 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_01 = \min(|M_A|; |M_B|)$$

$$M_02 = \max(|M_A|; |M_B|)$$

$$|M_A| > |M_B| \Rightarrow M_01 = M_B, M_02 = M_A$$

$$e_i = \theta_1 * l_0 / 2 = 1,0 \text{ (cm)}$$

$$\theta_1 = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m = 0,01$$

$$\theta_0 = 0,01$$

$$\alpha_h = 1,00$$

$$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00$$

$$m = 1,00$$

Method based on nominal stiffness

$$\left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] = 1,85$$

$$\beta = 1,23$$

$$N_b = (\pi^2 * EJ) / l_0^2 = 797,27 \text{ (kN)}$$

$$EJ = K_c * E_{cd} * J_c + K_s * E_s * J_s = 1292,48 \text{ (kN*m}^2\text{)}$$

$$\varphi_{ef} = 2,05$$

$$J_c = 125663,7 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$J_s = 428,9 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$K_c = 0,01 \text{ ()}$$

$$K_s = 1,00 \text{ ()}$$

$$M_{Edmin} = 6,51 \text{ (kN*m)}$$

$$M_{Ed} = \max \left\{ M_{Edmin}; \left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = 6,51 \text{ (kN*m)}$$

2.5.1.2. Detailed analysis-Direction Z:

$$M_A = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_B = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_C = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

Case: Cross-section in the middle of the column, Slenderness not taken into account

$$M_0 = \max(|M_0e|, |M_0e_{min}|) = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e = 0.6*M_02 + 0.4*M_01 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e_{min} = 0.4*M_02 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_01 = \min(|M_A|; |M_B|)$$

$$M_02 = \max(|M_A|; |M_B|)$$

$$|M_A| > |M_B| \Rightarrow M_01 = M_B, M_02 = M_A$$

$$e_i = \theta_1 * l_0 / 2 = 1,0 \text{ (cm)}$$

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_o * \alpha_h * \alpha_m = 0,01 \\ \theta_o &= 0,01 \\ \alpha_h &= 1,00 \\ \alpha_m &= (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00 \\ m &= 1,00 \\ M_a &= N * e_i = 3,25 \text{ (kN*m)} \\ M_{Edmin} &= 6,51 \text{ (kN*m)} \\ M_{0Ed} &= \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = 6,51 \text{ (kN*m)} \end{aligned}$$

2.5.2 Reinforcement:

Real (provided) area Asr = 4,02 (cm²)
 Ratio: $\rho = 0,32 \%$

2.6 Reinforcement:

Main bars (B500C):

- 8 $\phi 8$ l = 3,96 (m)

Transversal reinforcement: (B500C):

stirrups: 28 $\phi 6$ l = 1,16 (m)

3 Material survey:

- Concrete volume = 0,50 (m³)
- Formwork = 5,03 (m²)
- Steel B500C
 - Total weight = 19,70 (kG)
 - Density = 39,19 (kG/m³)
 - Average diameter = 7,0 (mm)
 - Reinforcement survey:

Diameter	Length (m)	Weight (kG)	Number (No.)	Total weight (kG)
6	1,16	0,26	28	7,19
8	3,96	1,56	8	12,50

1 Level:

- Name :
- Reference level : -4,00 (m)
- Concrete creep coefficient : $\phi_p = 2,77$
- Cement class : N
- Environment class : XC2
- Structure class : S4

2 Column: Column2..3

Number of identical elements: 2

2.1 Material properties:

- Concrete : C25/30 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
- Unit weight : 2501,36 (kG/m³)
- Aggregate size : 20,0 (mm)
- Longitudinal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
- Ductility class : C
- Transversal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500,00$ (MPa)

2.2 Geometry:

- 2.2.1 C
- Diameter = 40,0 (cm)
- 2.2.2 Height: L = 4,00 (m)
- 2.2.3 Slab thickness = 0,00 (m)
- 2.2.4 Beam height = 0,00 (m)
- 2.2.5 Cover = 4,0 (cm)

2.3 Calculation options:

- Calculations according to : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Seismic dispositions : No requirements
- Precast column : no
- Pre-design : no
- Slenderness taken into account : yes
- Compression : with bending
- Ties : to slab
- Fire resistance class : No requirements

2.4 Loads:

Case	Nature	Group	γ	N (kN)	MyA (kN*m)	MyB (kN*m)	MyC (kN*m)	MzA (kN*m)	MzB (kN*m)	MzC (kN*m)
DL1	dead load(Structural)	2	1,35	227,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DL1	dead load(Structural)	3	1,35	129,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

γ - load factor

2.5 Calculation results:

Safety factors $R_d/E_d = 4,37 > 1.0$

2.5.1 ULS/ALS Analysis

Design combination: 1.35DL1 (C)
Combination type: ULS

Internal forces:

$$N_{sd} = 306,60 \text{ (kN)} \quad M_{sdy} = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_{sdz} = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

Design forces:

Cross-section in the middle of the column

$$N = 306,60 \text{ (kN)} \quad N^*e_{totz} = 6,13 \text{ (kN*m)} \quad N^*e_{toty} = 6,13 \text{ (kN*m)}$$

Eccentricity:		e_z (My/N) (cm)	e_y (Mz/N) (cm)
Initial	e_0 :	0,0	0,0
Imperfection	e_i :	1,0	1,0
1 order ($e_0 + e_i$)	e_0Ed :	1,0	1,0
Minimal	e_{Edmin} :	2,0	2,0
Total	e_{Ed} :	2,0	2,0

2.5.1.1. Detailed analysis-Direction Y:

2.5.1.1.1 Slenderness analysis

Non-sway structure

L (m)	L_0 (m)	λ	λ_{lim}	
4,00	4,00	40,00	28,02	Slender column

2.5.1.1.2 Buckling analysis

$$M_A = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_B = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_C = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

Case: Cross-section in the middle of the column, Slenderness taken into account

$$M_0 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0 = \max(|M_0e|, |M_0e_{min}|) = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e = 0,6*M_02 + 0,4*M_01 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e_{min} = 0,4*M_02 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_01 = \min(|M_A|; |M_B|)$$

$$M_02 = \max(|M_A|; |M_B|)$$

$$|M_A| > |M_B| \Rightarrow M_01 = M_B, M_02 = M_A$$

$$e_i = \theta_1 * l_0 / 2 = 1,0 \text{ (cm)}$$

$$\theta_1 = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m = 0,01$$

$$\theta_0 = 0,01$$

$$\alpha_h = 1,00$$

$$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00$$

$$m = 1,00$$

Method based on nominal stiffness

$$\left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] = 1,80$$

$$\beta = 1,23$$

$$N_b = (\pi^2 * EJ) / l_0^2 = 781,71 \text{ (kN)}$$

$$EJ = K_c * E_{cd} * J_c + K_s * E_s * J_s = 1267,26 \text{ (kN*m}^2\text{)}$$

$$\varphi_{ef} = 2,05$$

$$J_c = 125663,7 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$J_s = 428,9 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$K_c = 0,01 \text{ ()}$$

$$K_s = 1,00 \text{ ()}$$

$$M_{Edmin} = 6,13 \text{ (kN*m)}$$

$$M_{Ed} = \max \left\{ M_{Edmin}; \left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = 6,13 \text{ (kN*m)}$$

2.5.1.2. Detailed analysis-Direction Z:

$$M_A = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_B = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_C = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

Case: Cross-section in the middle of the column, Slenderness not taken into account

$$M_0 = \max(|M_0e|, |M_0e_{min}|) = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e = 0,6*M_02 + 0,4*M_01 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_0e_{min} = 0,4*M_02 = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

$$M_01 = \min(|M_A|; |M_B|)$$

$$M_02 = \max(|M_A|; |M_B|)$$

$$|M_A| > |M_B| \Rightarrow M_01 = M_B, M_02 = M_A$$

$$e_i = \theta_1 * l_0 / 2 = 1,0 \text{ (cm)}$$

$$\theta_1 = \theta_o * \alpha_h * \alpha_m = 0,01$$

$$\theta_o = 0,01$$

$$\alpha_h = 1,00$$

$$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00$$

$$m = 1,00$$

$$M_a = N * e_i = 3,07 \text{ (kN*m)}$$

$$M_{Edmin} = 6,13 \text{ (kN*m)}$$

$$M_{0Ed} = \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = 6,13 \text{ (kN*m)}$$

2.5.2 Reinforcement:

Real (provided) area Asr = 4,02 (cm²)
 Ratio: ρ = 0,32 %

2.6 Reinforcement:

Main bars (B500C):

- 8 φ8 l = 3,96 (m)

Transversal reinforcement: (B500C):

stirrups: 28 φ6 l = 1,16 (m)

3 Material survey:

- Concrete volume = 1,01 (m³)
- Formwork = 10,05 (m²)
- Steel B500C
 - Total weight = 39,40 (kG)
 - Density = 39,19 (kG/m³)
 - Average diameter = 7,0 (mm)
 - Reinforcement survey:

Diameter	Length (m)	Weight (kG)	Number (No.)	Total weight (kG)
6	1,16	0,26	56	14,39
8	3,96	1,56	16	25,01

1 Level:

- Name :
- Reference level : -4,00 (m)
- Concrete creep coefficient : $\phi_p = 2,68$
- Cement class : N
- Environment class : XC2
- Structure class : S4

2 Column: Column4..6

Number of identical elements: 3

2.1 Material properties:

- Concrete : C25/30 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
- Unit weight : 2501,36 (kG/m³)
- Aggregate size : 20,0 (mm)
- Longitudinal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
- Ductility class : C
- Transversal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500,00$ (MPa)

2.2 Geometry:

- 2.2.1 C
- Diameter = 50,0 (cm)
- 2.2.2 Height: L = 4,00 (m)
- 2.2.3 Slab thickness = 0,00 (m)
- 2.2.4 Beam height = 0,00 (m)
- 2.2.5 Cover = 4,0 (cm)

2.3 Calculation options:

- Calculations according to : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Seismic dispositions : No requirements
- Precast column : no
- Pre-design : no
- Slenderness taken into account : yes
- Compression : with bending
- Ties : to slab
- Fire resistance class : No requirements

2.4 Loads:

Case	Nature (kN*m)	Group	γ	N (kN)	MyA (kN*m)	MyB (kN*m)	MyC (kN*m)	MzA (kN*m)	MzB (kN*m)	MzC (kN*m)
DL1	dead load(Structural)	4	1,35	248,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DL1	dead load(Structural)	5	1,35	234,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DL1	dead load(Structural)	6	1,35	136,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

γ - load factor

2.5 Calculation results:

Safety factors $R_d/E_d = 8,10 > 1.0$

2.5.1 ULS/ALS Analysis

Design combination: 1.35DL1 (C)

Combination type: ULS

Internal forces:

$$N_{sd} = 334,85 \text{ (kN)} \quad M_{sdy} = 0,00 \text{ (kN*m)} \quad M_{sdz} = 0,00 \text{ (kN*m)}$$

Design forces:

Cross-section in the middle of the column

$$N = 334,85 \text{ (kN)} \quad N^*e_{totz} = 6,70 \text{ (kN*m)} \quad N^*e_{toty} = 6,70 \text{ (kN*m)}$$

Eccentricity:		e_z (My/N) (cm)	e_y (Mz/N) (cm)
Initial	e_0 :	0,0	0,0
Imperfection	e_i :	1,0	1,0
1 order ($e_0 + e_i$)	e_0Ed :	1,0	1,0
Minimal	e_{Edmin} :	2,0	2,0
Total	eEd :	2,0	2,0

2.5.1.1. Detailed analysis-Direction Y:

2.5.1.1.1 Slenderness analysis

Non-sway structure

L (m)	L_0 (m)	λ	λ_{lim}	
4,00	4,00	32,00	32,97	Short column

2.5.1.1.2 Buckling analysis

$$\begin{aligned} MA &= 0,00 \text{ (kN*m)} & MB &= 0,00 \text{ (kN*m)} & MC &= 0,00 \text{ (kN*m)} \\ \text{Case: Cross-section in the middle of the column, Slenderness not taken into account} \\ M_0 &= \max(|M_{0e}|, |M_{0emin}|) = 0,00 \text{ (kN*m)} \\ M_{0e} &= 0.6*M_{02} + 0.4*M_{01} = 0,00 \text{ (kN*m)} \\ M_{0emin} &= 0.4*M_{02} = 0,00 \text{ (kN*m)} \\ M_{01} &= \min(|MA|; |MB|) \\ M_{02} &= \max(|MA|; |MB|) \\ |MA| > |MB| &\Rightarrow M_{01} = MB, M_{02} = MA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_i &= \theta_1 * l_0 / 2 = 1,0 \text{ (cm)} \\ \theta_1 &= \theta_0 * \alpha_\eta * \alpha_m = 0,01 \\ \theta_0 &= 0,01 \\ \alpha_h &= 1,00 \\ \alpha_m &= (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00 \\ m &= 1,00 \\ M_a &= N * e_i = 3,35 \text{ (kN*m)} \\ M_{Edmin} &= 6,70 \text{ (kN*m)} \\ M_{0Ed} &= \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = 6,70 \text{ (kN*m)} \end{aligned}$$

2.5.1.2. Detailed analysis-Direction Z:

$$\begin{aligned} MA &= 0,00 \text{ (kN*m)} & MB &= 0,00 \text{ (kN*m)} & MC &= 0,00 \text{ (kN*m)} \\ \text{Case: Cross-section in the middle of the column, Slenderness not taken into account} \\ M_0 &= \max(|M_{0e}|, |M_{0emin}|) = 0,00 \text{ (kN*m)} \\ M_{0e} &= 0.6*M_{02} + 0.4*M_{01} = 0,00 \text{ (kN*m)} \\ M_{0emin} &= 0.4*M_{02} = 0,00 \text{ (kN*m)} \\ M_{01} &= \min(|MA|; |MB|) \\ M_{02} &= \max(|MA|; |MB|) \\ |MA| > |MB| &\Rightarrow M_{01} = MB, M_{02} = MA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_i &= \theta_1 * l_0 / 2 = 1,0 \text{ (cm)} \\ \theta_1 &= \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m = 0,01 \\ \theta_0 &= 0,01 \\ \alpha_h &= 1,00 \\ \alpha_m &= (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00 \\ m &= 1,00 \\ M_a &= N * e_i = 3,35 \text{ (kN*m)} \\ M_{Edmin} &= 6,70 \text{ (kN*m)} \\ M_{0Ed} &= \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = 6,70 \text{ (kN*m)} \end{aligned}$$

2.5.2 Reinforcement:

$$\begin{aligned} \text{Real (provided) area} & & A_{sr} &= 4,02 \text{ (cm}^2\text{)} \\ \text{Ratio:} & & \rho &= 0,20 \% \end{aligned}$$

2.6 Reinforcement:

Main bars (B500C):

- 8 ϕ 8 l = 3,96 (m)

Transversal reinforcement: (B500C):

stirrups: 30 ϕ 6 l = 1,47 (m)

3 Material survey:

- Concrete volume = 2,36 (m³)
- Formwork = 18,85 (m²)
- Steel B500C
 - Total weight = 66,91 (kG)
 - Density = 28,40 (kG/m³)
 - Average diameter = 6,8 (mm)
 - Reinforcement survey:

Diameter	Length (m)	Weight (kG)	Number (No.)	Total weight (kG)
6	1,47	0,33	90	29,40
8	3,96	1,56	24	37,51

Analysis of CPT pile

Input data

Date : 2023-01-02

Settings

Mano Pagal eurokodą

Pile CPT

Verification methodology : EN 1997-2

Analysis type : EN 1997-2

Partial factors for resistances (R)			
Partial factor on base resistance :	$\gamma_b =$	2,00	[-]
Partial factor on shaft resistance :	$\gamma_s =$	1,50	[-]

Reduction coefficients			
Reduction coeff. of load settlement curve :	$k =$	1,00	[-]

Tests

No.	Test name	Vertical offset of the origin d_h [m]	Overall depth d_{tot} [m]
1	Knyga1	0,00	8,00

Test : Knyga1

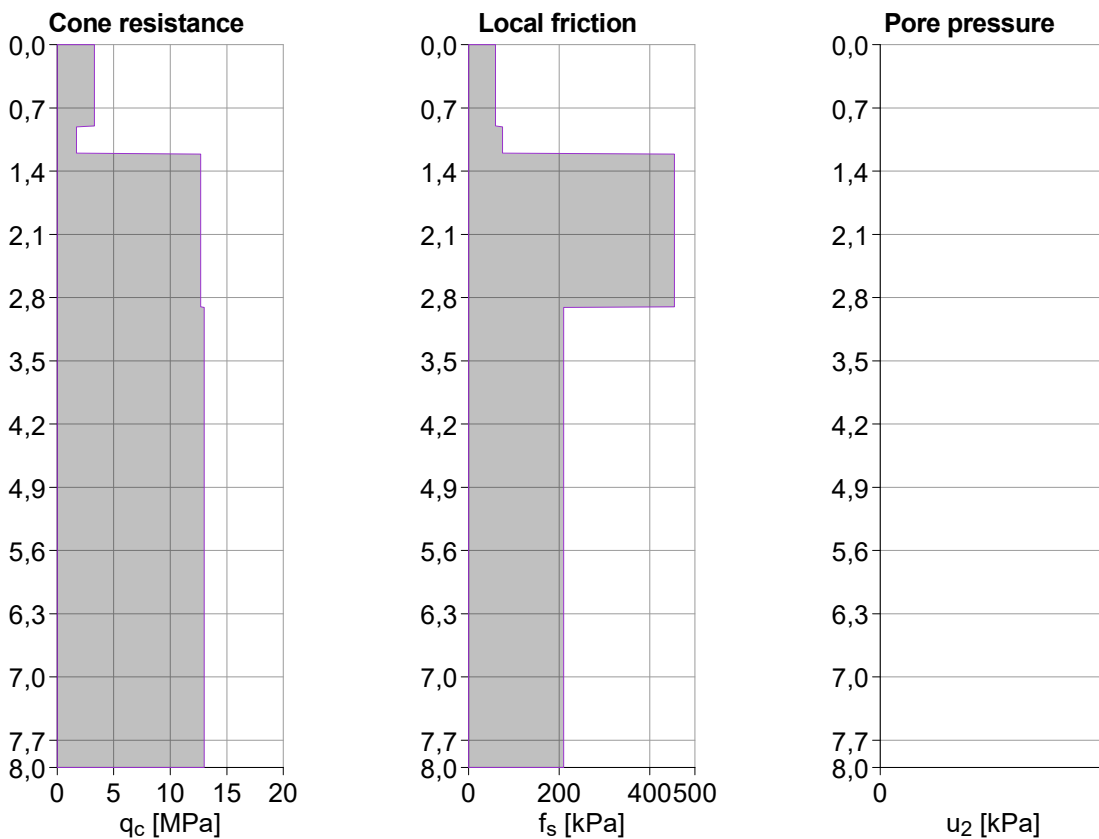


Table (CPT)

No.	Depth d [m]	Cone resistance q_c [MPa]	Local friction f_s [kPa]	Pore pressure u_2 [kPa]
1	0,00	3,30	59,00	0,00

No.	Depth d [m]	Cone resistance q _c [MPa]	Local friction f _s [kPa]	Pore pressure u ₂ [kPa]
2	0,90	3,30	59,00	0,00
3	0,91	1,70	75,00	0,00
4	1,20	1,70	75,00	0,00
5	1,21	12,70	455,00	0,00
6	2,90	12,70	455,00	0,00
7	2,91	13,00	210,00	0,00
8	6,00	13,00	210,00	0,00
9	7,00	13,00	210,00	0,00
10	8,00	13,00	210,00	0,00





Classification

Sourced CPT : Knyga1
 Classification type : Robertson 2010
 Penetrometer net area ratio : 0,75
 Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Classified soils

No.	Soil name
1	Sand mixtures - silty sand to sandy silt
2	Sands - clean sand to silty sand
3	Very stiff sand to clayey sand
4	Very stiff fine grained

Basic soil parameters

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]
1	Sand mixtures - silty sand to sandy silt		22,00	19,00	9,00
2	Sands - clean sand to silty sand		30,00	19,00	9,00
3	Very stiff sand to clayey sand		30,00	19,00	9,00
4	Very stiff fine grained		25,00	19,00	9,00

Soil parameters

Sand mixtures - silty sand to sandy silt

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 22,00^\circ$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Type of soil : silt

Sands - clean sand to silty sand

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Type of soil : sand, gravel
 Magnitude OCR : $OCR \leq 2$
 Type of grains : sand finer than 600 nm

Very stiff sand to clayey sand

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Type of soil : sand, gravel
 Magnitude OCR : $OCR \leq 2$
 Type of grains : sand finer than 600 nm

Very stiff fine grained

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Type of soil : clay

Construction

Type of construction : single pile
 Design load $F_{s_d} = 297,40 \text{ kN}$
 Service load $F_s = 228,77 \text{ kN}$

Geometry

Type of pile : bored pile(drilling mud, uncased borehole)
 Pile material : concrete
 Pile length in soil = 3,35 m
 Pile head offset above terrain = 0,65 m
 Depth of finished grade = 0,00 m



Pile cross-section - circular




Pile diameter $d = 0,40 \text{ m}$

Global settings

Analysis based on tests : CPT
 The analysis does not consider the influence of negative skin friction.
 Partial factor on model uncertainty $\gamma_{cal} = 1,00$
 Partial factor $\xi_3 = 1,32$
 Partial factor $\xi_4 = 1,27$

Geological profile and assigned soils

No.	Thickness of layer t [m]	Depth z [m]	Assigned soil	Pattern
1	0,91	0,00 .. 0,91	Sands - clean sand to silty sand	
2	0,30	0,91 .. 1,21	Very stiff fine grained	

No.	Thickness of layer t [m]	Depth z [m]	Assigned soil	Pattern
3	1,70	1,21 .. 2,91	Very stiff sand to clayey sand	
4	5,09	2,91 .. 8,00	Sands - clean sand to silty sand	
5	-	8,00 .. ∞	Sand mixtures - silty sand to sandy silt	

Bearing capacity calculation - EN 1997-2

Calculation of vertical bearing capacity - intermediate results of tests

Intermediate results CPT - Knyga1

Total resistance	$R_{c,i}$	=	936,51 kN
Skin bearing capacity	$R_{s,i}$	=	241,74 kN
Base bearing capacity	$R_{b,i}$	=	694,77 kN
Medium magnitude of penetration resistance	$q_{cl,mean}$	=	13,00 MPa
Medium magnitude of penetration resistance	$q_{cll,mean}$	=	13,00 MPa
Medium magnitude of penetration resistance	$q_{cIII,mean}$	=	9,12 MPa
Maximum stress at pile base	$p_{max,base}$	=	5528,79 kPa
Reduced stress at pile base	$p_{max,base,red}$	=	5528,79 kPa

Calculation of vertical bearing capacity - intermediate results skin

Intermediate results CPT - Knyga1

No.	Depth [m]	q_{cz} [MPa]	Coeff. [-]	Skin frict. [kPa]
1	0,00	3,30	0,0060	19,80
2	0,90	3,30	0,0060	19,80
3	0,91	1,70	0,0200	34,00
4	1,20	1,70	0,0200	34,00
5	1,21	12,70	0,0060	76,20
6	2,91	13,00	0,0060	78,00
7	3,35	13,00	0,0060	78,00

Calculation of vertical pile bearing capacity - intermediate results

Pile diameter	d_{eq}	=	0,40 m
Pile diameter at base	$d_{s,eq}$	=	0,40 m
Pile area at base	A_b	=	0,13 m ²
Coeff. of reduc. of pile base bear. capacity	α_p	=	0,50
Coeff. of influence of pile shape	s	=	1,00
Coeff. of influence of pile widened base	β	=	1,00

Calculation of vertical bearing capacity - results

Analysis carried out for test: Knyga1

Minimum resistance of pile in compression	$R_{c,min}$	=	936,51 kN
Coefficient	ξ_4	=	1,27
Mean resistance of pile in compression	$R_{c,mean}$	=	936,51 kN
Coefficient	ξ_3	=	1,32
Characteristic pile bearing capacity	R_c	=	709,47 kN

Design pile bearing capacity $R_{cd} = 385,26 \text{ kN}$

Design load $F_{s,d} = 297,40 \text{ kN}$

$R_{cd} = 385,26 \text{ kN} > F_{s,d} = 297,40 \text{ kN}$

Verification of pile for bearing capacity is SATISFACTORY

Settlement calculation – NEN 6743

Settlement calculation:

Service load $F_s = 228,77 \text{ kN}$

Skin bearing capacity $R_s = 116,05 \text{ kN}$

Bearing capacity at base $R_b = 112,72 \text{ kN}$

Pile base settlement $w_{base} = 6,9 \text{ mm}$

Elastic deformation of pile $w_{el,d} = 0,3 \text{ mm}$

Overall settlement $w_{1,d} = 7,1 \text{ mm}$

Pile settlement calculation - results

For loading $F_s = 228,77 \text{ kN}$ the pile settlement is $= 7,1 \text{ mm}$

