

## PROJEKTUOJAMOS STATYBOS SKLYPO GEOLOGINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMO REZULTATŲ TAIKYMAS PASTATO PAMATŲ MODELyje

Leonardas Orlakas  
*Šiaulių valstybinė kolegija*

Sergėjus Mirošnikovas  
*Šiaulių valstybinė kolegija*

Deividas Nesovas  
*Šiaulių valstybinė kolegija*

### Anotacija

Pamatai yra esminis bet kurio pastato elementas, nes jie perima konstrukcijos ir kintamų apkrovų poveikį, tolygiai paskirsto jį į gruntą, užtikrina pastato stabilumą ir ilgaamžiškumą. Jeigu gruntai vizualiai panašūs, mechaninės ir fizinės savybės gali labai skirtis skirtingose to paties sklypo vietose. Šioms grunto savybėms nustatyti numatomos statybos sklype atliekami IGG tyrimų gręžiniai. Tai gręžiniai, skirti su tyrimo objektu susijusios žemės gelmių dalies inžinerinei geologinei ir hidrogeologinei sandarai, gruntų ar uolienų sudėčiai ir savybėms nustatyti, gruntų, uolienų ir požeminio vandens ėminiams imti [1]. Visam tyrimų plotui iki 4,7–5,0 m gylio būdingas smėlingas vidutinio plastiškumo molis, smėlingas mažo plastiškumo molis ir dulkis, o gruntinis vandeningas horizontas slūgso 2,0 m gylyje nuo žemės paviršiaus. Skaičiuojant pamato variantus imama labiausiai apkrauta konstrukcija ir gręžinio su silpniausiomis grunto charakteristikomis tyrimo rezultatai. Seklusis pamatas visas apkrovas perduoda pagrindui padu, o polinis pamatas dalį apkrovų perduoda gruntui šoniniu paviršiumi. Sekliojo pamato įrengimui apskaičiuotas 22 proc. didesnis medžiagų poreikis, polinio pamato įrengimui reikalingi brangesni mechanizmai. Polinio pamato laikomosios galios atsarga 1,5 karto didesnė negu sekliojo.

**Pagrindiniai žodžiai:** inžinerinis geologinis sluoksnis, grunto kūginis stipris, šoninė trintis.

### Išvadas

Inžineriniai geologiniai tyrimai – tai žemės gelmių tyrimai, kurių metu gaunama informacijos apie statybų vietoje vyraujančias geologines ir hidrogeologines sąlygas.

Pamatai yra esminis bet kurio pastato elementas, nes jie perima konstrukcijos ir kintamų apkrovų poveikį, tolygiai paskirsto į gruntą, užtikrina pastato stabilumą ir ilgaamžiškumą. Dėl netinkamai suprojektuotų ar įrengtų pamatų gali trūkinėti sienos, atsirasti didelių šilumos nuostolių ir sutrumpėti pastato eksploatavimo laikas, kyla viso pastato griūties pavojus. Renkantis pastato pamatų tipą, atsižvelgiama į kelis veiksnius – statybvietyje slūgsančius gruntuos, jų stiprį ir stabilumą, gruntinio vandens lygį, pastato paskirtį ir konfigūraciją.

Plačiai taikomuose pamatų projektavimo modeliuose pabrėžiamas neapibrėžtumų unikalumas, kurį lemia didžiausios ir specializuotos duomenų bazės: įvairiausios apkrovos, daugybė pamatų tipų ir platus grunto sąlygų spektras [2].

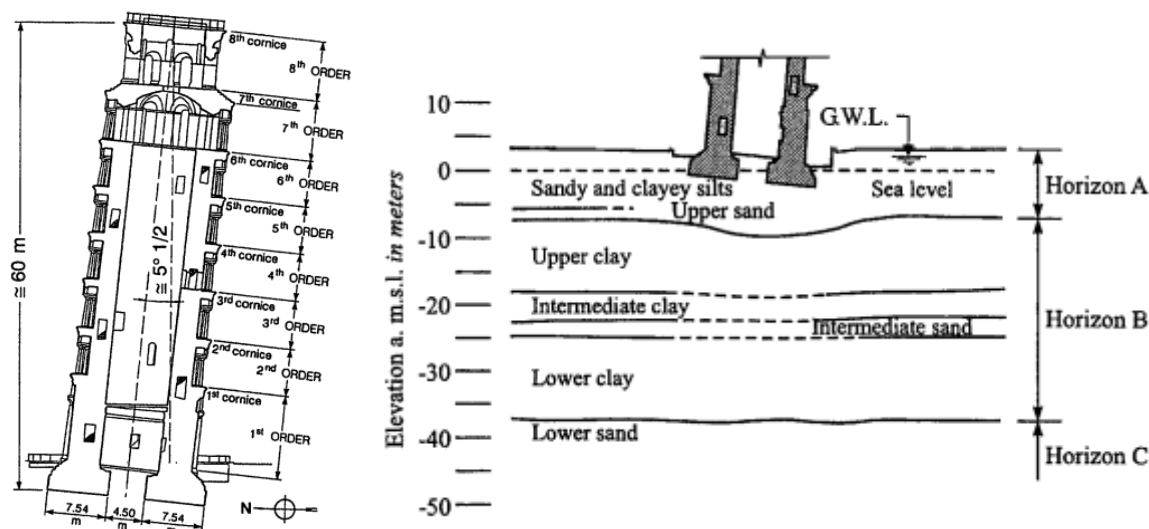
*Tyrimo problema.* Nepaisant galiojančiose techninėse geotechninio projektavimo taisyklėse, pavyzdžiui, *Eurokodas 7* [3], taikomos reguliavimo sistemos, nepateikta išsamių nuorodų apie metodus, skirtus 3D inžineriniam geologiniam modeliavimui, projektavimo ir statybos aikštelės geotechniniam apibūdinimui [4]. Jeigu gruntai vizualiai panašūs, jų mechaninės ir fizinės savybės gali labai skirtis skirtingose to paties sklypo vietose. Projektiniai inžineriniai geologiniai ir geotechniniai tyrimai privalomi statybos, rekonstravimo ir tvarkybos darbų projektams, taip pat kapitalinio remonto projektams, kai keičiamos pamatų konstrukcijos, rengti [1]. Šių tyrimų duomenų sklandus pritaikymas modeliuojant konkretaus pastato konstrukcijas lemia optimalių sprendimų pasirinkimą.

*Tikslas* – atlikti sandėliavimo paskirties pastato statybos sklypo geologinių charakteristikų tyrimo rezultatų analizę ir šiuos rezultatus pritaikyti pastato konstrukcijų modeliui parenkant optimalų pamatų variantą.

*Tyrimo metodai* – mokslinės literatūros analizė, normų ir standartų apžvalga, geologinių tyrimų duomenų analizė (su *GeoCAD*), modeliavimo programa *Robot Structural Analysis*.

*Tyrimo rezultatų naujumas* – geologinių tyrimų duomenų pritaikymas konstrukcijų projektavimo ir analizės modeliui rengiant sandėliavimo pastato projektą suteikia galimybę patobulinti skaitmeninį modelį, palyginti ir optimizuoti galimus konstrukcijų variantus.

Projektuojant ar planuojant bet kokios paskirties statinio statybą neretai pasitaiko, kad geologinės sąlygos yra itin sudėtingos: esant netoliese statiems šlaitams atsiranda šlaito slinkimo tikimybė; silpnas gruntas ir neparinktas tinkamas pamatas gali lemti statinio ar jo dalies griūtį. Pats žinomiausias grunto savybių neįvertinimo pavyzdys – Pizos bokštas Italijoje (1 pav.). Jeigu bokšto konstrukcija nebūtų tokia vientisa ir standi, jo griūtis jau būtų įvykęs faktas. Nuolat dirba Tarptautinis pasvirusio Pizos bokšto apsaugos komitetas (angl. *International Committee for the Safeguard and Stabilisation of the Tower*), kuris stebi konstruktyvo ir pagrindo deformacijas, parenka stiprinimo ir stabilizavimo būdus.



1 pav. Pasvirusio Pizos bokšto skerspjūvis ir pagrindo profilis [5]

Be mechaninių grunto savybių, būtinas tyrimas hidrogeologinėms sąlygoms įvertinti. Hidrogeologinės sąlygos nusako vandeningų sluoksnių buvimą arba nebuvimą, jų gylį, storį ir kitus aspektus. Jeigu projektuojami statinio pamatai remsis į vandeningą sluoksnį, labai svarbu žinoti grunto vandens poveikį betonui ir atitinkamai parinkti jo charakteristikas. Šiuo atveju esminis tikslas yra užtikrinti ne tik pastato stabilumą, bet ir ilgaamžiškumą. Grunto mechaninių savybių tyrimams naudojami gręžinių litologiniai duomenys, o hidrogeologinės sąlygos gali būti tiriamos naudojant elektrinės varžos ir seisminės refrakcijos tomografijos metodus [6].

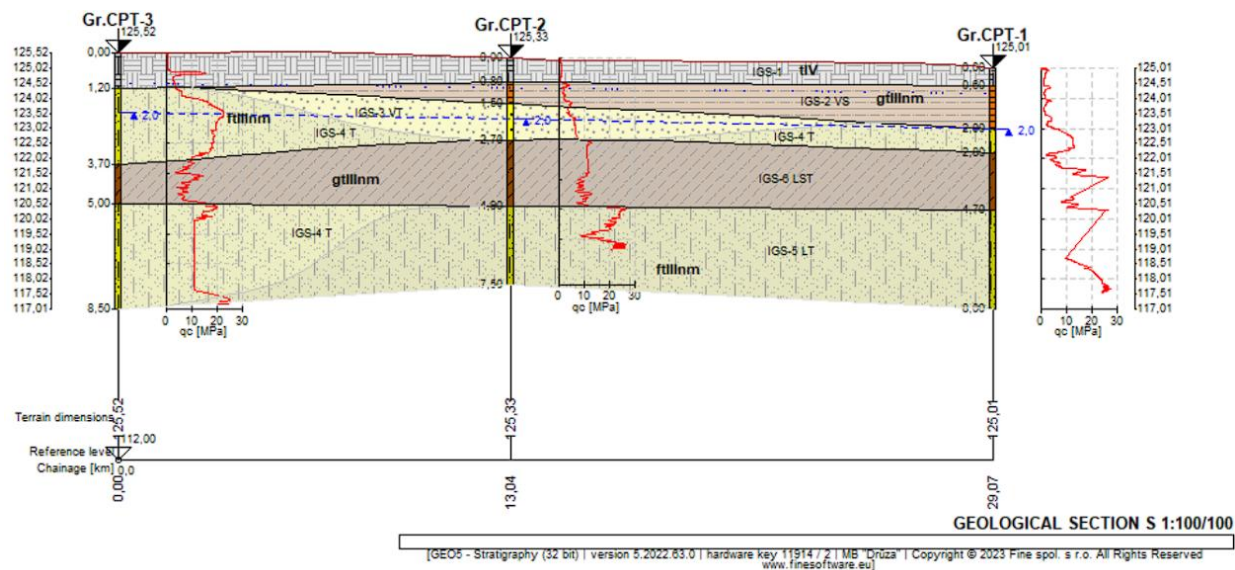
Tinkamai įvertinus geologines sąlygas, galima minimizuoti neigiamą poveikį aplinkai ir gamtai, nustatyti, kaip optimaliai panaudoti statybvietėje esančius gruntuos objektos statybai.

### Geologinių tyrimų duomenys – atvejo analizė

Tiriamas numatomos statybos sklypas yra Šiaulių mieste (2 pav.). Jo reljefas žemėja pietvakarių kryptimi nuo 123,52 m iki 127,37 m virš jūros lygio. Sklypo technogeninė situacija: reljefas performuotas, nustumdytas dirvožemis, iki 0,6–1,2 m gylio slūgso piltiniai grunta.



Pirmasis gręžinys toliausiai nuo gatvės, tad jame aptinkamas ploniausiais technogeninio grunto sluoksnis – 0,6 m. Antrame gręžinyje šis sluoksnis 0,8 m storio, o arčiausiai gatvės – 1,2 m. Pirmuose dviejuose gręžiniuose iki 1,5–2 m gylio yra vidutinio stiprio molio sluoksnis. Dar gilesni visuose gręžiniuose randami įvairios sudėties stiprūs ir labai stiprūs smėliai (4 pav.).

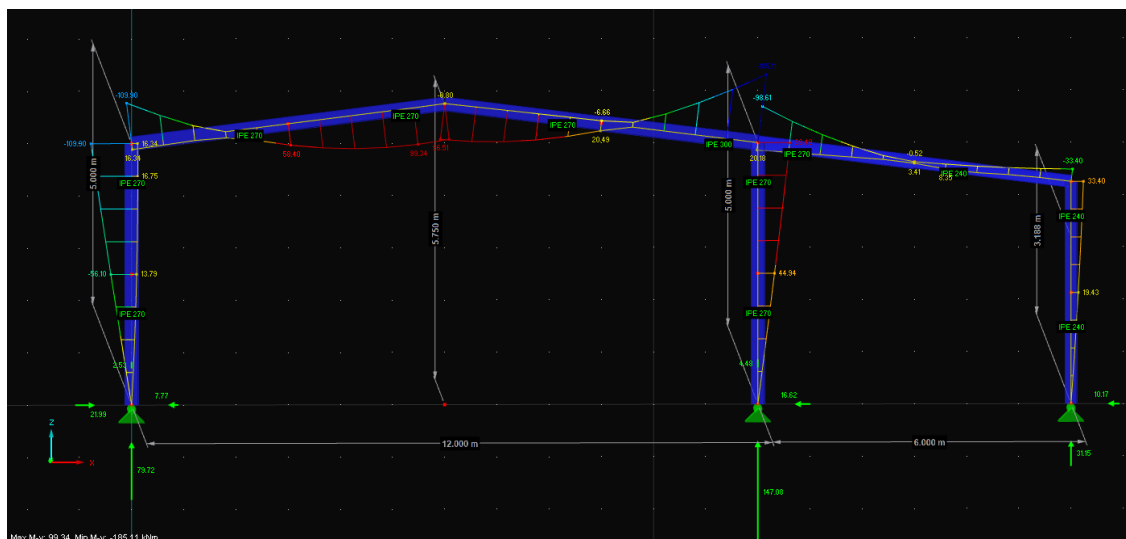


4 pav. Inžinerinis geologinis pjūvis [9]

### Pamatų variantų analizė

Šiaulių mieste maksimalus išalo gylis kartą per 50 metų yra 92 cm [10]. Pasirenkant sandėliavimo pastato karkasui sekliuosius taurinius pamatus dėl išalo užtektų juos įgilinti 1,2 m, tačiau pagal pirmo ir antro gręžinių duomenis šiame gylyje yra tik vidutinio stiprio gruntas. Kitas galimas pamatų pasirinkimas – gręžtiniai pamatai, kurių padas remiasi į stipriuosius gruntus.

Pastato karkasą veikia nuolatinė apkrova (konstrukcijų savasis svoris) ir kintamosios apkrovos (sniego, vėjo). Didesnį poveikį konstrukcijoms daro sniego ir nuolatinės apkrovos derinys (4 pav.).

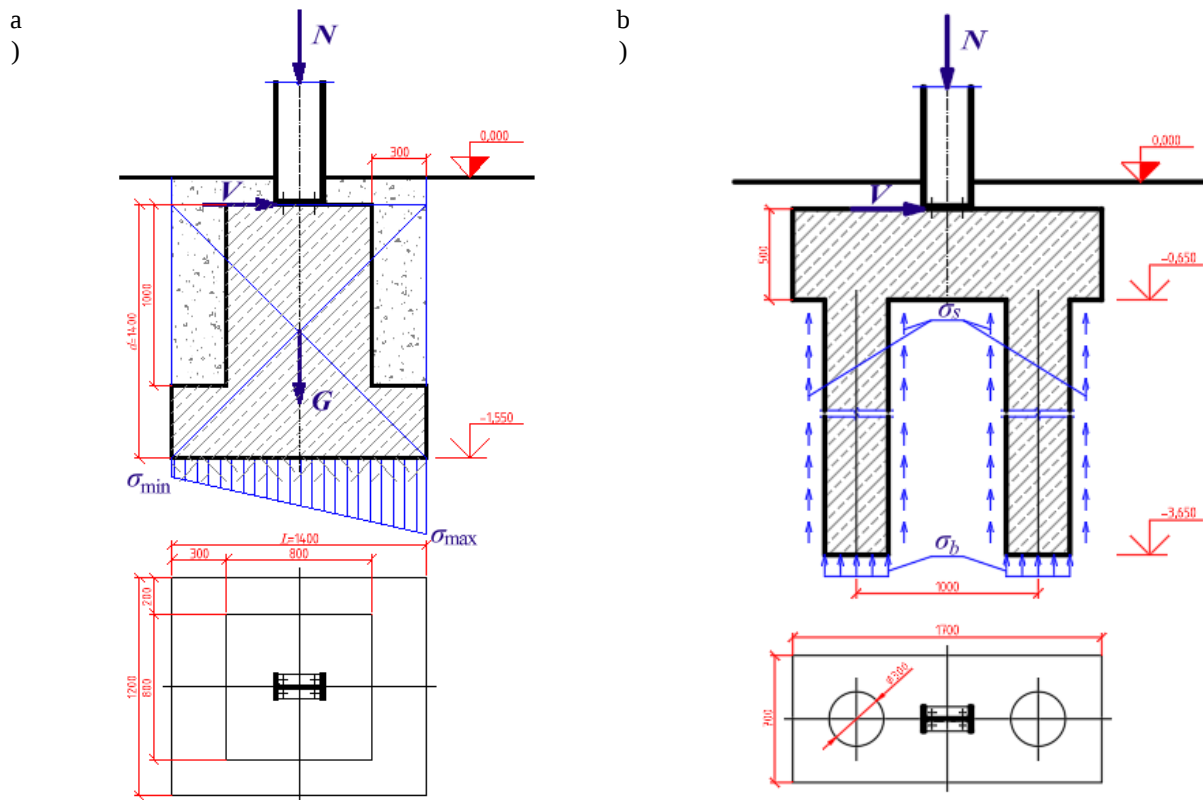


5 pav. Projektuojamo pastato rėmo įrašos nuo nuolatinės ir sniego apkrovos

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Pamato skaičiavimuose imama labiausiai apkrauta konstrukcija ir gręžinio su silpniausiomis grunto charakteristikomis tyrimo rezultatai.

Seklusis pamatas visas apkrovas perduoda pagrindui padu (6 pav. a), o polinis pamatas dalį apkrovų perduoda gruntui šoniniu paviršiumi (6 pav. b).



6 pav. Kolonos pamatų skaičiuojamosios schemas: a – sekliojo; b – polinio

Šaltinis: sudaryta autorių

Po dviejų priartėjimų **seklisio pamato** pado matmenys –  $1,46 \times 1,2$  m. Pamatą veikianti ašinė jėga nuo nuolatinių ir kintamųjų apkrovų:

$$N_1 = Q_1 + G_1 = 147,08 \text{ kN.}$$

Skaičiuotinė seklisio pamato savojo svorio apkrova:

$$G_2 = V_2 \cdot \rho_2 \cdot \gamma_G = 1,312 \cdot 24 \cdot 1,35 = 42,509 \text{ kN;}$$

čia:  $V_2$  – pamato tūris,  $\text{m}^3$ ;  $\rho_2$  – gelžbetonio tankis,  $\text{kN}/\text{m}^3$ ;  $\gamma_G$  – savojo svorio apkrovos dalinis patikimumo koeficientas [11].

Įvertinama ir grunto virš pamato savojo svorio apkrova:

$$G_3 = V_3 \cdot \rho_3 \cdot \gamma_G = 1,04 \cdot 15 \cdot 1,35 = 21,06 \text{ kN;}$$

čia:  $V_3$  – grunto virš pamato tūris,  $\text{m}^3$ ;  $\rho_3$  – smėlinio grunto tankis,  $\text{kN}/\text{m}^3$ .

Ašinė jėga nuo visų apkrovų, tenkanti pamato padui:

$$N = N_1 + G_2 + G_3 = 147,08 + 42,509 + 21,06 = 210,649 \text{ kN.}$$

Nuolatinės ir kintamosios apkrovos sukelia ties pamato viršumi skersinę jėgą  $V = 22,437 \text{ kN}$ . Momentas, kurį pamato pade sukelia skersinė jėga [11]:

$$M = V \cdot h; \quad (1)$$

$$M = 22,437 \cdot 1,4 = 31,412 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

Normaliniai pagrindo įtempiai nuo ašinės jėgos:

$$\sigma_V = \frac{N}{A} = \frac{210,649}{1,68} = 125,386 \text{ kPa.}$$

Maksimalūs normaliniai įtempiai po pamato padu:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{210,649}{1,68} + \frac{31,412}{0,392} = 205,519 \text{ kPa;}$$

čia:  $A$  – sekliojo pamato plotas,  $m^2$ ;  $W$  – pamato pado stačiakampio atsparumo momentas,  $m^3$ .

Minimalūs normaliniai įtempiai po pamato padu:

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = \frac{210,649}{1,68} - \frac{31,412}{0,392} = 45,253 \text{ kPa.}$$

Pagal geologinius tyrimus pamatas remiasi į smėlingą vidutinio plastiškumo molį, kurio kūginis stipris  $q_c = 2,2 \text{ MPa}$  ir šoninė trintis  $f_c = 53,5 \text{ kPa}$ . Vadovaujantis standartu [12] laikoma, kad pagrindo stipris  $R_0 = 200 \text{ kPa}$ . Pagrindo stiprumo sąlyga tenkinama [12]:

$$\begin{cases} \sigma_{max} \leq 1,2R_0 \\ \sigma_{min} \geq 0 \\ \sigma_V \leq R_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} 205,519 < 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ kPa} \\ 45,253 > 0 \\ 125,386 < 200 \text{ kPa} \end{cases}.$$

Sekliojo pamato laikomosios galios atsarga – 37,31 proc.

**Polinio pamato** matmenys taip pat parenkami priartėjimo būdu: polio skersmuo  $d = 0,30 \text{ m}$ , ilgis  $L = 3 \text{ m}$ , pagrindo plotas  $A_b = 0,071 \text{ m}^2$ , šoninis perimetras  $P_s = 0,942 \text{ m}$ . Atstumas tarp dviejų polių centrų –  $1,0 \text{ m}$ , kuriuos jungia galvena:  $l = 1,7 \text{ m}$ ,  $b = 0,7 \text{ m}$ ,  $h = 0,5 \text{ m}$ .

Skaičiuotinė polinio pamato savojo svorio apkrova:

$$G_{2,p} = V_{2,p} \cdot \rho_2 \cdot \gamma_G = 1,021 \cdot 24 \cdot 1,35 = 33,08 \text{ kN.}$$

Ašinė jėga nuo visų apkrovų, tenkanti pamatui:

$$N_p = N_1 + G_{2,p} = 147,08 + 33,08 = 180,16 \text{ kN.}$$

Momentas, kurį galvenos apačioje sukelia skersinė jėga:

$$M_g = V \cdot h_g = 22,437 \cdot 0,5 = 11,218 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

čia:  $h_g$  – pamato galvenos aukštis,  $m$ .

Šis momentas veikia pamato polius dviem priešingos krypties ašinėmis jėgomis, kurių petys yra atstumas tarp polių ašių:

$$N_M = \frac{M_g}{l} = \frac{11,218}{1,0} = \pm 11,218 \text{ kN.}$$

čia:  $l$  – atstumas tarp polių ašių,  $m$ .

Bendrai ašinė jėga, veikianti vieną polių:

$$N_+ = \frac{N}{2} + N_M = \frac{180,16}{2} + 11,218 = 101,298 \text{ kN;}$$

$$N_- = \frac{N}{2} - N_M = \frac{180,16}{2} - 11,218 = 78,852 \text{ kN.}$$

Pagrindo po polio padu laikomoji galia [13]:

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

čia:  $\alpha_b$  – empirinis koreliacijos koeficientas tarp grunto kūginio stiprio ir pagrindo stiprio (1 lentelė).

$$R_b = 1,0 \cdot 10,3 \cdot 10^3 \cdot 0,071 = 731,3 \text{ kN.}$$

1 lentelė. Empirinių koeficientų  $\alpha_b$  ir  $\alpha_{si}$  bei laikomųjų galių rekomenduojamos reikšmės [13]

| Grunto tipas                | Kūginis stipris $q_c$ , MPa | Koreliacijos koeficientas |               | Apribojimai                |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|----------------------------|
|                             |                             | $\alpha_b$                | $\alpha_{si}$ |                            |
| Moreninis molis             | 1–5                         | 1,0                       | 0,05          | $q_s \leq 200 \text{ kPa}$ |
|                             | > 5                         | 0,8                       | -             | $q_b \leq 6,5 \text{ kPa}$ |
| Juostinis molis (priemolis) | 0–3                         | 1,0                       | 0,035         | $q_s \leq 150 \text{ kPa}$ |

|                     |                       |     |                                  |                            |
|---------------------|-----------------------|-----|----------------------------------|----------------------------|
|                     | > 3                   |     | -                                |                            |
| Dulkis (priesmėlis) | 0–5<br>> 5            | 0,6 | 0,025<br>-                       | $q_s \leq 150 \text{ kPa}$ |
| Smėlis              | 0–10<br>10–20<br>> 20 | 0,5 | 0,01<br>$110 + 4(q_c - 10)$<br>- | $q_s \leq 180 \text{ kPa}$ |

Polio šoninio paviršiaus laikomoji galia [14]:

$$R_s = \sum(\alpha_{si} f_{si} A_{si}) = P_s \sum(\alpha_{si} f_{si} l_{si}); \quad (4)$$

čia:  $f_{si}$  – polio šoninio paviršiaus šoninė trintis, kPa;  $A_{si}$  – polio šoninio paviršiaus plotas grunto sluoksnyje,  $\text{m}^2$ ;  $l_{si}$  – grunto sluoksnio storis, m.

$$R_s = \sum(\alpha_{si} f_{si} A_{si}) = P_s \sum(\alpha_{si} f_{si} l_{si}) = 0,942(0,035 \cdot 53,5 \cdot 1,35 + 0,025 \cdot 90,8 \cdot 0,8 + 0,035 \times \\ \times 235,1 \cdot 0,85) = 10,68 \text{ kN}.$$

Polio apskaičiuotoji ribinė laikomoji galia:

$$R_{c,cal} = \frac{R_b}{\gamma_{Rb}} + \frac{R_s}{\gamma_{Rs}} = \frac{731,3}{2} + \frac{10,68}{1,5} = 372,77 \text{ kN};$$

čia:  $\gamma_{Rb}$  ir  $\gamma_{Rs}$  – modeliavimo koeficientai, priklausantys nuo polių įrengimo būdo – vientiso sraigtinio gręžimo [14].

Charakteristinė polio laikomosios galios reikšmė:

$$R_{c,k} = \frac{R_{c,cal}}{\zeta_3} = \frac{372,77}{1,33} = 280,278 \text{ kN};$$

čia:  $\zeta_3$  – koreliacijos koeficientas charakteristinėms reikšmėms apskaičiuoti, priklausantis nuo grunto bandymų skaičiaus [14].

Skaiciuojamoji polio laikomosios galios reikšmė:

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_t} = \frac{280,278}{1,15} = 243,72 \text{ kN};$$

čia:  $\gamma_t$  – dalinis polio atsparumo patikimumo koeficientas [14].

Skaiciuojamoji polio laikomoji galia yra pakankama:  $243,72 \text{ kN} > N_+ = 101,298 \text{ kN}$ . Laikomosios galios atsarga – 58,44 proc. Nors atsarga yra ganėtinai didelė, bet polinio pamato matmenis riboja konstrukciniai reikalavimai.

## Išvados

1. Geologiniai statybos sklypo tyrimai leidžia teigti, kad esami gruntai yra tinkami numatyto pastato statybai.
2. Suprojektuoto sekliojo pamato tūris 22 proc. didesnis negu polinio, tad atitinkamai didesnė gelžbetonio išeiga. Be to, sekliojo pamato pagrindo įrengimo darbai reikalauja didesnio tikslumo.
3. Suprojektuoto polinio pamato laikomosios galios atsarga 1,5 karto didesnė negu sekliojo. Jo įrengimui reikalingi sudėtingesni mechanizmai.

## Literatūra

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 1.04.02:2011 Inžineriniai geologiniai (geotechniniai) tyrimai. [žiūrėta 2025-01-29]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.416531/asr>
2. TANG, Chong; PHOON, Kok-Kwang. *Model uncertainties in foundation design*. CRC press, 2021. ISBN 9780429024993. <https://doi.org/10.1201/9780429024993>
3. EN 1997-3:2025 Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 3 dalis. Geotechninės konstrukcijos / Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 3: Geotechnical structures.

4. PETRONE, P., et al. Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola's logistic plant (southern Italy). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2023, 82.1: 12. <https://doi.org/10.1007/s10064-022-03017-y>
5. BURLAND, J. B.; JAMIOLKOWSKI, Michele; VIGGIANI, Carlo. The stabilisation of the Leaning Tower of Pisa. *Soils and foundations*, 2003, 43.5: 63-80. [https://doi.org/10.3208/sandf.43.5\\_63](https://doi.org/10.3208/sandf.43.5_63)
6. AKINGBOYE, Adedibu Sunny. Geophysical research on the interplays between soil-rock variability and hydrogeological structures: a case study. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 2024, 57.1: qjegh2023-100. <https://doi.org/10.1144/qjegh2023-100>
7. VŠĮ STATYBOS SEKTORIAUS VYSTYMO AGENTŪRA. Žemėlapiai. [žiūrėta 2025-01-29]. Prieiga per: <https://www.geoportal.lt/map/>
8. GEDŽIŪNAS, Petras ir kt. *Šiaulių krašto geologija*. Vilnius-Utena, 2006. ISBN 9986-623-43-X.
9. Projektiniai pasiūlymai: *Statybinių medžiagų sandėlio Šiauliuose statybos projektas*. 2025.
10. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.01.12:2024 Statybų klimatologija. [žiūrėta 2025-01-29]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/Occb92d07ef511efabdbb4a1fc8b0b63>
11. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.05.04:2003 Poveikiai ir apkrovos. [žiūrėta 2025-02-28]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.213447/asr>
12. LST EN 1997-2:2007 Eurokodas 7. *Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindo tyrinėjimai ir bandymai Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing*.
13. GAJAUSKAS, J., ŠARAKAUSKAS, J., MOTIEKAITIS, R. *Statybos inžinieriaus žinynas*. Vilnius, Technika, 2004. ISBN 9986-05-682-9.
14. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.01.12:2024 2.05.21:2016 *Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai*. [žiūrėta 2025-02-28]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/091b93d041e411e69f7afa4bbf73635e/asr>

#### **Application of the Results of a Planned Construction Site Geological Characteristics Study in the Foundation Model of the Building**

##### **Summary**

Foundations are an essential element of any building as they take the effects of structural and variable loads and distribute them evenly into the soil, ensuring the stability and durability of the building. Even if soils are visually similar, the mechanical and physical properties can vary considerably between different locations on the same site. To determine these soil properties, IGG boreholes were made. IGG boreholes are boreholes used to determine the engineering geological and hydrogeological structure of the part of the subsurface related to the object of the study, to determine the composition and properties of the soils or rocks, and to take samples of soils, rocks and groundwater [1]. Sandy clay of medium plasticity, sandy clay of low plasticity and dust occur throughout the study area to a depth of 4,7-5,0 m, and the water table aquifer lies at a depth of 2,0 m from the surface. The calculation of the foundation options shall be based on the most heavily loaded structure and on the results of the borehole with the weakest soil characteristics. A shallow foundation transfers all the loads to the subsoil by means of the footing, while a pile foundation transfers part of the loads to the soil at the lateral surface. The material requirements for the shallow foundation are estimated to be 22% higher, while the pile foundation requires more expensive machinery. The bearing capacity reserve of a pile foundation is 1,5 times higher than that of a shallow foundation.

**Key words:** engineering geology layer, soil cone strength, lateral friction.