

INŽINERINIŲ GEOLOGINIŲ GRUNTŲ TYRINĖJIMŲ SVARBA STATYBOS PROCESO EFEKTYVUMUI

Ričardas KURILA, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas ricardas.kurila@vdu.lt

Santrauka

Šiame darbe analizuojama universalaus pamato idėja ir jo pritaikymas skirtingose Kauno vietose (skirtingomis vyraujančiomis geologinėmis sąlygomis). Pasitelkus programinę įrangą *GeoCAD* tiriamojo darbo duomenys (gręžimo, statinio zondavimo ir laboratorinių tyrimai) buvo sugrupuoti ir sudaryti inžineriniai geologiniai stulpeliai. Remiantis informacija iš inžinerinių geologinių stulpelių ir naudojantis STR 2.05.21:2016 skyriaus „Gręžtinių pamatų pagrindo projektavimas“ formulėmis parinktas universalus (stiprus) pamatas pagal „blogas“ geologines sąlygas. Jo duomenys buvo lyginami kitose Kauno zonose įvertinant, ar atitinka pamato stabilumo sąlygą. Atsižvelgus į gautus rezultatus nustatyta, kad dviejose iš trijų Kauno zonų tokie pamatai atitinka stabilumo sąlygą, tačiau yra per stiprūs, o vienoje iš jų – neatitinka. Siekiant parinkti efektyvius pamatus visose tiriamose Kauno zonose būtų naudinga atlikti inžinerinius geologinius tyrimus.

Reikšminiai žodžiai: namas, pamatas, geologija, pamatų parinkimas, universalūs pamatai, polinis pamatas.

Įvadas

Inžineriniai geologiniai tyrimai – tai žemės gelmių tyrimai, kurių metu gaunama informacija apie statybų vietoje vyraujančias geologines ir hidrogeologines sąlygas. Šia informacija yra naudojama siūlant statinius ir parenkant tinkamiausius ir optimaliausius su statybomis susijusius sprendimus. Taip pat dėl griežtėjančių techninių reglamentų ir didėjančių statybos bei šildymo kaštų iškilo būtinybė ieškoti inovatyvių, ekonomiškų ir efektyvių sprendimų. Dabar statybininkai reikalauja stabilų, patikimų, greitai ir lengvai montuojamų pamatų, kurių šilumos nuostoliai ir sąnaudos būtų minimalūs.

Pamatai yra esminis bet kurio pastato elementas, nes jie atlaiko konstrukcijos svorį ir tolygiai paskirsto jį į gruntą, užtikrindami jo stabilumą ir ilgaamžiškumą. Dėl netinkamai suprojektuotų ar įrengtų pamatų gali trūkinėti sienos, atsirasti dideli šilumos nuostoliai ir sutrumpėti pastato eksploatavimo laikas ar įvykti viso pastato griūtis (Deng ir kt., 2023; Farjoo ir kt., 2012). Renkantis pastato pamatų tipą, atsižvelgiama į tokius veiksnius kaip slūgsantys grunta statybvietėje, jų stiprumas ir stabilumas, gruntinio vandens lygis, pastato aukštis ir svoris, architektūrinis projektas, paskirtis (Sanchez-Garrido ir kt., 2022).

Klientai dažniausiai renka ekonomiškus pamatus, kuriems reikia minimalių statybinių medžiagų, greitai ir lengvai surenkami, o šilumos nuostoliai minimalūs (Slizytė ir kt., 2012). Norint gauti patikimą informaciją apie pasirinktos vietovės gruntų geologines savybes vertėtų rinktis patikimas įmones, kurios turi leidimus ir atitinka Lietuvos geologijos tarnybos reikalavimus. Užsakovui vertėtų samdyti kompetentingus pamatų projektuotojus, gebančius tinkamai įvertinti geologinių tyrimų ataskaitoje pateiktus duomenis ir įrengti pamatus su reikiama, tačiau nepertekline atsarga.

Stebint Lietuvos Respublikos statybų sektoriaus progresyvių sprendimų priėmimą, kuriais siekiama supaprastinti ir sutrumpinti statybų eigą, 2022 m. gegužės mėnesį buvo priimtas statybų techninis reglamentas (toliau – STR) 1.04.02:2011 Inžineriniai geologiniai (geotechniniai) tyrimai. Šiame STR inžineriniai geologiniai tyrimai pirmosios geotechninės kategorijos neypatingiems statiniams, tokiems kaip individualūs namai ir kotedžai, tapo nebūtini. Dėl šios priežasties daugelis rangovų neatlieka šių tyrimų ir projektuodami pamatus remiasi geologinėmis ataskaitomis iš gretimų vietovių. Tai paskatino išnagrinėti „universalų“ (kontrolinio) pamato hipotezę, kuris parenkamas remiantis nepalankiomis geologinėmis sąlygomis, tokiomis kaip silpnas, vandeningas ar purus gruntas. Tokiomis aplinkybėmis reikalingas tvirtas arba ypač tvirtas pamatas. Palankių geologinių sąlygų regionuose tokie pamatai yra pakankamai, o kartais pernelyg, stiprūs. Tačiau kitais atvejais šie pamatai gali būti neekonomiški arba netenkinti stabilumo sąlygų.

B. Look savo monografijoje (2014) teigia, kad jei namo pamato įrengimas viršija 30 % nustatytą statybos kaštų, dažnu atveju yra neverta toje vietoje jo statyti. Stengiantis išvengti brangių pamatų vertėtų atsižvelgti į toje vietoje vyraujančius gruntuos. V. Urbanavičienė su bendraautoriais (2019) nagrinėjo atvejį, kai rengiant namo projektą nebuvo atlikti inžineriniai geologiniai tyrimai, juos atlikus buvo nustatyta, kad grunta tokiam namo projektui yra netinkami, pamatas viršija 30 % statybos išlaidų. Šiuo atveju teko keisti namo planą, kas sumažino pamato išlaidas, tačiau papildomos geologinės ataskaitos ir namo projekto keitimas užtruko 5 mėnesius. Taigi neatlikus geologinių inžinerinių tyrimų buvo prarasta daug laiko. M. Sandanayake su kolegomis (2017) teigia, kad parengus išankstinį statybų planą galima žymiai sumažinti išlaidas, taip pat ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išsiskyrimą. Tam pritaria ir kiti mokslininkai (Dilawar ir kt., 2019).

Norint įvertinti universalių pamatų tinkamumą Kauno miesto geologinėmis sąlygomis, buvo iškeltas **tikslas** – naudojantis inžineriniais geologiniais duomenimis ištirti, ar universalūs pamatai yra ekonomiškai ir tenkina stiprumo sąlygas.

Tyrimo uždaviniai

1. Įvertinti universalaus pamato įrengimo galimybes trijose labiausiai vyraujančiuose gruntuose Kauno mieste;
2. Pagrįsti inžinerinių geologinių tyrimų naudą ar jų nereikalingumą įrengiant pamatus.

Tyrimų objektas ir metodika

Tyrimo objektas – „universalaus“ pamato idėja ir jo tinkamumas skirtingoms geologinėms sąlygoms.

Tyrimo duomenų surinkimas ir apdorojimas. Gruntai buvo vertinami, tiriami, analizuojami ir grupuojami pasitelkus tiriamojo darbo (gręžimo, statinio zondavimo ir laboratorinių tyrimų) duomenimis. Šie duomenys apdoroti ir sugrupuoti pasitelkus programinę įrangą – *GeoCAD*. Gauti duomenys pateikti kaip inžineriniai geologiniai stulpeliai, juose išskiriant inžinerinius geologinius sluoksnius (IGS), jų stiprumines savybes ir slūgsojimo gylius.

Pasitelkus vidutinio, nesudėtingo ir neypatingo individualaus namo apkrovų į pamatą duomenimis (Pamatą veikianti pastato apkrova $N = 100$ kN) ir geologiniu stulpeliu pagal statybos techninio reglamento STR 2.05.21:2016 „Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai“ skyriaus „Gręžtinių pamatų pagrindo projektavimas“ buvo parinktos skaičiavimo formulės ir apskaičiuoti kontrolinio pamato fizikiniai parametrai (pamato matmenys). Darbe skaičiuojant įšalo gylį naudotos klimato loginės sąlygos iš *Respublikinės statybos normos (RSN) 156-94*.

1) Pamatų gylis ir pado skersmuo parinktas atsižvelgiant į laikančiojo grunto sluoksnio padėtį, klimato veiksmus (įšalą ir pan.). Gręžtinio olinio pamato gylis turi atitikti šią sąlygą:

$$d \geq 2b, \quad (1)$$

čia b – pamato pado skersmuo, m;

d – pamato, įleisto į nejudintą ar sutankintą gruntą, gylis, m.

2) Trinties jėga prie pamato šonų:

$$F_f = \pi b d_d R_f, \quad (2)$$

čia d_d – skaičiuojamasis pamato gylis, randamas pagal šią formulę:

$$d_d = d - h_s, \quad (3)$$

čia h_s – pamato jautriojo sluoksnio storis, m.

3) R_f – pagrindo prie pamato šonų vidinis skaičiuojamasis trinties stiprumas, kPa, randamas pagal šią formulę:

$$R_f = \frac{f_s}{3}, \quad (4)$$

čia f_s – IGS šoninės trinties stiprumas zondojuojant, kPa.

4) Tikrinamas pamato stiprumas. Jei šią sąlygą atitinka, vadinasi, slėgis po pamato padu neviršija skaičiuojamojo stiprumo:

$$p = \frac{N - F_f}{A} \leq R_{sn}, \quad (5)$$

čia p – slėgis po pamato padu, kPa;

N – pamato viršaus lygyje veikianti didžiausia ašinė jėga nuo pastato apkrovų, nepaisant pamato svorio. Šiuo atveju naudojantis gyvenamojo namo projektu parenkama pastato apkrova $N=100$ kN;

F_f – trinties jėga prie pamato šonų, apskaičiuojama pagal formulę (2);

R_{sn} – pagrindo skaičiuojamasis stiprumas, kPa; randamas pagal šią formulę:

$$R_{sn} = 0,1 \cdot n \cdot (q_c \cdot 1000), \quad (6)$$

čia q_c – IGS kūginis stiprumas zondojuojant, MPa.

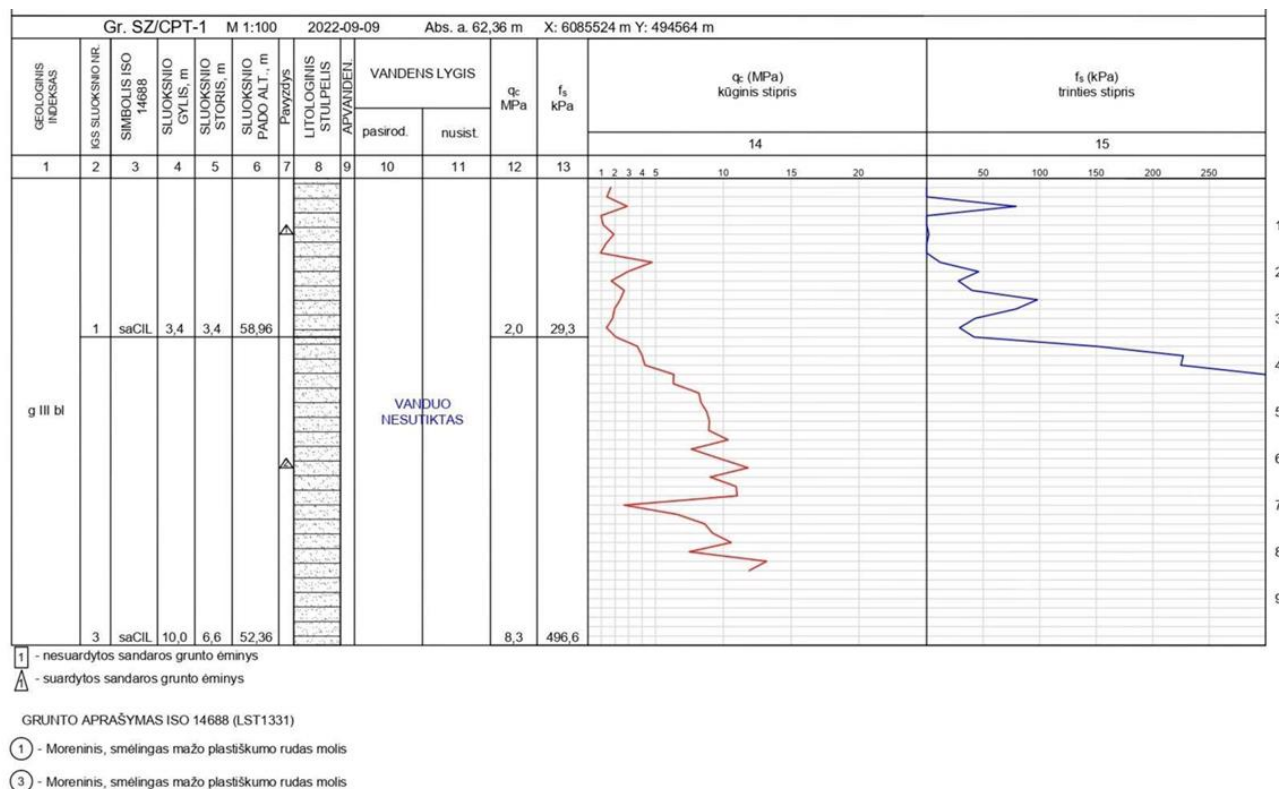
5) A – pamato pado plotas, m^2

$$A = \frac{\pi \cdot b^2}{4}. \quad (7)$$

Kontrolinio pamato vietoje aptiktas moreninis, smėlingas, mažo plastiškumo, vidutinio stiprumo molis, kurio kūginis stipris zondojuojant $q_c = 2,0$ MPa, šoninė trintis $f_s = 29,3$ kPa. Pagal šio IGS duomenis (1 pav.) pasirinktas pamato

pado skersmuo $b = 0,5$ m ir pamato pagrindo gylis $d = 2,8$ m. Parinkti duomenys toliau naudojami kaip kontrolinio pamato duomenys ir tikrinami kitose Kauno miesto zonose pagal likusius stulpelius.

Toliau darbe buvo tikrinama, ar kontrolinis pamatas būtų tinkamas visose pasirinktose zonose apskaičiavus pamato stabilumo sąlygą pasiliekančią kontrolinio pamato fizikinius parametrus. Pagal gautus rezultatus įvertinus kontrolinio pamato universalumą nustatyta, ar tiriamose vietose palanku atlikti inžinerinius geologinius tyrimus. Kitų stulpelių vietose reikiami sluoksnių duomenys yra tokie: **Stulpelio Nr. 1** vietoje aptiktas vidutinio stiprumo molis, kurio kūginis stipris zonduojant $q_c=2,0$ MPa, šoninė trintis $f_s=87,7$ kPa. **Stulpelio Nr. 2** vietoje – moreninis, smėlingas, mažo plastiškumo, stiprus molis, kurio kūginis stipris zonduojant $q_c=3,0$ MPa, šoninė trintis $f_s=67$ kPa. **Stulpelio Nr. 3** vietoje – didelio plastiškumo, vidutinio stiprumo molis, kurio kūginis stipris zonduojant $q_c=1,7$ MPa, šoninė trintis $f_s=34$ kPa.



1 pav. Inžinerinis geologinis stulpelis su zondo rodmenimis

Fig. 1 Geological columns with cone penetration test results

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Kontrolinio pamato skaičiavimai buvo naudojami norint patikrinti, ar toks pamatas atitiktų stabilumo sąlygą kitose trijose Kauno miesto zonose. 1 lentelėje pateikti šių trijų zonų pamatų skaičiavimo rezultatai.

1 lentelė. Polinių pamatų įrengimo sąlygų palyginimas

Table 1. Comparison of conditions for installation of pole foundations

Stulpelio Nr.	Šalčiui jautraus sluoksnio storis	Pamato pagrindo kūginis stipris	Kertamų sluoksnių šoninės trinties stipris	Skaičiuojamasis trinties stiprumas	Pamato jautriojo sluoksnio storis	Skaičiuojamasis pamato gylis	Trinties jėga prie pamato šonų	Pamato pado plotas	Pagrindo skaičiuojamasis stiprumas	Slėgis po pamato padu	Stabilumo sąlygos tikrinimas
	h , m	q_c , MPa	f_s , kPa	R_f , kPa	h_s , m	d_d , m	F_f , kPa	A , m ²	R_{sn} , kPa	p , kPa	Tenkinama/netenkinama
K	0	2	29,3	9,77	1,3	1,5	23,001	0,196	400	392,35	Tenkinama
1	1,2	2	87,7	29,23	0,1	2,7	123,920	0,196	400	0,00	Tenkinama
2	1	3	67	22,33	0,3	2,5	87,658	0,196	600	62,89	Tenkinama
3	0,2	1,7	34	11,33	1,1	1,7	30,249	0,196	340	355,42	Netenkinama

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad stulpelių Nr. 1 ir 2 vietose kontrolinis pamatas atitinka stabilumo sąlygą. Vadinas, šiose vietose kontrolinis pamatas yra tinkamas, tačiau pamato skaičiuojamasis stiprumas stulpeliuose yra per stiprus daugiau nei keletą kartų, tad įrengti kontrolinį pamatą šiose vietose būtų neekonomiška – brangu. Stulpelio Nr. 3 vietoje toks pamatas būtų per silpnas, nes pamatas po padu viršija pagrindo skaičiuojamąjį stiprumą. ($p \leq R_{sn}$, o gautuose rezultatuose – $355,42 \leq 340$).

Vertinant skaičiavimų rezultatus galima teigti, kad pasirinktose vietose būtina atlikti inžinerinius geologinius tyrimus. Pirmais dviem atvejais naudojant „universalūs“ pamatus statybos kaštai būtų didesni nei įrengiant pamatus pagal atliktus geologinius tyrimus (mažesnis įgilinimas, skerspjuvis). Didesnė problema su trečiuoju variantu, kadangi šiuo atveju stiprumo sąlyga yra netinkama ir pastatas su tokiais pamatais neatitiktų esminio statinio reikalavimo, kuris apibrėžtas statybos techniniame reglamente STR 2.01.01(1):2005 „Esminis statinio reikalavimas. Mechaninis atsparumas ir pastovumas“, dėl to pastatas gali pradėti sėsti, sutrūkinėti sienos ir pastatas gali tapti nebesaugus eksploatuoti.

Įtakos stabilumo sąlygai daro tose vietose vyraujantys gruntai:

- 1 vietoje buvo vidutinio stiprumo molis, turintis ne mažą šoninę trintį, todėl slėgis po pamatu yra labai mažas, dėl šios priežasties kontrolinis pamatas yra per stiprus šiai vietai;
- 2 vietoje – moreninis, smėlingas, mažo plastiškumo, stiprus molis, kuris turi didelį kūginį stiprį ir vidutinę šoninę trintį, todėl kontrolinis pamatas yra šiek tiek per stiprus;
- 3 vietoje – didelio plastiškumo, vidutinio stiprumo molis, kadangi didelio plastiškumo molis turi mažą šoninę trintį ir gan žemą kūginį stiprį, šiai vietai kontrolinis pamatas neatitinka stabilumo sąlygos.

Tiek statytojas, tiek rangovas, nežinodami vyraujančių gruntų, rinkęsi stiprų pamatą, bet pagal gautus rezultatus jis tiks ne visur. Net jei ir esamo grunto pamatas atitiks stabilumo sąlygą, pamatas gali būti per stiprus ten vyraujantiems gruntams, bus atliekama daugiau nereikalingų darbų (statybos aikštelės paruošimas, polių gręžimas ir kt.), naudojamas aukštesnės klasės betonas ir armatūra, kurie yra brangesni.

Be to, svarbu atsižvelgti į statybos poveikį aplinkai, o geologiniai tyrimai būtini ne tik dėl ekonominių priežasčių, bet ir siekiant užtikrinti, kad statyba būtų ekologiškai tvari. Kuo didesnis statybinių medžiagų kiekiai yra sunaudojami bei kuo statybose naudojama daugiau mechanizmų, tuo daugiau į aplinką išskiriama ŠESD. Todėl siekiant užtikrinti, kad pamatai atitiktų stabilumo sąlygas, būtų tinkami vyraujančiam gruntui, būtų ekonomiškai ir ekologiškai tvarūs, itin svarbu atlikti inžinerinius geologinius tyrimus.

Išvados

1. Visais trim skaičiuojamaisiais atvejais universalus pamato idėja nepasitvirtino. Pirmi du atvejai parodė, kad universalūs matai neekonomiški. Trečiuoju atveju pamatas neatitiko stiprumo sąlygų.

2. Inžineriniai geologiniai duomenys įrengiant pamatus yra naudingi apskaičiuojant optimalų reikalingų statybinių medžiagų ir darbo kiekį, taip panaudojant mažiau resursų, sutaupant pinigų ir saugant aplinką. Be to, inžineriniai geologiniai tyrimai leidžia išvengti pirmalaikių pastatų defektų, kurių šalinimas reikalauja papildomų kaštų.

Literatūra

1. Deng, Y., Guo, Y., Zou, B., Wang, J., Liu, X., Chen, Q., Kong, B., Liang, S. 2023. Failure analysis and zoning control of water gushing in foundation pit. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 145.
2. Farjoo, M., Pal S., Daniel, W., Meehan, P. A. 2012. Stress intensity factors around a 3D squat form crack and prediction of crack growth direction considering water entrapment and elastic foundation. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 94, p. 37–55 p.
3. Dilawar, H., Ravi, P. 2019. Life Cycle Ecological Footprint Assessment of an Academic Building. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 100, 97–110 p.
4. Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., Zhang, X. 2018 Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81.
5. Look, B. G. 2014. Handbook of geotechnical investigations and design tables. Second edition. Taylor & Francis group, London, UK.
6. Sanchez-Garrido, A. J., Navarro, I. J., Yepes, V. 2022. Evaluating the sustainability of soil improvement techniques in foundation substructures. *Journal of Cleaner Production*, Vol.351.
7. Sandanayake, M., Zhang, G., Setunge, S., Luo, W., Li, C. Q. 2017. Estimation and comparison of environmental emissions and impacts at foundation and structure construction stages of a building – A case study. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 151.
8. Sližytė, D., Medzvieckas, J., Mackevičius, R. 2012. Pamatai ir pagrindai, Vilnius: Technika, 39 p.
9. Statybos normos „Statybinė klimatologija. RSN 156-94“.
10. Statybos techninis reglamentas STR 1.04.02:2011 „Inžineriniai geologiniai (geotechniniai) tyrimai“.
11. Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(1):2005 „Esminis statinio reikalavimas. Mechaninis atsparumas ir pastovumas“.
12. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.21:2016 „Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai“.
13. Urbanavičienė, V., Skuodis, S. 2019. Lack of attention to geological conditions investing in land plot for construction. *Architecture, civil engineering, environment*, Vol. 12 (4), p. 87–95.

THE IMPORTANCE OF ENGINEERING GEOLOGICAL SOIL INVESTIGATIONS FOR THE EFFICIENCY OF THE CONSTRUCTION PROCESS

Summary

This paper analyzes the idea of a universal foundation and its application in the covered areas of Kaunas. With the help of the “GeoCAD” software, the data of the research work (drilling, cone penetration, and laboratory tests) were grouped and engineering geological columns are created. Based on the information from the engineering geological columns and using the formulas from STR 2.05.21:2016 chapter „Design of drilled foundation footings“, a universal (strong) foundation is selected according to “bad” geological conditions. That data was compared in other parts of Kaunas to assess whether the condition of foundation stability is met. Based on the obtained results, it was found that in two out of three places in Kaunas, such foundations meet the stability condition, but are too strong, and in one of them, they do not meet the stability condition. It would be useful to carry out engineering geological investigation for the effective selection of foundations in all the investigated areas of Kaunas.

Keywords: house, foundation, geology, foundation selection, universal foundation, pile foundation.