

VĖJO JĖGAINIŲ PAMATŲ NUOSĖDŽIŲ PROGNOZAVIMAS ESANT SKIRTINGIEMS GRUNTINIO VANDENS LYGIAMS

Ina MARTINKUTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas
ina.martinkute@stud.vdu.lt

Santrauka

Veikiant papildomiems įvairios paskirties statinių slėgiams, vyksta pagrindą sudarančių gruntų sutankėjimas, kas savo ruožtu sukelia žemės paviršiaus nusėdimą. Projektuojant vėjo jėgainės pamatus susiduriama su tokiomis problemomis kaip nuosėdžiai ir grunto vandens lygio kitimai. Norint suprojektuoti pamatą, reikia žinoti perduodamas apkrovas, statybos techninius reikalavimus, stiprius ir įtempius, susijusius su deformatyviu gruntu, kurie palaikys pamatų sistemą. Todėl darbe analizuoti pamatų nuosėdžiai skirtinguose gruntinio vandens gyliuose. Siekiant sumažinti atsiradusius nuosėdžius galima būtų įrengti drenažo sistemą arba sukalti įlaidas.

Reikšminiai žodžiai: nuosėdžiai, GEO5, vėjo jėgainė.

Įvadas

Labiausiai viršutiniuose žemės plutos sluoksniuose yra išplitęs antropogeninės žmogaus veiklos sukurtas poveikis aplinkai – statinės apkrovos. Veikiant papildomam įvairios paskirties statinių slėgiams, vyksta pagrindą sudarančių gruntų sutankėjimas, kas savo ruožtu sukelia žemės paviršiaus nusėdimą. Veikiant statinei apkrovai statiniuose, atsiranda papildomų įtempių po pamatu ir statinį supančioje geologinėje aplinkoje. Statinio ir geologinio masyvo deformacijos kiekybinė prognozė tampa pagrindiniu uždaviniu, kuriuo siekiama užtikrinti statinių pastovumą ir normalų jų eksploatavimą (Jimenez, Sitar, 2009)

Mažiausiai matomas, tačiau vienas iš svarbiausių pastato konstrukcinių elementų – statinio pamatas. Tinkamai suprojektuoti pamatą reikia daug specifinių žinių. Labai svarbu, kad fizinė sąveika tarp pamato ir pagrindo būtų pakankamai ištirta (Velarde, 2019).

Pamatai turėtų būti suprojektuoti taip, kad būtų pakankamai atsparūs žalingam aplinkos poveikiui. Dirvožemio pH, tirpių chloridų ir tirpių sulfatų cheminiai tyrimai turėtų būti atliekami kaip geotechninio tyrimo dalis, siekiant nustatyti galimą betono sulfate poveikį ir metalo korozijos pavojų.

Daug tvarių pamatų tipų ir metodų yra priimtinių vėjo jėgainėms sausumoje. Pamatai turi būti suprojektuoti taip, kad apkrova būtų subalansuota atsižvelgiant į grunto laikomąją galią ir standumą. Geotechninis projektas apima gruntų sąlygų analizę ir pamato apkrovų skaičiavimus, o tada nustatomi pamato matmenys ir svoris, reikalingi pamato deformacijų tikimybei sumažinti (Šimkus, 1984). Grunto po turbina stiprumas, gniuždymas ir standumas turi įtakos reikiamo pamato dydžiui ir gyliui, taip pat ir jo veikimui (Bhattacharya, 2017).

Pagal D. Sližytę ir kt. (2012), pamato nuosėdis turi būti skaičiuojamas visiems pamatams, remiamiems ant dispersinės uolienos (grunto) t. y. ant pagrindo, kurį sudaro įvairios formos ir dydžio kietosios dalelės. Pagrindo deformacijos yra dalelių tarpusavio padėties pokyčio rezultatas. Kai poros užpildytos gruntiniu vandeniu, dalelių poslinkiai vyksta iš porų išspaudžiant vandenį. Šis procesas vadinasi konsolidacija. Projektuojant pamatus turi būti įvertinti tiek staigieji nuosėdžiai, tiek nuosėdžiai, atsirandantys laikui bėgant.

Projektuojant sekliųjų pamatų konstrukciją reikia įvertinti tiek trumpalaikius, tiek ilgalaikius nuosėdžius. Vertinamas pamatų nuosėdis gali būti grindžiamas įvairiose vietose atliekamų bandymų ir laboratorinių tyrimų rezultatais. Bendras diferencinis nuosėdis turėtų būti priimtino lygio (Haddid, Barari, 2022).

Tyrimo tikslas – atlikti pamatų nuosėdžių skaičiavimus esant skirtingiems gruntinio vandens lygiams.

Tyrimo uždaviniai

1. Išanalizuoti vietovės X geologines ir hidrogeologines sąlygas, nuosėdžių skaičiavimą reglamentuojančius norminius dokumentus;
2. Įvertinti grunto laboratorinių tyrimų rezultatus;
3. Atlikti vėjo jėgainės pamatų nuosėdžių skaičiavimus ir juos palyginti.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objekte atlikti 2 geologiniai gręžiniai, iš kurių paimti grunto mėginiai.

Pagal LST EN 17892 standartą laboratorijoje atlikti grunto laboratoriniai tyrimai.

Programa GEO5 skirta geotechninėms problemoms spręsti, remiantis tradiciniais analitiniais metodais ir baigtinių elementų metodu. Su modulių *Spread Footing* atliekama sekliųjų pamatų nuosėdžių ir poslinkio analizė.

Su programa GEO5 modulių *spread footing* apskaičiuojami nuosėdžiai. Skaičiuojant taikoma tiesinė priklausomybė tarp įtempių ir deformacijų. Taikant netiesinę priklausomybę nuosėdžiams skaičiuoti taikomos sudėtingos matematinės išraiškos, todėl naudojamos programinės įrangos.

Pamatas remiasi į smėlingus gruntus, todėl suminis pamato nuosėdis nustatytas taikant įtempių ir deformacijų metodą, kurio metu skaičiuojamas įtempių pasiskirstymas grunte apkrovus pamatą.

Projektuojamos vėjo jėgainės pamato parametrai – 17,7 m x 17,7 m x 3,5 m.

Projektuojant vėjo jėgainės pamatus pagal LST EN 1997-1:2005 patikrinta, kad nebūtų viršyti ribiniai saugos būviai.

Pagal LST EN 1997-1:2005 įprastoms konstrukcijos su atskirais pamatais bendrieji nuosėdžiai iki 50 mm yra leistini ir turi atitikti sąlygą:

$$E_d \leq C_d = 50 \text{ mm},$$

čia E_d – skaičiuotinė poveikio efekto reikšmė (pamato nuosėdis mm);

C_d – ribinė skaičiuotinio poveikio efekto reikšmė (leistinas pamato nuosėdis mm).

Didesni nuosėdžiai būtų galimi, jeigu santykiniai nuosėdžių skirtumai neviršys leistinų ribų ir numatomi bendrieji nuosėdžiai nesukels problemų įvadams į statinį arba jis per daug nepasvirs ir pan.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Projektuojamos vėjo elektrinės sklypo projektiniai inžineriniai geologiniai tyrimai atlikti įmonės „X“ 20,0 m gylio gręžiniuose. Sklype iki 0,3 m vyrauja dirvožemis, 1,5–4,0 m sluoksnyje slūgso purus, tolygiai išrūšiuotas smėlis. Nuo 4,0 m vyrauja vidutinio stiprumo, stiprus ir labai stiprus gruntas.

Požeminis vanduo aptiktas 1 gręžinyje 2,0–2,4 m gylyje, o 2 gręžinyje vanduo aptiktas 3,5–3,9 m gylyje (1 pav.).

Pagal LST EN 206:2013+A2:2021 standartą apibrėžta požeminės aplinkos agresyvumo statybos aikštelės požeminė aplinka hidrocheminiu požiūriu yra neagresyvi. Tyrimo vietose esančios inžinerinės geologinės ir hidrogeologinės sąlygos yra tinkamos suplanuoto statinio statybai.

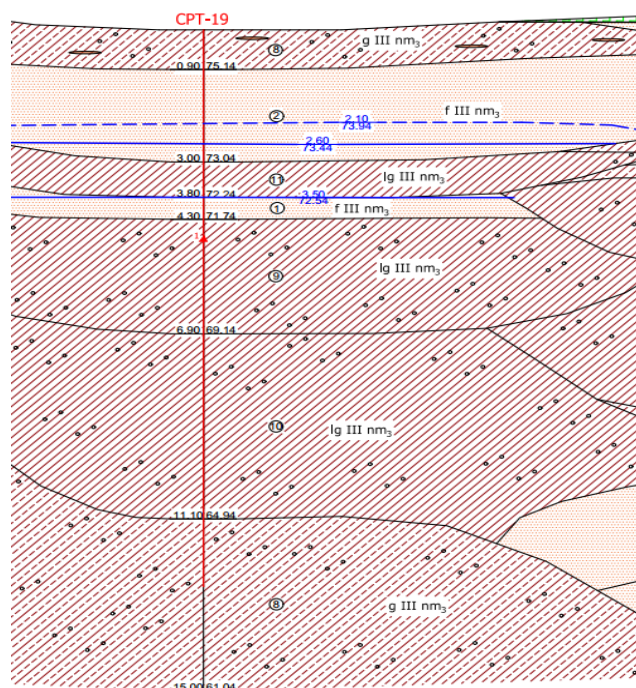
Atlikus grunto laboratorinius tyrimus nustatytos gruntų fizinės ir mechaninės savybės, nustatytos gruntų klasifikacijos.

Pagal Šimkų (1984) rekomenduojamos ribinės skaičiuojamosios poveikio efekto reikšmės, atsižvelgiant į pastato ar statinio tipą, pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Pamatų ir pastatų bendrų deformacijų ribinės reikšmės

Table 1. Limit values of general deformations of foundations and buildings

Pastatai	Santykinis nuosėdžių skirtumas	Posvyris	Vidutinis nusėdimas cm	Didžiausias nusėdimas cm
Pramoniniai ir civiliniai vienaaukščiai ir daugiaaukščiai karkasiniai pastatai:				
gelžbetoniniai	0,002			8
plieniniai	0,004			12
Pastatai, kuriems nevienodai nusėdus, konstrukcijose neatsiranda papildomų įrašų	0,006			15
Daugiaaukščiai bekarkasiai pastatai su laikančiomis sienomis: stambiaaploštėmis	0,0016	0,005	10	
stambiablokėmis ir nearmuotojo plytų mūro	0,0020	0,005	10	
armuotomis stambiablokėmis, armuotojo plytų mūro ar su gelžbetoninėmis juostomis	0,0024	0,005	5	

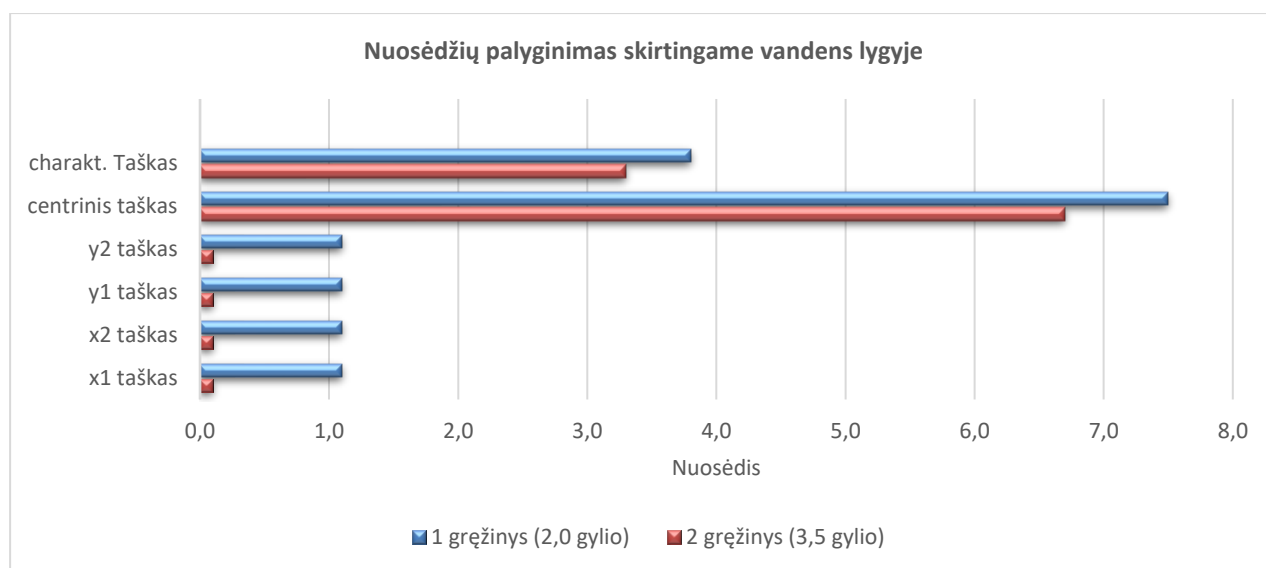


1 pav. Geologinis pjūvis
Fig. 1. Geological cut

Pagal pirmojo gręžinio geologinius duomenis programa *GEO5 spread footing* buvo atlikti skaičiavimai. Geologinėje dirvožemio sluoksnio tyrimo vietoje vyraavo smėlingas gruntas ir aukštas gruntinio vandens lygis (2,0–2,4 m). Gauti rezultatai rodo, kad nuosėdžiai atitinka pamatų ir pastatų bendrą deformacijų ribines reikšmes. Toliau pagal žinomus grunto duomenis buvo projektuojami pamato matmenys, kuomet pagal gautus rezultatus nebus deformacijų.

Pagal antrojo gręžinio geologinius duomenis programa *GEO5 spread footing* buvo atlikti skaičiavimai. Geologinėje dirvožemio sluoksnio tyrimo vietoje vyraavo smėlingas gruntas ir žemas gruntinio vandens lygis (3,5–3,9 m). Gauti rezultatai rodo, kad nuosėdžiai atitinka pamatų ir pastatų bendrą deformacijų ribines reikšmes. Toliau pagal žinomus grunto duomenis buvo projektuojami pamato matmenys, kuomet pagal gautus rezultatus nebus deformacijų.

Analizuojant gautus rezultatus pastebėta, kad keičiantis gruntinio vandens lygiui, keičiasi ir nuosėdžių dydžiai (2 pav.) Taškai x ir y yra pamato krašto vidurio taškai.



2 pav. Nuosėdžių palyginimo grafikas
Fig. 2. Comparison of sediments graph

Lyginant nuosėdžių skaičiavimų rezultatus tarp aukšto ir žemo gruntinio vandens lygio dirvožemio, kuomet žemesnis gruntinio vandens lygis po pamatu, tuo nuosėdžiai yra mažesni ir įtakos zonos gylis yra mažesnis. Jeigu gruntinio vandens lygis yra aukštas, tai įtakos zonos gylis yra didesnis ir nuosėdžiai yra didesni.

Šiuo atveju vandeniui esant 2,0 m gylyje nuosėdis bus 2,7 mm, o vandeniui esant 3,5 m gylyje nuosėdis bus 2,0 mm. Apskaičiavus gauta, kad šiuo atveju nuosėdžiai skiriasi 22,7 proc.

Siekiant sumažinti atsiradusius nuosėdžius, galima būtų įrengti drenažo sistemą, kurią sudaro įvairios drenuojančios ir kapiliarinį pralaidumą mažinančios medžiagos, tokios kaip: žvyras ir skalda, kurių dalelės turėtų būti tam tikro minimalaus dydžio ir sluoksnio (ne mažiau kaip 200 mm storio), izoliacinės plokštės ir drenažo vamzdžiai. Taip pat reiktų žemės paviršiuje suplanuoti tinkamą nuolydį, kad nubėgtų atitinkamas kiekis paviršinio vandens.

Kitas variantas, kuris padėtų sumažinti nuosėdžius ir pažeminti vandens lygį grunte – turėtų būti suprojektuotos įlaidinės antifiltracinės užtvartos, kurios kirstų laidaus grunto sluoksnio storį.

Išvados

1. Laboratoriniais ir lauko tyrimo metodais nustatytos tiriamojo grunto pagrindinės fizinės ir mechaninės savybės: granulometrinė sudėtis, filtracijos koeficientas, vertikalusis įtempis, vidinės trinties kampas ir sankabumas.

2. Gruntinio vandens lygis turi įtakos pamato nuosėdžiams – kuo žemesnis vandens lygis, tuo įtakos zona yra mažesnė ir nuosėdžiai yra mažesni, šiuo atveju skirtumas yra 22,7 proc.

3. Siekiant sumažinti statinio nuosėdžius, reikia pažeminti vandens lygį. Rekomenduojama sukalti įlaidas arba nudrenuoti gruntą.

Literatūra

1. *Betonas. Specifikacija, eksploatacinės savybės, gamyba ir atitiktis*. LST EN 206:2013+A2:2021.
2. Bhattacharya, S. 2017. Civil Engineering Aspects of a Wind Farm and Wind Turbine Structures. P. 221–242.
3. Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 1 dalis. Pagrindinės taisyklės. LST EN 1997-1:2005.
4. Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. LST EN ISO 17892.
5. Haddad, A., Barari, A., Amini, R. 2022. The remedial performance of suction caisson foundations for offshore wind turbines under seismically induced liquefaction in the seabed: Shake table testing. *Marine Structures*, Vol. 83, 103171.
6. Jimenez, R., Sitar, N. 2009. The importance of distribution types on finite element analyses of foundation settlement. *Computers and Geotechnics*, Vol. 36(3), p. 474-483..
7. Sližytė, D., Medzvieckas, J., Mackevičius, R. 2012. *Pamatai ir pagrindai*. Vadovėlis.
8. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.21:2016. Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai.
9. Šimkus, J. 1984 *Gruntų mechanika, pagrindai ir pamatai*. P. 271.
10. Velarde, J., Kramhøft, C., Sørensen, J. D. 2019. Global sensitivity analysis of offshore wind turbine foundation fatigue loads. *Renewable energy*, Vol. 140, p. 177-189.

PREDICTION OF WIND POWER FOUNDATION SETTLEMENTS AT DIFFERENT GROUND WATER LEVELS

Summary

Under the influence of additional pressures of multipurpose structures, compaction of the base-forming soils occurs, as a results of which, in turn, causes the subsidence of the earth's surface. When designing the foundations of a wind turbine, problems such as settlement deposits and changes in the water level of the soil are encountered. To design the foundation, you need to know the transmitted loads, technical requirements for construction, strenghts and stresses associated with deformation of the soil, which will support the foundation system. Therefore, the work analyzed the settlements of the foundation at different depths of groundwater. The problems caused by sedimentary deposits were also reviewed. In order to reduce the resulting settlements, a drainage system could be installed or inlets could be hammered.

Keywords: settlements, GEO5, wind turbines.