

SANKASOS ĮRENGIMO TECHNOLOGIJOS IR GRUNTŲ TINKAMUMO TYRIMAI

Donata MAŽEVIČIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: donata.mazeviciene@viamatika.lt, donata.mazeviciene@vdu.lt

Santrauka

Žemės sankasos stabilizavimas apima įvairius metodus, kurių tikslas – pagerinti dirvožemio savybes, stiprinant jo struktūrą ir didinant atsparumą aplinkos veiksniams. Tai gali būti pasiekta mechaninėmis, cheminėmis technologijomis, naudojant geosintetines medžiagas ar biologinius sprendinius. Šie metodai leidžia sumažinti deformacijų, įtrūkimų ir erozijos riziką, užtikrinant geresnį pastatytos infrastruktūros stabilumą ir ilgaamžiškumą.

Prieš pradėdant bet kokių sankasos stabilizavimo darbus, būtina atlikti išsamius laboratorinius tyrimus, kad būtų galima tiksliai įvertinti grunto savybes ir nustatyti, kurie metodai yra efektyviausi. Laboratoriniai tyrimai leidžia atlikti analizes, kurios padeda suprasti dirvožemio grūdėtumą, drėgmės kiekį, plastiškumo ribas ir kitus veiksnius, lemiančius stabilizavimo procesus. Tokie tyrimai suteikia pagrindą parinkti tinkamiausias stabilizavimo medžiagas, išvengiant pernelyg brangių ir nenaudingų sprendimų.

Šiame darbe atliekami bandymai laboratorijoje nustatant gruntų kilmę, stabilizacijos projektų parengimui. Taip pat atliekami statinės plokštės apkrovimo bandymai prieš stabilizaciją ir po jos.

Reikšminiai žodžiai: sankasos stabilizavimas, grunto deformacijos modulis, geosintetika, statinės apkrovimo plokštės tyrimas.

Įvadas

Susisiekimui užtikrinti rengiami įvairaus sudėtingumo ir kategorijos keliai, jų inžineriniuose sprendimuose naudojamos įvairios medžiagos, taikomi sudėtingi inžineriniai sprendimai, o stabilumui ir patikimumui įvertinti naudojami skirtingi vertinimo metodai. Tai sudėtingi statiniai, kuriems reikia ypatingos priežiūros. Statiniuose sudėtinė dalis yra žemės sankasa, nuo kurios stabilumo priklauso viso statinio būklė. Jam praradus stabilumą, gali įvykti įvairios griūtys. Darbo problema yra įvertinti ir pagrįsti metodus kaip teisingai įvertinti konstrukcijų patikimumą ir ilgaamžiškumą. Dėl šios priežasties žemės sankasų įrengimui ir priežiūrai reikia detalių geotechninių tyrimų ir inžinerinių sprendimų (Terzaghi et al., 1996). Cemento naudojimas sankasų stabilizavimui yra vienas iš perspektyviausių sprendimų, galinčių pagerinti mechanines grunto savybes ir sumažinti deformacijas.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti stabilizuotų sankasų metodus, jų efektyvumą ir pritaikymo galimybes.

Darbo aktualumas: žemės sankasos aktualios tiesiant geležinkelius, statant oro uostus, formuojant hidrotechnikos statinių pylimus ir užtvankas, rengiant kelius. Vienas iš pagrindinių ir sudėtingesnių tikslų – išlaikyti sankasą stabiliai. Stabilumui nustatyti naudojami tiesioginiai laboratoriniai tyrimai, o vertinant rezultata, jis lyginamas su reikalaujama reikšme (≥ 45 M Pa.).

Lietuvoje vis dar dominuoja tradiciniai sankasos įrengimo būdai, tačiau klimato pokyčiai ir statybos sektoriaus modernizacija reikalauja naujų, ilgaamžiškesnių ir ekologiškesnių sprendimų. Stabilizavimas cementu leidžia sumažinti deformacijas, padidinti atsparumą drėgmei ir pagerinti konstrukcijų tvarumą, tačiau jo taikymas turi būti pagrįstas išsamiais laboratoriniais tyrimais.

Atsižvelgiant į tai, šiame darbe analizuojamas cementinio stabilizavimo efektyvumas, atliekami eksperimentiniai tyrimai ir pateikiamos rekomendacijos, leidžiančios optimizuoti šios technologijos taikymą skirtingų tipų gruntams.

Tyrimo tikslas: įvertinti sankasos grunto stabilizavimo technologijas, užtikrinančias konstrukcijų patikimumą ir ilgaamžiškumą bei grunto tinkamumą.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Pagrįsti optimalų sprendimo būdą tyrimų objekte ir nustatyti, kaip skirtingos rūšies grunto savybės kinta pridėjus stabilizavimo priemonių (cemento).
2. Įvertinti cementu stabilizuoto grunto savybių tinkamumą, remiantis laboratoriniais tyrimais.

Tyrimų objektas ir metodai

Tiriamas objektas – kelio sankasa esanti, pietvakarių Lietuvoje, Marijampolės apskrityje. Tyrimams buvo pasirinkti du sankasos ruožai po 300 m. Juose buvo paimti grunto pavyzdžiai, kad būtų galima identifikuoti grunto kilmę, tuo tikslu yra tiriama granulimetrinė sudėtis, proktoro tankis ir drėgnis. Pagal grunto tipą parengtos grunto sustiprinimo tipo bandymo ataskaitos, atlikti statinės plokštės bandymai prieš stabilizavimą ir po stabilizavimo bei jų palyginimas.



1 pav. Objekto schema

Fig.1. Object schema

Tyrimas buvo atliekamas remiantis laboratoriniais bandymais ir praktinių projektų analize. Pagrindiniai metodai apėmė: **Laboratorinius bandymus**, kurių metu buvo analizuojamos stabilizuotos sankasos mechaninės ir fizinės savybės.

Lauko tyrimus, kuriais įvertintas stabilizuotų sankasų ilgaamžiškumas ir efektyvumas realiomis sąlygomis. (Mokwa, Akin, 2009). Šiame objekte sankasos stiprumas buvo atliekamas lauko sąlygomis, kurio metu buvo atliekami statinės plokštės apkrovimo bandymai prieš stabilizavimą ir po stabilizavimo.

Norint užtikrinti optimalų stabilumą, būtina įvertinti įvairių stabilizavimo metodų efektyvumą ir jų tinkamumą specifinėms geotechninėms sąlygoms. Žemės sankasų stabilizavimo metodai yra skirstomi į penkias pagrindines technologijas:

1. Mechaninis stabilizavimas (grunto tankinimas ir armavimas).
2. Cheminis stabilizavimas (rišiklių ir priedų naudojimas).
3. Geosintetikos taikymas.
4. Drenažo sistemų įrengimas.
5. Biologiniai stabilizavimo metodai.

Pagal gruntų tipą tinkamiausi stabilizavimo metodai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Stabilizavimo metodai pagal grunto tipą (Dėl automobilių kelių..., 2017)

Table 1. Stabilization methods according to soil type

Stabilizavimo metodas <i>Stabilization methods</i>	Smėlis <i>Sand</i>	Žvyras <i>Gravel</i>	Molis <i>Clay</i>	Durpės <i>Peat</i>
Mechaninis tankinimas <i>Mechanical compaction</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Iš dalies efektyvu <i>Partially effective</i>	Neefektivu <i>Ineffective</i>
Stabilizavimas kalkėmis <i>Stabilization with lime</i>	Neefektivu <i>Ineffective</i>	Neefektivu <i>Ineffective</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Neefektivu <i>Ineffective</i>
Stabilizavimas cementu <i>Stabilization with cement</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Iš dalies efektyvu <i>Partially effective</i>
Geosintetikos naudojimas <i>Use of geosynthetics</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Neefektivu <i>Ineffective</i>	Efektivu <i>Efficient</i>
Drenažo įrengimas <i>Drainage installation</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>
Biologinis stabilizavimas <i>Biological stabilization</i>	Iš dalies efektyvu <i>Partially effective</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>	Efektivu <i>Efficient</i>

Optimalus sprendimo būdas tyrimų objekte priklauso nuo grunto savybių, planuojamo statinio apkrovų, klimato sąlygų ir ekonominio efektyvumo. Stabilizavimo priemonių, tokių kaip cementas, naudojimas yra vienas iš efektyviausių būdų pagerinti grunto mechanines savybes, ypač kai reikia padidinti jo stiprumą, sumažinti deformacijas ir pagerinti atsparumą vandeniui.

Norint nustatyti tinkamiausią stabilizavimo metodą, būtina atlikti grunto savybių analizę, kurią apima granulimetrinė sudėtis, drėgnis ir plastiškumo savybės bei atsparumas gniuždymui.

Granulimetrinė sudėtis nurodo grunto dalelių pasiskirstymą pagal dydį ir yra svarbus rodiklis stabilizavimo proceso efektyvumui įvertinti. Tyrimas atliekamas remiantis LST 1360:2022 reikalavimais, kurio metu nustatoma grunto rūšis, taip pat grunto takumo ir plastiškumo ribos, proktoro tankis ir drėgnis. Grunto takumo ir plastiškumo ribos dažnai nustatomos norint įvertinti grunto tinkamumą stabilizavimui su cemento ar kitais rišikliais. Gruntai su aukštomis plastinėmis savybėmis (kurios rodo didelį plastinį intervalą) gali gerai reaguoti į cementą, nes cementas pagerins jų struktūrą ir sumažins deformacijas. Gruntai su mažu plastiniu intervalu gali būti mažiau tinkami stabilizavimui, nes jie nėra tokie lankstūs ir gali reikalaui papildomų priemonių arba didesnės cemento dozės.

Šiame darbe taip pat atliekami ir vertinami sankasų prieš stabilizaciją ir po stabilizacijos statinės apkrovimo plokštės tyrimų rezultatai. Statinės plokštės tyrimas siekia nustatyti grunto atsparumą apkrovoms, t.y. kaip gruntas reaguoja į įvairias apkrovas, ir įvertinti nusėdimo (deformacijos) procesus, kai ant paviršiaus veikia tam tikra jėga. Tai

leidžia nustatyti, kiek apkrovos gali atlaikyti pagrindas, kol įvyks reikšmingi nusėdimai. Taip pat – įvertinti galimus ilgalaikius grunto nusėdimo efektus ir pasirinkti tinkamus pagrindo sustiprinimo metodus, suformuoti pagrindinius geotechninius parametrus, tokius kaip grunto suspaudimo modulis, kuris yra svarbus projektavimo ir įvertinimo procese. Tyrimas atliekamas pagal LST 1360.5 „Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Bandymas šlampu“.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Tyrimams buvo pasirinkti du ruožai po 300 m. Juose buvo paimti grunto pavyzdžiai, kad būtų galima identifikuoti grunto kilmę, tuo tikslu yra tiriama granulometrinė sudėtis, proktoro tankis ir drėgnis. Pagal grunto tipą parengtos grunto sustiprinimo tipo bandymo ataskaitos, atlikti statinės plokštės bandymai prieš stabilizavimą ir po stabilizavimo.

Ištirus pirmąjį grunto mišinį nustatyta, kad tai smulkiagrūdis gruntas ir yra priskiriamas mažo plastiškumo moliui, toliau ML. Jo proktoro tankis yra $1,95 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, o drėgnis – 8,3 proc.

Ištirus antrąjį grunto mišinį nustatyta, kad tai įvairiagrūdis gruntas ir yra priskiriamas dulkingam smėliui, toliau SD₀. Jo proktoro tankis yra $1,88 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, o drėgnis 13,6 proc.

Atsparumo gniuždymui pokyčiai. Laboratoriniai tyrimai rodo, kad į mažo plastiškumo molį ir dulkingą smėlį įmaišius cemento, jų atsparumai didėja. 2 ir 3 lentelėse pateikiami atsparumo gniuždymui pokyčiai.

2 lentelė. Mažo plastiškumo molio atsparumo gniuždymui pokytis

Table 2. Change in compressive strength of low-plasticity clay

Cemento kiekis, % Amount of cement, %	Atsparumas gniuždymui (MPa) Compressive strength (MPa)	Pokytis (%) A change (%)
Be cemento	-	-
3	0,7	+70
4	1,1	+110
5	1,3	+130

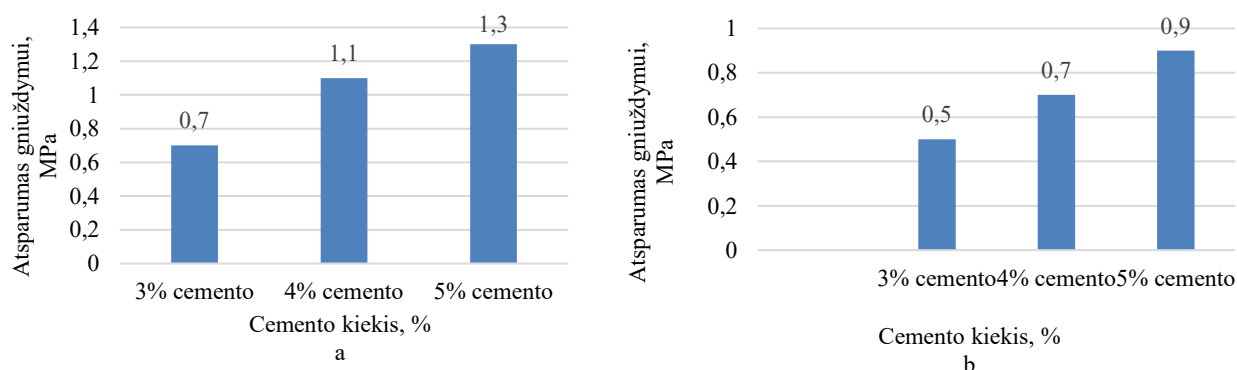
3 lentelė. Dulkingojo smėlio atsparumo gniuždymui pokytis

Table 3. Change in compressive strength of fine sand

Cemento kiekis, % Amount of cement, %	Atsparumas gniuždymui (MPa) Compressive strength (MPa)	Pokytis (%) A change (%)
Be cemento	-	-
3	0,5	+50
4	0,7	+70
5	0,9	+90

Kuo daugiau cemento, tuo didesnis grunto stiprumas, tačiau viršijus tam tikrą ribą (dažniausiai 5–7 proc.), ekonomiškai neapsimoka didinti cemento kiekio. Cemento stabilizavimas efektyviai mažina grunto deformacijas, tačiau 5 proc. cemento koncentracija jau priartėja prie optimalios ribos.

Atlikus statinio apkrovimo plokštę bandymus lauko sąlygomis abiejuose ruožuose prieš stabilizaciją ir po stabilizacijos galima matyti, kad E_{v2} padidėja, todėl sankasa įgauna didesnę deformacijos modulį. Pokyčiai pateikiami 4 ir 5 lentelėse bei 2 grafike.



2 pav. Cemento įtaka atsparumo gniuždymui : a mažo plastiškumo moliui; b dulkingam smėliui

Fig.2. Influence of cement on the compressive strength of: a low-plasticity clay; b dusty sand

4 lentelė. Dulkingojo smėlio ruožo deformacijų modulio pokytis

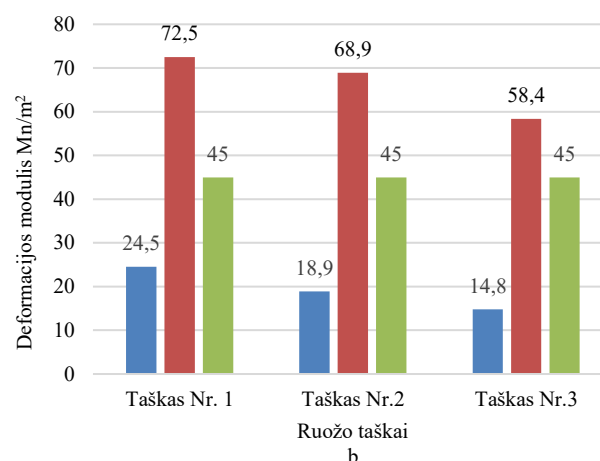
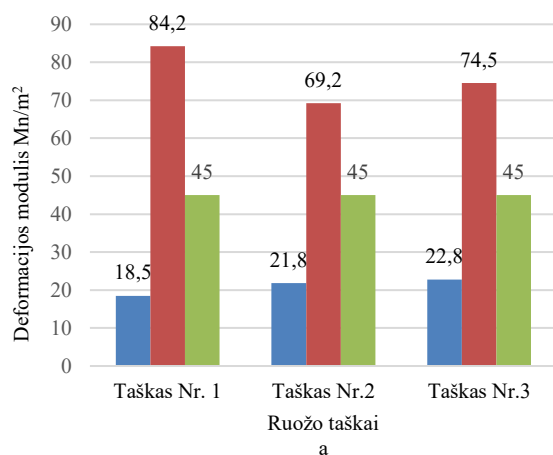
Table 4. Change in the deformation modulus of the dusty sand section

Dulkingojo smėlio ruožas A stretch of dusty sand	E_{v2} prieš stabilizavimą, MN/m ² E_{v2} before stabilization, MN/m ²	E_{v2} po stabilizavimo, MN/m ² E_{v2} after stabilization, MN/m ²	Pokytis (%) A change (%)
Taškas Nr.1 Point Nr.1	24,5	72,5	195
Taškas Nr.2 Point Nr.2	18,9	68,9	264
Taškas Nr.3 Point Nr.3	14,8	58,4	294

5 lentelė. Mažo plastiškumo molio atsparumo gniuždymui pokytis

Table 5. Change in the deformation modulus of low-plasticity clay

Mažo plastiškumo molio ruožas <i>Low-plasticity clay</i>	E_{v2} prieš stabilizavimą, MN/m ² <i>E_{v2} before stabilization, MN/m²</i>	E_{v2} po stabilizavimo, MN/m ² <i>E_{v2} after stabilization, MN/m²</i>	Pokytis (%) <i>A change (%)</i>
Taškas Nr.1 <i>Point Nr.1</i>	18,5	84,2	355
Taškas Nr.2 <i>Point Nr.2</i>	21,8	69,2	217
Taškas Nr.3 <i>Point Nr.4</i>	22,8	74,5	226



3 pav. deformacijos modulis prieš stabilizaciją ir po stabilizacijos : a grafikas mažo plastiškumo molis; b grafikas dulkingas smėlis
Fig 2. modulus of deformation before stabilization and after stabilization: a graph low plasticity clay; b graph dusty sand

Kaip matyti iš grafikų, po stabilizavimo E_{v2} reikšmė padidėjo visose tyrimo vietose tiek dulkingam moliui, tiek dulkingam smėliui. Didžiausias stiprumo padidėjimas fiksuotas ML 1 taške, kur E_{v2} pakilo nuo 18,5 MN/m² iki 84,2 MN/m², dulkingam smėliui didžiausias padidėjimas fiksuotas 3 taške, kur E_{v2} pakilo nuo 14,8 MN/m² iki 58,4 MN/m². Po stabilizacijos gruntai tampa stipresni ir atsparesni deformacijoms. Remiantis gautais duomenimis, stabilizuotas gruntas gali būti naudojamas kaip patikima statybinė medžiaga, sumažinanti poreikį keisti netinkamą gruntą ar naudoti papildomas sutvirtinimo priemones.

Išvados

1. Žemės sankasų stabilumas yra esminis veiksnys, lemiantis kelių infrastruktūros patikimumą. Tyrimai rodo, kad stabilumo užtikrinimas reikalauja nuolatinio stebėjimo ir analizės. Žemės sankasos tyrimai lauko sąlygomis yra labai svarbūs, kadangi jie leidžia nustatyti grunto savybes realiomis aplinkos sąlygomis. Tokių tyrimų tikslas – įvertinti grunto elgseną ir stabilumą, kai jis yra veikiamas tikrų mechaninių ir aplinkos faktorių, tokių kaip drėgmė, temperatūra, apkrovos.
2. Remiantis atliktais tyrimais, optimalus grunto stabilizavimo būdas priklauso nuo jo sudėties ir inžinerinių savybių. Geriausi rezultatai pasiekiami, kai stabilizavimo priemonės parenkamos atsižvelgiant į specifinius grunto tipus bei numatomą jų panaudojimą. Sankasas stabilizuojant cementu pagerinamos ekspansyvaus grunto savybės, todėl leidžia pagerinti jo stiprumą, atsparumą drėgmei ir deformacijoms. Moliniams ir smėlingiems gruntams pridėjus cemento, pagerėja jų mechaninės savybės, sumažėja plastiškumas ir vandens imlumas. Taip pat padidėja atsparumas šalčiui ir deformacijoms.
3. Laboratoriniai tyrimai įrodo, kad stabilizuoto grunto savybės atitinka statybos reikalavimus, o tinkamai parinktos stabilizavimo technologijos leidžia optimizuoti grunto naudojimą įvairiose inžinerinėse srityse.

Literatūra

1. Automobilių kelių žemės darbų atlikimo ir žemės sankasos įrengimo taisyklės IT ŽS 17. 2017 m. balandžio 3 d. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie susisiekimo ministerijos direktoriaus įsakymas Nr. V-111 (aktualia redakcija) Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/97ce2d81197111e7b6c9f69dc4ecf19f>.
2. Gruntų pagerinimo ir sustiprinimo rišikliais metodiniai nurodymai [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2025-02-18]. Prieiga per internetą: https://vialietuva.lt/wp-content/uploads/2021/08/MN_GPSR_12_turiny.pdf
3. LST 1360.1. Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Granulometrinės sudėties nustatymas.
4. LST 1360.5. Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Bandymas šlampu.

5. Mokwa, R. L., & Akin, M. (2009). Measurement and Evaluation of Subgrade Soil Parameters: Phase I—Synthesis of Literature. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022-05-20]. Prieiga per internetą: <https://westertransportationinstitute.org/wpcontent/>
6. Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons.

STUDY OF EMBANKMENT CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND SOIL SUITABILITY

Abstract

Soil stabilization includes various methods aimed at improving soil properties by strengthening its structure and increasing its resistance to environmental factors. This can be achieved by mechanical, chemical technologies, using geosynthetic materials or biological solutions. These methods reduce the risk of deformation, cracking and erosion, ensuring better stability and durability of the built infrastructure.

Before starting any soil stabilization work, it is necessary to conduct detailed laboratory tests to accurately assess the soil properties and determine which methods are most effective. Laboratory tests allow for analyses that help to understand the soil grain size, moisture content, plasticity limits and other factors that determine stabilization processes. Such tests provide a basis for selecting the most suitable stabilization materials, avoiding excessively expensive and useless solutions.

In this work, laboratory tests are performed to determine the origin of soils for the preparation of stabilization projects. Static slab loading tests are also performed before and after stabilization.

Keywords: sediment stabilization, soil deformation modulus, geosynthetics, static loading plate study.