

# Grunto, armuoto geotinklais, kerpamojo stiprio tyrimai

Šarūnas Skuodis,

Neringa Dirgėlienė

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Statybos fakultetas,  
Gelžbetoninių konstrukcijų  
ir geotechnikos katedra,  
Saulėtekio al. 11,  
10223 Vilnius, Lietuva  
El. paštas sarunas.skuodis@vgtu.lt*

**Skuodis Š., Dirgėlienė N.** Grunto, armuoto geotinklais, kerpamojo stiprio tyrimai. *Geologija. Geografija*. 2018. T. 4(2). ISSN 2351-7549.

Straipsnyje apžvelgtos grunto kerpamojo stiprio savybės, kai gruntui armuoti yra naudojami geotinklai. Pastaruoju metu šis metodas Lietuvoje yra plačiai taikomas statybų srityje, tiesiant kelius ir geležinkelius. Triašio slėgio bandymuose tirti vieni iš dažniausiai grunto armavime naudojamų lanksčių ir standžių geotinklų, kurių stipris tempiant išilgai ir skersai  $\geq 40$  kN/m. Gauti pikinių ir liekamųjų kerpamojo stiprio rezultatai palyginti su nearmuoto grunto, atliktas palyginimas tarp standžiais ir lanksčiais geotinklais armuotų bandinių. Nustatyta, kad geotinklų naudojimas armuojant grunto kompozitines konstrukcijas pagerina armuotų konstrukcijų savybes, palyginti su nearmuotomis.

**Raktažodžiai:** geotinklai, smėlis, kerpamasis stipris, vidinės trinties kampas, sankiba

## ĮVADAS

Visi inžineriniai statiniai vienaip ar kitaip yra susiję su gruntais. Statiniai negali egzistuoti be pamatų, per kuriuos į grunto masę yra perduodamos apkrovos, arba asfalto danga negali būti kokybiška, jei grunto konstrukcija, esanti po danga, yra prastos kokybės ir t. t. Esant palankioms sąlygoms, kai gruntai pasižymi pakankamai geromis fizinėmis ir mechaninėmis savybėmis, masyvas sudarytas iš natūraliai slūgsančių gruntų gali perimti inžinerinių statinių apkrovas ir nesuirti arba nesideformuoti daugiau nei leidžia statybos techniniai reglamentai. Grunto deformacijos ypač aktualios statant ir eksploatuojant automobilių kelius bei geležinkelius. Dažnai tinkamo pagrindo viršutinis sluoksnis yra iš technogeninio piltinio grunto, kuris perima apkrovas. Priklausomai nuo natūralių gruntų savybių ir pagrindus veikiančių apkrovų, technogeninių gruntų sluoksniai papildomai gali būti armuojami geotinklais. Taip pat norint padidinti keliuose naudojamų grunto konstrukcijų laikomąsias gebas bei

sumažinti ir suvienodinti nuosėdžius naudojami geotinklai, kurie paverčia grunto konstrukcijas į kompozitines grunto konstrukcijas.

Šiuo metu rinkoje egzistuoja du geotinklų tipai: lankstūs ir standūs. Abu šie tipai gali būti plačiai naudojami kompozitinėse grunto konstrukcijose, nes iš esmės tai yra praktiškai vienodi ir lygiavertiniai. Geotinklai gali būti gaminami keliais skirtingais būdais (ekstruziniu, austiniu, virinimo ir kt.) bei iš skirtingos sudėties medžiagų (polietileno, polipropileno ir kt.). Nepaisant geotinklų gamavimo būdų bei skirtingos gaminto medžiagų sudėties, visi gamintojai nurodo geotinklų savybes.

Viena iš svarbiausių geotinklų savybių yra stipris tempiant skersai ir išilgai. Atskirai pateikiamos stiprio vertės esant skirtingiems pailgėjimams, pavyzdžiui, Lietuvoje armavimui naudojamų geotinklų gaminių projektinis stipris nustatomas esant 1 %, 2 %, 5 % ir 10 % pailgėjimui veikiant apkrovai. Jei pailgėjimas esant didžiausiai apkrovai yra didesnis nei 10 %, būtina pateikti tipinę jėgos ir deformacijos kreivę (Geosintetikos naudojimo..., 2013).

Projektinis stipris prie skirtingų pailgėjimų yra nustatomas eksperimentiškai, t. y. tempiant geotinklą ir matuojant deformacijas bei apkrovas. Pažymėtina, kad toks bandymas yra atliekamas be grunto, t. y. geotinklas neturi kontakto su būsimu gruntu, kuris yra numatytas projekte, bei nėra vertinama būsima grunto kompozitinės konstrukcijos eksploatacinė apkrova. Vertinant geotinklų armavimo įtaką grunto kompozitinėse konstrukcijose, visos kitos geotinklų savybės (medžiaga, svoris ploto vienetui, pagaminimo būdas, gaminio medžiaga, akutės dydis, rulono matmenys, spalva, paviršiaus šiurkštumas ir pan.), kurios yra pateikiamos gaminio techninėje specifikacijoje, yra nereikšmingos (Geosintetikos naudojimo..., 2013).

Apskritai visi gaminio parametrai (skaičiuojant kompozitinės grunto konstrukcijos armuotos geotinklais savybes) yra atitinkamai įvertinami su saugos koeficientais (Recommendations for..., 2011; Vaitkus ir kt., 2014). Projektavimo normose nurodyti saugos koeficientai nusako visas geotinklų savybes, kurios gali turėti įtakos bendrai kompozitinei grunto konstrukcijos laikomajai galiai bei nuosėdziams eksploatuojant statinį (Statybos techninis..., 2016; Šiukščius ir kt., 2016). Tokiu būdu skirtingos geotinklų savybės per visą eksploataciją užtikrina grunto kompozitinių konstrukcijų saugumą (1 pav.).

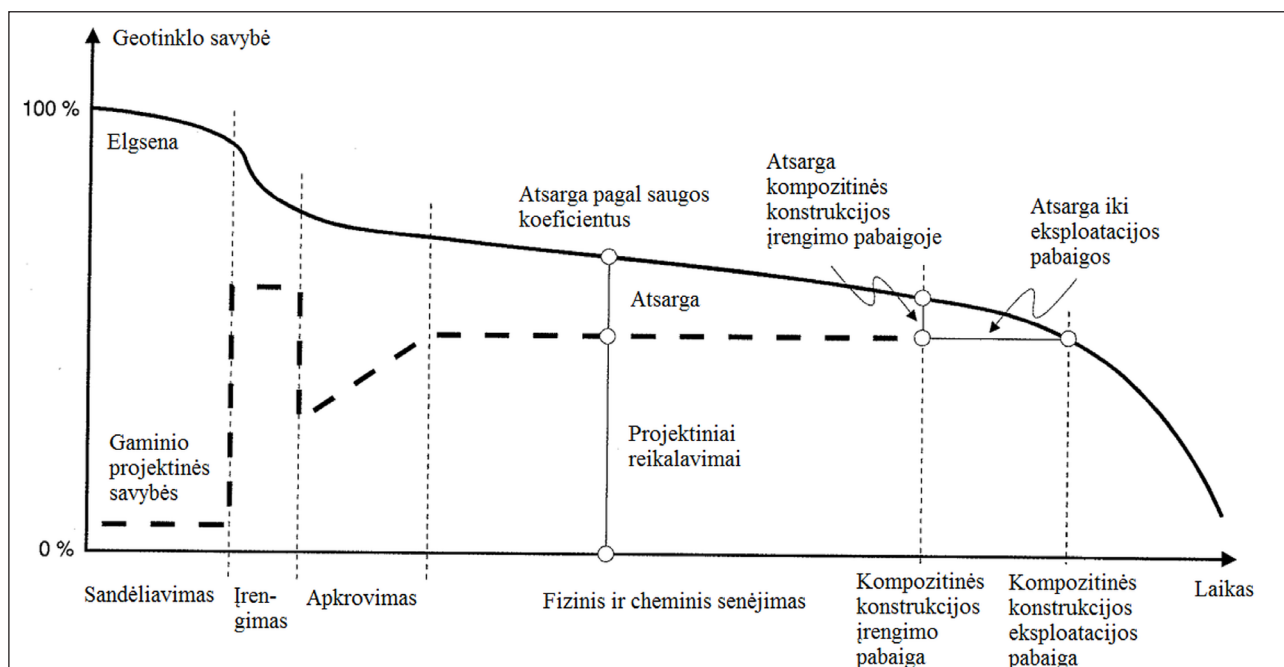
Per geotinklo gyvavimo ciklą (1 pav.) aiškiai matyti, kad skirtingose stadijose geotinklai elgiasi skirtingai, pasireiškia kitokios fizinės ir mechaninės savybės, ypač sandėliuojant, įrengimo ir apkrovimo laikotarpiu. Įrengimo ir apkrovimo metu labai aktuali geotinklų prisitaikomumo prie esamos grunto konstrukcijos savybė (VIDEO: Huesker..., 2018) ir naudojant lanksčius geotinklus susidarantis arkos efektas virš įrengiamo geotinklo (Lackner ir kt., 2014).

Straipsnio tikslas – nustatyti standžiais ir lanksčiais geotinklais armuotų gruntų kerpamąjį stiprį su triašio slėgio aparatu. Šie tyrimai leidžia įvertinti standžiais ir lanksčiais geotinklais armuotų gruntų kompozitinių konstrukcijų privalumus ir trūkumus.

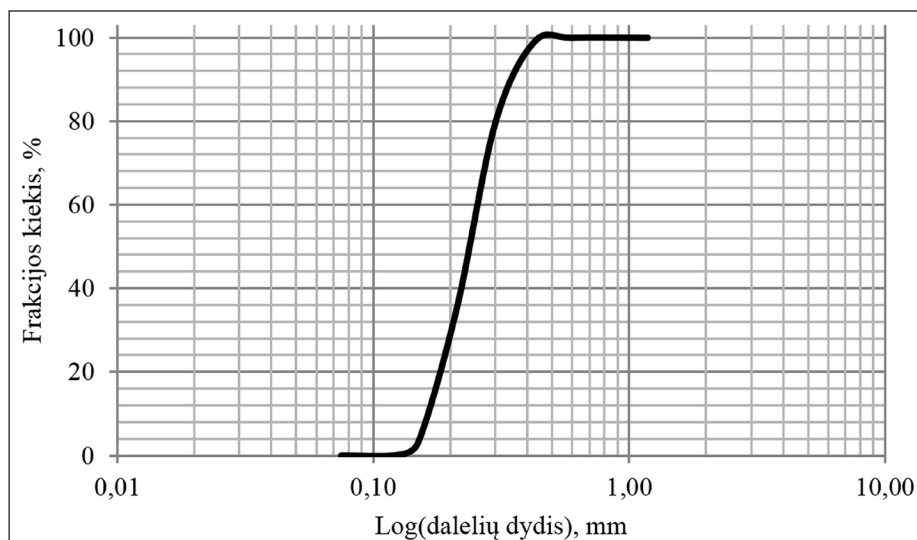
## EKSPERIMENTINIO BANDYMO APRAŠYMAS

### Grunto užpildo savybės

Tyrimai atlikti su Holoceno amžiaus jūrinių nuogulų (mIV) smėliniu gruntu, kurio pagrindinė sudėtis yra kvarcas (~85 %), žerutis (6 %) ir kiti mineralai (Amšiejus ir kt., 2010), kietųjų dalelių tankis  $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$  (Skuodis ir kt., 2017). Šio grunto dalelės pasižymi sferiškumu ( $S_{2D} = 0,836$ ), formos koeficientas  $K_{f,2D} = 0,702$  (Skuodis ir kt., 2014). Pagal granulimetrinę sudėtį (2 pav.)



1 pav. Geotinklo gyvavimo ciklas (Rüegger, Hufenus, 2003)  
Fig. 1. Life cycle of geogrid (Rüegger, Hufenus, 2003)



2 pav. Tirtu grunto granulometrinė sudėtis  
Fig. 2. Granulometric curve of investigated soil

nustatytas grunto pavadinimas – vidutinio rupumo smėlis (MSa) ( $C_U = 1,47$ ;  $C_C = 0,93$ ; vienoda sankloda). Gruntą sudaro 1,34 % rupi, 96,38 % vidutinio rupumo ir 2,28 % smulki frakcija. Šis gruntas pasižymi vienoda dalelių forma (dalelės yra apvalios ir nugludintos bangų mūšos procesų), dydžiu, neturi dulkių ar molio bei žvyro frakcijų.

Dėl anksčiau išvardytų grunto savybių jį praktiškai galima vadinti etaloniniu gruntu taikomuose moksliniuose tyrimuose. Etaloninius gruntu moksliniams tyrimams su biriais gruntais renkasi daugelis valstybių, pavyzdžiui: JAV naudoja Ottawa smėlį, Nigerija – Igbokoda smėlį, Korėja – Jumunjin smėlį, Kinija – Fujian smėlį (Ojuri, Agbolade, 2015; Skuodis ir kt., 2017).

Su šiuo gruntu atlikti geotinklais nearmuoto triašio slėgio bandymai, kurie vėliau palyginti su geotinklais armuotų gruntų savybėmis. Bandymuose naudotas Baltijos jūros pakrantės smėlis (mIV) leidžia atskleisti tiriamų geotinklų armavimo savybes su mažiausia užpildo įtaka gaunamiems rezultatams. Palyginimas atliktas vertinant armuoto / nearmuoto grunto santykį (Infante ir kt., 2016).

### Geotinklų savybės

Armuotų kompozitinių grunto konstrukcijų tyrimų analizei panaudoti geotinklai, kurie yra vieni iš dažniausiai naudojamų Lietuvoje (Vaitkus ir kt., 2010). Palyginimui naudojami lankstūs

Basetrac® Grid PP 40 ir Basetrac® Grid PET 40 bei standūs Secugrid 40/40 Q1 geotinklai. Norint užtikrinti palyginimo analizės skaidrumą, geotinklais armuotų kompozitinių grunto konstrukcijų rezultatai palyginti su nearmuoto grunto konstrukcijos rezultatais. Standžių ir lanksčių geotinklų savybės pateiktos 1 lentelėje.

### Triašio slėgio bandymų metodika

Bandymai atlikti su triašio slėgio aparatu, kuriam tirti 100 mm skersmens ir 200 mm aukščio armuoto ir nearmuoto geotinklais grunto bandiniai. Pasirinktos bandymų sąlygos – izotropiniai konsoliduoti ir drenuoti bandymai (ISO/TS 17892-9:2004). Šios bandymų sąlygos atitinka realias automobilių kelių ir geležinkelių eksploatacines sąlygas. Bandyme naudotas grunto drėgnis  $W = 6,00$  %. Konsolidacijos trukmė – 30 min., pagal kurią apskaičiuotas vertikalių deformacijų greitis – 0,950 %/min. Per kiekvieną bandymą pasiekta didžiausia 15,00 % vertikali bandinio deformacija, kad būtų galima nustatyti tiek pikines, tiek liekamąsias grunto stiprio reikšmes. Nearmuoti ir armuoti geotinklais grunto bandiniai ištirti esant celės slėgiui  $\sigma_3 = 100$ ; 200 ir 300 kPa.

Bandyme nearmuoto grunto geotinklais pradinis tankis  $\rho = 1,72$ – $1,73$  g/cm<sup>3</sup>, armuoto grunto Basetrac® Grid PP 40 –  $\rho = 1,67$ – $1,69$  g/cm<sup>3</sup>, armuoto grunto Secugrid 40/40 Q1 –  $\rho = 1,69$ – $1,70$  g/cm<sup>3</sup> ir armuoto grunto Basetrac® Grid PET 40 –  $\rho = 1,69$ – $1,72$  g/cm<sup>3</sup>. Pradiniai grunto

## 1 lentelė. Pagrindinės lyginamųjų lanksčių ir standžių geotinklų savybės

Table 1. Main flexible and rigid geogrid properties

Savybės Properties	Basetrac® Grid PP 40	Secugrid 40/40 Q1	Basetrac® Grid PET 40
Stipris tempiant išilgai	≥40 kN/m	≥40 kN/m	≥40 kN/m
Stipris tempiant skersai	≥40 kN/m	≥40 kN/m	≥40 kN/m
Pailgėjimas esant didžiausiai apkrovai	7 %	7 %	10 %
Cheminio senėjimo atsparumas	Gaminys bus atsparus ne mažiau kaip 100 metų, jei jis naudojamas natūraliuose gruntuose, kurių $4 < \text{pH}$ <9 ir temperatūra < 25 °C	Gaminys bus atsparus ne mažiau kaip 100 metų, jei jis naudojamas natūraliuose gruntuose, kurių $4 < \text{pH}$ <9 ir temperatūra < 25 °C	Gaminys bus atsparus ne mažiau kaip 100 metų, jei jis naudojamas natūraliuose gruntuose, kurių $4 < \text{pH}$ <9 ir temperatūra < 25 °C
Atmosferos poveikio atsparumas	Gaminys turi būti uždengiamas per 30 dienų nuo įrengimo	Gaminys turi būti uždengiamas per 30 dienų nuo įrengimo	Gaminys turi būti uždengiamas per 30 dienų nuo įrengimo

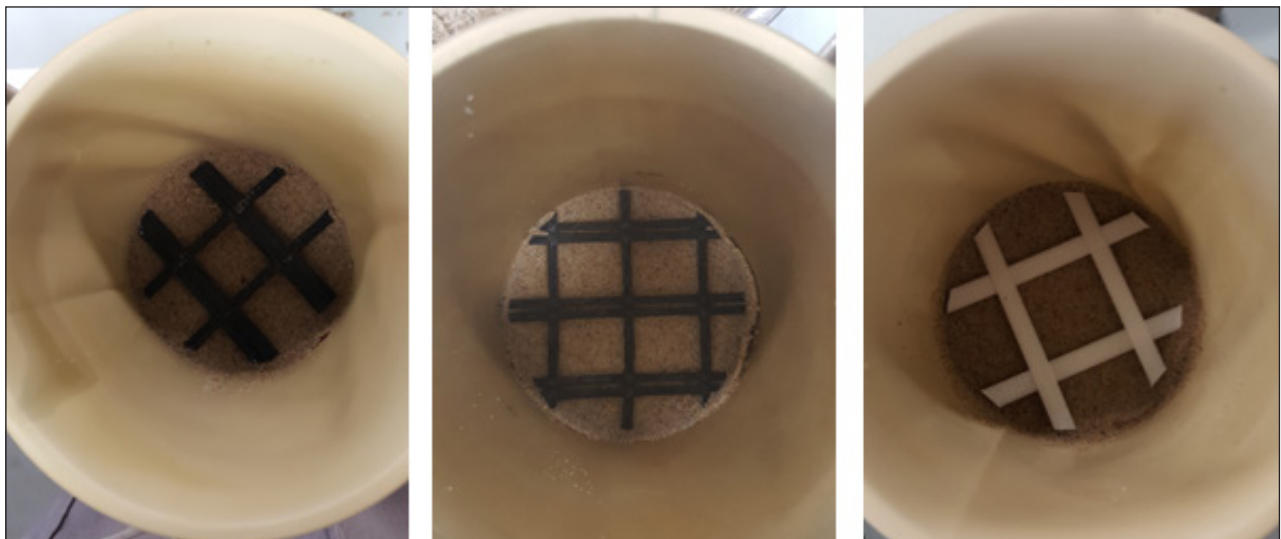
tankiai šiek tiek skiriasi, nes bandymuose naudotas vienas geotinklų armavimo sluoksniu per bandinio vidurį (3 pav.), t. y. lygiai po 100 mm nuo bandinių apačios ir viršaus.

Didžiausią geotinklų armavimo efektą galima nustatyti armuojant grunto bandinius vienu geotinklų sluoksniu, t. y. per bandinio vidurį (Kamel ir kt., 2004). Dėl šios priežasties tyrimai su didesniu nei vienu armavimo sluoksniu bandinyje nebuvo atliekami.

**Duomenų interpretacija**

Atliekant bandymus su nearmuoto ir geotinklais armuoto grunto bandiniais, pikinės stiprios reikšmės nustatytos pagal didžiausią tangentinių ir normalinių įtempių santykį, t. y.  $\tau/\sigma = \max$ . Liekamosios stiprios reikšmės nustatytos pagal mažiausią tangentinių ir normalinių įtempių santykį, t. y.  $\tau/\sigma = \min$ .

Nearmuotų geotinklais grunto bandinių stipris kerpant išreiškiamas Moro-Kulono dėsnio



3 pav. Grunto bandinio armavimas geotinklais: kairėje – lankstus Basetrac® Grid PP 40 geotinklas; per vidurį – lankstus Basetrac® Grid PET 40 geotinklas; dešinėje – standus Secugrid 40/40 Q1 geotinklas

Fig. 3. Sample reinforcement with geogrid: on the left hand side – flexible Basetrac® Grid PP 40 geogrid; in the middle – flexible Basetrac® Grid PET 40 geogrid; on the right hand side – rigid Secugrid 40/40 Q1 geogrid

$\tau = \sigma \tan \phi + c$ , kur vidinės trinties kampas ir sankiba nustatomi mažiausių kvadratų metodu (Dirgėlienė, 2013). Geotinklais armuotų grunto bandinių vidinės trinties kampas ir sankiba vertinta pagal Moro-Kulono dėsnį, pritaikytą nustatyti geotinklų poveikį kerpamajam stipriui  $\tau = \sigma \tan \phi + c_a$ . Žymėjimas  $c_a$  reiškia tariamąją sankibą, kuri atsiranda bandant geotinklais armuotą gruntą (Infante ir kt., 2016).

## REZULTATŲ ANALIZĖ

Atlikus bandymus su nearmuoto geotinklais grunto bandiniais, nustatytas suirimo pobūdis (4 pav.), analogiškas pateikiamiems literatūroje (Tang ir kt., 2017; Wang ir kt., 2017; Yang, Pan 2017). Tačiau armuoto grunto geotinklais suirimo pobūdis skiriasi nuo nearmuoto (5 pav.).

Analizuojant nearmuoto grunto suirimo schemą (4 pav.) aiškiai matyti, kad gruntas suyra per visą bandinio aukštį, o suirimo kampas priklauso nuo grunto vidinės trinties kampo. Tokia suirimo schema negalioja grunto kompozitinėje konstrukcijoje, armuotoje geotinklais (5 pav.). Tiek



4 pav. Suardyto grunto, nearmuoto geotinklais, suirimo pobūdis

*Fig. 4. Failure shape of unreinforced soil*

lanksčiais, tiek standžiais geotinklais armuotų grunto bandinių suirimo pobūdis pasižymi iki 10 irimo plokštumų susidarymu, kurios tęsiasi iki bandinio vidurio, t. y. iki geotinklo.

Nepaisant to, kad grunto bandiniai suyra virš įrengto geotinklo, per bandymą nustatyti įtempių deviatoriai ( $\sigma_D$ ) gaunami daug didesni nei nearmuotų geotinklais. Detalus įtempių deviatorių nuo vertikalių deformacijų palyginimas yra pateiktas atskirai, kai bandymų metu celės slėgiai yra skirtingi (6–8 pav.).

Analizuojant apibendrintus rezultatus, pateiktus 6–8 pav., matyti, kad tiek lanksčių, tiek standžių geotinklų naudojimas grunto kompozitinėse konstrukcijose leidžia pasiekti geresnių rezultatų, palyginti su nearmuoto grunto rezultatais. Vieninteliu atveju, kai celės slėgis yra 300 kPa, nearmuoto grunto pikinis stipris panašus į armuoto grunto (tiek su lanksčiu, tiek su standžiu geotinklu), nes dėl didelio celės slėgio pasikeičia įtempių būvis bandomame bandinyje (Medzvieckas ir kt., 2017). Tačiau nukirptas bandinys, kuris yra toliau kerpamas ir tiriamas liekamasis stipris, net kai celės slėgis siekia 300 kPa, nearmuoto grunto bandiniai negali lygintis su armuoto grunto lanksčių ir standžių geotinklų rezultatais.

Gauti rezultatai (6–8 pav.) atskleidė, kad lankstūs geotinklai Basetrac® Grid PP 40 ir Basetrac® Grid PET 40 yra lygiaverčiai gaminiai ir nė kiek nenusileidžia savo armuojančiomis savybėmis standžiam Secugrid 40/40 Q1 geotinklui. Bandymais nustatyta, kad šiek tiek geresni rezultatai gaunami armuojant gruntą Basetrac® Grid PET 40 geotinklu, palyginti su Secugrid 40/40 Q1 geotinklo nustatytais rezultatais. Šis efektas yra paaiškinamas didesniu akučių kiekiu tokiam pačiame plote, t. y. Basetrac® Grid PET 40 geotinklas turi keturias akutes, o Secugrid 40/40 Q1 geotinklas – vieną akutę (3 pav.). Išsami palyginamoji kerpamojo stiprio rezultatų analizė pateikta 2 lentelėje.

Lyginant bandinių pikinio stiprio rezultatus, pateiktus 2 lentelėje, pastebima, kad nearmuoto grunto bandiniai nusikerpa ties praktiškai dvigubai mažesne vertikalia deformacija (kai celės slėgis 100, 200 kPa), nei grunto bandiniai, armuoti geotinklais. Analizuojant lanksčių ir standžių geotinklų kerpamuosius stiprius nustatyta, kad lanksčiu geotinklu armuotas gruntas pikinį

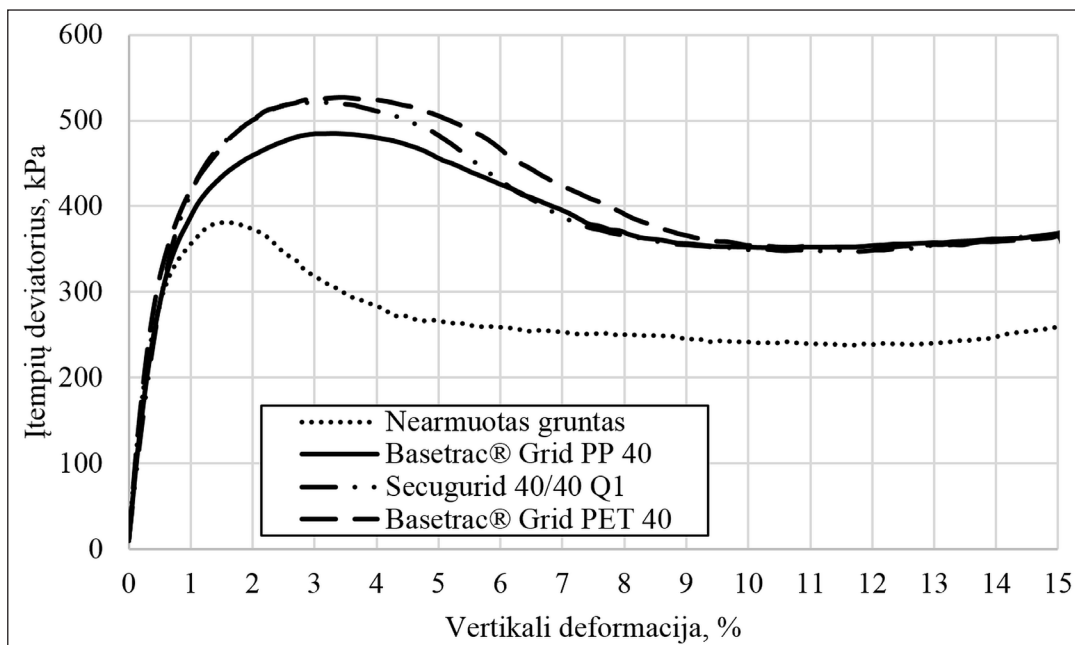


**5 pav.** Bandinių suirimo pobūdis: kairėje – armuota Basetrac® Grid PP 40 geotinklu; viduryje – armuota Basetrac® Grid PET 40 geotinklu; dešinėje – armuota Secugrid 40/40 Q1 geotinklu

**Fig. 5.** Failure shape of reinforced soil with geogrid: on the left hand side – reinforced with Basetrac® Grid PP 40 geogrid; in the middle – reinforced with Basetrac® Grid PET 40 geogrid; on the right hand side – reinforced with Secugrid 40/40 Q1 geogrid

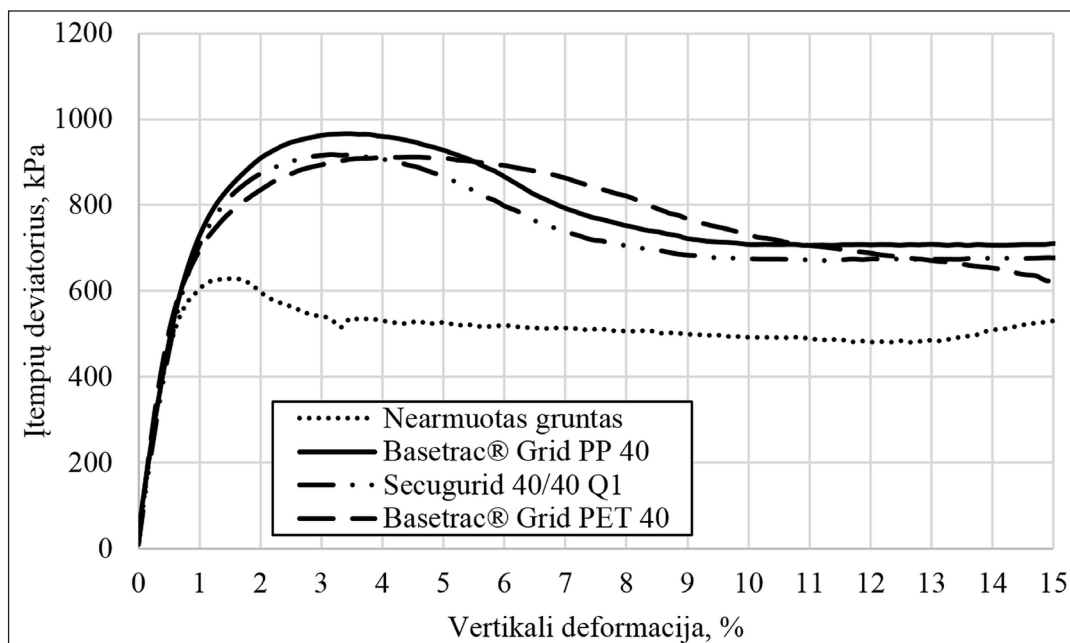
stiprį pasiekia išsivysčius didesnėms vertikalioms deformacijoms, nei standžiu geotinklu armuoto grunto. Tai yra labai gera savybė, nes projektuojant grunto kompozitines konstrukcijas, armuo-

tas lanksčiais geotinklais, galima numatyti didesnes konstrukcijos deformacijas ir žinoti, kad konstrukcija nesuirs (nepasieks pikinio stiprio). Kitaip yra su standžiais geotinklais.



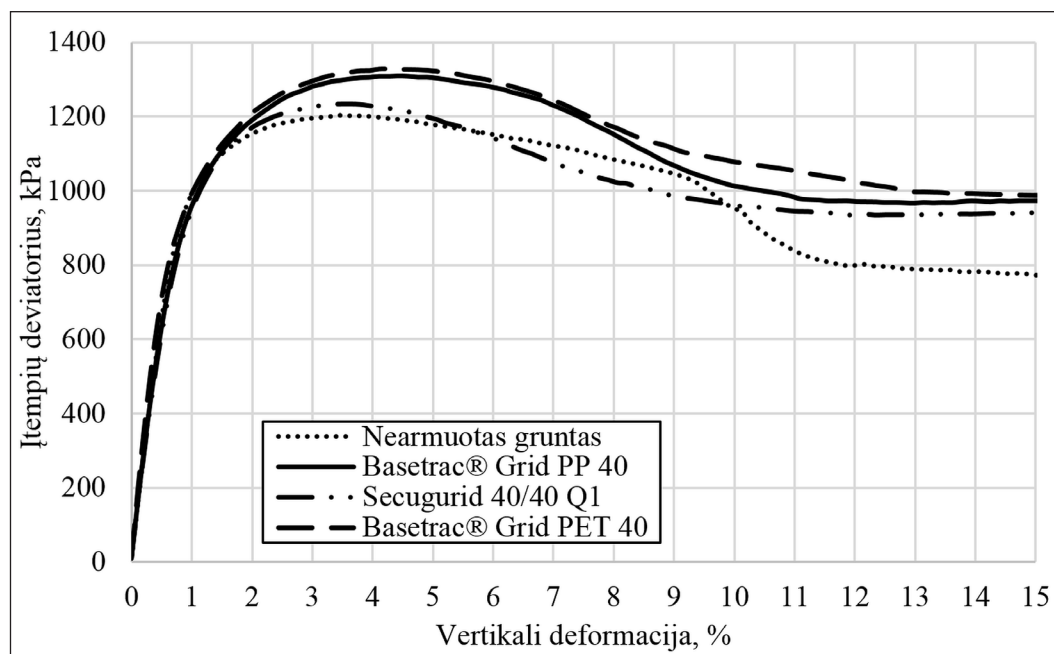
**6 pav.** Nearmuoto ir armuoto geotinklais grunto įtempių deviatorių ir vertikalių deformacijų priklausomybių palyginimas, kai kelės slėgis  $\sigma_3 = 100$  kPa

**Fig. 6.** Unreinforced and reinforced soil with geogrids deviator change versus vertical strain, when cell pressure  $\sigma_3 = 100$  kPa



7 pav. Nearmuoto ir armuoto geotinklais grunto įtempių deviatorių ir vertikalų deformacijų priklausomybių palyginimas, kai celės slėgis  $\sigma_3 = 200$  kPa

Fig. 7. Unreinforced and reinforced soil with geogrids deviator change versus vertical strain, when cell pressure  $\sigma_3 = 200$  kPa



8 pav. Nearmuoto ir armuoto geotinklais grunto įtempių deviatorių ir vertikalų deformacijų priklausomybių palyginimas, kai celės slėgis  $\sigma_3 = 300$  kPa

Fig. 8. Unreinforced and reinforced soil with geogrids deviator change versus vertical strain, when cell pressure  $\sigma_3 = 300$  kPa

Pažymėtina, kad grunto sankiba kompozitinėje grunto konstrukcijoje nėra tikroji grunto sankiba. Geotinklais armuoto grunto atveju, sankibą re-

komenduojama vertinti pagal Infante (2016), t. y. sankibą traktuoti kaip kompozitinės konstrukcijos elgsenos parametą, kuris biriams gruntams

## 2. lentelė. Nearmuoto ir armuoto geotinklais grunto kerpamasis stipris

Table 2. Unreinforced and reinforced soil with geogrid shearing strength

Pikinis stipris / Peak strength						
Bandymo sąlygos Test conditions	Celės slėgis Cell pressure $\sigma_3$ , kPa	Įtempių deviatorius Deviator $\sigma_D$ , kPa	Vertikali deformacija Vertical strain $\epsilon$ , %	Vidinės trinties kampas Angle of internal friction $\phi_{m,f}^{\circ}$	Sankiba Cohesion $c_{m,p}$ , kPa	Kerpamojo stiprio santykis (armuota / nearmuota) Shearing strength ratio (reinforced/unreinforced)
Nearmuota	104,54	380,67	1,5810			–
	202,98	627,85	1,5758	40,77	0,00	–
	305,39	1202,45	3,4799			–
Armuota Basetrac® Grid PP 40	106,68	484,87	3,3234			1,31
	204,78	966,78	3,4615	42,28	22,82	1,31
	305,30	1308,82	4,4283			1,12
Armuota Secugrid 40/40 Q1	106,20	521,38	3,0033			1,43
	205,65	916,87	3,3232	39,78	43,47	1,31
	305,13	1233,04	3,6346			1,09
Armuota Basetrac® Grid PET 40	107,01	526,76	3,3171			1,32
	206,10	1114,53	5,0638	41,90	20,27	1,27
	306,44	1635,05	4,1152			1,11
Liekamasis stipris / Residual strength						
Bandymo sąlygos Test conditions	Celės slėgis Cell pressure $\sigma_3$ , kPa	Įtempių deviatorius Deviator $\sigma_D$ , kPa	Vertikali deformacija Vertical strain $\epsilon$ , %	Vidinės trinties kampas Angle of internal friction $\phi_{m,f}^{\circ}$	Sankiba Cohesion $c_{m,p}$ , kPa	Kerpamojo stiprio santykis (armuota / nearmuota) Shearing strength ratio (reinforced/unreinforced)
Nearmuota	100,36	237,99	11,5560			–
	200,42	480,12	12,3425	33,82	0,00	–
	300,54	771,10	15,0383			–
Armuota Basetrac® Grid PP 40	103,20	350,68	10,7681			1,49
	199,08	707,15	12,4866	37,26	15,43	1,39
	301,42	966,10	12,9783			1,29
Armuota Secugrid 40/40 Q1	102,23	347,11	11,7116			1,45
	202,81	669,34	11,0815	36,39	17,17	1,34
	298,56	934,24	13,0695			1,23
Armuota Basetrac® Grid PET 40	102,43	454,79	11,5504			1,31
	201,92	821,89	14,9011	38,07	1,33	1,23
	301,38	1293,53	13,6201			1,22

gali būti santykinai didelis, palyginti su nearmuotų birių gruntų sankibos vertėmis (Kamel, 2004). Net ir mažas vidinės trinties kampo pokytis vienu

laipsniu turi didesnę įtaką bendram kerpamajam stipriui, palyginti su sankibos reikšmių padidėjimu nuo 0 iki 40 kPa (Skuodis ir kt., 2016).



## IŠVADOS

Apibendrinant lanksčių ir standžių geotinklų grunto armavimo įtaką galima suformuluoti tokias išvadas:

1. Geotinklų naudojimas armuojant grunto kompozitines konstrukcijas pagerina jų savybes, palyginti su nearmuotomis.

2. Analizuojant lanksčių ir standžių geotinklų kerpamuosius stiprius nustatyta, kad lanksčiu geotinklu armuotas gruntas pikinį stiprį pasiekia išsivysčius didesnėms vertikalioms deformacijoms, nei grunto, armuoto standžiu geotinklu.

3. Armuotos kompozitinės konstrukcijos vidinės trinties kampo pikinės reikšmės kinta nežymiai (nuo  $39,78^\circ$  iki  $42,28^\circ$ ), palyginti su nearmuotos ( $40,77^\circ$ ). Liekamosios reikšmės kinta intervale nuo  $33,82^\circ$  (nearmuotas gruntas) iki  $38,07^\circ$  (armuotas gruntas). Armuoto grunto atveju pikinė tariamoji sankiba padidėja iki 43,47 kPa, liekamoji – iki 17,17 kPa.

4. Armuoto / nearmuoto grunto kerpamojo stiprio santykis padidėja nuo 1,09 iki 1,49. Mažesnės reikšmės gaunamos esant pikinėms kerpamojo stiprio reikšmėms ir didesniai celės slėgiui.

5. Bandant triašio slėgio aparatu paaiškėjo, kad pagal gautus rezultatus lankstūs Basetrac® Grid PP 40 ir Basetrac® Grid PET 40 geotinklai yra lygiaverčiai gaminiai ir nė kiek nenusileidžia savo armuojančiomis savybėmis, palyginti su standžiu Secugrid 40/40 Q1 geotinklu.

## PADĖKA

Šių tyrimų autoriai yra dėkingi Vilniaus Gedimino technikos universiteto Civilinės inžinerijos mokslo centrui už suteiktą tyrimų bazę ir bandymuose naudotas medžiagas.

Gauta 2018 01 08  
Priimta 2018 04 01

## LITERATŪRA

1. Amšiejus J., Kačianauskas R., Norkus A., Tumonis L. 2010. Investigation of the sand porosity via oedometer testing. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 5(3): 139–147.
2. Dirgėlienė N. 2013. *Grunto tyrimas triašio slėgio aparatu*. Vilnius: Technika. 43 p.

3. *Dėl geosintetikos naudojimo žemės darbams kečiuose metodinių nurodymų MN GEOSINT ŽD 13 patvirtinimo*. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus įsakymas. 2013 m. kovo 22 d. Nr. V-122.
4. Infante D. J. U., Martinez G. M. A., Arrua P. A., Eberhardt M. 2016. Shear strength behavior of different geosynthetic reinforced soil structure from direct shear test. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. 2(17): 1–17.
5. ISO/TS 17892-9:2004. *Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water-saturated soils*.
6. Kamel M. A., Chandra S., Kumar P. 2004. Behaviour of subgrade soil reinforced with geogrid. *International Journal of Pavement Engineering*. 5(4): 201–209.
7. Lackner C., Marte R., Bergado D. T., Semprich S. 2014. Prestressed reinforced soil for infrastructure projects – a microscopic research. *XV Danube-European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014)*. Vienna, Austria. Paper No. 67.
8. Medzvieckas J., Dirgėlienė N., Skuodis Š. 2017. Stress-strain states differences in specimens during triaxial compression and direct shear tests. *Procedia Engineering. Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016*. Amsterdam: Elsevier Ltd. 172(2017): 739–745.
9. Ojuri O. O., Agbolade O. C. 2015. Improvement of engineering properties of Igbokoda standard sand with shredded polyethylene wastes. *Nigeria Journal of Technology*. 34(3): 443–451.
10. *Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements – EBGeo*, Translation of the 2nd German Edition, Published by the German Geotechnical Society (Deutsche Gesellschaft Für Geotechnik e.V., DGGT), 2011.
11. Rüegger R., Hufenus R. 2003. *Bauen mit Geokunststoffen: ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender*. SVG [in German].
12. Skuodis Š., Karaman A. H., Dirgėlienė N. 2017. Comparison of one-step and step-wise compression tests. *Geologija. Geografija*. 3(1): 1–10.
13. Skuodis Š., Markauskas D., Norkus A., Žaržojus G., Dirgėlienė N. 2014. Testing and numerical simulation of Holocene marine sand uniaxial compression at Lithuanian coast. *Baltica*. 27(1): 33–44.
14. Skuodis Š., Norkus A., Dirgėlienė N., Rimkus L. 2016. Determining characteristic sand shear parameters of strength via a direct shear test. *Journal of Civil Engineering and Management*. 22(2): 271–278.
15. *Statybos techninis reglamentas STR 2.05.21:2016 Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai*, patvirtintas 2016 m. liepos 4 d. (įsakymo Nr. D1-468).

16. Šiukščius A., Vorobjovas V., Vaitkus A. 2017. Geogrid reinforced subgrade influence to ensure paved road durability. *10th International Conference "Environmental Engineering"*. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. Vilnius: VGTU Press 2017, 1–7.
17. Tang H., Zhang X., Ji S. 2017. Discrete element analysis for shear band modes of granular materials in triaxial tests. *Particulate Science and Technology*. 35(3): 277–290.
18. Vaitkus A., Čygas D., Laurinavičius A. 2010. Use of geosynthetics for the strengthening of road pavement structure in Lithuania. *Geosynthetics for a challenging world: 9th International Conference on Geosynthetics, Guarujá, Brazil*. Vol. 3. San Paulo: Brazilian Chapter of the International Geosynthetics Society (IGS-Brazil), 1575–1580.
19. Vaitkus A., Šiukščius A., Ramūnas V. Regulations for use of geosynthetics for road embankments and subgrades. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. (9)2: 88–93.
20. VIDEO: Huesker explains "Interaction flexibility". <http://www.worldhighways.com/categories/asphalt-paving-compaction-testing/features/video-huesker-explains-interaction-flexibility/> (žiūrėta 2018 01 05).
21. Wang H., Koseki J., Sato T. 2017. p-Constant Condition Applied to Undrained Cyclic Triaxial Test of Unsaturated Soils. *Geotechnical Testing Journal*. 40(4): 710–718.
22. Yang Z. X., Pan K. 2017. Flow deformation and cyclic resistance of saturated loose sand considering initial static shear effect. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 92: 68–78.

Šarūnas Skuodis, Neringa Dirgėlienė

## INVESTIGATION OF SOIL SHEARING STRENGTH REINFORCED WITH GEOGRID

### Summary

This paper presents the results of a static triaxial test on soil samples reinforced with geogrid, conducted with the aim to characterize the shear strength of reinforced soil composite. To reach the aim it was chosen to provide triaxial tests without geogrid reinforcement and to compare later obtained results with soil samples reinforced with geogrid. Two types of flexible geogrid and one type of rigid geogrid were selected with ultimate tensile strength  $\geq 40$  kN/m. Laboratory testing programs were performed with a static triaxial test device, where sample diameter was 100 mm and height was 200 mm. The samples were made with initial water content of 6.00% and average density varying from 1.67 to 1.73 g/cm<sup>3</sup> (according to different geogrid reinforcement type). The reinforcement layer was placed directly in the middle of the samples and all triaxial tests were conducted according to isotropic, unsaturated, consolidated and drained conditions with three confining cell pressures: 100, 200 and 300 kPa. During the loading stage, there was used a 0.950%/min vertical strain ramp, until maximum deformation of 15.0% was reached. The effect of different geogrid reinforcement on shearing strength results was analyzed, mainly peak and residual shearing strength. The tests results revealed that the shearing strength increases if soil sample is reinforced with geogrid. Using flexible geogrids, the maximum peak shearing strength was reached at higher vertical strains when compared with a rigid geogrid. In general, the improvement of shearing strength is obtained with soil samples reinforced with flexible and rigid geogrids compared to samples without reinforcement. In this study, flexible and rigid geogrids used for experimental testing are equivalent products, which can be successfully applied for Lithuanian roads and railways structures.

**Keywords:** geogrid, shearing strength, angle of internal friction, cohesion