VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Audrius Vaitkus

GEOTEKSTILIŲ PARINKIMO METODAI LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ IR GATVIŲ KONSTRUKCIJOMS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)

Vilnius, 2007

Disertacija rengta 2003–2007 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas:

prof. dr. Alfredas Laurinavičius (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

SANTRUMPOS 5
ĮVADAS 6
1. AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGOS, JŲ STIPRIS IR TVARUMAS 9
1.1. Automobilių kelių dangų darbo sąlygos 9
1.2. Kelio žemės sankasos ir dangos nerišlių sluoksnių medžiagų sąmaiša 12
1.3. Lietuvos automobilių kelių ir miestų gatvių tiesimo bei rekonstrukcijos kitimo analizė .. 17
1.4. Geosintetinių medžiagų rūšys, geotekstilės funkcijų analizė 21
1.5. Geotekstilės naudojimo kelio dangos sluoksniams atskirti tyrimų analizė 28
1.6. Išvados, darbo tikslas ir uždaviniai 38
2. GEOTEKSTILĖS, NAUDOJAMOS DANGOS SLUOKSNIAMS ATSKIRTI, PARINKIMO METODŲ ANALIZĖ 40
2.1. Pažaidų energijos samprata. Energijos indeksas 40
2.2. Geotekstilių mechaninės savybės 44
2.3. Geotekstilių parinkimo būdų ir metodų analizė 48
2.4. Reikalingos geosintetinių medžiagų savybės 50
2.5. Teorinis geotekstilių parinkimo modelis Lietuvos sąlygoms 52
2.6. Antrojo skyriaus išvados 56
3. GEOTEKSTILĖS NAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ IR GATVIŲ DANGOS SLUOKSNIAMS ATSKIRTI EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI 58
3.1. Eksperimentinių tyrimų etapai 58
3.2. Eksperimentiniai tyrimai geotekstilės pažaidoms nustatyti įrengiant dangą 58
3.3. Eksperimentiniai tyrimai nustatyti geotekstilės pažaidoms nuo transporto priemonių apkrovų eksploatuojant kelią 64
3.3.1. Eksperimentiniai tyrimai atskyrimo funkcijos atlikimui nustatyti, kai kelias su asfaltbetonio danga 65
3.3.2. Matematinio modelio tikrinimas 68
3.3.3. Eksperimentiniai tyrimai atskyrimo funkcijos atlikimui nustatyti, kai kelias be asfaltbetonio dangos 69
3.3.4. Eksperimentinių tyrimų ruožas ir medžiagos 71
3.3.5. Eksperimentinių tyrimų ruožo įrengimas 72
3.3.6. Eksperimentinių tyrimų rezultatai 73
3.4. Eksperimentiniai tyrimai geotekstilės mechaninių savybių kitimui nustatyti 80
3.5. Trečiojo skyriaus išvados 82

4. GEOTEKSTILIŲ PARINKIMO METODAS LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ IR MIESTŲ GATVIŲ KONSTRUKCIJOS SLUOKSNIAMS ATSKIRTI 84
4.1. Geotekstilės naudojimo tikslingumas 84
4.2. Geotekstilių parinkimo metodas 84
4.3. Ekonominio efekto nustatymas dangai naudojant geotekstilę 88
4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados 92
BENDROSIOS IŠVADOS 93
LITERATŪROS SĄRAŠAS 95
PRIEDAI 104
1 PRIEDAS. Standartai, taikomi geosintetines medžiagas naudojant statiniams ir šioms medžiagoms bandyti 105
2 PRIEDAS. GTX1 ir GTX2 koreliacijos koeficientai tarp geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio bei statinio pradūrimo atsparumo vidurkių 109
3 PRIEDAS. Ekonominis efektas taikant geotekstilę dangos sluoksniams atskirti, naudos ir kaštų analizė 111

SANTRUMPOS

CBR – Kalifornijos santykinio atsparumo rodiklis (California Bearing Ratio)

AASHTO – Amerikos valstybinių greitkelių ir transporto asociacija (American Association of State Highway and Transportation Officials)

O_{95} – būdingas geotekstilės kiaurymės dydis

d_{85} – skersmenys grūdelių, kurių medžiagos granuliometrinėje sudėtyje yra mažiau kaip 85 % medžiagos masės

NorGeoSpec – Šiaurės Europos šalių geotekstilės atrankos ir kontrolės sistema

GRC – geotekstilės stiprio klasifikacija (Geotextile-Robustness-Classification)

ESA – ekvivalentinių standartinių ašių skaičius

$GTX_{paž}$ – geotekstilės pažaidų laipsnis

GTX1, GTX 2 – eksperimentiniam tyrimui naudotų geotekstilių kodai

GSK – geotekstilės stiprio klasė

VGN – vidinė grąžos norma

N/K – naudos ir kaštų santykis

ĮVADAS

Automobilių kelių ir gatvių dangų stipris bei jo vientisumas garantuojamas projektiniu žemės sankasos ir dangos stipriu, apibūdinamu deformacijos moduliu, kuris priklauso nuo dangos sluoksnių medžiagų savybių ir jų storio.

Įrengiant automobilių kelio ar gatvės dangas ant žemės sankasos bei vėliau jas eksploatuojant dėl nuolatos pasikartojančių statinių bei dinaminių transporto priemonių apkrovų gali prasidėti žemės sankasos grunto bei apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagų sąmaiša. Analogiškas procesas gali vykti ir tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei dangos pagrindo medžiagų. Ilgainiui kelio ar gatvės dangos sluoksnių medžiagų tarpusavio sąmaiša gali turėti neigiamą įtaką dangos stipriui bei tvarumui.

Įrengiant automobilių kelius ar miestų gatves, juos rekonstruojant ir vėliau eksploatuojant atskirų dangos sluoksnių mineralinių medžiagų tarpusavio samaišai eliminuoti, pastaruosius 15 metų pasaulyje plačiai taikomi geotekstilės tarpsluoksniai. Jungtinėse Amerikos Valstijose prieš pradedant plačiai naudoti geotekstiles kelio dangos sluoksniams atskirti, transporto departamento inžinieriai, projektuodami kelio dangą ant silpnų sankasos gruntų, padidindavo dangos pagrindo sluoksnių storį. Taip buvo išvengiama „švaraus“ sluoksnio storio nuostolio dėl kietųjų pagrindo sluoksnio medžiagos grūdelių įspaudimo į sankasos gruntą [1].

Jungtinių Amerikos Valstijų mokslininkai geotekstiles kelio dangos sluoksniams atskirti parinkti rekomenduoja naudoti skaičiavimus pagal formules [2, 3], tačiau jos galioja tik keliams be asfaltbetonio dangos. Kitas geotekstilių taikymo būdas – atskirų šalių sukurtos normos bei rekomendacijos. Europoje iki šiol nėra vieningų norminių dokumentų, reglamentuojančių geotekstilių naudojimą automobilių kelių bei gatvių dangos sluoksniams atskirti. Tai galima pagrįsti tuo, kad Europos valstybėse yra skirtingos klimatinės bei geologinės sąlygos. Taigi kiekviena ar keletas valstybių, kurioms pagal jų sąlygas aktualu kelio dangos sluoksnius atskirti geotekstilėmis, turi savo norminius dokumentus ar rekomendacijas.

Lietuvoje geosintetinės medžiagos tiesiant ir rekonstruojant automobilių kelius bei miestų gatves naudojamos tik pastarąjį dešimtmetį. 1998 metais Lietuvos automobilių kelių direkcija išleido laikinuosius nurodymus „Geotekstilės ir geotinklų naudojimas tiesiant kelius“ [4], kuriais iki šiol vadovaujasi projektuotojai ir geosintetinių medžiagų tiekėjai. Šie nurodymai yra parengti vadovaujantis Vokietijos specialistų patirtimi ir jų parengtais dokumentais geosintetinėms medžiagoms naudoti tiesiant kelius. Pritaikant šiuos nurodymus Lietuvos sąlygoms nebuvo vykdomi eksperimentiniai tyrimai, bei nustatomas geotekstilių tinkamumas.

Šiame mokslo darbe analizuojama vienos iš geosintetinių medžiagų rūšies – geotekstilės naudojimas automobilių kelių ir miestų gatvių dangose atskyrimo funkcijai, kitos geosintetinių medžiagų rūšys plačiau nenagrinėjamos.

Tobulinant automobilių kelių bei gatvių dangų sluoksnių biriųjų medžiagų atskyrimo geotekstilėmis parinkimo metodus, šio **mokslo darbo tikslas** formuluojamas taip:

Didinti automobilių kelių dangų tvarumą, sukuriant geotekstilių parinkimo metodą Lietuvos automobilių kelių ir gatvių konstrukcijoms.

Lietuvoje pastaraisiais metais ženkliai išaugo naujų kelių ir gatvių tiesimo bei rekonstrukcijos apimtys. Kelių ir gatvių tvarumui, eismo dalyvių saugumui bei komfortabilumui užtikrinti, būtina taikyti naujas pažangias technologijas. Viena tokių technologijų yra kelio ar gatvės konstrukcijos sluoksnių atskyrimas geotekstilėmis. Geotekstilių naudojimo reikalingumo bei tinkamo parinkimo būdo nustatymo poreikis Lietuvos automobilių keliams ir gatvėms lemia šio **darbo aktualumą.**

Tyrimo metodologija

Teorinio geotekstilės atrankos modelio sukūrimas, planuoti eksperimentiniai tyrimai, eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė ir apibūdinimas, sukurto teorinio modelio koregavimas bei geotekstilės parinkimo metodo sukūrimas.

Autoriaus tyrimų rezultatai, kurie yra gynimo teiginiai

Geotekstilės pažaidos, susidarančios įrengiant kelio dangos sluoksnius ant jos, neturi ženklios įtakos sluoksnių atskyrimo funkcijai. Geotekstilės pradūros yra reikšmingiausios pažaidos, turinčios neigiamą įtaką kelio dangos sluoksnių atskyrimui.

Pagrindiniai veiksniai, dėl kurių gali susidaryti geotekstilės pažaidos tiesiant ir eksploatuojant kelią, yra šie:

a) virš geotekstilės įrengiamo sluoksnio mineralinės medžiagos granuliometrinė sudėtis bei grūdelių dydis;
b) dangos konstrukcijos sluoksnių storis virš geotekstilės;
c) technologinės apkrovos (kelių tiesimo mašinų eismas virš geotekstilės įrengtu sluoksniu);
d) apkrovos eksploatuojant kelią.

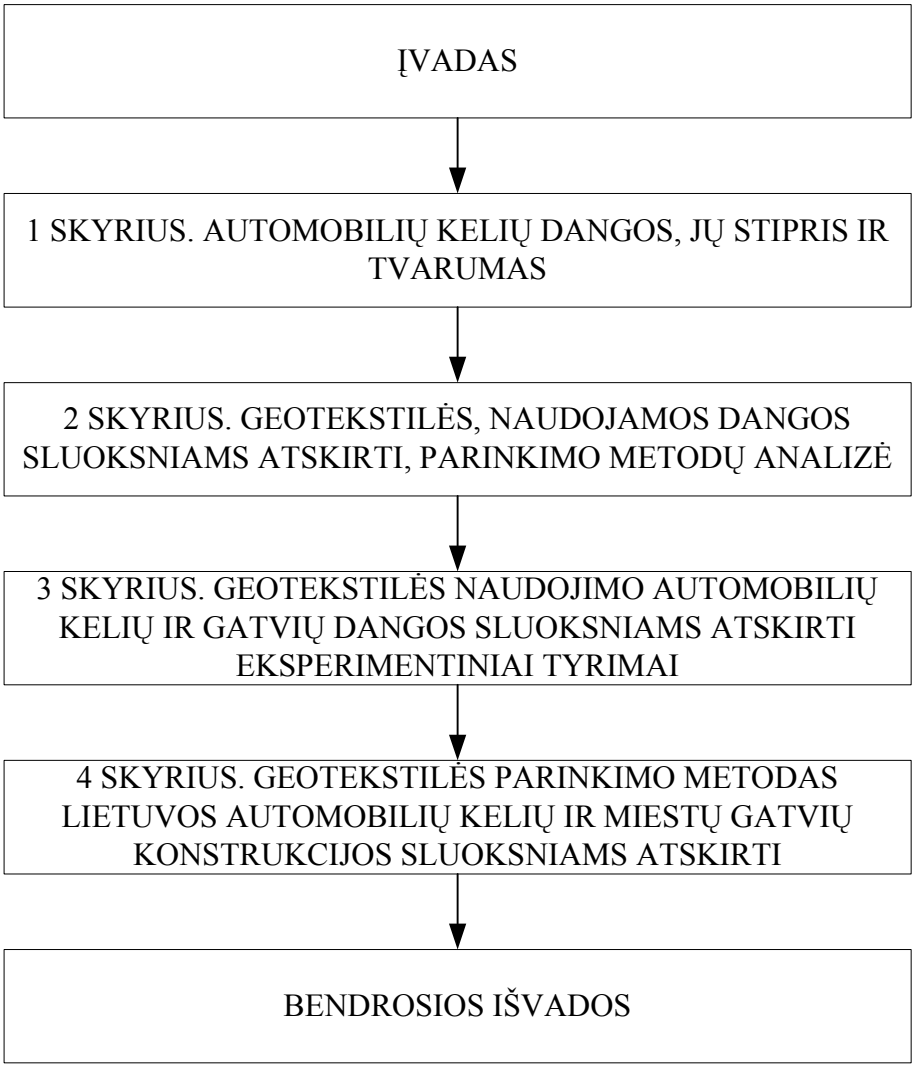
Geotekstilės mechaninės savybės tiesiogiai priklauso nuo geotekstilės pažaidų laipsnio.

Pagal sukurtą parinkimo metodą parinktos geotekstilės naudojimas, kelio dangos sluoksniams atskirti, yra rentabilus.

Šio mokslo darbo **naujumą** sudaro tai, kad kelio konstrukcijos sluoksnių mineralinių medžiagų susimaišymas tiesiant bei eksploatuojant kelius, Lietuvos sąlygoms, iki šiol nebuvo tyrinėtas ir analizuojamas pirmą kartą. Taip pat pirmą kartą detaliai analizuojamas ir apibūdinamas geotekstilės poreikis bei parinkimo būdas.

Mokslo darbo nuosekliais eksperimentiniais tyrimais nustatytas geotekstilės tinkamumas atskyrimo funkcijai, tiesiant ir eksploatuojant kelius bei gatves. Eksperimentiniais tyrimais nustatyti pagrindiniai veiksniai turintys įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti ir atskyrimo funkcijai realizuoti bei sukurtas geotekstilių atrankos metodas sudaro mokslo darbo **originalumą.**

Šį mokslo darbą sudaro įvadas, 4 skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai. Mokslo darbo aprašomojo skyriaus apimtis – 104 psl., 28 lentelės ir 44 paveikslai. Grafinė mokslo darbo struktūra pateikta 1 paveiksle.



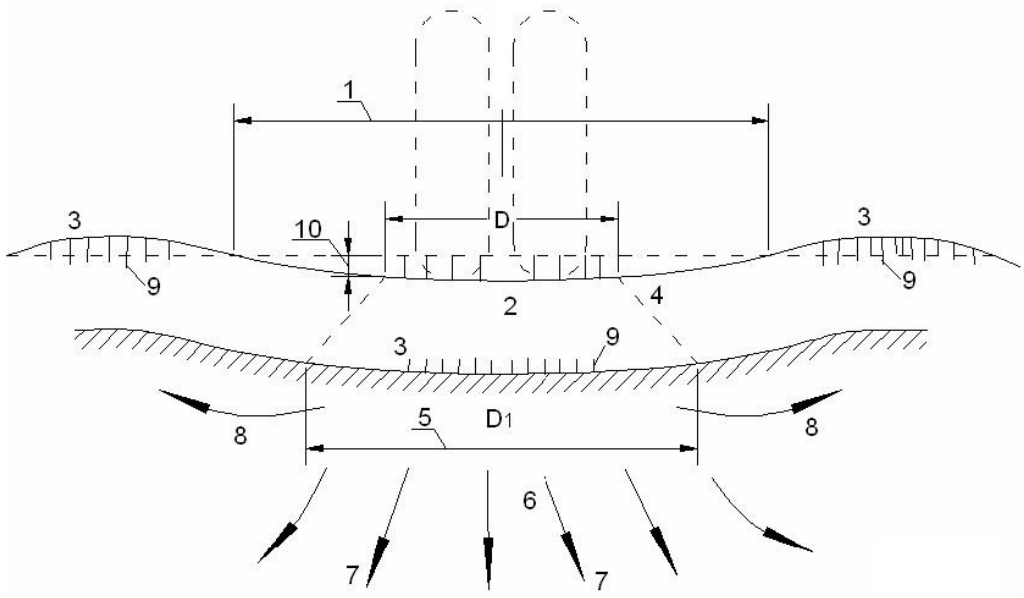
1 pav. Grafinė mokslo darbo struktūra

1. AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGOS, JŲ STIPRIS IR TVARUMAS

1.1. Automobilių kelių dangų darbo sąlygos

Automobilių kelių konstrukciją sudaro danga ir žemės sankasa, atitinkamai dangos konstrukciją – dangos ir pagrindo sluoksnis(-iai), o žemės sankasa yra dangos konstrukcijos pagrindas. Dangos pagrindas turi atlaikyti eismo ir dangos sluoksnių apkrovą ir ją paskleisti į žemės sankasą, todėl jis turi būti pakankamai vientisas ir stabilus. Lietuvoje techniškai tinkamos ir ekonomiškos kelio dangos, atsižvelgiant į jų paskirtį, eismo apkrovas, gruntines sąlygas ir padėtį vietovėje, nustatomos pagal statybos reglamentą „Automobilių keliai“ [5].

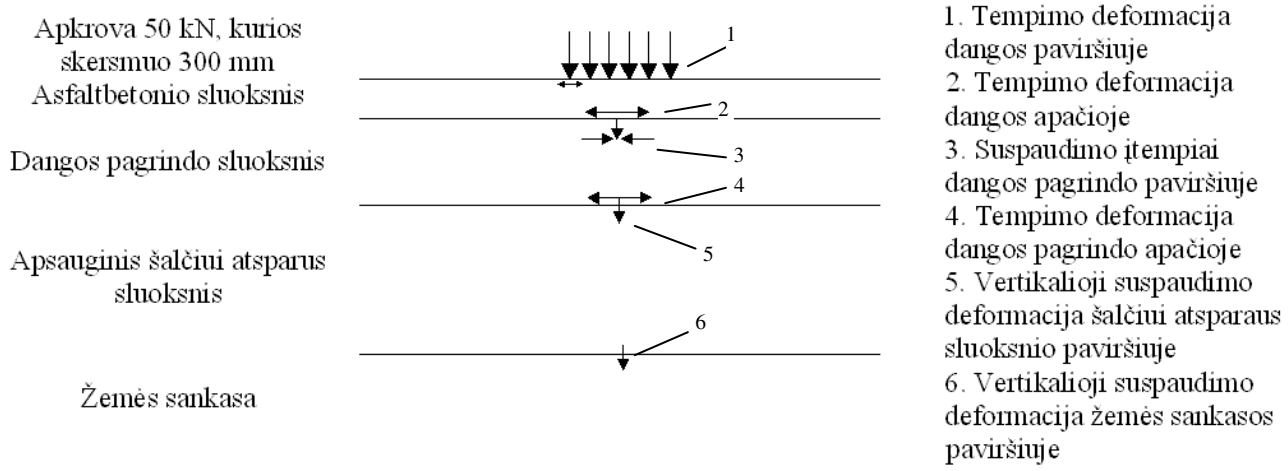
Nuo nuolatos besikartojančių automobilių apkrovų kelio danga įlinksta ir deformuojasi. Pagal [6] autorių pateiktą schemą (1.1 pav.) automobilio apkrova žemės sankasos gruntą aktyviojoje zonoje suspaudžia, dėl to kelio dangoje susidaro įlinkis. Kuo storesnė ir standesnė danga, tuo į didesnį plotą paskleidžiamas apkrovos slėgis ir tuo mažesni įtempiai ir deformacijos susidaro sankasos grunte.



1.1 pav. Nestandžios dangos įlinkis ir deformacijos slegiant automobilio ratui(-ams)

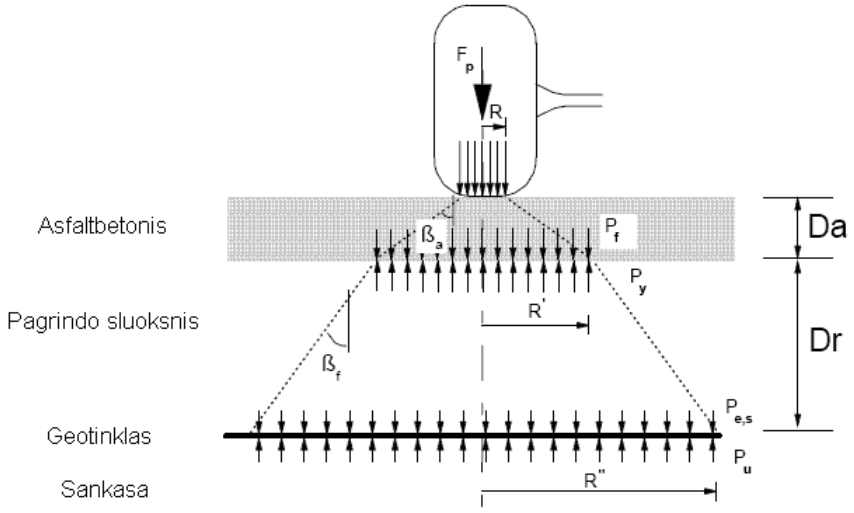
D – pėdsako apskritimo skersmuo; D1 – žemės sankasos paviršiaus įlinkio apskritimo skersmuo; 1 – įlinkio zona; 2 – dangos suspaudimo zona; 3 – dangos tempimo zona; 4 – dangos kirpimo linija; 5 – sankasos grunto slėgio zona; 6 – grunto tankėjimas; 7 – grunto suslėgimo kryptis; 8 – grunto išspaudimas; 9 – dangos plyšiai; 10 – dangos deformacija.

Kelio dangos medžiaga viršuje yra suspaudžiama, o apačioje – tempiama, dėl to gali susidaryti plyšiai. Rato ir dangos kontakto kraštuose atsiranda kirpimo įtempiai, dėl kurių, kai veikia didelės apkrovos, danga gali būti pralaužta. Horizontaliosios jėgos nerišlių medžiagų dangos pagrindo sluoksniuose ir žemės sankasos grunte gali sukelti neleistinus šlyties įtempius, dėl to danga irgi gali būti deformuota. Didėjant apkrovoms ar blogėjant dangos darbo sąlygoms, joje gali susidaryti liekamosios (plastinės) deformacijos. Kai apkrovos kartojasi šios deformacijos didėja ir dangoje pasireiškia suirimo požymiai: plyšiai, ištrupėjimai, duobės [6]. A. Molenaar‘as pateikia tokias įtempių ir deformacijų kritines padėtis kelio konstrukcijoje [7] (1.2 pav.).



1.2 pav. Kritinė įtempių ir deformacijų padėtis kelio dangoje ir žemės sankasoje (pagal A. Molenaar [7])

N. Meyer‘as ir J. M. Elias [8] pateikė projektavimo metodus daugiafunkciniam geotinklo panaudojimui žemės sankasai, kai klojama asfaltbetonio danga stabilizuoti. Šie metodai paremti modifikuota G. T. Houlsby ir R. A. Jewell [9] armuotų kelių be asfaltbetonio dangos teorija. Įtempių sklaida geotinklu armuoto kelio, kai paklota asfaltbetonio danga, pateikta 1.3 pav. N. Meyer‘as ir J. M. Elias teigia, kad kelio dangos projektavimas prasideda nuo dangos pagrindo projektavimo, o dangos sluoksnis tik paskleidžia apkrovas ir neturi įtakos visai dangos ir žemės sankasos laikomajai gebai. Norint patikrinti, ar kelio danga išliks stabili per visą eksploatacijos periodą, būtina nustatyti žemės sankasos ir pagrindo sluoksnių didžiausią laikomąją gebą ir ją palyginti su faktiniais įtempiais. Toliau projektavimo metodai detaliai neanalizuojami, pateikiamos įtempių kelio konstrukcijos sluoksniuose nustatymo išraiškos.



1.3 pav. Įtempių sklaida, asfaltbetonio dangoje ir jos pagrindo sluoksnyje (pagal N. Meyer‘as ir J. M. Elias [8])

Rato ir dangos paviršiaus sąlyčio plotas apibūdinamas R spindulio apskritimu, kurį slegia jėga F_p ir slėgis padangoje P_t [8]:

$$R = \sqrt{\frac{F_p}{\pi P_t}} \; . \tag{1.1}$$

Asfaltbetonio dangos ir pagrindo sluoksnio bei pagrindo sluoksnio ir žemės sankasos sąlytyje nustatomi išskirstytos rato apkrovos ploto spinduliai, atitinkamai, R' ir R'':

$$R' = R + D_a \tan\beta_a \; ; \tag{1.2}$$

$$R'' = R' + D_r \tan\beta_f \; ; \tag{1.3}$$

čia: D_a ir D_r –asfaltbetonio dangos ir pagrindo sluoksnių storiai; β_a – rato apkrovos sklaidos kampas asfaltbetonio dangoje; β_f – rato apkrovos sklaidos kampas pagrindo sluoksnyje (jį sutankinus). Kai dangos pagrindą sudaro keletas skirtingų sluoksnių, turi būti atsižvelgiama į kiekvieno sluoksnio apkrovos sklaidos kampą.

Įtempiai, veikiantys dangos pagrindo sluoksnio paviršiuje, išreiškiami formule:

$$P_f = \frac{F_p}{\pi (R')^2} + \gamma_a D_a \; ; \tag{1.4}$$

čia: F_p – didžiausia rato apkrova; γ_a – asfaltbetonio dangos tankis.

Didžiausia dangos pagrindo sluoksnio laikomoji geba, apskaičiuojama taip [9]:

$$P_y = 0{,}6R^{'}\gamma_f N_\gamma \; ; \qquad (1.5)$$

čia: γ_f – pagrindo sluoksnio tankis; N_γ – laikomosios gebos koeficientas, kuris apytiksliai gali būti išreiškiamas $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi^{'}$, čia $N_q = \{(1+\sin\phi^{'})/(1-\sin\phi^{'})\}e^{\pi\tan\phi^{'}}$, čia $\phi^{'}$ – vidinės trinties kampas.

Eksploatuojant kelią dinaminės automobilių ratų apkrovos gali turėti įtakos žemės sankasos deformacijoms. Nustatant žemės sankasos laikomąją gebą, apibūdinamas šių apkrovų poveikis ekvivalentine rato apkrova (F_e), kuri nustatoma formule [10]:

$$F_e = F_p(\sqrt[6{,}2]{N_p}) \; ; \qquad (1.6)$$

čia: N_p – eksploatuojant kelią pravažiuojančių apkrautų ratų ašių skaičius.

Įtempiai, susidarantys žemės sankasos paviršiuje, išreiškiami formule:

$$P_{e,s} = \frac{F_e}{\pi\left(R^{''}\right)^2} + \gamma_a D_a + \gamma_f D_r \, . \qquad (1.7)$$

Didžiausia žemės sankasos laikomoji geba apskaičiuojama formule [9]:

$$P_u = N_c \times CBR \times 30\left[\frac{R^{''}}{R}\right]^2 \; ; \qquad (1.8)$$

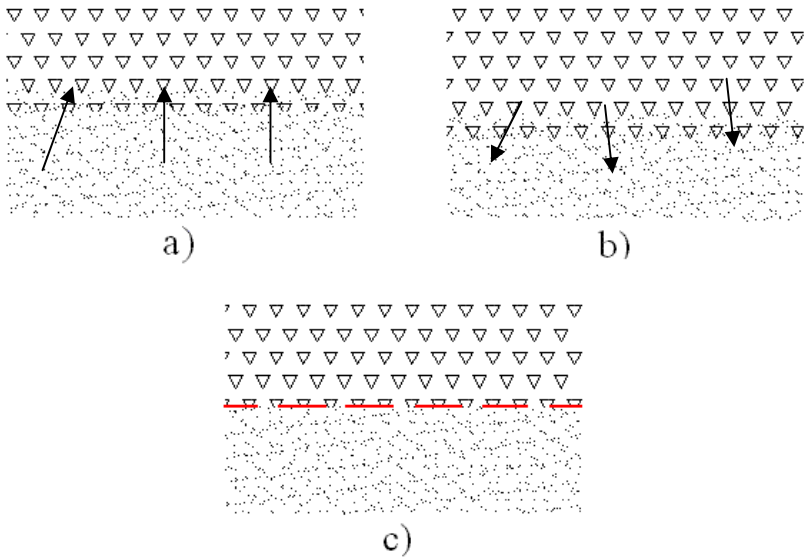
čia: N_c – žemės sankasos laikomosios gebos koeficientas, kuris nearmuotai sankasai yra 3,14; CBR – Kalifornijos santykinio atsparumo rodiklis (California Bearing Ratio).

Pagal šio poskyrio įtempių bei deformacijų sklaidos kelio dangoje analizę galima teigti, kad įrengiant bei eksploatuojant kelio dangą įtempiai pasireiškia visoje kelio dangoje. Taigi įtempių sukeltos deformacijos gali pasireikšti dangos ir pagrindo sluoksniuose bei žemės sankasos paviršiuje. Nuo šių įtempių bei deformacijų gali prasidėti dangos sluoksnių nerišlių medžiagų susimaišymo procesas, kuris analizuojamas 1.2 poskyryje.

1.2. Kelio žemės sankasos ir dangos nerišlių sluoksnių medžiagų sąmaiša

Įrengiant kelio dangą ant silpnos žemės sankasos, ir ją eksploatuojant dėl nuolatos pasikartojančių statinių bei dinaminių transporto priemonių apkrovų poveikio gali prasidėti žemės

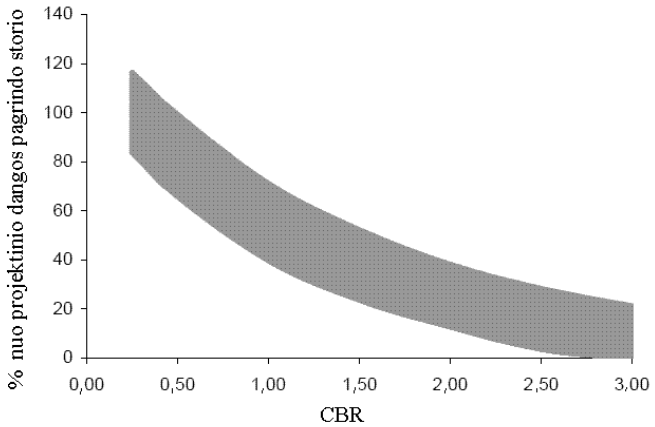
sankasos grunto bei apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagos susimaišymas. Analogiškas procesas gali vykti ir tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagos bei dangos pagrindo stambiagrūdės medžiagos. Ilgainiui šis dangos sluoksnių medžiagų ir žemės sankasos grunto susimaišymas gali turėti įtaką viso kelio stipriui bei tvarumui. Kelio dangos sluoksnių medžiagos ir žemės sankasos gruntas gali maišytis taip (1.4 pav. a, b): dangos pagrindo stambieji užpildo grūdeliai skverbiasi į žemiau slūgsantį apsauginį šalčiui atsparų sluoksnį, todėl mažėja dangos pagrindo sluoksnio storis, o kartu ir jo laikomoji geba; apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio stambieji užpildo grūdeliai skverbiasi į žemės sankasą ir (arba) žemės sankasos smulkiausios grunto dalelės skverbiasi į apsauginį šalčiui atsparų sluoksnį. Šiuo atveju apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis ne tik plonėja, bet jo medžiaga yra užteršiama dulkio ir (arba) molio dalelėmis, kurios blogina filtracines medžiagos savybes. Taip pat komplikuojasi žemės sankasos porinio slėgio sklaida, mažėja sankasos kerpamasis stipris bei laikomoji geba. H. Brandl [11] teigia, kad apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagos užteršimas žemės sankasos grunto dalelėmis turi neigiamą įtaką kelio dangos pažaidoms susidaryti per užšalimo atšilimo laikotarpį. Kelio dangos sluoksnių medžiagų ir žemės sankasos grunto susimaišymui eliminuoti, tiesiant kelius plačiai naudojama geotekstilė (1.4 pav. c).



1.4 pav. Kelio dangos sluoksnių medžiagų ir žemės sankasos grunto susimaišymo procesai: a) smulkiųjų dalelių migravimas iš žemesniojo sluoksnio į aukštesnįjį; b) užpildo stambiųjų grūdelių skverbimasis į žemesnįjį sluoksnį; c) susimaišymo proceso stabdymas geotekstile.

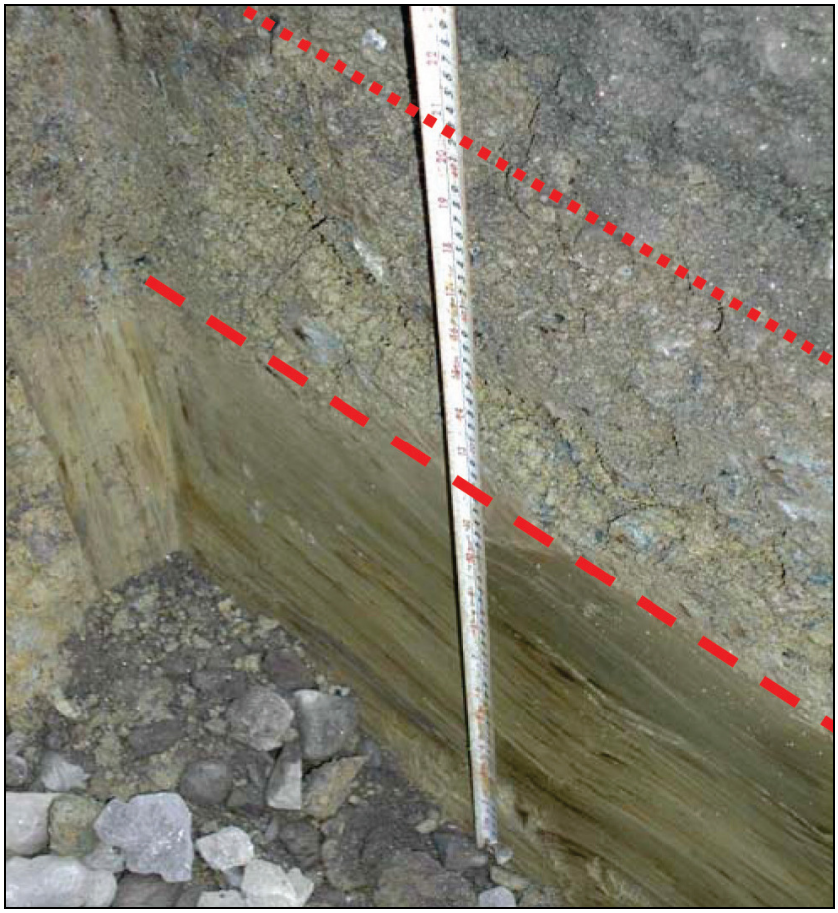
Jungtinėse Amerikos Valstijose prieš pradedant plačiai naudoti geotekstilę kelio žemės sankasai ir dangos sluoksniams atskirti, transporto departamento inžinieriai projektuodami kelio dangas ant silpnų sankasos gruntų, didindavo pagrindo sluoksnių, įrengiamų ant žemės sankasos, storį. Taip buvo išvengiama „švaraus“ sluoksnio storio nuostolio dėl kietų pagrindo sluoksnio medžiagos grūdelių įsispaudimo į sankasos gruntą [1]. R. D. Holtz‘as [12] pateikia dangos pagrindo, įrengiamo ant silpnų žemės sankasos gruntų, sluoksnio storio didinimo priklausomybę nuo žemės sankasos grunto stiprio (1.5 pav.). Taikant šią praktiką, daug kelio dangos medžiagų galėjo būti prarandama silpnoje žemės sankasoje. Mažėjant kelio dangos pagrindo storiui, taip pat mažėja galimybė didesniame plote pasklisti apkrovų įtempiams. Net sąlyginai mažai sankasos gruntų smulkiųjų dalelių, migruojančių į aukščiau slūgsančius kelio dangos sluoksnius, gali mažinti tų sluoksnių stiprį bei vandens laidumą [13]. Kietųjų kelio dangos pagrindo sluoksnio medžiagos dalelių įspaudimas į sankasos gruntą susijęs su lokalizuota laikomosios galios netektimi drėkinamoje, silpnoje žemės sankasoje. Dinaminių apkrovų poveikio sąlygos gali turėti įtaką sankasos gruntų smulkiųjų dalelių kilimui į aukščiau slūgsančius kelio dangos sluoksnius [14]. D. B. Narejo‘as [15] išskiria svarbiausius procesus, vykstančius kelio žemės sankasoje, kai joje eksploatuojant kelią susikaupia daug vandens:

1) kaupiantis vandeniui žemės sankasoje, jos stipris mažėja;
2) nuolat pasikartojančios transporto priemonių apkrovos kelio dangoje ir žemės sankasoje sukelia porinį slėgį, kuris mažina efektyviuosius įtempius;
3) nuo dinaminių apkrovų smulkiausiosios žemės sankasos gruntų dalelės išstumiamos į aukštesnius dangos sluoksnius, juose formuojasi plyšiai, sukeliami didesni už leistinuosius dangos sluoksnio tempimo įtempiai;
4) žemės sankasos grunto dalelėmis užteršiant dangos pagrindą mažėja jo stipris ir laidumas.



1.5 pav. Dangos pagrindo mineralinių medžiagų netektis, įspaudžiant jas į silpną žemės sankasos gruntą (pagal R. D. Holtz [12])

C. Kuo ir kt. [16] aprašė vienos didžiausių Taivanio metalo apdorojimo įmonių geležinkelio linijos rekonstrukcijos procesą, jo metu pritaikytą geležinkelio konstrukcijos sluoksnių armavimą bei atskyrimą geosintetinėmis medžiagomis. Rekonstrukcijos metu, iškasus šurfus esamoje geležinkelio dangos konstrukcijoje, išilgai bėgių nustatytas skirtingų sluoksnių medžiagų susimaišymas (1.6 pav.) nuo itin didelių dažnai besikartojančių ciklinių apkrovų. Išilgai konstrukcijos dangos pagrindo sluoksnis iki 60 cm buvo užterštas žemės sankasos gruntu. Geležinkelio konstrukcijos sluoksnių tarpusavio susimaišymas įtakojo dideles dangos konstrukcijos paviršiaus bei bėgių deformacijas. R. K. Rowe ir K. Badv [17] laboratoriniais tyrimais įrodė, kad panaudojus geotekstilės tarpsluoksnį tarp molingo grunto ir stambaus užpildo, galima ženkliai sumažinti arba visiškai išvengti medžiagų tarpusavio susimaišymo.



1.6 pav. Geležinkelio konstrukcijos sluoksnių tarpusavio susimaišymas (pagal C. Kuo ir kt. [16])

Tiriant tarptautinio Vilniaus oro uosto lėktuvų riedėjimo tako dangą taip pat pastebėtas dangos sluoksnių medžiagų susimaišymas. Pagrindo sluoksnio medžiaga susimaišiusi su apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiaga (1.7 pav.) [18].

Lietuvos magistraliniame kelyje 2004 m. naujai įrengtos kelio dangos pažaidos pasireiškė jau po pirmos žiemos. Asfaltbetonio dangos provėžų plyšiai bei vandens ir smukliųjų sankasos grunto dalelių proveržis į kelio dangos paviršių galėjo vykti dėl nerišlių sluoksnių medžiagų tarpusavio susimaišymo (1.8 pav.).

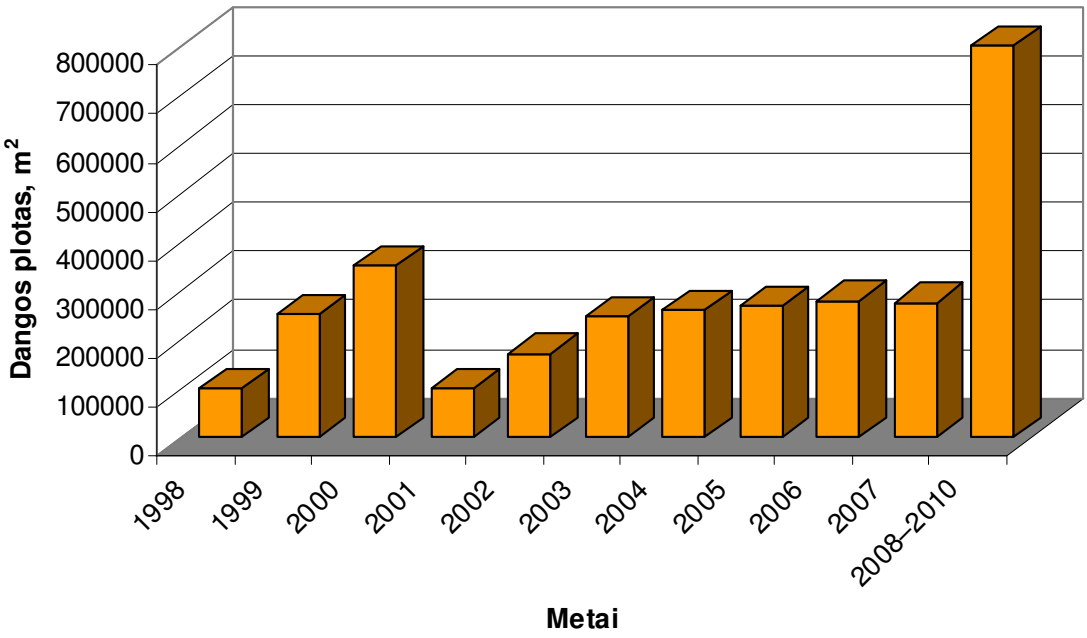
1.7 pav. Vilniaus tarptautinio oro uosto lėktuvų riedėjimo tako dangos sluoksnių medžiagų susimaišymas [18]

1.8 pav. Naujai įrengto kelio asfaltbetonio dangos pažaidos

Pagal šio poskyrio tyrimų analizę galima teigti, kad geotekstilės tarpsluoksnis gali būti efektyvi priemonė kelio dangos nerišlių medžiagų sluoksniams atskirti. Nerišlių medžiagų sluoksnių atskyrimas geotekstile gali būti daromas tik tiesiant naują arba rekonstruojant anksčiau nutiestąjį kelią. Taigi geotekstilės naudojimo racionalumui apibūdinti, būtina analizuoti Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių tiesimo bei rekonstrukcijos darbų apimtis bei jų kitimo tendencijas.

1.3. Lietuvos automobilių kelių ir miestų gatvių tiesimo bei rekonstrukcijos kitimo analizė

Geotekstilės naudojimo racionalumui Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių dangose apibūdinti, būtina nustatyti naujai tiesiamų ir rekonstruojamų automobilių kelių bei gatvių apimtis bei jų kitimo tendencijas. 1.9 pav. pateiktas grafikas atspindi naujai tiestų bei rekonstruotų Lietuvos kelių dangų suminių plotų pokyti per pastaruosius 10 metų bei prognozuojamus kiekius 2008–2010 metais.



1.9 pav. Tiesiamų ir rekonstruojamų Lietuvos kelių dangų plotų kitimas

Siekiant įvertinti naujai tiesiamų ir rekonstruojamų gatvių apimtis bei jų kitimo tendencijas buvo pasirinktas didžiausias Lietuvos miestas – sostinė Vilnius, kuriame vykdomi didžiausi gatvių tiesimo bei rekonstrukcijos darbai, lyginant su kitais Lietuvos miestais. 1.1 lentelėje pateikti duomenys apie naujai nutiestas bei rekonstruotas Vilniaus miesto gatves per pastaruosius 10 metų ir

prognozuojami darbai 2008–2010 metams. 1.10 paveiksle pateiktas grafikas atspindi naujai nutiestų bei rekonstruotų Vilniaus miesto gatvių dangų suminių plotų pokyti per pastaruosius 10 metų.

1.1 lentelė. Nutiestų ir rekonstruotų Vilniaus miesto gatvių sąrašas

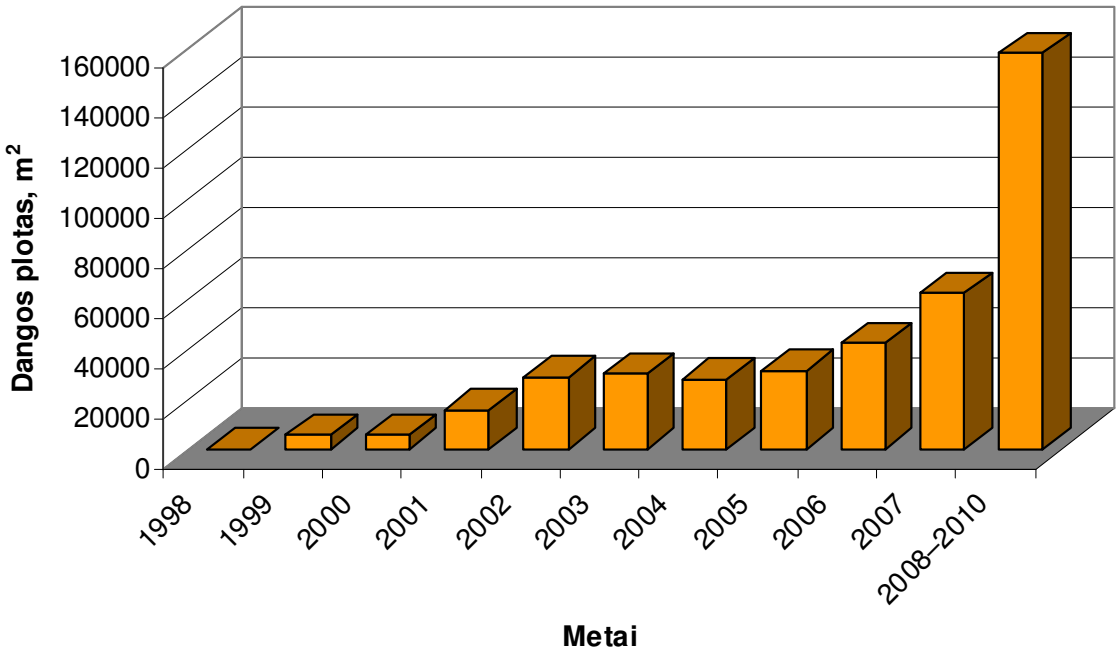
Metai	Gatvės pavadinimas	Dangos plotas, m^2
1998	--	0
1999	Nuovaža iš Oslo g. į ligoninę, Oslo g.	250
	Ateities g. nuo Stanevičiaus g. iki Geležinio Vilko g.	5250
	Viso:	**5500**
2000	Didžioji g.	3000
	Buivydiškių g.	1000
	Kaimelio g.	900
	Kviečių g.	700
	Viso:	**5600**
2001	Užupio g.	2800
	Malūnų g.	1120
	Ateities g. nuo Baltupio g. iki Kalvarijų g.	5250
	Maumedžių g.	1500
	Rudens g.	1000
	Europos parko g.	4000
	Viso:	**15670**
2002	Konstitucijos pr.	9000
	Vrublevskio g.	3500
	Žygimantų g.	2000
	Arsenalo g.	4500
	Gedimino pr.	3600
	Ateities g. nuo Stanevičiaus g. iki Fabijoniškių g.	5000
	Šventaragio g.	1000
	Viso:	**28600**
2003	Ukmergės g. nuo Ozo g. iki Paribio g. d.p.	2800
	Jungiamoji g. tarp Laisvės pr. ir Parodų g.	1400
	Rugių g.	1500
	Kunigiškių g.	1500
	Rudens g.	2000
	Ozo g.	3000
	Kalvarijų g.	1000
	Laisvės pr. išplatinimas	1500
	Paribio g.	1000
	Konstitucijos pr.	14400
	Viso:	**30100**
2004	Gedimino pr.	3600
	Ozo g.	2000
	Kalvarijų g.	2780
	Jungiamoji g. tarp Kalvarijų g. ir Ozo g.	2000

1.1 lentelės tęsinys

Metai	Gatvės pavadinimas	Dangos plotas, m^2
2004	Geležinio Vilko g. išplatinimas	3000
	Ukmergės g. nuo Ozo g. iki Paribio g. k.p.	2800
	Savanorių pr. išplatinimas nuo Rivonių g. iki Vilkpėdės g.	3400
	J. Kubiliaus g.	2400
	Rasytės g.	1500
	Molėtų g.	1200
	Eišiškių pl.	2000
	S. Stanevičiaus g., Ateities g. sankryža	1200
	Viso:	**27880**
2005	Kareivių g.	4200
	Senamiesčio pietinis apvažiavimas tarp P. Višinskio g. ir Aušros vartų (pradėtas 2004)	11040
	Savanorių pr. Vilkpėdės g. sankryža	800
	Eišiškių pl.	4000
	Gedimino pr.	2000
	Naujoji verkių g.	700
	J. Galvydžio g.	700
	Gedimino pr., Jakšto g., Stulginskio g. sankryža	800
	Santariškių g.	2000
	Kviečių g.	1200
	Laisvės pr. platinimas	1250
	Laisvės pr., Viršuliškių g. sankryžos išplatinimas	1100
	Kalvarijų g.	1600
	Viso:	**31390**
2006	Senamiesčio pietinis apvažiavimas tarp P. Višinskio g. ir Aušros vartų (pradėtas 2004)	13040
	Santariškių g.	3000
	Kalvarijų g. nuo Žvalgų g. iki Baltupio g.	2800
	Gedimino pr.	2000
	Kirtimų g.	1000
	Sidaronių g.	1500
	Kelpių g.	1500
	Pilaitės pr. tęsinys nuo Papilėnų g. iki Karaliaučiaus g.	10000
	Švarioji g.	1000
	Nidos g.	1200
	Įsruties g.	1500
	Gvazdikų g.	1800
	Gerovės g.	1000
	Lvovo g.	700
	Viso:	**42040**
2007	Geležinio Vilko g. nuo Mokyklos g. iki Molėtų pl.	29480
	Gedimino pr.	1600
	Naujasodžio g.	1200
	Tolminkiemio g.	1200
	Krakiškių g.	1100
	Kernavės	1000

1.1 lentelės tęsinys

Metai	Gatvės pavadinimas	Dangos plotas, m^2
2007	Pilaitės pr. tęsinys	2000
	T. Narbuto g.	1500
	Molėtų pl.	4900
	Ateities g. nuo Fabijoniškių g. iki Ukmergės pl.	8000
	S.Dariaus ir S.Girėno g. išplatinimas	2000
	Transporto jungties nuo Konstitucijos pr. Iki Ukmergės g. prieigos	1000
	Barboros Radvilaitės g.	1200
	Eišiškių pl.	6000
	Viso:	**62180**
2008–2010	Vakarinis Vilniaus aplinkkelis	144000
	Jungiamoji g. tarp Ukmergės g. ir Ateities g.	1600
	Laisvės pr., Ukmergės g. ir Žadeikos g. sankryžos rekonstrukcija	2000
	Kernavės g.	2500
	Žirnių g.	6000
	S.Dariaus ir S.Girėno g. sankirta su Vilniaus pietiniu aplinkkeliu	1800
	Viso:	**157900**



1.10 pav. Tiesiamų ir rekonstruojamų Vilniaus miesto gatvių dangų plotų kitimas

Pagal šio poskyrio analizę nustatyta, kad Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių tiesimo bei rekonstrukcijos darbų apimtys kasmet ženkliai auga. Taigi galima teigti, kad Lietuvoje tiesiant ir rekonstruojant kelius bei gatves būtų racionalu naudoti geotekstilės tarpsluoksnį dangos nerišlių medžiagų sluoksniams atskirti.

1.4. Geosintetinių medžiagų rūšys, geotekstilės funkcijų analizė

Geosintetinė medžiaga – plokščia polimerinė (sintetinė arba natūrali) medžiaga, naudojama sąlytyje su gruntu, skalda ir (arba) su bet kokia kita geotechnine medžiaga statant statinius bei tiesiant kelius [19].

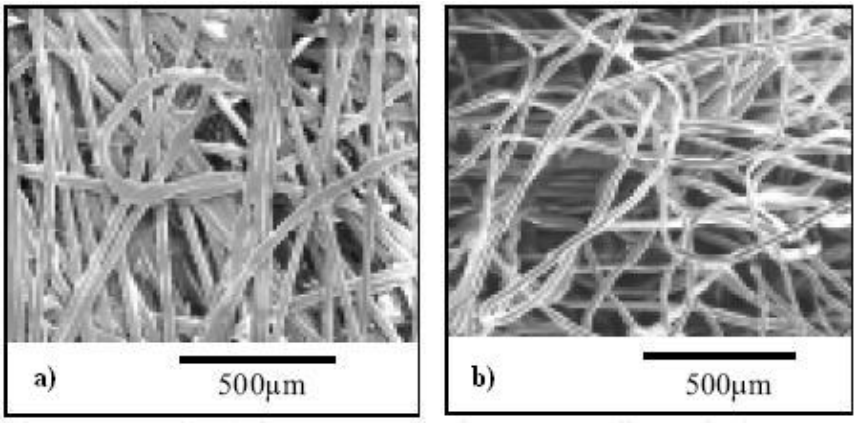
Dažniausiai skiriamos šios geosintetinių medžiagų rūšys [2]:

1) Geotekstilė;
2) Geotinklas;
3) Geotinklelis;
4) Geomembrana;
5) Geosintetinis molio kilimas;
6) Geovamzdis;
7) Geoputplastis;
8) Geokompozitas.

Šiame mokslo darbe analizuojama vienos iš geosintetinių medžiagų rūšies – geotekstilės naudojimo automobilių kelių ir miestų gatvių dangose atskyrimui, todėl kitos geosintetinių medžiagų rūšys plačiau nenagrinėjamos.

Geotekstilė – plokščia polimerinė laidi skysčiams (sintetinė arba natūrali) tekstilinė medžiaga neausta, austa ar megzta, kuri gali būti naudojama sąlytyje su gruntu, skalda ir (arba) su bet kokia kita geotechnine medžiaga statant statinius, tiesiant kelius [19].

Kelio dangos sluoksniams atskirti dažniausiai naudojama neaustinė termiškai sutvirtinta (1.11 pav. a [20]) arba kamšyta adatomis geotekstilė (1.11 pav. b [20]).



1.11 pav. Neaustinės geotekstilės struktūra: a) termiškai sutvirtinta, b) kamšyta adatomis (pagal K. Buet Gautiem ir kt. [20])

Toliau darbe nagrinėjamos geotekstilės savybės, turinčios svarbią reikšmę kelio dangos stipriui bei stabilumui.

Atskyrimas. Viena seniausių geotekstilės naudojimo tiesiant automobilių kelius funkcija yra dangos atskyrimas nuo žemės sankasos. Tačiau iki šiol stokojama pakankamai duomenų, įrodančių geotekstilės ilgalaikį poveikį kelio dangos funkcionavimui [21]. Geotekstilės funkcija atskirti nerišlius dangos sluoksnius vieną nuo kito bei nuo žemės sankasos yra ne tik seniausia, bet ir svarbiausia. Kitos geotekstilės funkcijos – filtravimas, drenavimas bei stabilizavimas (armavimas) – yra antraeilės. Amerikiečių mokslininkai B. M. Collins‘as ir R. D. Holtz‘as pastebi, kad mokslininkų yra nesutariama dėl geotekstilės funkcijų, žiūrint žemės sankasos būklės, kada geotekstilė taikoma atskyrimo, o kada stabilizavimo funkcijai [21]. Pagal AASHTO specifikaciją M 288 atskyrimo funkcija yra būdinga tuomet, kai žemės sankasa yra neprisotinta vandens ir CBR $\geq$ 3, kuris atitinka apie 90 kPa kirpimo stiprį. Stabilizavimo funkcija būdinga tuomet, kai žemės sankasa yra prisotinta vandens ir CBR yra 1 – 3, kuris atitinka kirpimo stiprį tarp 30 ir 90 kPa [22]. R. D. Holtz‘as ir kt. geotekstilę atskyrimo funkcijai rekomenduoja tada kai žemės sankasos CBR < 3, tačiau skeptiškai atsižvelgia į geotekstilės naudojimą, kai CBR >3 [14]. I. L. Al-Qadi‘s konstatavo, kad medžiagų susimaišymas nerišliųjų dangos sluoksnių ir žemės sankasos sąlytyje pastebimas tuomet, kai žemės sankasos CBR varijuoja iki 8 [23]. R. M. Koerner‘is teigia, kad geotekstilės atskyrimo funkcija yra pagrindinė net ir kai žemės sankasos CBR > 8, nes geotekstilė atskirdama sluoksnius, neleidžia jiems plonėti, o tai reikšmingai prailgina kelio dangos funkcionavimo periodą [2]. B. M. Collins‘as ir R. D. Holtz‘as pabrėžia, kad tiek atskyrimas, tiek stabilizacija geotekstile neleidžia nerišlių kelio dangos sluoksnių medžiagai ir žemės sankasos gruntui susimaišyti – tai pagrindinė funkcija. Taigi analizuojant geotekstilės panaudojimo tarp šių kelio dangos sluoksnių sąlygas galima taikyti terminą „atskyrimas“, kuris apima tiek atskyrimą, tiek stabilizaciją [21]. R. M. Koerner‘is [2] suskirstė geotekstilės, klojamos ant žemės sankasos, funkcijas, žiūrint žemės sankasos stiprio (žr. 1.2 lentelę). Pagal šią klasifikaciją ant vidutiniškai ir pakankamai stiprių nepermirkusių (CBR $\geq$ 8) ir permirkusių (CBR $\geq$ 3) žemės sankasos gruntų geotekstilė naudojama atskyrimo funkcijai. Ant silpnų ir labai silpnų nepermirkusių (CBR $\leq$ 3) ir permirkusių (CBR $\leq$ 1) žemės sankasos gruntų geotekstilė naudojama atskyrimo ir armavimo funkcijai. R. M. Koerner‘is teigia, kad pereinamoji funkcija tarp armavimo ir atskyrimo yra stabilizacija. Ši funkcija nėra detaliai ištirta, tačiau yra aišku, kad ji apima gretutines atskyrimo, armavimo ir filtravimo funkcijas. B. M. Collins‘as ir R. D. Holtz‘as nurodo veiksnius, nulemiančius tinkamą sluoksnių atskyrimo geotekstile pobūdį [21]: 1) geba atlaikyti įrengimo mechanizmų poveikį be reikšmingų pažaidų; 2) visiškas žemės sankasos ir dangos pagrindo sluoksnio atskyrimas; 3) geba neleisti smulkmei migruoti, tuo pačiu

metu drenuojant ir išsklaidant žemės sankasos porinį slėgį; 4) geba išlaikyti dangos stiprį kelią eksploatuojant.

1.2 lentelė. Geotekstilės, paklotos ant žemės sankasos, funkcijos, žiūrint žemės sankasos stiprio (pagal R. M. Koerner'į [2])

Geotekstilės funkcija	Nepermirkęs gruntas		Permirkęs gruntas	
	CBR	Apytikslis stipris kerpant, kPa	CBR	Apytikslis stipris kerpant, kPa
Atskyrimas	≥8	>200	≥3	≥90
Stabilizacija	8–3	~200–90	3–1	90–30
Armavimas	≤3	≤90	≤1	≤30

A. McGown [24] išskiria tokias svarbiausias geotekstilės savybes, kurios turi būti nustatytos siekiant, kad geotekstilė tinkamai atskirtų dangos sluoksnius:

1) tempimo stipris ir lankstumas;
2) pradūrimo ir plyšimo stipris;
3) pailgėjimas ir vandens bei dujų laidumas.

Taip pat turi būti apibūdinami veiksniai turintys įtaką atskyrimo geotekstile funkcijai, įrengiant dangą bei kelią eksploatuojant [24]:

1) sluoksnių, tarp kurių klojama geotekstilė, medžiagų granuliometrinė sudėtis, dalelių dydis bei forma;
2) sluoksnių, tarp kurių klojama geotekstilė, medžiagų stipris;
3) ant geotekstilės įrengiamo sluoksnio storis;
4) sluoksnio virš geotekstilės įrengimo mechanizmų bei automobilių eismo apkrovos eksploatuojant kelią.

Armavimas. Kelio dangos įrengimas ant silpnų gruntų naudojant geotekstilę pastaruosius 20 metų mokslininkų plačiai analizuojamas visame pasaulyje. Mokslininkai įrodė geotekstilės naudojimo tiesiant kelius efektą [2, 25–27]. Austinės ir neaustinės geotekstilės naudojamos silpniems sankasos gruntams, pylimams bei šlaitams armuoti. Armuojant geotekstile didinamas pasipriešinimas horizontalioms jėgoms ir (arba) dangos laikomoji geba bei sukuriamas membranos efektas [14]. Minkštų prisotintų vandens žemės sankasos gruntų pasipriešinimas horizontaliesiems įtempiams, susidarantiems nuo transporto priemonių apkrovų, palyginti, mažas, todėl panaudojus geotekstilę su geromis paviršiaus trinties bei tempimo stiprio savybėmis galima padidinti žemės sankasos gruntų stiprį. Geotekstilė laikomąją gebą padidina tarp skirtingo stiprio kelio dangos

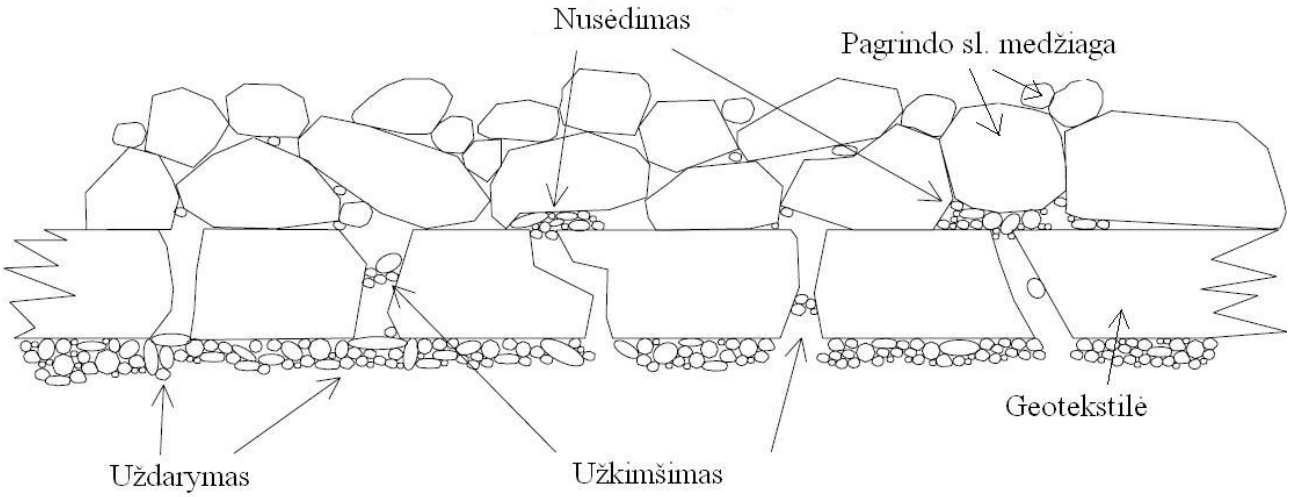
sluoksnių. Geotekstilės membranos efektas pasireiškia tuomet, kai deformuojasi kelio dangos sluoksnis virš geotekstilės (atsiranda provėžos). Įsitempdama geotekstilė perima įtempius, tenkančius žemiau slūgsančiam sluoksniui. Geotekstilė kaip membrana funkcionuoja tik tuomet kai virš jos kelio dangos sluoksnis yra ženkliai deformuotas jį įrengiant ir geotekstilės įtempiai yra pasiekę beveik didžiausią stiprio ribą. J. Labuz‘as ir J. Bearden‘as [28] laboratorijoje tyrė imituotą geotekstile armuotą kelią su žvyro danga, veikiamą dinaminės apkrovos. Geotekstilė buvo paklota tarp 100 mm, 150 mm bei 200 mm storio žvyro sluoksnių ir labai silpno molio sluoksnio (žemės sankasos). Taip pat bandyti kontroliniai dangos bandiniai be geotekstilės. Analizuojant bandymų rezultatus nustatyta, kad 100 mm storio žvyro dangoje su geotekstilės tarpsluoksniu susidariusios deformacijos prilygo kontrolinių bandinių su 200 mm storio žvyro dangos deformacijoms. A. Gupte ir kt. [29] aprašo austinės geotekstilės naudojimo atvejį kelio su žvyro danga stiprinti. Ant kelio dangos, kuri buvo smarkiai pažeista, paklota austinė geotekstilė ir įrengtas naujas 50 cm žvyro pagrindo bei 2,5 cm bitumu permerktos dangos sluoksnis. Po rekonstrukcijos eksploatuojant kelią 18 mėnesių stebėjimais nenustatyta jokių armuoto ruožo dangos deformacijų ar kitokių pažaidų. Tuo tarpu šis ruožas prieš rekonstrukciją buvo smarkiai pažeistas nepraėjus net 6 mėnesiams įrengus dangą. R. Hufenus ir kt. [26] teigia, kad geosintetine medžiaga armuoti efektyvu tik silpnus gruntus (CBR < 3), kuriuose geosintetinė medžiaga gali deformuotis ir perimti tempimo jėgas.

Filtravimas (laidumas). Geotekstilė, paklota tarp kelio dangos pagrindo sluoksnio ir žemės sankasos, funkcionuoja kaip filtras, garantuojantis vandens migravimą tarp sluoksnių, tačiau sulaikantis smulkiąsias žemės sankasos grunto daleles nuo kilimo aukštyn, kurį sukelia aukštas žemės sankasos grunto porinis slėgis. Geotekstilė, kaip filtras, plačiai analizuojama mokslininkų visame pasaulyje [15, 30–34]. R. D. Holtz‘as pasiūlė šias tris idėjas, taikytinas projektavimo stadijoje [14]:

1) Jeigu geotekstilės, paklotos ant žemės sankasos, kiaurymė bus mažesnė už mažiausią pagrindo sluoksnio medžiagos grūdelį, tai pagrindo sluoksnis bus filtravimo tiltas ir žemės sankasos gruntas bus užlaikomas;
2) Jeigu geotekstilės, paklotos ant žemės sankasos, kiaurymė bus didesnė už mažiausią žemės sankasos grunto dalelę, tai šios smulkiausios dalelės prasiskverbs pro geotekstilę jos neuždarydamos ir neužkimšdamos;
3) Geotekstilėje turi būti be galo daug kiaurymių, kad būtų pakankamas jos laidumas, net jeigu kai kuriose vietose ji ir užsikimštų.

Kai geosintetinė medžiaga yra ypač mažai laidi vandeniui ar dujoms, ji vadinama geomembrana, o kai ji pasižymi itin dideliu laidumu vandeniui ir dujoms, vadinama atskiriamąja geotekstile [24]. R. C. Metcalfe‘as [31] pažymi, kad geotekstilė, paklota tarp kelio dangos pagrindo sluoksnio ir žemės sankasos (1.12 pav.) užanka tuomet, kai žemės sankasos grunto dalelės blokuoja geotekstilės kiaurymes. Užkimšimą įtakoja tų pačių dalelių įstrigimas geotekstilės kiaurymėse. Nusėdimas sąlygojamas smulkiausiųjų pagrindo sluoksnio medžiagos grūdelių nusifiltravimu į sluoksnio apačią arba žemės sankasos grunto dalelių, prasiskverbusių pro geotekstilės kiaurymes, susitelkimu ant geotekstilės paviršiaus. Pagal Y. Kohata‘o ir kt. [30] laboratorinių geotekstilės filtravimo, žiūrint jų užkimšimo, bandymų rezultatus nustatyta, kad geotekstilės filtracijos koeficientas mažėja didėjant geotekstilės užkimšimui, nežiūrint geotekstilės storio. Bandytos 3 ir 4 mm storio geotekstilės filtracijos koeficientas beveik vienodas.

D. B. Narejo‘as [15] analizavo įvairių mokslininkų laboratorinių bei lauko eksperimentinių tyrimų rezultatus, susijusius su geotekstilės atskyrimo funkcija, kai bandomojo ruožo danga veikia dinaminė apkrova. D. B. Narejo‘as teigia, kad geotekstilės laidumas vandeniui tėra antraeilė savybė. Svarbiausia yra užtikrinti kelio dangos sluoksnių medžiagos ir žemės sankasos grunto nesimaišymą tarpusavyje. Šiuo atveju, turi būti tinkamas geotekstilės kiaurymės dydis (O_{95}), užtikrinantis smulkiausiųjų mineralinių dalelių izoliaciją. Pagal 18 eksperimentinių tyrimų rezultatų analizę pateikiamos tokios išvados geotekstilės kiaurymės dydžiui: geotekstilės, naudojamos smėlinguose gruntuose, O_{95} turi būti mažesnis negu dalelių skersmuo, kurių grunte yra < 85 % (d_{85}); geotekstilės, naudojamos molinguose ar dulkinguose gruntuose – $O_{95}/d_{85} < 0,5$.



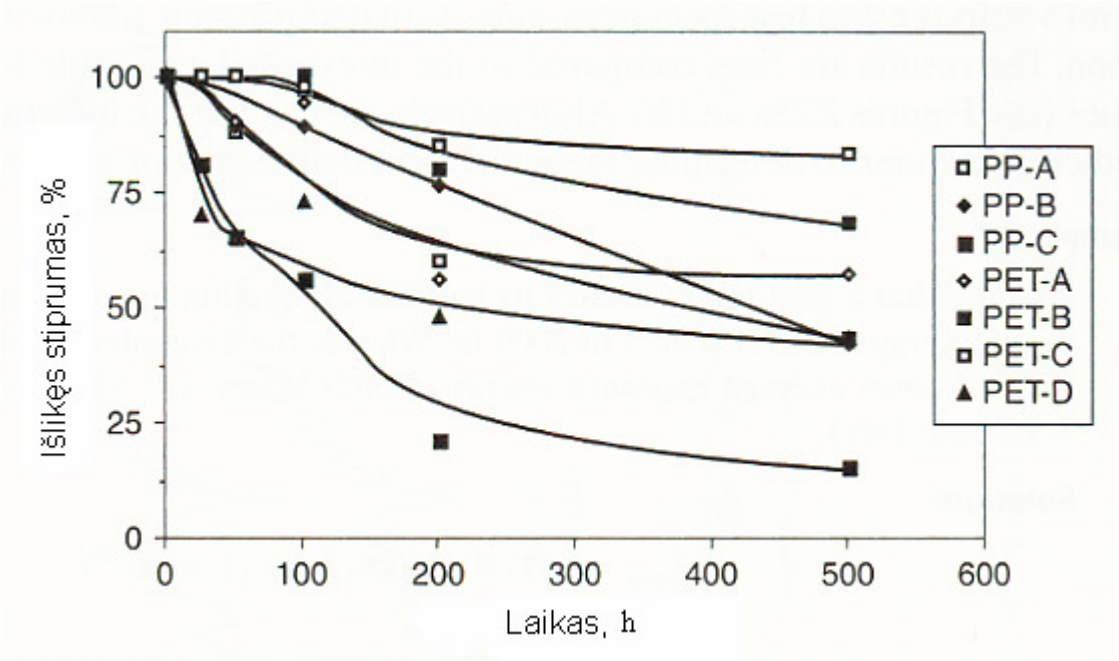
1.12 pav. Procesai, vykstantys geotekstilėje paklotoje tarp kelio dangos pagrindo sluoksnio ir žemės sankasos (pagal R. C. Metcalfe [35])

Drenavimas. Geotekstilės drenavimo funkcija turi užtikrinti laisvą vandens migravimą geotekstilės bei žemės sankasos grunto sąlyčio paviršiumi. Tai turi būti pasiekiama su kuo mažesniais žemės sankasos grunto smulkiausiųjų dalelių nuostoliais [2]. Mokslininkai pastebi, kad visos geotekstilės gali atlikti drenavimo funkciją, tačiau jų efektyvumas ženkliai skiriasi. E. Dembicki‘o [36] geotekstilės drenavimo laboratoriniais bandymais buvo įrodyta, kad esant nustatytam normaliniam slėgiui bei hidrauliniam nuolydžiui vandens drenavimo greitis yra didesnis tų geotekstilių kurių didesnė ploto vieneto masė. Taip pat nustatyta, kad pakilus normaliniam slėgiui drenavimo greitis mažėja. S. K. Shukla ir kt. [37] laboratoriniais bandymais nustatė nusistovėjimo laiką bei jo įtaką drenavimo parametrams žiūrint slėgio į geotekstilės plokštumą kitimo. Bandymui buvo naudotos vienos rūšies trys skirtingų fizinių mechaninių savybių geotekstilės ir jos bandytos esant pastoviam hidrauliniam nuolydžiui. Analizuojant bandymų rezultatus nustatyta, kad slėgio į geotekstilės plokštumą didėjimas proporcingas filtravimo bei drenavimo mažėjimui. Didesnis mažėjimas pastebėtas geotekstilėje, kurios būdingas kiaurymės dydis (O_{90}) buvo didžiausias. Taip pat nustatyta, kad nusistovėjimo laikas pastoviam filtravimui ir drenavimui yra 25–35 minutės.

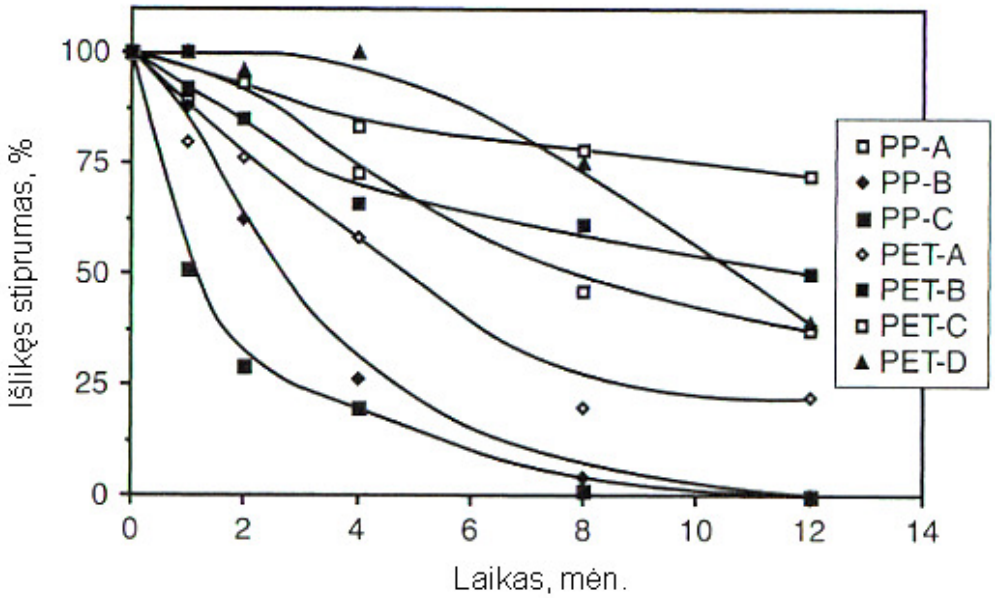
Išliekamumas. Išliekamumas apibūdinamas geotekstilės geba atlaikyti jos paklojimo ir kitų kelio dangos sluoksnių įrengimo virš jos procesą bei patikimai atlikti jai numatytą funkciją. Sudėtingiausios bei žalingiausios apkrovos sąlygos geotekstilei pasireiškia ją klojant bei įrengiant dangos sluoksnius virš jos. Skiriami tokie pagrindiniai veiksniai, turintys didžiausią neigiamą įtaką klojant geotekstilę bei įrengiant kelio dangą: sluoksnio, ant kurio klojama geotekstilė, savybės; ant geotekstiles užpilamos medžiagos sluoksnio storis bei savybės; ant geotekstilės užpilamų medžiagų kritimo aukštis; kelių tiesimo mašinų apkrovos. Pagal A. Watn‘o ir kt. [38] laboratorinių bei lauko bandymų, susijusių su geotekstilės pažaidomis, susidarančiomis ją klojant į kelio dangą, rezultatų analize nustatyta, kad geotekstilės pradūrimų skersmenų suma geriausiai koreliuoja su geotekstilės ploto vieneto mase (g/m^2) ir tempimo stiprio riba (kN/m). V. Shevchuk ir kt. [39] laboratoriniais bandymais irgi analizavo pažaidų susidarymą geotekstilėje įrengiant dangą. Bandymų metu trijų skirtingų savybių neaustinės termiškai sutvirtintos geotekstilės bandiniai pakloti ant smėlio sluoksnio. Ant šios geotekstilės bandinių įrengtas 40/70 frakcijos skaldos sluoksnis. Kiekvienas tokios dangos bandinys apkrautas vertikalia cikline apkrova, kuri imitavo sluoksnių tankinimą skirtinga apkrova. Pagal bandymų rezultatus nustatytos pažeistų ir kontrolinių geotekstilės bandinių įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybės. Taip pat nustatyta, kad pažeistų geotekstilių likutinės sugeriamosios energijos vertės aiškiai koreliuoja su tankinimui panaudotos jėgos vertėmis.

Tirtų geotekstilių sugeriamoji energija ženkliai mažėjo kintant tankinimo jėgai nuo 0 iki 0,2 MPa, toliau didėjant jėgai sugeriamoji energija mažėjo nežymiai.

Tvarumas. Geotekstilės tvarumas tiesiogiai priklauso nuo polimero, iš kurio ji pagaminta. R. M. Koerner'is [2] pateikia veiksnius, turinčius didžiausią įtaką geotekstilės tvarumui: saulės (ultravioletinis) spinduliavimas, temperatūra, oksidavimasis, hidrolizė, cheminis, biologinis, radioaktyvusis poveikis, geotekstilės senėjimas bei kiti mažiau reikšmingi veiksniai, susiję su ozono sluoksniu, kirminais, graužikais ir pan. Vienas labiausiai geotekstilės tvarumui kenkiančių veiksnių yra saulės (ultravioletinis) spinduliavimas, 1.13 ir 1.14 paveiksluose pateiktas geotekstilės stiprio mažėjimas nuo polimero rūšies ir spinduliavimo laiko. J. R. Carneiro ir kt. [40] nustatė, kad cheminio stabilizatoriaus kiekis polipropileno geotekstilėje turi lemiamą reikšmę šios geotekstilės tvarumui. Geotekstilės, kurių polimerai nebuvo stabilizuoti, paveiktos rūgščių ir šarmų, lyginant su pradinėmis, buvo žymiai mažesnio stiprio.



1.13 pav. Geotekstilės stiprio mažėjimas nuo polimero tipo ir ultravioletinio spinduliavimo laiko, laboratorijoje švitinant ultravioletiniu fluorescentiniu įrenginiu (pagal R. M. Koerner'į [2]): PP – polipropilenas, PET – poliesteris.



1.14 pav. Geotekstilės stiprio mažėjimas nuo polimero tipo ir ultravioletinio spinduliavimo laikotarpio, bandant natūraliomis lauko sąlygomis (pagal R. M. Koerner‘į [2]):
PP – polipropilenas, PET – poliesteris.

R. Bonaparte ir kt. [41], tyrę neaustinės geotekstilės, iškastos iš eksploatuojamų kelių dangos, išliekamumą ir tvarumą nustatė, kad pagrindiniai geotekstilės stiprio nuostoliai susidaro dėl mechaninių pažaidų įrengiant dangas, o ne nuo ilgalaikio polimerų savybių blogėjimo.

Pagal 1.4 skyriaus analizę galima teigti, kad neaustinės geotekstilės pirminė funkcija yra skirtingų kelio dangos sluoksnių atskyrimas, tačiau dangos ilgalaikis stipris bei stabilumas bus užtikrintas tik tuomet, kai tinkamai bus realizuotos geotekstilės ir antraeilės funkcijos.

Siekiant nustatyti neaustinių geotekstilių tinkamumą bei racionalumą kelio dangos sluoksniams atskirti būtina atlikti kitų mokslininkų tyrimų, susijusių su geotekstilės naudojimu atskyrimo funkcijai atlikti, analizę.

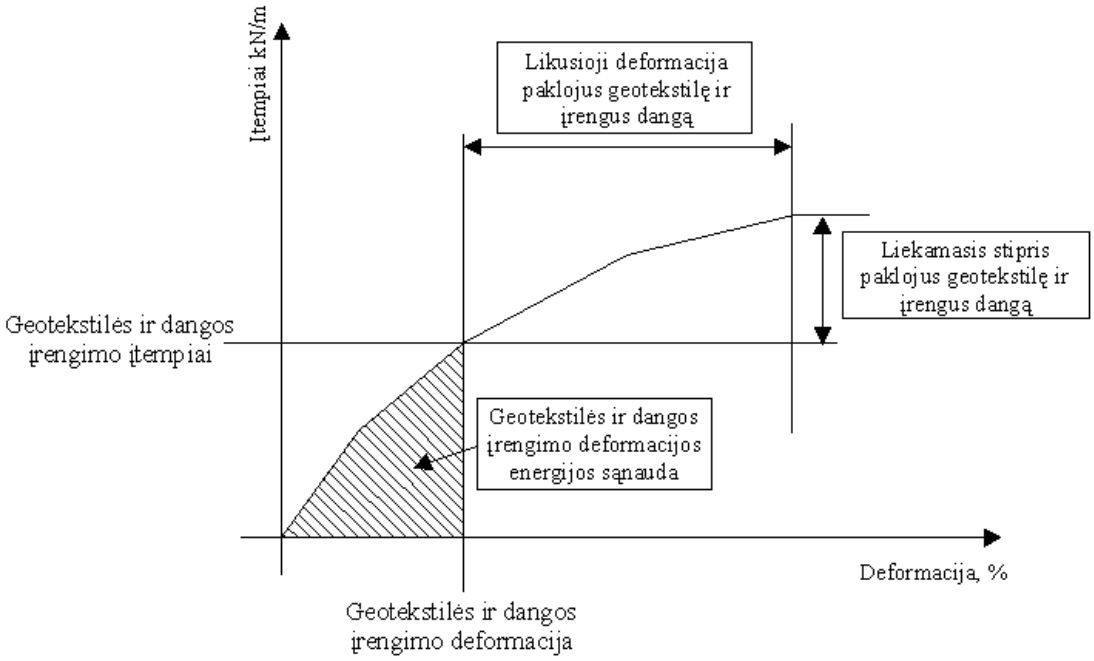
1.5. Geotekstilės naudojimo kelio dangos sluoksniams atskirti tyrimų analizė

Daugelis mokslininkų yra tyrę geosintetinių medžiagų savybių kitimo priklausomybę bei pažaidų įtaką atskyrimo funkcijai realizuoti [38, 42–48].

W. S. Tsai‘jus ir kt. [47] tyrimais bandymų poligone nustatė, kad geotekstile tinkamai atskiriami kelio dangos sluoksniai ir medžiagos nesusimaišo tik tuomet, kai geotekstilė nepažeidžiama įrengiant dangos sluoksnius. Mokslininkai [48] tyrinėję dangas ruožuose be

geotekstilės aptiko medžiagų susimaišymą 35–190 mm gylio sluoksnyje, o ruožuose su geotekstile susimaišymas nepastebėtas. R. C. Metcalfe [31] iš eksploatuojamų kelių iškasęs geotekstilę nustatė, kad visos geotekstilės atliko atskyrimo funkciją, tačiau geotekstilių pažaidų kiekis nuo įrengimo proceso ženkliai skyrėsi. W. S. Tsai'jus [49] nustatė, kad dėl būdingų savybių termiškai sutvirtinta neaustinė geotekstilė yra jautresnė dangos sluoksnių įrengimo pažaidoms, negu kamšyta adatomis neaustinė geotekstilė.

A. Watn'as ir kt. [38] analizavo neaustinių geotekstilių deformacijas ir pažaidas, susidarančias įrengiant kelio dangos sluoksnius. Šie mokslininkai pirmame laboratorinių bandymų etape tyrė geotekstilės deformacijas kelio dangoje nuo ciklinės dinaminės apkrovos. Antrame tyrimų etape (lauko tyrimai) – buvo stebimos geotekstilės pažaidos, kurios susidarė įrengiant kelio dangą. Lauko tyrimų rezultatų analizė parodė gerą pažaidų kiekio ir geotekstilių ploto masės bei atsparumo statiniam pradūrimui koreliaciją. Laboratoriniais tyrimais, kurie imitavo provėžų formavimąsi įrengiant kelio dangą, nustatyta, kad geotekstilės deformacijos tiesiogiai priklauso nuo pradinio, bet ne nuo didžiausio geotekstilės stiprio. Mokslininkai pabrėžia, kad geotekstilių išliekamumas turi būti garantuotas ne tik jas klojant, įrengiant kelio dangą, bet ir visą kelio eksploatacijos laikotarpį. A. Watn'as ir kt. pasiūlė geotekstilės išliekamumo modelį (1.15 pav.). Geotekstilės ir kelio dangos įrengimo energijos sąnaudos turi būti nustatomos atsižvelgiant į sluoksnių, tarp kurių klojama geotekstilė, medžiagų savybes ir dangos įrengimo mechanizmus. Liekamasis geotekstilės stipris turi būti prognozuojamas atsižvelgiant į apkrovas ir dangos deformacijas eksploatuojant kelią.



1.15 pav. Geotekstilės išliekamumo modelis (pagal A. Watn'ą [38]).

M. Pinho-Lopes ir kt. [42] geosintetinių medžiagų pažaidų susidarymą, įrengiant dangą, tyrinėjo ne tik neaustinėse, bet ir austinėse geotekstilėse bei geotinkluose. Tyrimai buvo atlikti laboratorijoje ir lauko sąlygomis. Pagal tyrimų rezultatų analizę teigiama, kad geosintetinių medžiagų pažaidos, susidarančios įrengiant dangą, turi įtaką šių medžiagų stiprio mažėjimui, kuris priklauso nuo dangos įrengimo aplinkybių, medžiagų tarp kurių klojamos geosintetinė medžiaga savybių bei pačios geosintetinės medžiagos savybių. Žiūrint šių veiksnių, pažaidų įtaka ženkliai varijuoja. A. M. Paula ir kt. [44] geosintetinių medžiagų pažaidų susidarymo priklausomybę nuo dangos įrengimo sąlygų tyrė pagal ENV ISO 10722-1 sugadinimų instaliuojant imitavimo procedūrą. Pagal tyrimų rezultatus austinės geotekstilės iš polipropileno (tempimo stiprumo riba 65/65 kN/m) liekamasis stipris ir dalinis saugos koeficientas po sugadinimų imitavimo procedūros instaliuojant geotekstilę ženkliai skiriasi, atsižvelgiant į naudotą užpildo medžiagą (sintetinė medžiaga, granitas, klintis). žiūrint panaudotos užpildo medžiagos, kinta dalinis saugos koeficientas 2,32; 1,74 ir 1,49.

Geosintetinių medžiagų mechaninės pažaidos gali susidaryti jas gaminant, sandėliuojant, transportuojant, klojant, įrengiant kelio dangą bei ją eksploatuojant. Patirtis rodo, kad geosintetinių medžiagų pažaidos dažniausiai susidaro įrengiant kelio dangą. Paminėtini veiksniai dėl kurių susidaro pažaidos įrengiant kelio dangą: sluoksnių, tarp kurių klojama geosintetinė medžiaga, savybės, kelių tiesimo mašinų tipas ir jų darbo pobūdis, klimato sąlygos, geosintetinės medžiagos savybės [50]. Pagrindiniai veiksniai, turintys įtaką geosintetinių medžiagų pažaidoms įrengiant dangas, pateikti 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Pagrindiniai veiksniai ir jų savybės, turinčios įtaką geosintetinių medžiagų pažaidų susidarymui įrengiant dangą [50]

Veiksniai	Savybės
Sluoksnis, ant kurio klojama geosintetinė medžiaga	Medžiagos rūšis
	Stipris
Ant geosintetinės medžiagos įrengiamas sluoksnis	Tankinamo sluoksnio storis
	Mineralinių grūdelių dydis
	Mineralinių grūdelių kampuotumas
Kelių tiesimo mašinos bei jų darbo poveikis	Įtempiai, susidarantys įrengiant dangą
	Tankinimo mašinų masė
	Vibracinis tankinimas
Klimato sąlygos	Temperatūra
	Vanduo
Geosintetinių medžiagų savybės	Polimero tipas
	Pluošto tipas ir dydis
	Gamybos būdas
	Storis
	Ploto vieneto masė

A. Watn‘as ir S. H. Chew‘as [50] nurodo, kad įrengiant dangą kelių tiesimo mašinų mechaninis poveikis gali sumažinti arba visiškai panaikinti geosintetinių medžiagų galimybę išpildyti joms priskirtą funkciją. Tačiau pastebima, kad nepaisant geotekstilėje susidariusių tam tikrų pažaidų visgi gali būti realizuota jai priskirta funkcija. Taigi projektuojant dangą, kurioje numatoma naudoti geosintetinę medžiagą turi būti apibūdintos šių medžiagų pažaidų susidarymo sąlygos, bei šių pažaidų įtaka atitinkamai funkcijai realizuoti.

Mokslininkai išskiria šias pagrindines geosintetinių medžiagų pažaidų rūšis [50–53]: *nuuotrynos, įtrūkiai, pradūros, trūkiai, pluošto įpjovos, visiškas suplyšimas*. *Nuotrynos* pasireiškia tuomet, kai aštrūs mineralinių medžiagų grūdeliai trinasi į geosintetinės medžiagos paviršių. Ši pažaidų rūšis būdinga dangoms, kuriose geosintetinė medžiaga paklota dangos viršutinėje zonoje arba paviršiuje ir nuolatos yra veikiama trinties jėgų (geležinkelių konstrukcijos, laikini keliai) [54], (pakrančių šlaitai) [55]. Šios rūšies pažaidos gali susidaryti visų rūšių geosintetinėse medžiagose, tačiau neaustinėms kamšytoms adatomis geotekstilėms jos yra ypač būdingos. Šios rūšies pažaidos turi įtaką neaustinių geotekstilių filtracinėms savybėms bei mažina medžiagos storį. *Įtrūkiams* susidaryti įtaką turi tiesiog ant geosintetinės medžiagos išpilamų užpildų aštrūs mineraliniai grūdeliai bei įrengto sluoksnio medžiagos tankinimas vibraciniais volais. Šios pažaidos daugiausiai pasireiškia polietileno geotinkluose. *Pradūros* susidaro dėl panašių veiksnių įtakos kaip ir įtrūkiai. Pradūros yra būdingiausios pažaidos neaustinėms geotekstilėms, naudojamoms atskyrimo bei filtravimo funkcijoms automobilių kelių dangoje ir žemės sankasoje. Prasiskverbę aštriabriauniai mineraliniai grūdeliai geotekstilėje palieka skyles, kurios atitinkamai sumažina arba visiškai panaikina atskyrimo bei filtracijos funkcijos atlikimo galimybę. *Trūkiai* susidaro nuo geosintetinių medžiagų ribinių įtempių, kuriuos sukelia didelės apkrovos ir deformacijos. Šios pažaidos būdingiausios geotekstilėms, naudojamoms atskyrimo funkcijai silpnuose gruntuose, ant geotekstilės įrengiant labai stambių grūdelių mineralinių medžiagų sluoksnius. Deformuojantis silpniems gruntams, kartu deformuojasi ir geotekstilė, o susidarius trūkiams geotekstilė nebegali atlikti nei atskyrimo nei armavimo funkcijos. *Pluošto įpjovos* susidaro tada, kai aštrios mineralinių grūdelių briaunos, lyg peilis, įpjauna geosintetinės medžiagos pluoštus. Šios pažaidos būdingiausios austinėms geotekstilėms ir geotinklams. Geosintetinių medžiagų pluoštai yra sąlyginai ploni, todėl gali būti lengvai įpjaunami, dėl ko medžiaga netenka stiprio savybių [56]. *Visiškas suplyšimas* dažniausiai pasireiškia tada, kai geosintetinė medžiaga jau būna pažeista vienos ar kelių rūšių pažaidų.

Britanijos standarte BS 8006 skiriamos keturios geosintetinių medžiagų pažaidų rūšys [57]: *Nuotrynos, trūkiai, įpjovos ir sąspaudos. Nuotrynos* atsiranda geosintetinės medžiagos ir aštrių

mineralinių grūdelių sąveikoje, kuri palieka įbrėžimus ir įdrėskimus geosintetinėse medžiagoje. *Trūkiai, įpjovos ir sąspaudos* – tai pažaidos nuo didelių mineralinių grūdelių poveikio.

Projektuojant geosintetinėmis medžiagomis armuotą kelio konstrukcija, šių medžiagų projektinis tempimo stipris mažinamas taikant pataisos koeficientus, kurie įvertina galimus neigiamus poveikius įrengiant dangą ir eksploatuojant kelią [58, 59]:

$$T_t = \frac{T_p}{A1 \times A2 \times A3 \times A4 \times \gamma}; \qquad (1.9)$$

čia: T_t – tikrasis geosintetinės medžiagos stipris; T_p – projektinis (gamintojo deklaruotas) geosintetinės medžiagos stipris; $A1$ – pataisos koeficientas dėl valkšnumo; $A2$ – pataisos koeficientas dėl pažaidų įrengiant dangą; $A3$ – pataisos koeficientas dėl medžiagos sujungimų; $A4$ – pataisos koeficientas dėl tvarumo; γ – dalinis saugos koeficientas.

R. M. Koerner‘is ir G. R. Koerner‘is [60] (1.9) formulę rekomenduoja taikyti projektuojant geosintetines medžiagas dangoje ir žemės sankasoje tiek medžiagoms armuoti tiek sluoksniams atskirti. Tada šioje formulėje eliminuojamas dalinis saugos koeficientas. Tikrajam geosintetinės medžiagos stipriui nustatyti (tempimo stipris, statinio ir dinaminio pradūrimo atsparumas, tempimo valkšnumas ir t.t.) rekomenduojama tokia formulė:

$$T_{allow} = T_{ult}\left[\frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CBD} \times RF_{SM}}\right]; \qquad (1.10)$$

čia: T_{allow} – tikrasis geosintetinės medžiagos stipris; T_{ult} – projektinis (gamintojo deklaruotas) geosintetinės medžiagos stipris; RF_{ID} – pataisos koeficientas dėl pažaidų įrengiant dangą; RF_{CR} – pataisos koeficientas dėl valkšnumo; RF_{CBD} – pataisos koeficientas dėl cheminio ir biologinio poveikio; RF_{SM} – pataisos koeficientas dėl medžiagos sujungimų tvarumo.

1.4 lentelėje pateikti rekomenduojami pataisos koeficientų, taikytinų (1.10) formulėje variavimo intervalai.

JAV Federalinė greitkelių valdyba [61] rekomenduoja tokius pataisos koeficientus polipropileno ir poliesterio neaustinėms geotekstilėms dėl pažaidų įrengiant dangą: kai užpildo ant geotekstilės didžiausi mineraliniai grūdeliai < 102 mm – 1,4...2,5 ir kai < 20 mm – 1,1...1,4. Atitinkamai R. Hufenus ir kt. [62] siūlo, kai užpildas smulkiagrūdis – 1,0...1,1, stambiagrūdis (su apvaliais mineraliniais grūdeliais) – 1,2...1,4, stambiagrūdis (su kampuotais mineraliniais grūdeliais) – 1,3...1,5.

1.4 lentelė. Rekomenduojami pataisos koeficientai (pagal R. M. Koerner‘į ir G. R. Koerner‘į [60])

Naudojimo sritis	Pataisos koeficientai		
	Dėl pažaidų įrengiant dangą	Dėl valkšnumo*	Dėl cheminio ir biologinio poveikio
Sluoksnių atskyrimas	1,1–2,5	1,5–2,5	1,0–1,5
Žvyrkeliai	1,1–2,0	1,5–2,5	1,0–1,5
Atraminės sienos	1,1–2,0	2,0–4,0	1,0–1,5
Pylimai	1,1–2,0	2,0–3,5	1,0–1,5
Dangos pagrindai	1,1–2,0	2,0–4,0	1,0–1,5
Šlaitų stabilizavimas	1,1–1,5	2,0–3,0	1,0–1,5
Asfaltbetonio dangos	1,1–1,5	1,0–2,0	1,0–1,5
Geležinkeliai	1,5–3,0	1,0–1,5	1,5–2,0
Lanksčios formos	1,1–1,5	1,5–3,0	1,0–1,5

*Mažiausias pataisos koeficientas taikomas tuomet, kai dangoje geosintetinės medžiagos funkcija yra trumpalaikė arba kai deformacijos dėl valkšnumo dangai nėra kritinės.

G. Eiksund‘as ir kt. [43] teigia, kad geotekstilėms, naudojamoms kelio dangos sluoksniams atskirti, didžiausią įtaką turi pažaidos, susidarančios įrengiant dangą. Didžiausią įtaką turi *pradūros* ir *trūkiai*. Pradūras atspindi kriterijai susiję su dinaminio prakirtimo bandymu pagal LST EN ISO 13433:2006 [63]. Trūkimo atveju tariama, kad klojant geotekstilę yra sunaudojama tam tikra „deformacijos energija“, ir kad eksploatuojant dangą nebus viršytas liekamasis geotekstilės stipris (įtempiai ir deformacijos neviršys ribinių verčių). Šios dvi pažaidų rūšys apibūdina savybes, kurios turėtų būti nustatomos analizuojant geotekstilės jautrį pažaidoms. Šios geotekstilių savybės yra: ploto vieneto masė (didžiausias nuokrypis), tempimo stipris, pailgėjimas kai apkrova didžiausia, energijos indeksas ir dinaminio prakirtimo atsparumas (plačiau šios savybės ir jų nustatymo bandymų metodai aptarti antrame skyriuje).

V. Shevchuk‘as ir kt. [39], analizavę geotekstilių, įrengiant dangas, pažaidų susidarymą laboratoriniais metodais, pateikia tokį kelio dangos sluoksnių tankinimo/eismo apkrovų modelį: geotekstilėje paklotoje tarp dviejų kelio konstrukcijos sluoksnių, pasireiškiantiems įtempiams nustatyti, reikia žinoti tankinimo/eismo jėgas, veikiančias virš geotekstilės įrengtą dangos sluoksnį. Tada kiekvienai tankinimo/eismo operacijai turi būti nustatomi rato (vikšro) slėgis į sluoksnio paviršių, apkrovos ploto skersmuo, įrengiamo sluoksnio storis; įrengiamo sluoksnio taškinės apkrovos poveikio laikotarpis, atsižvelgiant į eismo greitį, kiek kartų tas ratas (vikšras) pravažiuoja ir koks pravažiavimų persidengimą. V. Shevchuk‘as ir kt. [39], skaičiavimų prastinimui, du skirtingus kelio dangos sluoksnius su geotekstilės tarpsluoksniu redukuoja į ekvivalentinę tolygią puserdvę [64]:

$$h_{eqv} = h_B \sqrt[3]{\frac{1}{2}\left(\frac{E_B}{E_S}+1\right)}; \qquad (1.11)$$

čia: h_B ir E_B – viršutinio sluoksnio storis ir tamprumo modulis; h_{eqv} – ekvivalentinis viršutinio sluoksnio storis; E_S – apatinio sluoksnio tamprumo modulis.

Ekvivalentinio sluoksnio vertikalūs įtempiai σ_{GT} gylyje $z = h_{eqv}$ nuo atitinkamo slėgio apkrovos nustatomi taip [65]:

$$\sigma_{GT} = p\left[1-\left(1+\left(\frac{D}{2z}\right)^2\right)^{-\frac{3}{2}}\right]; \tag{1.12}$$

čia: p – pneumatinės padangos apkrova, kuri beveik atitinka oro slėgį padangoje; D – apkrovos pėdsako spindulys.

Kai slegia b pločio vikšro apkrova, vertikalūs įtempiai gali būti apskaičiuojami formule [39]:

$$\sigma_{GT} = \frac{2p}{\pi}\left[arctg\left(\frac{D}{2z}\right)+\frac{bz}{2\left((b/2)^2+z^2\right)}\right]. \tag{1.13}$$

Aukščiau pateiktomis formulėmis galima apskaičiuoti virš geotekstilės užpilamo sluoksnio įrengimo metu susidarančius vertikalius įtempius σ_{GT} geosintetinės medžiagos lygmenyje nuo kiekvienos kelių tiesimo mašinos poveikio. V. Shevchuk‘o ir kt. [39] laboratoriniais bandymais nustatyta, kad statinė apkrova, geotekstilei paklotai tarp dviejų kelio konstrukcijos sluoksnių, turi ženkliai mažesnę įtaką nei dinaminė.

R. Hufenus‘as ir kt. [66] teigia, kad geosintetinių medžiagų išliekamumas, įrengiant kelio žemės sankasą ir dangą, visų pirma priklauso nuo geosintetinės medžiagos rūšies, o polimero, iš kurio padaryta medžiaga, tipas yra antraeilis veiksnys. Taip pat kiekvienos skirtingos rūšies geosintetinės medžiagos išliekamumui skirtingą poveikį turės ant jos įrengiamo užpildo grūdelių forma ir granuliometrinė sudėtis bei sluoksnio tankinimo energija.

A. Watn‘as ir S.H. Chew‘as [50] siūlo projektuojant geosintetines medžiagas kelio žemės sankasoje ir dangoje nustatyti pažaidų svarbos lygį, kuris atspindėtų pažaidų susidarymo galimybę ir jų svarbą nustatytai funkcijai tinkamai realizuoti. Tiek pažaidoms susidaryti, tiek jų svarbai apibūdinti, taikomi trys lygiai: žemas, vidutinis ir aukštas. Kai žemas svarbos lygis, projektuojant geosintetines medžiagas kelio dangoje, nereikalinga jokia atsarga dėl geosintetinių medžiagų pažaidų, kai aukštas – geosintetinės medžiagos turi pasižymėti žymiai aukštesniais savybių rodikliais, projektuojamos dangos kontroliuojamos jas įrengiant bei eksploatuojant kelią.

Projektuojant kelio žemės sankasos ir dangos sluoksnių atskyrimą geotekstilėmis pažaidų susidarymo svarbos lygis varijuoja nuo vidutinio iki aukšto, tačiau pažaidų svarbai – yra per žemas. Tad kelio dangos sluoksniams atskirti geotekstilės naudojamos pagal reglamentuojamas atitinkamas geotekstilių savybes [50]. Tokioms geotekstilių savybėms nustatyti bei sukurti geotekstilių parinkimo ir kontrolės sistemą šiaurės Europoje buvo vykdomas projektas „NorGeoSpec“. Projekte, kuris baigtas vykdyti 2002 metais, sukurta geotekstilės parinkimo ir kontrolės sistema „NorGeoSpec 2002“ [67].

R. D. Holtz‘as ir M. W. Page‘as [68] tyrė neaustinių ir austinių geotekstilių atskyrimo funkciją kelio dangoje. Atskyrimo funkcijos bei geotekstilių pažaidos buvo tiriamos eksploatuojant kelią septynerius metus. Tyrimui buvo naudotos penkios austinės, dvi neaustinės kamšytos adatomis ir viena neaustinė termiškai sutvirtinta geotekstilė. Įrengiant kelio dangą buvo stebimas geotekstilių pažaidų susidarymas nuo užpilamų medžiagų ir mechanizmų poveikio. Pastebėta, kad mažo sunkio (120 g/m^2) geotekstilės buvo ženkliai pažeistos, o didelio sunkio (270 g/m^2) – nebuvo pažeistos visiškai. Austinėse geotekstilėse buvo pastebimos pradūros nuo stambių užpildo grūdelių poveikio. Tyrimų rezultatų analizės pasekoje buvo teigiama, kad mažo sunkio geotekstilės nėra tinkamos atskyrimo funkcijai. Naudojant didelio sunkio geotekstiles įrengiant dangą išvengiama pažaidų, tačiau šių geotekstilių naudojimas ženkliai pabrangina tiesybos išlaidas. Taip pat pastebėta, kad austinės geotekstilės, labiau negu neaustinės, užkemšamos smulkiausiomis žemės sankasos grunto dalelėmis. Kai žemės sankasos gruntai yra itin plastiški ar dulkingi, buvo pasiūlyta naudoti tik neaustines geotekstiles.

R. C. Metcalfe ir R. D. Holtz‘as [35] atliko panašius tyrimus su 14 skirtingų rūšių (stiprio) geotekstilėmis. Tyrimui buvo naudotos šešios austinės, šešios neaustinės kamšytos adatomis ir dvi neaustinės termiškai sutvirtintos geotekstilės. Įrengiant dangą buvo pastebėta, kad geotekstilių pažaidų susidarymas labiau priklauso nuo užpilamo užpildo grūdelių formos (kampuotumo), nei nuo užpilamos medžiagos sluoksnio storio. Pagal šiuos tyrimus [69] buvo pateiktos tokios išvados: naudojant visas geotekstiles atskyrimo funkcija realizuota tinkamai ir atskirų sluoksnių medžiagų tarpusavio susimaišymas nepastebėtas; austinės geotekstilės buvo daug labiau užkimštos žemės sankasos grunto dalelėmis, todėl jos nėra tinkamos naudoti atskyrimo funkcijai ant labai minkštų žemės sankasos gruntų; neaustinės kamšytos adatomis geotekstilės užtikrino geriausią vandens laidumą. Pagal nustatytą žemės sankasos konsolidaciją ir stiprio didėjimą mokslininkai daro išvadą, kad ilgalaikis drenavimas ir filtracija geotekstile nėra taip svarbūs, kaip žemės sankasos gruntų atskyrimas nuo dangos pagrindo medžiagų.

Mokslininkai R. D. Holtz‘asir kt. realiame kelyje tyrimais nustatė ilgalaikį geotekstilių poveikį kelio dangai. Įrengus dangą, tyrimai vykdyti 12 metų, matuojant ir stebint pirmaisiais

metais, po 5 ir 12 metų kelio eksploatacijos [21, 70, 71]. Įrengiant dangą buvo nustatoma kaip skirtingos geotekstilės stabilizuoja silpną žemės sankasą, o taip pat kokią įtaką atskyrimui geotekstilėmis turi užpilamo pagrindo sluoksnio storis. Pagal tyrimo rezultatus pateiktos tokios išvados [47]: visuose ruožuose, kur buvo naudotos geotekstilės, atskyrimo funkcija buvo pilnai išpildyta; geotekstilės užtikrino mažesnes dangos pagrindo sluoksnio provėžas, jį įrengiant; ruožuose, kuriuose žemės sankasos kerpamasis stipris buvo itin mažas, geotekstilės poveikis provėžoms nebuvo reikšmingas; pastebėta, kad įrengiant dangą neaustinės kamšytos adatomis geotekstilės užtikrino tinkamą žemės sankasos drenavimą, tuo tarpu naudojant kitų rūšių geotekstiles, drenavimo sąlygos pablogėjo; sunkiausia tyrimui panaudota kamšyta adatomis geotekstilė padidino žemės sankasos drenavimą. Po 5 kelio eksploatavimo metų iš kontrolinių kasinių paimti visų kelio dangos medžiagų ir geotekstilės bandiniai. Tyrimų rezultatai apibendrinti taip [71, 72]: kelyje prieš įrengiant geotekstilės tarpsluoksnius, nuolat atsirasdavo ir progresuodavo dangos pažaidos, o panaudojus įvairių tipų geotekstilę, pavyko užtikrinti rekonstruoto kelio žemės sankasos ir dangos vientisumą ištisus penkerius metus, nors smulkmės migravimas ir pastebėtas kai kuriose geotekstilėse; laidumo bandymu nustatyta, kad termiškai sutvirtintos neaustinės geotekstilės daug labiau užkemšamos negu kamšytos adatomis neaustinės geotekstilės; didesnės geotekstilės pažaidos pastebėtos ruožuose, kuriuose ant geotekstilės įrengiamas dangos pagrindo sluoksnis buvo plonesnis; vizualiais stebėjimais buvo pastebėta, kad kelio konstrukcijos įrengimo metu buvo labiau pažeistos mažesnio sunkio geotekstilės, tačiau tos pažaidos neatsispindėjo geotekstilės tempimo visu pločiu bandymų rezultatuose; nustatyta, kad pradinis įrengto ant geotekstilės dangos pagrindo sluoksnio storis turi itin didelį poveikį geotekstilės stiprio ir pailgėjimo kitimui; bandymais buvo nustatyta, kad kelio ruožuose, kuriose paklota geotekstilė, žemės sankasa labiau konsolidavosi, nei ruožuose be geotekstilės tarpsluoksnio. Po 12 kelio eksploatavimo metų vėl iš kontrolinių kasinių tirta žemės sankasos gruntai ir dangos medžiagos, taip pat ir geotekstilės bandiniai. Pagal vizualius stebėjimus, lauko bei laboratorinius bandymus pateiktos tokios išvados: žemės sankasos grunto žymesnė konsolidacija ir tamprumo modulio didėjimas užfiksuoti įrengus dangą pirmųjų 5 metų laikotarpyje, periode nuo 5 iki 12 eksploatacijos metų šiuo atžvilgiu niekas nepakito; mažo sunkio geotekstilės (130–150 g/m^2), virš kurių buvo įrengtas 30 cm dangos pagrindo sluoksnis iš pusiau apvalių ir kampuotų mineralinių grūdelių, atlaikė dangos įrengimo poveikį ir išpildė atskyrimo funkciją; mažo ir didelio sunkio geotekstilėmis atskyrimo, drenavimo ir filtravimo funkcijos po 12 metų buvo realizuotos labai panašiai, procentiniai stiprio nuostoliai taip pat labai panašūs.

I. L. AL-Qadi‘s ir kt. [23, 73–75] eksperimentiniais laboratoriniais ir lauko tyrimais nustatė geotekstilės ir kitų geosintetinių medžiagų poveikį kelio dangai, kai geosintetinė medžiaga klojama tarp žemės sankasos ir dangos pagrindo. Tiriant laboratorijoje bandomiesiems dangos bandiniams

su geotekstilės tarpsluoksniu prireikė nuo dviejų iki trijų kartų daugiau apkrovų ciklų, lyginant su dangos bandiniais be geotekstilės, kad pasiekti tokį patį dangos suirimo laipsnį. I. L. AL-Qadi‘s [73] pateikia tokius veiksnius, turinčius įtakos atskyrimo geotekstile procesui: žemės sankasos gruntas (stipris, dalelių dydis ir jų sklaida, plastiškumas ir drėgnis), kelio dangos pagrindo sluoksnio, kuris įrengiamas ant geotekstilės, savybės (užpildo granuliometrinė sudėtis, smulkmės kiekis, užpildo didžiausių grūdelių dydis ir kampuotumas), apkrovos ir jų skaičius per kelio eksploatacijos laikotarpį, aplinkos sąlygos. Taip pat pastebima, kad turi būti užtikrinta reikalinga vandens filtracija pro geotekstilę.

W. S. Tsai‘jus ir R. D. Holtz‘as [76] pateikė rezultatus iš laboratorinių tyrimų, kurių metu nustatytas skirtingų geosintetinių medžiagų atskyrimo funkcijos išpildymas, dangą veikiant cikline plokštės apkrova. Geosintetinės medžiagos (neaustinė termiškai sutvirtinta geotekstilė, neaustinė kamšyta adatomis geotekstilė, austinė geotekstilė ir geomembrana) buvo paklotos tarp silpno žemės sankasos grunto, kurio CBR kito nuo 0,5 iki 7, ir ant jų užpilta trejopo storio pagrindo medžiaga. Tyrimų tikslas buvo nustatyti bandomų geosintetinių medžiagų išliekamumą, eliminuoti smulkmės migravimą bei poveikį žemės sankasos poriniam slėgiui. Tyrėjai nustatė, kad bandytų geosintetinių medžiagų rūšis neturi ypatingo poveikio provėžų gyliui. Visuose bandymuose žemės sankasos porinis slėgis iš pradžių padidėdavo, o laikui bėgant vėl sumažėdavo. Analizuojant bandymų rezultatus mokslininkai teigė, kad geosintetinės medžiagos, kurios įrengiant dangas išlieka nepažeistos, didina grunto laikomąją gebą. Geomembrana, kuri imitavo visiškai užkimštą geotekstilę, ilgiausiai išlaikė padidėjusį žemės sankasos porinį slėgį, kas turėjo įtaką žemės sankasos tamprumo modulio sumažėjimui ir provėžų gilėjimui. Geotekstilės, kurios atlaikė dinamines apkrovas, tinkamai išpildė atskyrimo funkciją ir neleido migruoti smulkiosioms grunto dalelėms.

L. D. Suits‘as ir G. R. Koerner‘is [77] pateikė tebevykstančio eksperimentinio lauko tyrimo, kurio metu penkių skirtingų rūšių geotekstilės buvo įrengtos vietinės reikšmės dviejų eismo juostų kelyje, rezultatus po ketverių eksploatacijos metų. Iš penkių rūšių geotekstilių viena buvo austinė ir keturios neaustinės. Žemės sankasos gruntai buvo apibūdinti kaip molingi ir drėgni, klampūs ir smėlingi. Taip pat buvo palikta kontrolinė konstrukcijos dalis be geotekstilės tarpsluoksnio. Trijų metų laikotarpyje įrengtas ruožas buvo vizualiai apžiūrimas ir bandomas krintančio svorio deflektometru. Pagal bandymų rezultatus nustatytas žemės sankasos tamprumo modulio sumažėjimas nuo 5 iki 48 % ruožuose su geotekstilės tarpsluoksniu ir 37 % sumažėjimas ruože be geotekstilės tarpsluoksnio, lyginant rezultatus įrengus dangą ir po trijų metų laikotarpio.

Įrengiant kelio dangos sluoksnį virš silpnos žemės sankasos paklotos geotekstilės, deformuojantis žemės sankasai atitinkamai deformuojasi ir geotekstilė. H. Rathmayer‘o [78] tyrimai

patvirtino teorines prielaidas, kad geotekstilė paklota ant silpnos žemės sankasos (CBR = 1–3), kai įrengiamas pagrindo sluoksnis deformuojasi iki 20 %. Todėl reikalavimas geotekstilės deformacijai ($\varepsilon > 45\%$) esant maksimaliai apkrovai yra pagrįstas.

1.6. Išvados, darbo tikslas ir uždaviniai

1. Kintant drėgniui žemės sankasoje, žiūrint jai įrengti naudotų gruntų, joje ir kelio ar gatvės dangoje vyksta šie migravimo procesai: kai žemės sankasa įrengta iš dulkingų gruntų – smulkiausios grunto dalelės kyla į aukščiau slūgsančius apsauginį šalčiui atsparų bei dangos pagrindo sluoksnius, taip sumažindamos šių sluoksnių laidumo savybes; kai žemės sankasa įrengta iš plastingų gruntų – apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio kietosios mineralinės dalelės įspaudžiamos į sankasos gruntą, dėl ko, sumažėjus apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio storiui, sumažėja kelio dangos stipris. Apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio užteršimas ar šio sluoksnio storio mažėjimas gali turėti įtakos iškyloms susidaryti. Remiantis mokslininkų įrodymais galima teigti, kad ant silpnos žemės sankasos įrengiant kelio ar gatvės dangą racionalu naudoti geotekstilės tarpsluoksnį.
2. Mokslininkų tyrimais įrodyta, kad kelio dangos sluoksniams atskirti geriausiai tinka neaustinės geotekstilės, o neaustinės kamšytos adatomis geotekstilės yra laidžiausios vandeniui. Kai žemės sankasos gruntai yra itin plastiški ar dulkingi, siūloma naudoti tik neaustines geotekstiles, kadangi neaustinės geotekstilės daug mažiau užkemšamos žemės sankasos grunto dalelėmis.
3. Mokslininkų tyrimais įrodyta, kad sudėtingiausios bei žalingiausios apkrovos sąlygos geotekstilei atsiranda ją klojant ir įrengiant dangos konstrukcijos sluoksnius virš jos. Daugelis mokslininkų pabrėžia, kad geotekstilė tinkamai atskiria kelio konstrukcijos sluoksnius tuomet kai joje nesusidaro pažaidų įrengimo metu.
4. Mokslininkai tyrę neaustinių geotekstilių išliekamumą ir tvarumą nustatė, kad pagrindiniai geotekstilių stiprio nuostoliai atsiranda dėl mechaninių pažaidų įrengiant dangą, o ne nuo ilgalaikio polimerų savybių blogėjimo.
5. Reziumuojant galima teigti, kad Lietuvoje sparčiai augant naujai tiesiamų bei rekonstruojamų automobilių kelių bei gatvių, jų tvarumui, eismo dalyvių saugumui bei komfortabilumui užtikrinti būtų racionalu naudoti konstrukcijos sluoksnių atskyrimą geotekstilėmis. Tačiau, kiekvienu atveju turi būti nustatytas geotekstilės poreikis ir jos tinkamumas priskirtai funkcijai atlikti.

Tobulinant automobilių kelių bei gatvių konstrukcijų sluoksnių biriųjų medžiagų atskyrimo geotekstilėmis parinkimo metodus, šio mokslo darbo tikslas formuluojamas taip:

Didinti automobilių kelių dangų tvarumą, sukuriant geotekstilių parinkimo metodą Lietuvos automobilių kelių ir gatvių konstrukcijoms.

Darbo tikslui pasiekti reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Nustatyti geotekstilių pažaidų įtaką atskyrimo funkcijai realizuoti.
2. Analizuoti ir apibūdinti kitose valstybėse taikomus geotekstilės parinkimo metodus.
3. Nustatyti pagrindinius veiksnius, turinčius įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti, įrengiant bei eksploatuojant automobilių kelią ar gatvę.
4. Sukurti teorinį geotekstilių parinkimo modelį Lietuvos sąlygoms.
5. Atlikti eksperimentą teoriniame modelyje iškeltoms prielaidoms pagrįsti arba paneigti.
6. Remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatų analize, pasiūlyti geotekstilės parinkimo metodą Lietuvos automobilių kelių ir gatvių konstrukcijų sluoksniams atskirti.
7. Nustatyti ekonominį efektą, gaunamą atskiriant kelio konstrukcijos sluoksnius geotekstilėmis.

2. GEOTEKSTILĖS, NAUDOJAMOS DANGOS SLUOKSNIAMS ATSKIRTI, PARINKIMO METODŲ ANALIZĖ

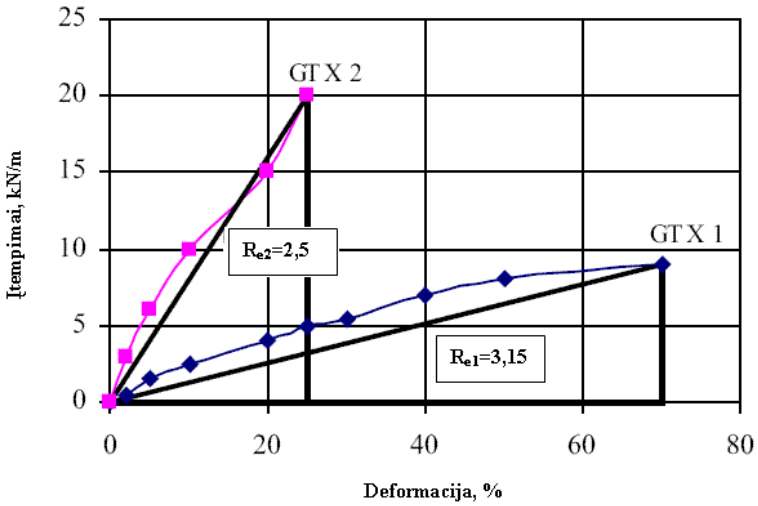
2.1. Pažaidų energijos samprata. Energijos indeksas

Geotekstilės energija apibūdina jos gebą priešintis tempimo jėgoms (pailgėjimui) ir įpjovoms, kurie sukeltų geotekstilės plyšimą ar nutrūkimą [50]. Energijos sąvoka geotekstilės savybėms nustatyti pirmą kartą taikyta 1980 metais Tarptautinės geosintetinių medžiagų organizacijos Prancūzijos komiteto [79]. Energijos sampratos idėja buvo ta, kad geosintetinė medžiaga, paklota dangoje yra paveikta (veikiama) tam tikrų apkrovų ir deformacijų (pailgėjimų), kurioms atlaikyti turi būti išeikvota geosintetinės medžiagos tam tikra energija. Tariama, kad geosintetinės medžiagos paskirties funkcija bus realizuota tinkamai, jeigu energija, sunaudota įrengiant dangą ir eksploatuojant kelią neviršys geosintetinės medžiagos ribinės energijos vertės. Ši geosintetinės medžiagos ribinė energija išreiškiama plotu po tempimo – deformacijos kreive arba tempimo stiprio ribos ir didžiausios deformacijos (pailgėjimo) sandaugą dalinant iš dviejų [50, 79]:

$$R_e = 1/2 \times T \times \varepsilon_f \; ; \qquad (2.1)$$

čia: R_e – ribinė geosintetinės medžiagos energijos vertė (energijos indeksas); T – tempimo stiprio riba; ε_f – didžiausia deformacija.

Skirtingų rūšių geotekstilės energijos indeksui apskaičiuoti grafikas pateiktas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Grafikas geotekstilės energijos indeksui apskaičiuoti (pagal A. Watn‘ą ir S.H. Chew‘ą [50]).

Energijos indeksas pirmiausiai pradėtas taikyti geotekstilės, naudojamos atskyrimo funkcijai, savybėms nustatyti. Atskyrimo funkcijai realizuoti griežtai reikalaujama, kad geotekstilė turėtų pakankamai deformavimosi energijos. Taigi turi būti nustatyta mažiausia energijos indekso vertė. Kai geotekstilė naudojama pirminei atskyrimo ir antraeilei armavimo funkcijoms be mažiausios energijos indekso vertės turi būti nustatyta mažiausia tempimo stiprio riba. Tai būtina todėl, kad itin deformatyvi geotekstilė gali tenkinti mažiausios energijos indekso vertės reikalavimus, tačiau dėl didelės deformacijos visiškai nearmuos dangos ar žemės sankasos [50]. Energijos indeksas naudojamas geotekstilių parinkimo atskyrimo funkcijos išpildymui sistemose [43, 67, 79].

Kai buvo pasiūlyta pažaidų energijos samprata, vėliau ji pagrįsta daugeliu eksperimentinių tyrimų [53, 78, 80–82]. Tyrimais nustatyta, kad tam tikroms energijos indekso vertėms geotekstilė, naudojama kelių dangose, neviršija leistinųjų deformacijų [79]. R. Diederich‘as [83] pateikė geotekstilės savybių kitimo priklausomybę nuo pažaidų, susidarančių įrengiant dangą ant geotekstilės, ploto. Didžiausia koreliacija buvo nustatyta tarp geotekstilės pažaidų ploto ir energijos indekso, o koreliacijos koeficientas 0,7 (2.2 formulė). Nors eksperimentiniais tyrimais pažaidų energijos samprata yra patvirtinta, tai turėtų būti išsamiai įrodyta matematiniu požiūriu [50]:

$$y = 6{,}4676x^{-1{,}9582}; \qquad (2.2)$$

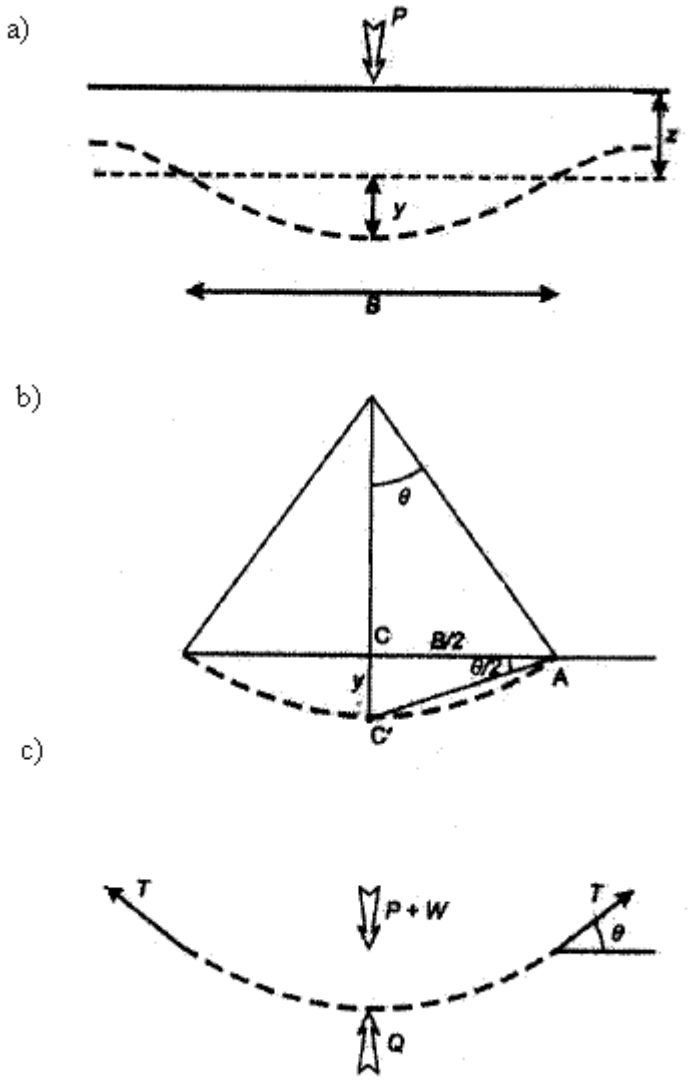
čia: y – geotekstilės pažaidų plotas; x – energijos indeksas.

J. P. Giroud [84] pateikia detalias matematines išraiškas, apibūdinančias geotekstilės atskyrimo funkcijos sąlygas kai geotekstilė paklota tarp dviejų dangos sluoksnių. Danga apkrauta išskirstyta apkrova, kuri deformuoja geotekstilę, suteikdama jai sferos formą su apskritimo plotu (2.2 pav., a).

Remiantis deformuotos geotekstilės geometrija (2.2 pav., b), geotekstilės deformacijos pobūdis apibūdinamas lygtimi:

$$1+\varepsilon = \frac{1}{2}\left(\frac{2y}{B}+\frac{B}{2y}\right)\arcsin\left[\frac{1}{\frac{1}{2}\left(\frac{2y}{B}+\frac{B}{2y}\right)}\right]; \qquad (2.3)$$

čia: ε – geotekstilės deformacija; y – geotekstilės įlinkis; B – apskritimo, kurio plote deformuojasi geotekstilė, skersmuo.



2.2 pav. Geotekstilės, atskiriančios dangos sluoksnius, deformacijos teorinės prielaidos: a) pagrindinis geotekstilės deformacijos profilis, b) geotekstilės geometrija, c) geotekstilę veikiančių jėgų koncentracija (pagal J. P. Giroud [84]).

Sulyginant statines jėgas, veikiančias geotekstilę (2.2 pav., c), sudaroma jėgų pusiausvyros lygtis:

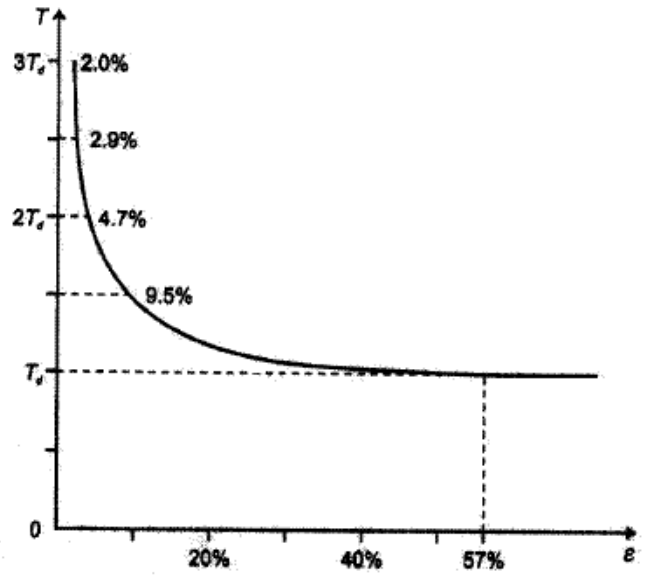
$$F = P + W - Q = \pi BT \sin\theta \; ; \qquad (2.4)$$

čia: F – atstojamoji jėga, veikianti geotekstilę; P – išskirstyta apkrova; W – dangos sluoksnio, įrengto virš geotekstilės, tūrio vieneto svoris; Q – sluoksnio po geotekstile atraminė reakcija; T – įtempiai geotekstilėje.

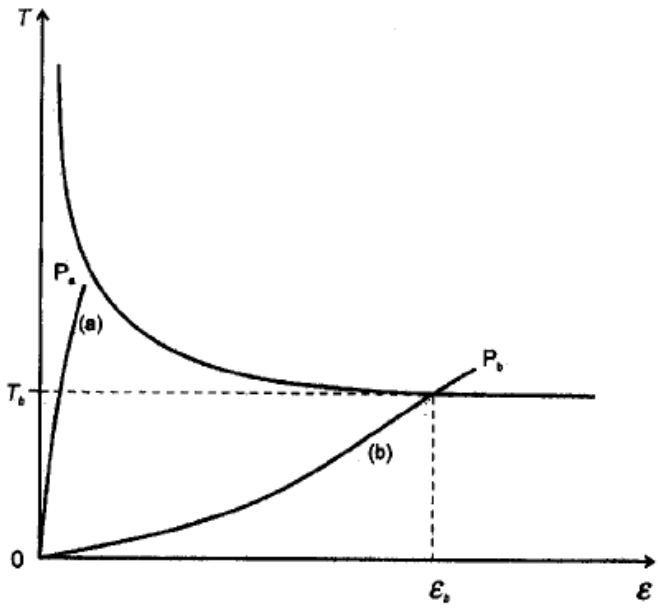
Sulyginant abi lygtis geotekstilės įtempių ir deformacijos santykis išreiškiamas formule:

$$1+\varepsilon=\frac{\pi BT}{F}\arcsin\left(\frac{F}{\pi BT}\right). \qquad (2.5)$$

Formulės (2.5) grafinė išraiška (2.3 pav.), kuri vadinama charakteringąja geotekstilės kreive. Ši kreivė atspindi įtempių ir deformacijos tarpusavio priklausomybę, kuri susidaro kai geotekstilę veikia išskirstyta apkrova. Kai geotekstilės įtempių ir deformacijos kreivės pikas yra virš charakteringosios kreivės, geotekstilė pajėgi atlaikyti ją veikiančią išskirstytą apkrovą. Grafiškai tai pavaizduota 2.4 paveiksle. Geotekstilės (a) įtempių ir deformacijos kreivės pikas nesiekia charakteringosios geotekstilės kreivės, o geotekstilės (b) – viršija. Taigi geotekstilė (b) yra pajėgi atlaikyti ją veikiančią išskirstytą apkrovą, o geotekstilė (a) – ne. Pagal 2.4 paveikslo grafiką galima teigti, kad tvirtesnė geotekstilė, turinti didesnį tempimo stiprį, ne visada atsparesnė plyšimui, negu silpnesnė, tačiau elastingesnė geotekstilė. Formulė (2.5) ir jos grafinė išraiška (2.3 pav.) yra geotekstilės atskyrimo funkcijos matematinė išraiška. Matematinis modelis remiasi prielaida, kad geotekstilė negali slysti horizontalioje plokštumoje. Ši prielaida priimtina naudojant geotekstilę kelių dangoje. Jeigu mineralinės medžiagos išpilamos tiesiog ant geotekstilės, tam tikrame geotekstilės plote pasireiškia taškinė apkrova. Geotekstilei deformuojantis, šio ploto perimetre geotekstilė gali pasislinkti horizontalioje plokštumoje.



2.3 pav. Charakteringoji geotekstilės kreivė (pagal J. P. Giroud [84]).



2.4 pav. Skirtingų savybių geotekstilės palyginimas pagal charakteringąją geotekstilės kreivę (pagal J. P. Giroud [84]).

2.2. Geotekstilių mechaninės savybės

Plyšimo atsparumas. Kai geotekstilė klojama tarp kelio dangos sluoksnių, kurių vieno, įprastai slūgsančio aukščiau, medžiaga yra stambesnės granuliometrinės sudėties, atsiranda tikimybė, kad geotekstilė bus įspausta į viršutinio sluoksnio ertmes, susidariusias tarp stambiųjų grūdelių. Šis procesas vyksta tuomet, kai nuolat besikartojančios dinaminės transporto priemonių eismo apkrovos per stambesnės granuliometrinės sudėties sluoksnį veikia po geotekstile slūgsantį sluoksnį, kurio medžiaga stengiasi įstumti geotekstilę į aukštesnio sluoksnio ertmes. J. P. Giroud'as pasiūlė formulę nustatyti reikalingam geotekstilės plyšimo atsparumui [3]. Ši formulė taikoma kai kelio dangos konstrukcija yra be asfaltbetonio sluoksnių:

$$T_{reikal} = \frac{1}{2} p' d_v [f(\in)] ; \qquad (2.6)$$

čia: T_{reikal} – reikalingas geotekstilės tempimo stipris; p' – įtempiai geotekstilėje, kurie truputį mažesni už p; p – padangos slėgis į dangos paviršių ; d_v – ant geotekstilės įrengiamo sluoksnio didžiausios oro ertmės tarp medžiagos atskirų mineralinių grūdelių skersmuo $\approx 0{,}33 d_a$; d_a – medžiagos didžiausių mineralinių grūdelių vidutinis skersmuo; $f(\in)$ – geotekstilės deformavimosi funkcija:

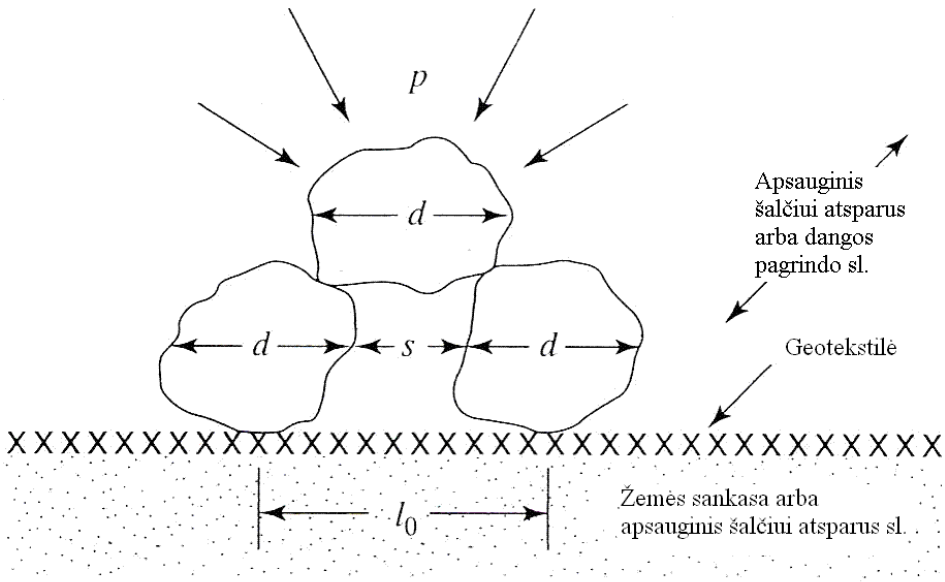
$$f(\in) = \frac{1}{4}\left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y}\right); \qquad (2.7)$$

čia: b – ant geotekstilės įrengto sluoksnio medžiagos oro ertmės tarp mineralinių grūdelių plotis; y – geotekstilės deformacijos gylis į oro ertmę.

Tempimo stiprio riba. Atskirianti geotekstilė kelio dangos sluoksniuose, ne tik gali plyšti, bet joje gali pasireikšti ir kiti procesai. Vienas tokių procesų – tempimo įtempiai, kurie pasireiškia horizontalia geotekstilės deformacija. Tai atsitinka tada, kai geotekstilė paklojama tarp dviejų kelio dangos sluoksnių ir viršutinio sluoksnio aukščiau glūdintys stambūs grūdeliai veikia žemiau esančius, kurie liečiasi su geotekstile. Šioje situacijoje būtina nustatyti didžiausius įtempius, kuriuos patiria geotekstilė, kol viršuje glūdintis užpildo grūdelis prasiskverbs pro žemesniuosius ir pasieks geotekstilę. Didžiausia neaustinės geotekstilės deformacija, kai tariama, kad užpildo grūdeliai neskyla ir neslysta geotekstilės paviršiumi, gali būti apskaičiuota 2.8 formule, o reali situacija pateikta 2.4 paveiksle. [2]:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0}(100) = \frac{[d + 2(d/2)] - 3(d/2)}{3(d/2)}(100) = 33\ \%; \qquad (2.8)$$

čia: l_0 – geotekstilės ruoželio ilgis tarp dviejų užpildo grūdelių centrų; l_f – deformuotos geotekstilės ruožo ilgis; d – stambiausiųjų grūdelių ant geotekstilės paviršiaus vidutinis skersmuo; $S \approx$ d/2.



2.4 pav. Geotekstilę veikiančios paviršiaus apkrovų tempimo jėgos

Pagal 2.8 formulę nustatyta deformacija tiesiogiai nepriklauso nuo ant geotekstilės įrengiamo sluoksnio medžiagos grūdelių dydžio. Taigi išraiška, kad geotekstilės deformacija bus 33 % yra tik hipotetinė. Austinėse geotekstilėse užpildo grūdeliai dažniausiai kažkiek slys geotekstilės paviršiumi, todėl geotekstilės deformacija padidės [2]. Tempimo stiprio riba, žiūrint apkrovos dydžio ir ant geotekstilės įrengiamo sluoksnio medžiagos grūdelių dydžio, apskaičiuojama formule [3]:

$$T_{reikal} = p'(d_v)^2[f(\in)]\,; \qquad (2.9)$$

čia: T_{reikal} – reikalingas geotekstilės tempimo stipris; p' – veikianti apkrova, d_v – ant geotekstilės įrengiamo sluoksnio oro ertmės didžiausias skersmuo tarp medžiagos mineralinių grūdelių $\approx 0{,}33 d_a$; d_a – medžiagos didžiausių mineralinių grūdelių vidutinis skersmuo; $f(\in)$ – geotekstilės deformavimosi funkcija (2.7).

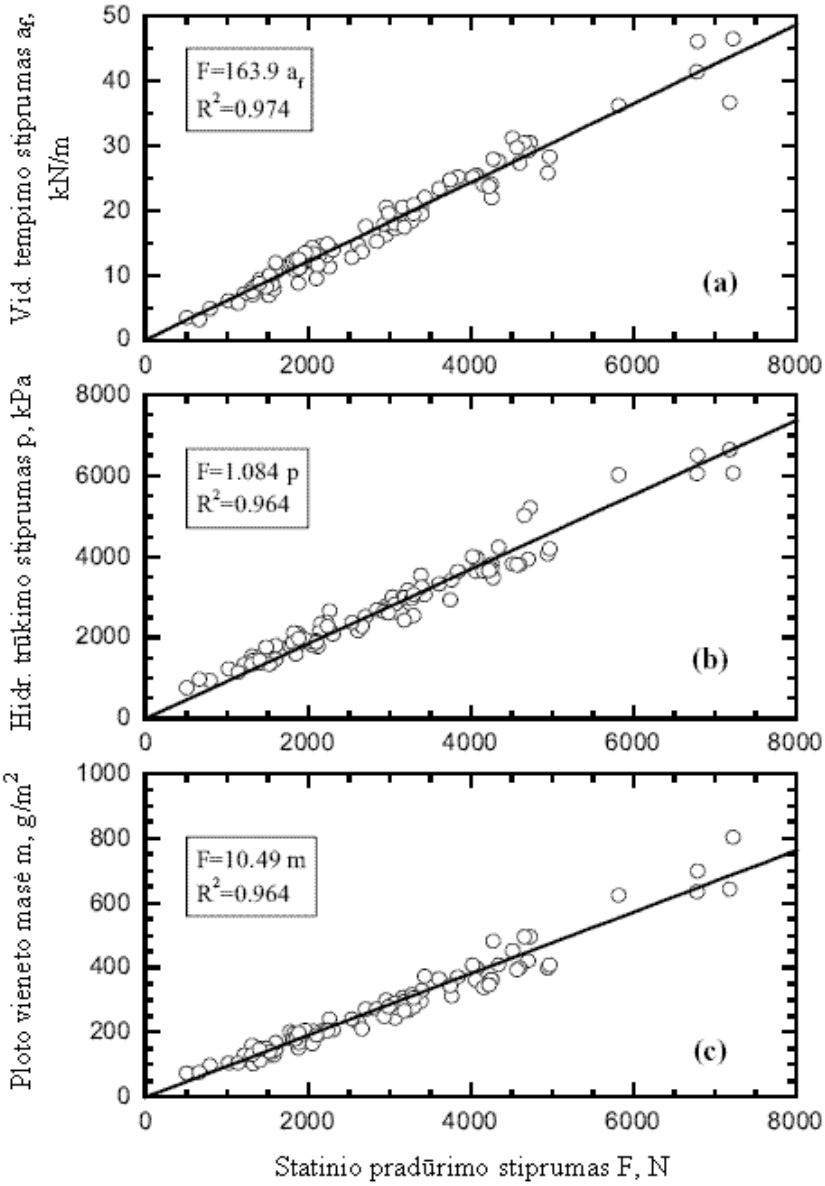
Pradūrimo atsparumas. Geotekstilė naudojama kelio dangos sluoksniams atskirti turi būti kuo mažiau pažeidžiama. Didžiausią žalą geotekstilei daro dangos sluoksniams įrengti naudojamų mineralinių medžiagų aštrios grūdelių briaunos, kurios gali pradurti geotekstilę. Šios pažaidos pasireiškia išpilant mineralines medžiagas tiesiog ant paklotos geotekstilės. Geotekstilė gali būti pradurta ir nuo mechanizmų, naudojamų kelio dangai įrengti, veikiant statinėms ir dinaminėms apkrovoms. Koerner‘is [2] šiai situacijai apibūdinti, kai geotekstilė yra veikiama vertikalių jėgų, siūlo tokią formulę:

$$F_{reikal} = p' d_a^{\,2} S_1 S_2 S_3\,; \qquad (2.10)$$

čia: T_{reikal} – vertikali jėga, kurią turi atlaikyti geotekstilė; p' –geotekstilę veikianti apkrova, apytikriai lygi padangos slėgiui į dangos paviršių (kai medžiaga pilama nestoru sluoksniu), d_a – ant geotekstilės įrengiamo sluoksnio aštrių mineralinių grūdelių vidutinis skersmuo; S_1 – aštrių mineralinių grūdelių veiksnys, apibūdinantis iškišų dydį; S_2 – aštrių mineralinių grūdelių dydžio veiksnys; S_3 – aštrių mineralinių grūdelių formos veiksnys; S_1, S_2, S_3 – kinta nuo 0,2 iki 0,9.

Geosintetinių medžiagų savybių priklausomybė. Daug mokslininkų yra tyre geosintetinių medžiagų, tarp jų ir geotekstilių, savybių tarpusavio priklausomybę [85–89], tačiau šie tyrimai apimdavo sąlyginai ribotą bandinių skaičių nuo 4 iki 17. D. K. Atmatzidis ir D. A. Chrysikos [90] tyrimais nustatė statinio pradūrimo stiprio (CBR bandymas) koreliaciją su kitomis mechaninėmis ir

fizinėmis geotekstilės savybėmis. Tiriant buvo bandyti 12 gamintojų 95 neaustinės geotekstilės iš propileno bandiniai. Analizuojant bandymų rezultatus nustatyta geotekstilių savybių koreliacija ir priklausomybės algoritmai pateikti 2.5 paveiksle.



2.5 pav. Statinio pradūrimo stiprio, ploto vieneto masės, hidraulinio trūkio stiprio ir vidutinio tempimo stiprio (stiprio išilgai ir skersai geotekstilės vidurkis) koreliacija
(pagal D. K. Atmatzidis ir D. A. Chrysikos [90])

Geotekstilės, naudojamos atskyrimo funkcijai, mechaninės savybės pagal 2.2 skyriaus matematines išraiškas galima nustatyti tik tais atvejais, kai virš geotekstilės įrengiamas vienas birių medžiagų dangos sluoksnis. Geotekstilės atranka taikant matematinius metodus nėra plačiai naudojama. Tai galima pagrįsti tuo, kad standartizuoti geotekstilės parinkimo metodai yra geriau

suprantami automobilių kelių ir gatvių dangų projektuotojams bei inžinieriams. Standartizuoti metodai taip pat užkerta kelią tą pačią situaciją interpretuoti skirtingai. Remiantis geotekstilių skirtingų savybių tarpusavio priklausomybe, galima nagrinėti mažiau reikalaujamų geotekstilės savybių, naudojant jas atskyrimo funkcijai.

2.3. Geotekstilių parinkimo būdų ir metodų analizė

Iki šiol Europoje nėra vieningų norminių dokumentų reglamentuojančių geotekstilės parinkimą automobilių kelių dangos sluoksniams atskirti. Šiam tikslui geotekstilės naudojamos vadovaujantis įvairių šalių sukurtomis normomis bei rekomendacijomis arba vadovaujantis projektuotojų ir gamintojų patirtimi. Šiaurės Europos šalys 2002 metais pateikė vieningą geotekstilės parinkimo ir kontrolės sistemą NorGeoSpec, skirtą automobilių keliams bei kitoms automobilių transporto veiklos sritims [67]. Ši sistema skirta Šiaurės Europos šalims ir apima pagrindinius reikalavimus geotekstilėms, reikalavimus, kokias būdingas savybes privalo deklaruoti gamintojas, specialius reikalavimus, žiūrint geotekstilės naudojimo sąlygų, rekomendacijas, kaip nustatyti geotekstilės savybių parametrus esant tam tikrom sąlygom. Pagal šią sistemą kelio dangos sluoksniams atskirti naudojamos geotekstilės skiriamos į penkis reikalavimų profilius, kuriems keliami atitinkami fiziniai–mechaniniai reikalavimai ir leistini nuokrypiai nuo jų (2.1 lentelė). Žiūrint profilio fizinius mechaninius reikalavimus parenkama geotekstilė kurios savybės tenkina šiuos reikalavimus.

Reikalavimų profilis (2.2 lentelė) nustatomas žiūrint natūralaus grunto būklės (stiprio), dangos įrengimo sąlygų, kelio kokybės ir didžiausių grūdelių matmenų medžiagos, kuri užpilama ant geotekstilės (2.3 ir 2.4 lentelės).

2.1 lentelė. Geotekstilės rodiklių reikalavimų profiliai [67]

Rodikliai	Didžiausias nuokrypis	Reikalavimų profilis				
		1	2	3	4	5
Didžiausia tempimo stiprumo riba (kN/m)	–10 %	6	10	15	20	26
Mažiausias pailgėjimas kai didžiausia apkrova (%)	–20 %	15	20	25	30	35
Didžiausias dinaminio prakirtimo atsparumas (mm)	+20 %	42	36	27	21	12
Mažiausias energijos indeksas (kN/m)		1,4	2,6	4,0	5,5	7,5
Mažiausias vandens pralaidumas (10^{-4} m/s)	–30 %	1	1	1	1	1
Didžiausia būdinga kiaurymė, O_{90}(mm)	±30 %	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15
Didžiausia ploto vieneto masės tolerancija		±12%	±12%	±10%	±10%	±10%
Didžiausia statinio spaudimo jėgos tolerancija		-10 %				

2.2 lentelė. Reikalavimų profilio parinkimas [43]

Grunto būklė	Eismo klasė	Didžiausio užpildo medžiagos grūdelio dydis (d_{max}), mm			
		d_{max}< 60	60 < d_{max}< 200	200< d_{max}< 500	d_{max}> 500
Silpnas	C	4	4	5	5
	B	3	4	4	5
	A	2	3	4	4
Tvirtas	C	2	3	3	4
	B	1*/2	2	3	3
	A	1*/2	2	2	3

*1 reikalavimų profilis gali būti naudojamas keliuose, kuriuose eismas nevyksta nuolat (privažiavimo keliai ir pan.).

2.3 lentelė. Grunto būklė žiūrint fizinių mechaninių savybių [43]

Grunto būklė	Grunto rūšis	Nedrenuotas kirpimo stipris
Silpnas	Minkštas molis, durpės	<25 kPa
Tvirtas	Kietas molis, smėlis, žvyras	>25 kPa

2.4 lentelė. Eismo klasės žiūrint dangos įrengimo sąlygų ir kelio kokybės [43]

Dangos įrengimo sąlygos	Kelio kokybės reikalavimai	
	Įprastiniai	Aukšti
Normalios	C	C
Nepalankios	A	B

Vokietijoje nuo 1980 metų geotekstilės stipriui klasifikuoti sėkmingai taikoma geotekstilių stiprio klasifikacijos sistema (Geotextile-Robustness–Classification GRC), pagal kurią geotekstilės skiriamos į keturias, o nuo 1994 metų į 5 stiprio GRC klases. Pagal šią sistemą užpildo medžiaga, žiūrint mineralinių grūdelių dydžio ir aštrumo, skiriama į 5 klases. Apkrovos skiriamos į 4 klases žiūrint dangos įrengimo sąlygų. Pagal užpildo medžiagos ir apkrovos klasę nustatoma geotekstilės GRC klasė (2.5 lentelė). GRC klasės neaustinėms geotekstilėms pateiktos 2.6 lentelėje [58, 91].

2.5 lentelė. GRC parinkimas atskyrimo funkcijai [58, 91]

Užpildo klasė	Apkrovos klasė			
	AB1	AB2	AB3	AB4
AS1	Grc1			
AS2	Grc2	Grc2	Grc3	Grc4
AS3	Grc3	Grc3	Grc4	Grc5
AS4	Grc4	Grc4	Grc5	(*)
AS5	Grc5	Grc5	(*)	(*)

(*) – būtina atlikti bandymus vietoje arba padidinti apsauginio sluoksnio storį

2.6 lentelė. GRC neaustinėms geotekstilėms [58, 91]

Geotekstilės stiprio klasė	Statinio spaudimo jėga	Ploto vieneto masė
GRC 1	≥0,5 kN	≥80 g/m^2
GRC 2	≥1,0 kN	≥100 g/m^2
GRC 3	≥1,5 kN	≥150 g/m^2
GRC 4	≥2,5 kN	≥250 g/m^2
GRC 5	≥3,5 kN	≥300 g/m^2

Lietuvoje geosintetinės medžiagos tiesiant ir rekonstruojant automobilių kelius bei miestų gatves naudojamos tik pastarąjį dešimtmetį. 1998 metais Lietuvos automobilių kelių direkcija išleido laikinuosius nurodymus „Geotekstilės ir geotinklų naudojimas tiesiant kelius“ [4], kuriais iki šiol vadovaujasi projektuotojai ir geosintetinių medžiagų tiekėjai. Šie nurodymai yra parengti vadovaujantis Vokietijos specialistų patirtimi ir jų parengtais dokumentais geosintetinėms medžiagoms, naudojamoms tiesiant kelius. Šiuose nurodymuose GRC klasė nustatoma ir geotekstilės skiriamos atitinkamai klasei taip pat pagal 2.5 ir 2.6 lentelių reikalavimus.

NorGeoSpec sistema klasifikuojant geotekstiles reglamentuoja daugelį fizinių mechaninių geotekstilės savybių ir leidžiamus nuokrypius nuo jų, tačiau ploto vieneto masei ir statinio spaudimo jėgai reglamentuojami tik leistini nuokrypiai nuo gamintojo deklaruojamų parametrų. Tai yra esminis skirtumas nuo Vakarų Europoje ir Lietuvoje taikomų normatyvų. Lietuvoje parenkant geotekstilę lemiamą vaidmenį lemia medžiagos ploto vieneto masė ir statinio spaudimo jėga.

2.4. Reikalingos geosintetinių medžiagų savybės

„LST EN 13249 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai“ standarte pateikiamos būtinosios savybės, naudojant ją keliams tiesti ir kitų transporto sričių statiniams, taip pat taikytini bandymų metodai. 2.7 lentelėje pateiktos savybės, kurias reikia suderinti (H), savybės svarbios visoms naudojimo sąlygoms (A) ir svarbios specifinėms naudojimo sąlygoms (S), savybės (--) tai paskirčiai nesvarbios.

Visos gamintojų tiekiamos geosintetinės medžiagos turi būti išbandytos sparčiuoju atmosferos poveikio metodu pagal LST EN 12224, jeigu jos yra uždengiamos paklojimo dieną. Pagal tai, kokį stiprį gaminys išlaiko bandymo pabaigoje, ir atsižvelgiant į gaminio taikymo pobūdį, nustatomas laikotarpis, kurį medžiaga gali būti neuždengta aikštelėje. Ilgiausias neuždengimo laikas pateiktas 2.8 lentelėje. Ilgesnius bandymus būtina daryti su tomis medžiagomis, kurių neuždengimo laikas yra ilgesnis. Geosintetinės medžiagos, kurių atsparumas atmosferos poveikiui nebuvo nustatomas, turi būti uždengtos per vieną dieną. Tos pačios rūšies gaminiai pirmiausia turi būti

bandomi tie, kurių vienetinio ploto masė yra mažiausia. Bandymo rezultatai gali būti taikyti kitiems tos pačios grupės gaminiams, nebent jie buvo bandomi atskirai.

2.7 lentelė. Geosintetinių medžiagų, naudojamų tiesiant kelius ir kitose transporto veiklos srityse, savybės, paskirtis, ir taikytini bandymo metodai

Savybė	Bandymo metodas	Paskirtis		
		Filtravimas	Atskyrimas	Armavimas
1	2	3	4	5
Tempimo stipris [b]	LST EN ISO 10319	H	H	H
Pailgėjimas kai didžiausia apkrova	LST EN ISO 10319	A	A	H
Siūlių ir jungčių tempimo stipris	LST EN ISO 10321	S	S	S
Statinio pradūrimo atsparumas (CBR bandymas) [a, b]	LST EN ISO 12236	S	H	H
Dinaminio prakirtimo atsparumas (bandymas krentančiu kūgiu) [a]	LST EN ISO 13433	H	A	H
Trinties savybės	LST EN ISO 12957-1 ir LST EN ISO 12957-2	S	S	A
Valkšnumas tempiant	LST EN ISO 13431	--	--	S
Pažaidos įrengiant dangą	LST L ENV ISO 10722-1	A	A	A
Būdingas kiaurymės dydis	LST EN ISO 12956	H	A	--
Vandens laidumas statmena plokštumai kryptimi	LST EN ISO 11058	H	A	A
Tvarumas	2.4.4 skyrius	H	H	H
Atsparumas atmosferos poveikiui	LST EN 12224	A	A	A
Atsparumas cheminiam senėjimui	LST EN 12960 arba LST EN 13438, LST L ENV 12447	S	S	S
Atsparumas mikrobiologiniam irimui	LST EN 12225	S	S	S

[a] Reikia atsižvelgti į tai, kad šis bandymas netaikomas kai kurių tipų gaminiams, pvz., geotinklui.
[b] Jeigu mechaninės savybės (tempimo stipris ir statinio pradūrimo atsparumas) šioje lentelėje pažymėtos raide H, gamintojas turi pateikti duomenis apie abi šias savybes. Jeigu svarbi yra tik viena kuri savybė – ar tempimo stipris ar statinio pradūrimo atsparumas, pakanka tai nurodyti techniniame apraše.

Pastaba: Visi standartai susiję su geosintetinių medžiagų naudojimu tiesiant kelius ir geosintetinių medžiagų bandymu metodais pateikiami priede Nr. 1

2.8 lentelė. Ilgiausias geotekstilės neuždengimo laikas

Taikymas	Liekamasis stipris, %	Ilgiausias neuždengimo laikas ją paklojus
Armavimui ar kitam tikslui, kai ilgalaikis stipris svarbus rodiklis	>80	1 mėnuo [a]
	nuo 60 iki 80	2 savaitės
	<60	1 diena
Pritaikymas kitam tikslui	>60	1 mėnuo [a]
	nuo 20 iki 60	2 savaitės
	<20	1 diena
[a] Gali būti leidžiama neuždengti iki 4 mėnesių, tai priklauso nuo sezono ir nuo to, kokioje Europos vietoje vykdomi darbai.		

Geosintetinės medžiagos, kurios susideda iš poliesterio, polietileno, polipropileno, poliamido 6 ar poliamido 6.6, ar iš jų derinio ir į kurių sudėtį neįeina pakartotinio naudojimo žaliavos, yra pakankamai ilgaamžės ir tinka naudoti mažiausiai penkerius metus, numatant, kad jos bus naudojamos:

1) ne gruntams armuoti ir jei ilgalaikis stipris nėra svarbus rodiklis;
2) natūraliuose gruntuose, kurių pH yra nuo 4 iki 9;
3) gruntuose, kurių temperatūra < 25 ^{o}C.

Geosintetinės medžiagos, kurios susideda iš poliesterio, polietileno, polipropileno, poliamido 6 ar poliamido 6.6, ar iš jų derinio ir į kurių sudėtį neįeina pakartotinio naudojimo žaliavos, gali būti apibūdinamos kaip pakankamai ilgaamžės ir tinkamos naudoti ne mažiau kaip 25 metus, numatant, kad jos bus naudojamos natūraliuose gruntuose, kurių pH yra nuo 4 iki 9 ir kurių temperatūra < 25 ^{o}C, o taip pat atitinka standartų reikalavimus hidrolizei ir oksidacijai.

LST EN 13249 reglamentuoja geosintetinių medžiagų, naudojamų tiesiant kelius ir kitose transporto srityse, būtinąsias savybes. Kuriant geotekstilių parinkimo teorinį modelį Lietuvos sąlygoms būtina atsižvelgti į šio standarto reglamentuojamas geosintetinių medžiagų būtinąsias savybes, naudojant šias medžiagas atskyrimo funkcijai. Atskyrimo funkcijai svarbiausios yra šios savybės: pailgėjimas veikiant didžiausiai apkrovai, dinaminio prakirtimo atsparumas, pažaidos įrengiant dangą, būdingas kiaurymės dydis, vandens laidumas statmena plokštumai kryptimi, atsparumas atmosferos poveikiui.

2.5. Teorinis geotekstilių parinkimo modelis Lietuvos sąlygoms

Kuriant racionalų geotekstilės parinkimo teorinį modelį Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių konstrukcijų skirtingiems sluoksniams atskirti, turi būti nagrinėjami tokie klausimai:

1) Tarp kurių sluoksnių tikslinga kloti geotekstilę?

2) Kokiais atvejais tikslinga kloti geotekstilę tarp sluoksnių?
3) Kokios rūšies geotekstilę naudoti atskiriamiesiems tarpsluoksniams?
4) Kurios geotekstilės savybės yra svarbiausios atskyrimo funkcijai realizuoti?
5) Kokie veiksniai turi didžiausią įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti?

Atsakymai į šiuos klausimus leis pateikti nuoseklų teorinį geotekstilių parinkimo modelį Lietuvos sąlygoms.

1. Pagal šio mokslo darbo pirmo skyriaus mokslininkų tyrimų bei mokslo darbų analizę galima teigti, kad geotekstilės tarpsluoksnį efektyvu naudoti tarp žemės sankasos ir ant jos įrengiamo dangos pagrindo sluoksnio (apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio). Dėl specifinių klimatinių sąlygų tipinėse Lietuvos automobilių keliuose virš žemės sankasos yra įrengiamas apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis, kuris turi nuleisti vandenį iš dangos į kelio griovius ar vandens surinkimo šulinius, bei užkirsti kelią dangos įšalui žiemą. Virš apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio yra įrengiamas dangos pagrindo sluoksnis. Daugelyje Europos bei Pasaulio šalių automobilių kelių bei miestų gatvių konstrukcijos yra be apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio, todėl ten tiriamas ir analizuojamas žemės sankasos ir dangos pagrindo medžiagų susimaišymas. Lietuvos sąlygoms geotekstilės tarpsluoksnius tikslinga rengti tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio. Pastaruoju atveju geotekstilės tarpsluoksnį būtų racionalu naudoti tuomet, kai dangos pagrindo sluoksniui naudojami siaurų frakcijų užpildai be smulkesnių dalelių.

2. Pagal mokslininkų tyrimų bei mokslo darbų rezultatų analizę pirmame skyriuje galima teigti, kad tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio geotekstilės tarpsluoksnį efektyvu įrengti tais atvejais, kai žemės sankasa įrengta iš molingų arba dulkingų gruntų – $ŽD_o$, $ŽM_o$, SD_o, SM_o, DL, DV, DR, ML, MV, MR, OD, OM, OH, OK, HN pagal LST 1331:2001 [92]. Tarp apsauginio šalčiui atsparaus ir dangos pagrindo sluoksnių geotekstilės tarpsluoksnį efektyvu įrengti tais atvejais, kai 1) apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis įrengiamas iš 0/4 frakcijos arba smulkesnio smėlio, o dangos pagrindas iš birios medžiagos, kurios smulkiausių grūdelių skersmuo $\geq$ 16 mm, 2) ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio, kai jį įrengiant, medžiagos statinis deformacijos modulis E_{V2} < 80 MPa, o dangos pagrindas įrengiamas iš birios medžiagos, kurios smulkiausių grūdelių skersmuo $\geq$ 16 mm.

3. Analizuojant pirmo skyriaus mokslininkų tyrimų rezultatus nustatyta, kad kelio žemės sankasos ir dangos sluoksniams atskirti geriausiai tinka neaustinės geotekstilės, o neaustinės kamšytos adatomis geotekstilės yra laidžiausios vandeniui. Kai žemės sankasos gruntai yra itin

plastiški ar dulkingi, siūloma naudoti tik neaustines geotekstiles, kadangi austinės geotekstilės daug labiau užkemšamos žemės sankasos grunto dalelėmis.

Lietuvos sąlygomis geotekstilės tarpsluoksnius siūloma rengti tik iš neaustinių adatomis kamšytų geotekstilių.

4. Geosintetinių medžiagų, naudojamų atskyrimo funkcijai tiesiant kelius ir kitose transporto srityse, svarbiausios savybės yra reglamentuojamos standarte LST EN 13249:2004. Pagal pirmo skyriaus mokslininkų tyrimų analizę galima išskirti tokias svarbiausias geotekstilių savybes atskyrimo funkcijai realizuoti:

1) tempimo stiprio riba;
2) statinio ir dinaminio pradūrimo atsparumas;
3) pailgėjimas;
4) vandens bei dujų laidumas;
5) būdingas kiaurymės dydis.

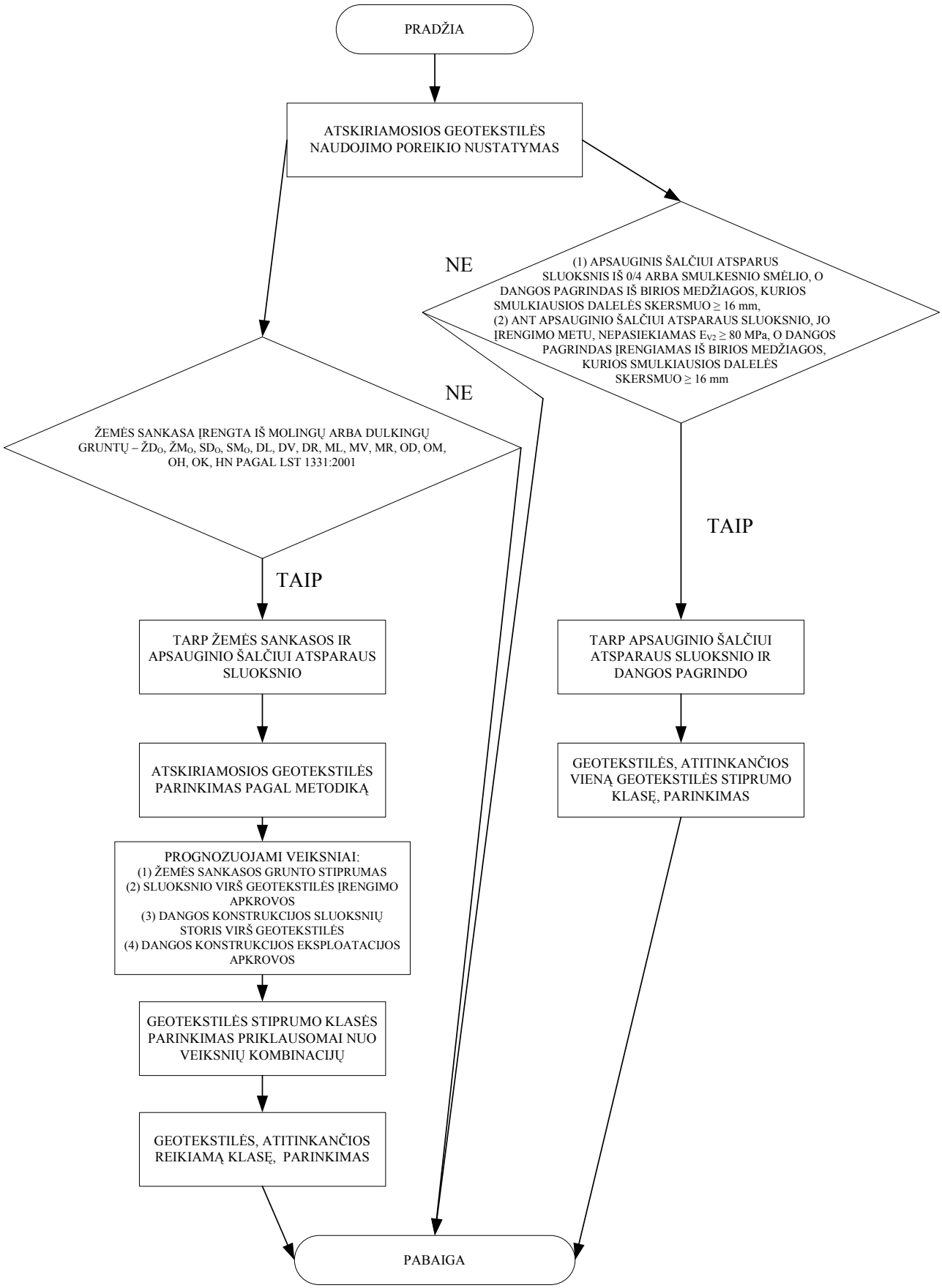
5. Veiksniai turintys didžiausią įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti įrengiant dangą bei eksploatuojant kelią pateikti 2.9 lentelėje.

2.9 lentelė. Veiksniai turintys didžiausią įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti įrengiant dangą bei eksploatuojant kelią

Veiksniai, turintys didžiausią įtaką geotekstilės pažaidoms atsirasti	Įrengiant dangą	Eksploatuojant dangą
Žemės sankasos grunto savybės (stipris, dalelių dydis, plastiškumas, drėgnis)	+	+
Sluoksnio, įrengto ant geotekstilės, savybės (užpildo granuliometrinė sudėtis, smulkmės kiekis, grūdelių dydis bei kampuotumas)*	+	+
Sluoksnių, tarp kurių paklota geotekstilė medžiagų stipris	+	+
Ant geotekstilės įrengiamo sluoksnio storis*	+	
Sluoksnio virš geotekstilės įrengimo mechanizmų apkrovos	+	
Virš geotekstilės įrengto(ų) sluoksnių storis		+
Apkrovos eksploatuojant kelią		+
Klimato sąlygos	+	+
Geotekstilės savybės	+	+

* Mokslininkų įrodyta, kad geotekstilių įrengimo metu pažaidų atsiradimas labiau priklauso nuo užpilamo užpildo dalelių formos nei nuo užpilamo sluoksnio storio.

Teorinis atskyrimo geotekstilių parinkimo modelis Lietuvos sąlygoms pateiktas 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Teorinis atskiriamųjų geotekstilių parinkimo modelis Lietuvos sąlygoms

2.6. Antrojo skyriaus išvados

1. Specialios, geotekstilės parinkimo atskyrimo funkcijai, sistemos bei metodikos sėkmingai taikomos Vokietijoje, Skandinavijos bei kitose Europos šalyse. Pagal šiose sistemose bei metodikose apibūdintas geotekstilės savybės, jų suminę įtaką galima nustatyti tinkamiausią geotekstilę atskyrimo funkcijai atlikti.
2. Geotekstilės parinkimo sistema NorGeoSpec gali būti racionaliai taikoma, kai virš geotekstilės įrengiamo dangos sluoksnio medžiagos didžiausių mineralinių grūdelių dydis kinta nuo 60 iki 500 mm. Tačiau ši sistema nėra tinkama kai kelio dangos sluoksniai įrengiami iš medžiagų, kurių didžiausių mineralinių grūdelių dydis < 60 mm.
3. Lietuvoje naudojami pagal Vokietijos patirtį parengti geosintetinių medžiagų naudojimo laikinieji nurodymai parinkti geotekstilę reglamentuoja tik du rodiklius – ploto vieneto masę ir statinio spaudimo jėgą. Mokslininkai yra įrodę tiesinę priklausomybę tarp šių dviejų neaustinės geotekstilės rodiklių.
4. Geotekstilei skirta funkcija bus tinkamai realizuota, jeigu energija, sunaudota įrengiant žemės sankasą ir dangą bei eksploatuojant kelią neviršys ribinės geotekstilės energijos vertės (energijos indekso). Kai geotekstilė naudojama dangos sluoksniams atskirti griežtai reikalaujama, kad ji turėtų pakankamai deformavimosi energijos.
5. Naudojant geotekstilę atskyrimo funkcijai, mažiausia geotekstilės tempimo stiprio riba nėra labai svarbi jos savybė. Ši savybė būtinai turėtų būti nustatyta tais atvejais, kai geotekstilė ar kita geosintetinė medžiaga bus naudojama armavimo funkcijai.
6. Mokslininkų, tyrusių geotekstilių savybių kitimo priklausomybes nuo pažaidų, susidarančių ant geotekstilės įrengiant pagrindo sluoksnius įrodyta, kad didžiausia koreliacija yra tarp geotekstilės pažaidų ploto ir energijos indekso. Kitų mokslininkų įrodyta, kad ant geotekstilės įrengiant pagrindo sluoksnius, susidariusių pradūrimų skersmenų suma geriausiai koreliuoja su geotekstilės ploto vieneto mase bei tempimo stiprio riba.
7. Teorinio geotekstilių parinkimo modelio prielaidoms patvirtinti ar paneigti bei sukurti patikimą geotekstilių parinkimo metodą Lietuvos automobilių kelių ir gatvių konstrukcijoms būtini eksperimentiniai tyrimai, kuriais būtų nustatyta:
    a) geotekstilės pažaidų bei atskyrimo funkcijos realizavimo priklausomybė nuo apkrovų pasireiškiančių įrengiant dangą;
    b) geotekstilės pažaidų bei atskyrimo funkcijos realizavimo priklausomybė nuo automobilių eismo apkrovų eksploatuojant kelią, nuo dangai įrengti naudotų medžiagų bei nuo dangos storio virš geotekstilės;

c) geotekstilės mechaninių savybių priklausomybė nuo jos pažaidų laipsnio kitėjimo.

8. Eksperimentiniais tyrimais reikia nustatyti veiksnius, turinčius įtaką atskyrimo funkcijai Lietuvos sąlygomis. Eksperimentinių tyrimų apimčiai sumažinti, tokių veiksnių, kaip žemės sankasos grunto stipris, kurie yra nuodugniai analizuoti kitų mokslininkų, galima nenagrinėti.

Šio skyriaus medžiaga paskelbta [1a, 5a, 8a] publikacijose.

3. GEOTEKSTILĖS NAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ IR GATVIŲ DANGOS SLUOKSNIAMS ATSKIRTI EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

3.1. Eksperimentinių tyrimų etapai

Analizuojant literatūros šaltinius (1 ir 2 skyriai) buvo nustatyti pagrindiniai veiksniai turintys įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti bei atskyrimo funkcijai realizuoti. Atsižvelgiant į šiuos veiksnius buvo vykdomi tokie eksperimentiniai tyrimai:

1) geotekstilės pažaidų bei atskyrimo funkcijos kitėjimui nuo apkrovų įrengiant dangą nustatyti;
2) geotekstilės pažaidų bei atskyrimo funkcijos kitėjimui, nuo dangai įrengti naudotų medžiagų, bei nuo dangos storio virš geotekstilės ir nuo automobilių eismo apkrovų eksploatuojant kelią nustatyti;
3) geotekstilės mechaninių savybių kitėjimui nuo jos pažaidų laipsnio nustatyti.

Eksperimentinių tyrimų metodika, rezultatai bei jų analizė pateikti 3.2; 3.3; 3.4 poskyriuose.

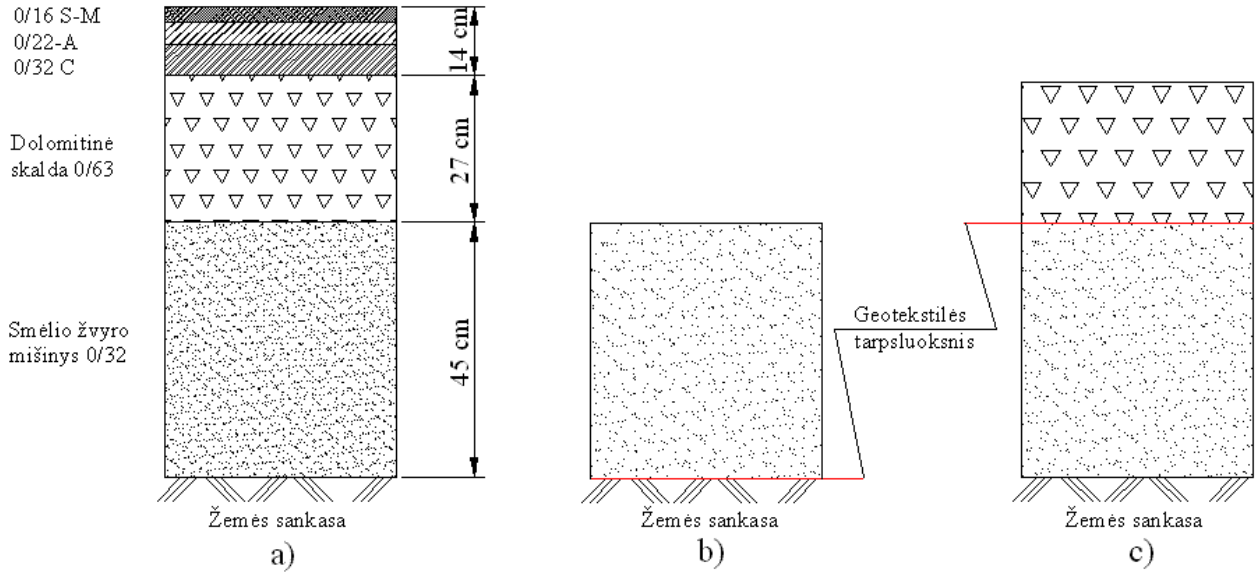
3.2. Eksperimentiniai tyrimai geotekstilės pažaidoms nustatyti įrengiant dangą

Eksperimentinių tyrimų tikslas – apibūdinti kelio dangos sluoksnių atskyrimo geotekstile sąlygas, žiūrint geotekstilės pažaidų, susidariusių įrengiant dangą. Tikslui pasiekti planuojama:

1) tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo pakloti po penkis skirtingo stiprio neaustinės geotekstilės bandinius;
2) užtikrinti, kad kiekvieno įrengiamo dangos sluoksnio stipris (deformacijos modulis) būtų nemažesnis kaip projektinis;
3) rankiniu būdu iškasti geotekstilės bandinius iš kelio dangos, užtikrinant kad iškasant bandiniai nebus papildomai pažeisti;
4) vizualiai apibūdinti geotekstilės pažaidas ir sluoksnių atskyrimo sąlygas.

Tyrimai buvo vykdomi Lietuvos magistraliniame kelyje A1 (Vilnius – Kaunas – Klaipėda). Šiame kelyje 2005 m. vasara buvo platinama automagistralės danga, įrengiant papildomą eismo juostą. Eksperimentiniai tyrimai buvo vykdomi ruože ties Kariotiškių gyvenviete (24–31 km). Šiame ruože danga platinta link kelkraščio, įrengiant 5 m pločio naują dangą. Dangos konstrukcijos skersinis pjūvis pateiktas 3.1 paveiksle. Šiame ruože žemės sankasa supilta iš geros sanklodos smėlio (SG pagal LST 1331 [92]). Apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis įrengtas iš smėlio ir žvyro

mišinio 0/32, dangos pagrindo sluoksnis – iš dolomitinės skaldos 0/63 [93]. Viršutinę dangos konstrukciją sudaro trys asfaltbetonio sluoksniai: pagrindo 0/32-C, apatinis 0/22-A, dėvėjimosi 0/16-SM sluoksnių asfaltbetonis [94].



3.1 pav. Automagistralės naujai įrengiamos dangos konstrukcijos skersinis pjūvis ir atskiriamosios geotekstilės paklojimo lygmenys: a) kelio konstrukcijos skersinis pjūvis; b) virš geotekstilės bandinių įrengtas apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis; c) virš geotekstilės bandinių įrengtas dangos pagrindo sluoksnis.

Automagistralės tiriamajame kelio ruože, dangos platinimo juostoje, dviejuose 15 m ilgio bandymų ruoželiuose buvo pakloti penkių rūšių skirtingų gamintojų atskiriamosios geotekstilės bandiniai, kurių ploto vieneto masė, atitinkamai, 110 g/m^2; 130 g/m^2; 170 g/m^2; 200 g/m^2 ir 300 g/m^2 (3.2 pav.). Geotekstilės gamintojų deklaruojamos medžiagos savybės pateiktos 3.1 lentelėje.

3.2 pav. 5 rūšių geotekstilė paklota ant žemės sankasos

3.3 pav. Pirmojo bandymų ruoželio žemės sankasa

3.1 lentelė. Gamintojų deklaruojamos bandomųjų geotekstilių savybės

Geotekstilės bandinio Nr.	Polimero tipas	Ploto vieneto masė	Tempimo stiprio riba	Pailgėjimas, kai veikia didžiausia apkrova	Statinio pradūrimo atsparumas (CBR)	Dinaminio prakirtimo atsparumas	Vandens laidumas	Būdingas kiaurymės dydis
		Standartas reglamentuojantis bandymo metodą						
		EN 965	EN ISO 10319	EN ISO 10319	EN ISO 12236	EN 918	EN ISO 11058	EN ISO 12956
		Vienetai						
		g/m^2	kN/m	%	kN	mm	m/s	µm
1	PP	110	MD 5,5 CD 6,5	60–70	1,0	32	0,09	100
2	PP	130	MD 7,5 CD 8,5	60–70	1,4	27	0,09	100
3	PP	170	MD 11 CD 13	55–65	2,0	24	0,09	90
4	PP	200	MD 12 CD 14	55–65	2,2	22	0,08	80
5	PP	300	MD 17,4 CD 19,5	50	3,1	16	0,065	50

PP – polipropilenas; (MD) – išilgai medžiagos; (CD) – skersai medžiagos.

Pirmajame bandymų ruoželyje atskiriamosios geotekstilės bandiniai pakloti tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio, antrajame – tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio. Kiekvienos geotekstilės pakloti 12 m^2 (3 m * 4 m), antrajame – 9 m^2 (3 m * 3 m) bandiniai. Pirmajame bandymų ruoželyje skirtingų tipų geotekstilė paklota ant žemės sankasos, kurios paviršius lygus, be žymesnių mineralinių grūdelių iškyšų, statinis deformacijos modulis $E_{V2} \geq 45$ MPa (3.3 pav.). Žemės sankasa supilta iš šalčiui nejautraus geros sanklodos smėlio (didžiausias mineralinės medžiagos grūdelis 30–35 mm), kuris skiriamas SG gruntų grupei. Virš geotekstilės išpiltas žvyras ir jį užstumiant įrengtas 45 cm storio apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis iš šalčiui nejautraus geros sanklodos žvyro (didžiausias grūdelis 30–35 mm), kuris skiriamas ŽG gruntų grupei. Šis sluoksnis įrengtas atskirai supilant ir tankinant du 30 cm ir 15 cm storio sluoksnius. Įrengiant abu sluoksnius smėlio žvyro mišinio sutankinimui naudotas 12 t vibracinis volas, kuris kiekvienu sluoksniu pravažiavo po 5 kartus pirmyn ir atgal. Antrajame bandymų ruoželyje skirtingo tipo geotekstilės bandiniai pakloti ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio (3.4 pav.). Virš geotekstilės bandinių įrengtas 27 cm storio dangos pagrindo sluoksnis iš dolomitinės skaldos 0/63. Didžiausia šio sluoksnio skaldelė – 60 mm. Kaip ir pirmajame bandymų ruoželyje sluoksnis virš geotekstilės buvo įrengtas supiltas medžiagas

skleidžiant užstūmimo būdu. Šio sluoksnio skalda tankinta 8 t vibraciniu volu, pravažiuojant 5 kartus pirmyn ir atgal.

Abejuose bandymų ruoželiuose virš geotekstilės įrengus atitinkamus kelio dangos sluoksnius ir jų medžiagas sutankinus iki projektinio stiprio – statinio deformacijos modulio (apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui – 100 MPa, dangos pagrindo sluoksniui – 180 MPa [1]), geotekstilės bandiniai buvo atkasti ir išimti. Atkasant bandinius, kad nepažeisti bandomųjų medžiagų, visi darbai buvo vykdomi rankiniu būdu (3.5 pav.).

3.4 pav. Penkių rūšių geotekstilės bandinių įrengimas ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio

3.5 pav. Apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagų iškasimas rankiniu būdu

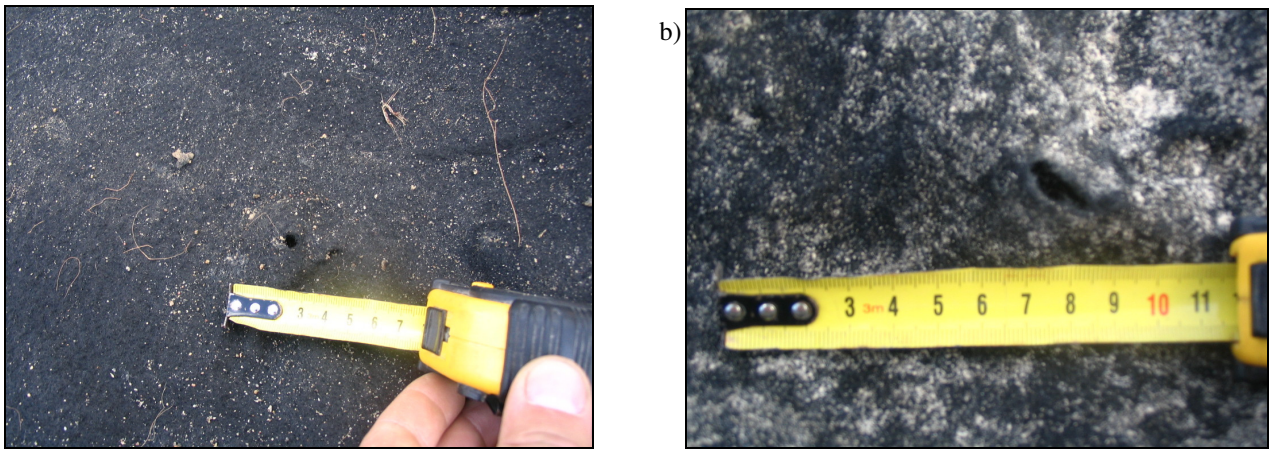
Tyrimo metu kelio dangos sluoksnių atskiriamosios geotekstilės pažaidos buvo nustatomos pagal British Standard BS 8006, priedo D [62] metodiką. Bandomuose kelio ruoželiuose paklotuose geotekstilės bandiniuose buvo nustatytos tokios jų pažaidos: nuotrynos, įpjovos ir pradūros. Nuotrynos kai kuriose vietose buvo pastebėtos tik ant geotekstilės, kurios ploto vieneto masė 130 g/m^2, bandiniuose iš pirmojo bandymų ruoželio (tarp žemės sankasos ir šalčiui atsparaus sluoksnio). Įpjovų geotekstilės bandiniuose neužfiksuota. Geotekstilės bandiniuose daugiausia nustatyta pradūrų. Pažaidų (pradūrų) pavyzdžiai pateikti 3.6 pav. Geotekstilių pažaidų lyginamuoju rodikliu buvo pasirinkta pažaidų plotų sumos, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu, procentinė išraiška (%).

Pirmajame bandymų ruoželyje iškastuose geotekstilės bandiniuose, kurie buvo pakloti tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio, nustatytos šios pažaidos (pradūros):

- ✓ 110 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose pastebėti ryškūs įspaudimai, randama vidutiniškai dvi pradūros 1 m^2, kurių plotas iki 0,025 %, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu;

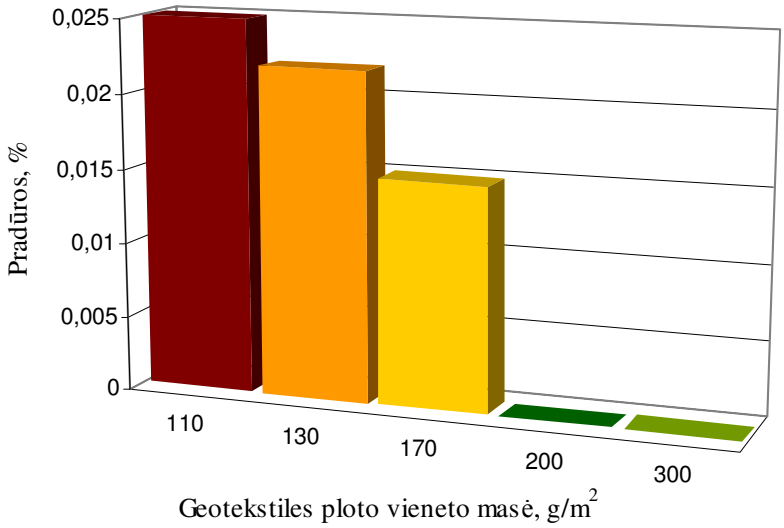
- ✓ 130 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose pastebėta vidutiniškai po vieną pradūrą 1 m^2, jų plotas iki 0,022 %, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu. Vietomis pastebimos nutrynos;
- ✓ 170 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose rasta nemažai pradūrų, tačiau jos nėra didelės (0,3–0,5 cm^2), vidutiniškai po 3 pradūras 1 m^2, kurių plotas iki 0,015 %, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu;
- ✓ 200 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose nustatytos nežymios medžiagos įspaudos, tačiau jokių pradūrų neužfiksuota;
- ✓ 300 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose nenustatyta jokių įspaudų ar pradūrų.

a) b)



3.6 pav. Geotekstilės pažaidų (pradūrų) pavyzdžiai: a) geotekstilė, kurios ploto vieneto masė 110 g/m^2 (paklota tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio); b) geotekstilė, kurios ploto vieneto masė 130 g/m^2 (paklota tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio)

Tyrimų pirmajame bandymų ruože rezultatų palyginamieji rodikliai pateikti 3.7 paveiksle.

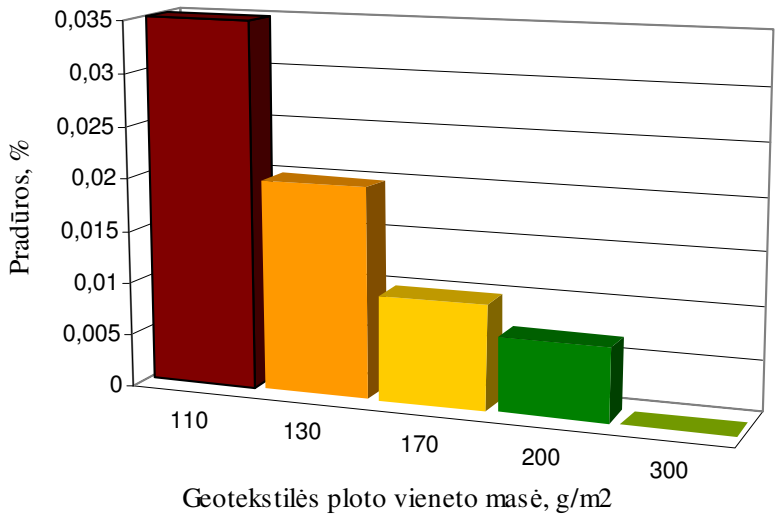


3.7 pav. Pirmojo bandymų ruoželio geotekstilės bandinių pradūrų plotas, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu

Antrojo bandymų ruoželio geotekstilės bandinių, kurie buvo pakloti tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio, nustatytos šios pažaidos:

- visuose geotekstilės bandiniuose rastos įspaudos nuo dolomitinės skaldos stambių grūdelių:
- 110 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose pastebėta vidutiniškai po dvi iki 2 cm^2 ploto pradūras 1 m^2, kurių plotas iki 0,035 %, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu;
- 130 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose pastebėta po 2 pradūras 1 m^2, kurių plotas iki 0,02 %, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu;
- 170 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose pastebėtos pavienės pradūros iki 1 cm^2 dydžio. Visų pradūrų plotas – iki 0,01 %, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu;
- 200 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose visų pradūrų plotas siekė iki 0,007 %, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu;
- 300 g/m^2 ploto vieneto masės bandiniuose pastebėtos labai nežymios įspaudos, pradūrų nenustatyta.

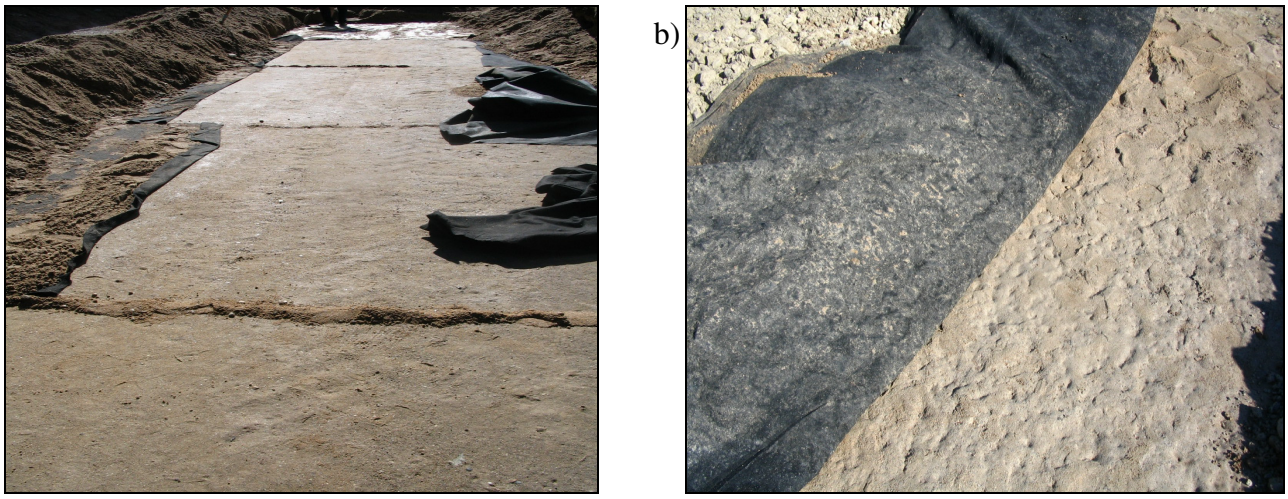
Antrojo bandymų ruoželio tyrimų rezultatų lyginamieji rodikliai pateikti 3.8 paveiksle.



3.8 pav. Antrojo bandymų ruoželio geotekstilės bandinių pradūrų plotas, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu

Analizuojant tyrimų rezultatus galima teigti, kad visų geotekstilės bandinių pažaidos, susidariusios įrengiant dangos sluoksnius virš jų, neturėjo ženklios įtakos sluoksnių atskyrimo funkcijai atlikti. Tai akivaizdžiai matoma 3.9 paveiksle. Vizualiai apžiūrėjus geotekstilės bandinius galima teigti, kad geotekstilės pradūros yra reikšmingiausios pažaidos, turinčios neigiamą įtaką kelio dangos sluoksniams atskirti.

a) b)



3.9 pav. Kelio dangos sluoksnių atskyrimo funkcijos realizavimas, atidengus bandymų ruoželių dangos sluoksnius: a) žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio atskyrimas; b) apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio atskyrimas

Eksperimentinių tyrimų rezultatai paneigia 1-ajame šio mokslo darbo skyriuje analizuotų kitų mokslininkų eksperimentinių tyrimų teiginius, kad geotekstilės svarbiausios pažaidos susidaro įrengiant dangą. Šių tyrimų rezultatai parodė, kad net silpniausia sluoksniams atskirti naudojama geotekstilė gali atlaikyti įrengimo mašinų apkrovas ir realizuoti sluoksnių atskyrimo funkciją (tipinėse Lietuvos automobilių kelių dangose). Taigi būtina organizuoti kitą eksperimentinį tyrimą, kurio metu būtų nustatyta geotekstilės pažaidų bei atskyrimo funkcijos kitėjimas, nuo dangai įrengti naudotų medžiagų, bei nuo dangos storio virš geotekstilės ir nuo automobilių eismo apkrovų eksploatuojant kelią.

3.3. Eksperimentiniai tyrimai nustatyti geotekstilės pažaidoms nuo transporto priemonių apkrovų eksploatuojant kelią

Eksperimentinių tyrimų tikslas – apibūdinti geotekstilės pažaidų susidarymo bei atskyrimo funkcijos tendencijas, žiūrint kelio dangai ir pagrindui įrengti naudotų medžiagų bei krovininio automobilių eismo poveikio. Tikslui pasiekti planuojama:

- ✓ įrengti bandomąjį ruožą kelyje, kurio krovininių automobilių eismo paros intensyvumas ≥ 150 aut/parą;
- ✓ kelio dangoje tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio pakloti du skirtingo stiprio neaustinės geotekstilės pavyzdžius;
- ✓ neaustinės geotekstilės pavyzdžius atrinkti taip, kad vieno jų medžiaga atitiktų pačių silpniausiųjų atskiriamųjų geotekstilių savybes, kito – stipriausiųjų;

- ✓ kelio dangos pagrindui naudoti tris medžiagas ar jų mišinius, kurie teoriškai daro mažiausią bei didžiausią žalą tarpsluoksnio neaustinei geotekstilei;
- ✓ garantuoti, kad klojant geotekstilę ji nebūtų tiesiogiai veikiama kelių tiesimo mašinų apkrovų;
- ✓ bandomuoju ruožu pravažiavus 34000 ir 68000 ekvivalentinių standartinių ašių (ESA), perskaičiuotų 100 kN, iškasti geotekstilės bandinius iš kelio dangos, laiduojant kad šie bandiniai nebus papildomai pažeisti juos iškasant;
- ✓ vizualiai ir matavimais apibūdinti geotekstilės pažaidas bei kelio dangos sluoksnių atskyrimo sąlygas.

Eksperimentiniai tyrimai nustatyti geotekstilės pažaidoms nuo transporto priemonių apkrovų eksploatuojant kelią pradėti 2006-07-31 ir baigti 2007-04-14. Tyrimai daryti vietinės reikšmės kelyje su žvyro danga, kuriuo nuolat važiuoja krovininiai automobiliai (apie 150 aut/parą). Eksperimentiniai tyrimai padalinti į dar du etapus: vienas jų skirtas apibūdinti geotekstilių pažaidų susidarymo bei atskyrimo funkcijos tendencijas, žiūrint kelio dangos pagrindui įrengti naudotų medžiagų, kai kelias su asfaltbetonio danga, kitas etapas – be asfaltbetonio dangos.

Eksperimentiniam tyrimui taikomas pilnas faktorinis eksperimentas, kuriuo galima nustatyti kiekvieno veiksnio ir jų sandaugos įtaką ieškomajam parametrui [95]. Šiuo atveju ieškomas parametras yra geotekstilės pažaidų laipsnis – $GTX_{paž}$. Geotekstilės pažaidos nustatomos šių pažaidų ploto sumos, lyginant su nepažeistos medžiagos plotu, procentine išraiška (%).

3.3.1. Eksperimentiniai tyrimai atskyrimo funkcijos atlikimui nustatyti, kai kelias su asfaltbetonio danga

Šiuo eksperimentiniu tyrimu nustatomas geotekstilės pažaidų susidarymo atskiriant sluoksnius tendencijas, žiūrint dangos pagrindui įrengti naudotų medžiagų bei pravažiavusių ESA, perskaičiuotų 100 kN, kai kelias yra su asfaltbetonio danga.

Eksperimentu apibūdinami veiksniai, turintys įtaką geotekstilės pažaidoms yra šie:

MM – kelio dangos konstrukcijos pagrindo sluoksnio mineralinės medžiagos rūšis;

h – asfaltbetonio dangos storis;

A – ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų skaičius.

Planuojant eksperimentą parenkamas tariamai žinomas taškas, kuriame nustatyti geriausi rezultatai, jis fiksuojamas kaip pagrindinis lygis. Veiksnių kitėjimo intervalai nustatomi taip, kad eksperimentiniai taškai būtų simetriški pagrindiniam lygiui. Veiksnių lygiai ir jų kitėjimo intervalai apibūdinti 3.2 lentelėje, geotekstilės pažaidų funkcinė priklausomybė – 3.1 lygtyje.

3.2 lentelė. Veiksnių lygiai ir jų kitėjimo intervalai

Rodikliai	Veiksniai		
	MM	h, cm	A, vnt
Pagrindinis lygis*	–	3	51000
Kitėjimo intervalas*	–	±3	±17000
Viršutinis veiksnio lygis	MM_{nesk}	6	34000
Žemutinis veiksnio lygis	MM_{sk}	0	68000

Lentelėje:
MM_{nesk} – neskaldytos medžiagos (granito skaldos ir smėlio mišinys frakcija 0/45);
MM_{sk} – skaldytos medžiagos (granito skalda frakcija 16/32).
*užpilamo sluoksnio mineralinei medžiagai pagrindinis lygis ir kitėjimo intervalas nenustatomas

Geotekstilės pažaidų funkcinė priklausomybė:

$$GTX_{paž} = f(MM, h, A)\,. \tag{3.1}$$

Eksperimentui taikomas pirmojo laipsnio polinomas:

$$GTX_{paž} = b_0 + b_1 MM + b_2 h + b_3 A + b_{12} MMh + b_{13} MMA + b_{23} hA + b_{123} MMhA\,. \tag{3.2}$$

Pagal pilną faktorinį eksperimentą 2^3 buvo nustatyti aštuoni matematinio modelio koeficientai [6]. Pagrindiniame lygyje koeficientas yra toks:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} GTX_{paž(i)}}{N}\,; \tag{3.3}$$

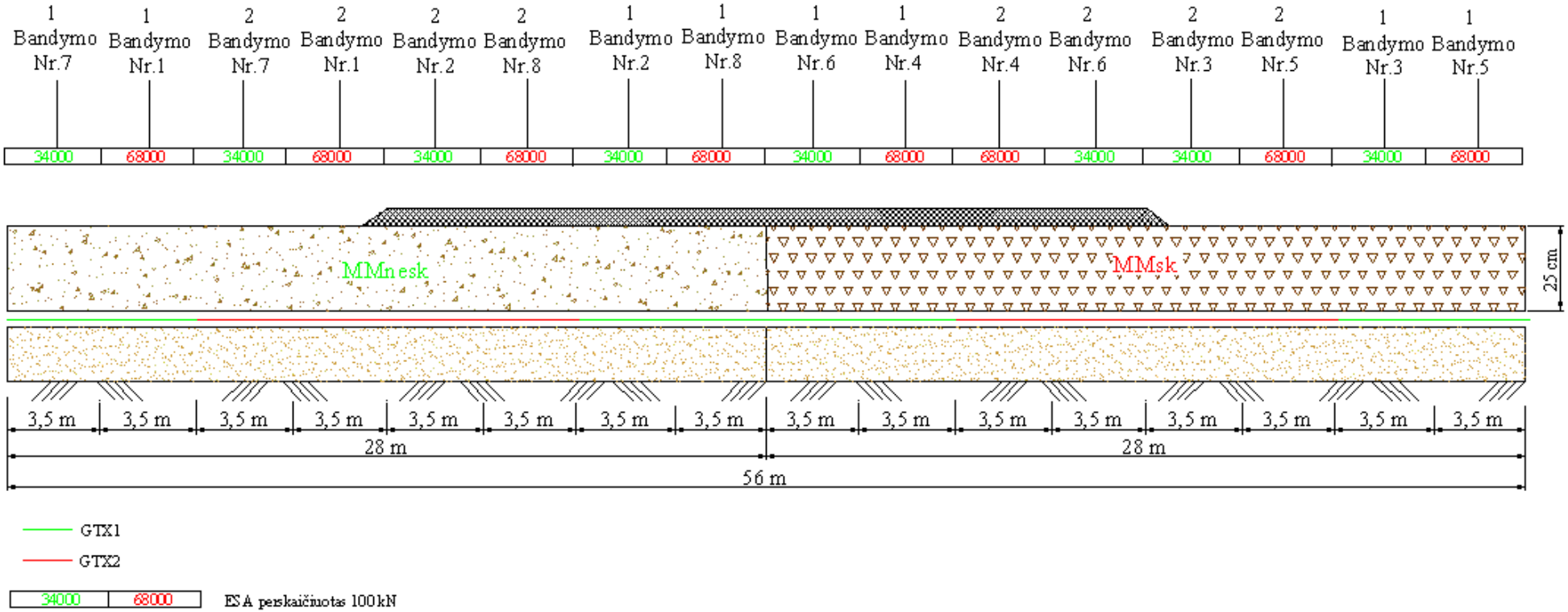
čia: $GTX_{paž(i)}$ – geotekstilės pažaidos dydis, nustatytas i-tuoju bandymu, %; N – bandymų skaičius.

Kiti matematinio modelio koeficientai apskaičiuojami formule:

$$b_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_{ij} GTX_{paž(i)}\,; \tag{3.4}$$

čia: j=0,1,2,3…7 – veiksnio numeris; i=0,1,2,3…N – bandymo numeris; X_{ij} – matricos eilutės koduotos reikšmės.

Eksperimento metu buvo įvertintos 4 skirtingų kelio dangų bei dviejų geotekstilių kombinacijos, pravažiavus skirtingam ESA (3.10 pav.). Abejoms geotekstilėms užrašoma pilno faktorinio eksperimento plano matrica (3.3 lentelė). Šioje matricoje „+“ ir „-“ pažymėti veiksnių lygiai, kurie atitinkamai žymi viršutinį ir žemutinį lygius.



3.10 pav. Keturių skirtingų kelio dangų, dviejų tipų geotekstilių bei pravažiavusių ESA kombinacijos

3.3 lentelė. Geotekstilės pažaidų matrica

Eil. Nr.	Dangos ir apkrovos kodas		Veiksniai ir jų sandaugos						
	GTX1	GTX2	MM	h	A	MM·h	MM·A	h·A	MM·h·A
1	1-Nr.5	2-Nr.5	–1	–1	–1	+1	+1	+1	–1
2	1-Nr.6	2-Nr.6	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1
3	1-Nr.7	2-Nr.7	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1
4	1-Nr.8	2-Nr.8	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1
5	1-Nr.1	2-Nr.1	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1
6	1-Nr.2	2-Nr.2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
7	1-Nr.3	2-Nr.3	–1	–1	+1	+1	–1	–1	+1
8	1-Nr.4	2-Nr.4	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1

3.3.2. Matematinio modelio tikrinimas

Pagal 3.3 ir 3.4 formules apskaičiavus matematinio modelio regresijos koeficientus, būtina patikrinti šio modelio tinkamumą. Modelio tinkamumui patikrinti liekamoji dispersija apskaičiuojama taip:

$$S_{liek}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} n_i \left(GTX_{paž(i)} - GTX'_{paž(i)}\right)^2}{f}; \qquad (3.5)$$

čia: S_{liek}^2 – liekamoji dispersija; N – bandymų skaičius; n_i – paralelinių bandinių skaičius bandyme; $GTX'_{paž(i)}$ – i-tojo bandymo geotekstilės pažaidos parametras, apskaičiuotas taikant matematinį modelį; f – laisvės laipsnių skaičius, $f = N - (k+1)$; k – veiksnių skaičius eksperimente.

Matematinio modelio tinkamumas nustatytas taikant Fišerio kriterijų:

$$F = \frac{S_{liek}^2}{S_{band}^2}; \qquad (3.6)$$

čia: S_{liek}^2 – liekamoji dispersija, apskaičiuota 3.5 formule; S_{band}^2 – bandymo dispersija, apskaičiuota pagal paralelinių bandymų rezultatus.

$$S_{band}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{n} \left(GTX_{paž(ij)} - \overline{GTX}_{paž(ij)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{n} f_{ij}}; \qquad (3.7)$$

$\overline{GTX}_{paž(ij)}$ – geotekstilės pažaidos vidutinis dydis, apskaičiuotas i-tojo bandymo paraleliniams bandiniams; $GTX_{paž(ij)}$ – i-tojo bandymo j-tojo paralelinio bandinio geotekstilės pažaidos dydis; f_{ij} – laisvės laipsnių skaičius, apskaičiuotas i-tojo bandymo paraleliniams bandiniams $f_{ij} = n_i - 1$; n_i – paralelinių bandinių skaičius bandyme.

Matematiniame modelyje apskaičiuotų koeficientų reikšmingumas nustatomas pagal pasikliautinojo intervalo dydį:

$$\Delta b_j = \pm \frac{tS_{band}}{\sqrt{N}}; \qquad (3.8)$$

čia: S_{band} – bandymo vidutinis kvadratinis nuokrypis, apskaičiuotas iš paralelinių bandymo rezultatų; N – bandymų skaičius; t – Studento kriterijus, priimtas tam laisvės laipsnių skaičiui, pagal kurį buvo apskaičiuotas S_{liek}.

3.3.3. Eksperimentiniai tyrimai atskyrimo funkcijos atlikimui nustatyti, kai kelias be asfaltbetonio dangos

Šiuo eksperimentiniu tyrimu nustatomos geotekstilės pažaidų susidarymo, atskiriant sluoksnius, tendencijos, žiūrint dangos pagrindui įrengti naudotų medžiagų bei pravažiavusių ESA, perskaičiuotų 100 kN, kai kelias be asfaltbetonio dangos.

Šiam eksperimentiniam tyrimui taip pat taikomas pilnas faktorinis eksperimentas pagal 3.3.1 skyriuje aprašytą metodiką. Veiksnių lygiai ir jų kitėjimo intervalai nurodyti 3.4 lentelėje (tik veiksnys *h* pakeistas veiksniu *T*), geotekstilių pažaidų funkcinė priklausomybė – 3.9 lygtyje.

3.4 lentelė. Veiksnių lygiai ir jų kitėjimo intervalai

Rodikliai	Veiksniai		
	MM	A, vnt	T, g/m^2
Pagrindinis lygis*	–	51000	205
Kitėjimo intervalas*	–	±17000	±95
Viršutinis veiksnio lygis	MM_{nesk}	34000	300
Žemutinis veiksnio lygis	MM_{sk}	68000	110

Lentelėje:
MM_{nesk} – neskaldytos medžiagos (granito skaldos ir smėlio mišinys fr. 0/45);
MM_{sk} – skaldytos medžiagos (dolomito skalda 16/45).
*užpilamo sluoksnio mineralinei medžiagai pagrindinis lygis ir kitėjimo intervalas nenustatomas.

Geotekstilės pažaidų funkcinė priklausomybė:

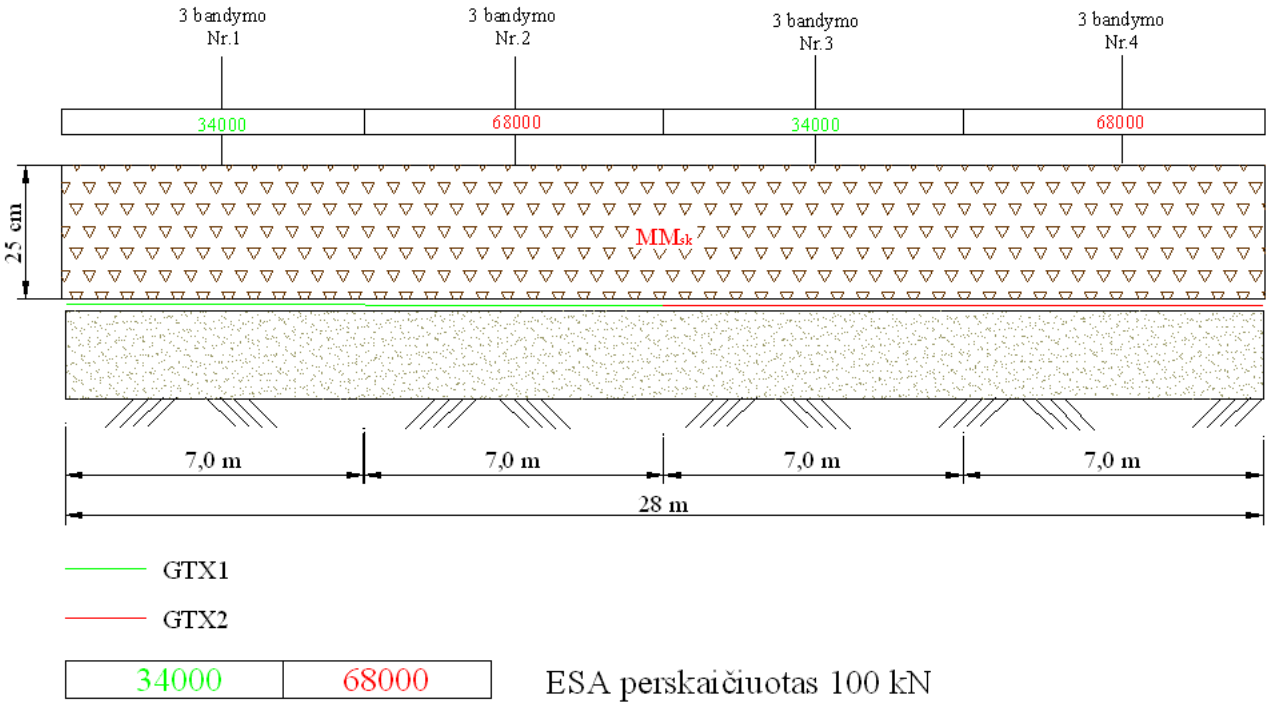
$$GTX_{paž} = f(MM, A, T); \qquad (3.9)$$

čia: *MM* – užpilamo sluoksnio mineralinės medžiagos rūšis; *A* – ekvivalentinių 100 kN svorio ašies pravažiavimų skaičius; *T* – geotekstilės masė.

Geotekstilėms sudaroma pilno faktorinio eksperimento plano matrica (3.5 lentelė). Eksperimento metu buvo apibūdintos dvi skirtingų kelio dangų bei dviejų geotekstilių kombinacijos, pravažiavus skirtingam ESA (3.11 pav.).

3.5 lentelė. Geotekstilės pažaidų matrica

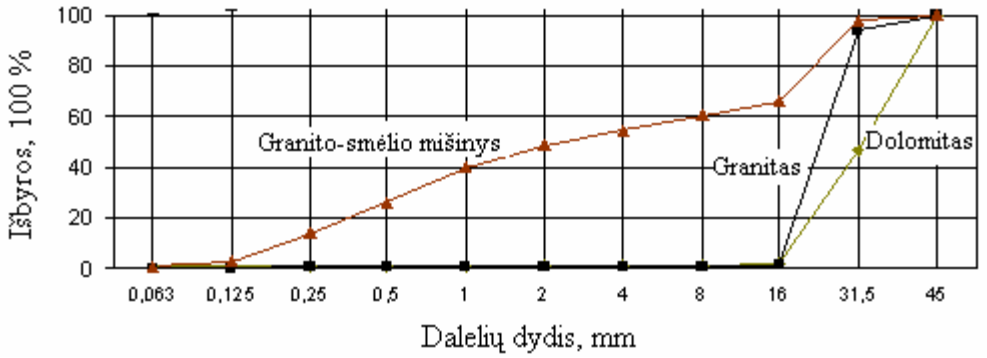
Eil. Nr.	Dangos ir apkrovos kodas	Veiksniai ir jų sandaugos						
		MM	A	T	MM×A	MM×T	A×T	MM×A×T
1	3-Nr.4	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	3-Nr.1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
3	1-Nr.1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
4	2-Nr.7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	2-Nr.1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
6	1-Nr.7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
7	3-Nr.2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
8	3-Nr.3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1



3.11 pav. Dviejų skirtingų kelio dangų, dviejų tipų geotekstilių bei pravažiavusių ESA kombinacijos

3.3.4. Eksperimentinių tyrimų ruožas ir medžiagos

Pagal užrašytas pilno faktorinio eksperimento plano matricas 2006-07-29 – 2006-07-30 esamame kelyje su žvyro danga buvo įrengti du 56 ir 28 metrų ilgio bandymų ruožai (3.10 ir 3.11 pav.). Prieš klojant geotekstilę kelio dangos paviršius buvo profiliuotas ir ant jo įrengtas 5 cm smėlio sluoksnis. Paklojus geotekstilę, ant jos įrengti trys skirtingų rūšių 25 cm storio dangos pagrindo sluoksniai, kurių medžiagos rūšis bei granuliometrinė sudėtis (nustatyta VGTU Kelių katedros Automobilių kelių mokslo laboratorijoje) pateikta 3.12 paveiksle. 28 m ilgio atkarpoje ant naujai įrengto kelio dangos pagrindo iš granito skaldos ir smėlio mišinio frakcija 0/45 bei granito skaldos frakcija 16/32 buvo paklotas 6 cm storio bei 6 m pločio 0/16-Vn [4] asfaltbetonio sluoksnis. Eksperimentinio tyrimo atskyrimo funkcijai buvo naudojamos neaustinės adatomis kamšytos polipropileno geotekstilės: GTX1 – viena stipriausių neaustinių geotekstilių, naudojamų kelio dangos sluoksniams atskirti, kurios ploto vieneto masė 300 g/m^2; GTX2 – viena silpniausių, kurios ploto vieneto masė 110 g/m^2. Geotekstilių gamintojų deklaruojamos medžiagų savybės pateiktos 3.6 lentelėje.



3.12 pav. Eksperimentinių tyrimų ruožo dangos pagrindo sluoksniui įrengti naudotos medžiagos bei jų granuliometrinė sudėtis

3.6 lentelė. Gamintojų deklaruojamos bandomųjų geotekstilių savybės

Geotekstilės bandinio Nr.	Polimero tipas	Ploto vieneto masė	Tempimo stiprio riba	Pailgėjimas, kai veikia didžiausia apkrova	Statinio pradūrimo atsparumas (CBR)	Dinaminio prakirtimo atsparumas	Vandens laidumas	Būdingas kiaurymės dydis
		Standartas reglamentuojantis bandymo metodą						
		EN 965	EN ISO 10319	EN ISO 10319	EN ISO 12236	EN 918	EN ISO 11058	EN ISO 12956
		Vienetai						
		g/m^2	kN/m	%	kN	mm	m/s	µm
GTX1	PP	300	MD 17,4 CD 19,5	50	3,1	16	0,065	50
GTX2	PP	110	MD 5,5 CD 6,5	60–70	1,0	32	0,09	100

3.3.5. Eksperimentinių tyrimų ruožo įrengimas

Eksperimentinių tyrimų ruože geotekstilė buvo paklota ant esamos žvyro dangos (tariama, kad tai apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis). Dangos pagrindą virš geotekstilės sudarė: granito skaldos ir smėlio mišinys frakcija 0/45; granito skalda frakcija 16/32; dolomito skalda frakcija 16/45. Dangos pagrindo sluoksnis virš geotekstilės buvo įrengiamas taip:

a) prieš klojant geotekstilę žvyro kelio dangos paviršius buvo profiliuotas autogreideriu, ant jo įrengtas 5 cm smėlio sluoksnis (3.13 pav.);
b) rankiniu būdu paklota geotekstilė;
c) mineralinės medžiagos buvo atvežtos sunkvežimiais ir išpiltos ant žvyro kelio dangos prieš paklotą geotekstilę;
d) užstumiant vikšriniu buldozeriu medžiagos buvo paskleistos ant geotekstilės (3.14 pav.);
e) įrengtas dangos pagrindo sluoksnis buvo tankintas 12 t vibraciniu volu, kuris kiekvienu sluoksniu pravažiavo po 5 kartus pirmyn ir atgal;
f) dangos pagrindo sluoksnio paviršius buvo profiliuotas autogreideriu;
g) asfaltbetonio sluoksnis paklotas asfaltbetonio klotuvu ir tankintas volu, kuris pravažiavo po 5 kartus pirmyn ir atgal (3.15 pav.).

3.13 pav. 5 cm storio sluoksnio įrengimas iš smėlio prieš paklojant geotekstilę

3.14 pav. Dangos pagrindo įrengimas, medžiagas užstumiant buldozeriu

Bandymų ruožas buvo įrengtas savaitgalį. Įrengiant dangos sluoksnius eismas buvo uždarytas vienai parai. Įrengus bandymų ruožą buvo pradėta fiksuoti, kiek pravažiuoja krovininių automobilių ekvivalentinių ašių (3.16 pav.).

3.15 pav. Asfaltbetonio dangos įrengimas bandymų ruože: a) asfaltbetonio sluoksnio klojimas; b) asfaltbetonio sluoksnio tankinimas

3.16 pav. Krovininių automobilių eismas bandymų ruože

3.3.6. Eksperimentinių tyrimų rezultatai

Pirmąkart geotekstilės pavyzdžiai iškasti 2006-10-21, pravažiavus 34000 ESA (3.17 pav.), antrąkart 2007-04-14 – pravažiavus 68000 ESA (3.18 pav.). Geotekstilė buvo atkasta rankiniu ir mechanizuotu būdu: asfaltbetonio danga bei 15–20 cm dangos pagrindo sluoksnelis nuimti ekskavatoriumi; likęs dangos pagrindo sluoksnelis, kad nepažeisti geotekstilės, buvo nukastas kastuvais. Kiekvieno iškasimo metu, atitinkamai pagal geotekstilių pažaidų matricų dangos ir apkrovos kodus iš kelio dangos išimti geotekstilės 2,0 × 6,0 m pavyzdžiai buvo apibūdinami vizualiai. Iš kiekvieno geotekstilės pavyzdžio atsitiktine tvarka buvo iškirpta po 6 vienodo ploto (30 cm × 30 cm) geotekstilės bandinius. Kiekvienas iškirptas bandinys buvo dedamas at šviesą skleidžiančio pagrindo ir tuomet suskaičiuoti geotekstilės bandinio esantys pradūrų plotai ir jų

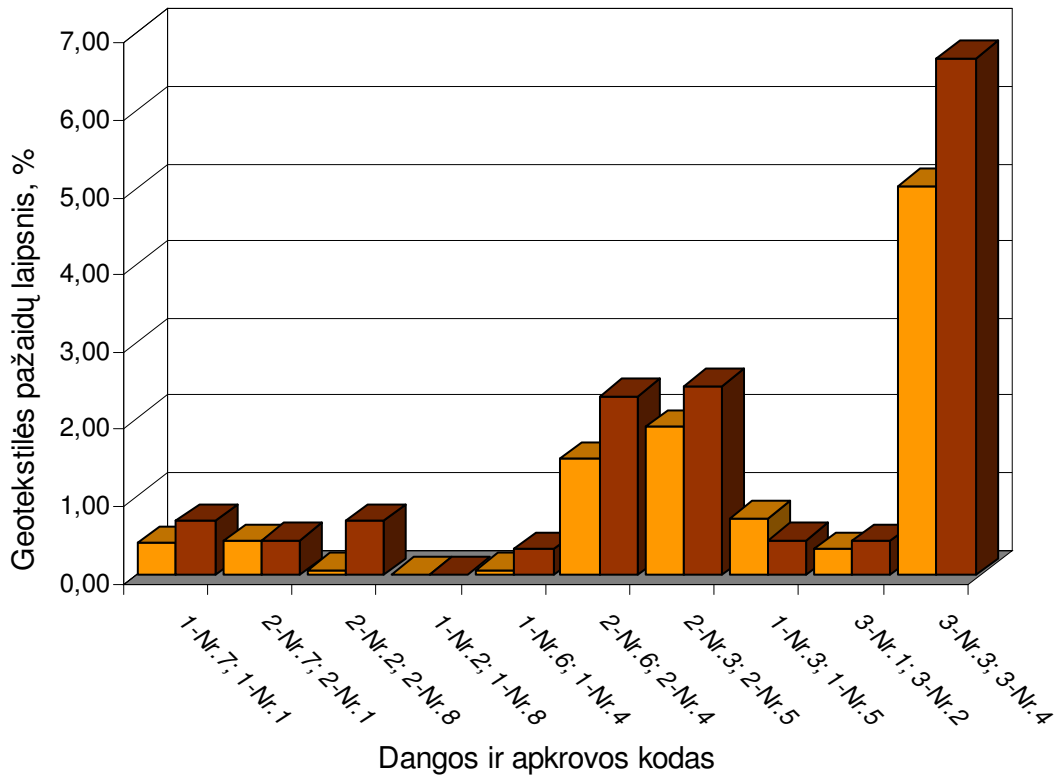
sumos. Pradūros, kurių skersmuo < 3 mm, nebuvo fiksuojamos. Geotekstilės pradūrų plotų sumų, išreikštų procentais nuo geotekstilės bandinio ploto, vidurkių sklaidos grafikas po pirmojo ir antrojo atkasimo pateiktas 3.19 paveiksle.

a) b)

3.17 pav. Atkasta geotekstilė pravažiavus 34000 ESA: a) rankiniu būdu atkasta geotekstilė; b) atskyrimo funkcijos išpildymas.

a) b)

3.18 pav. Atkasta geotekstilė pravažiavus 68000 ESA: a) asfaltbetonio sluoksnis bei 15–20 cm dangos pagrindo sluoksnio atkasta ekskavatoriumi; b) pažeista geotekstilė – pradūros nuo mineralinių medžiagų stambių grūdelių.



3.19 pav. Geotekstilės pradūrų plotų sumų po pirmojo ir antrojo atkasimo vidurkio sklaida: oranžinė spalva – po pirmojo iškasimo, raudona – po antrojo

Rezultatams interpretuoti bei pasirinkto matematinio modelio koeficientams apskaičiuoti pagal formulę (3.4) naudojami geotekstilės pradūrų plotų sumų vidurkiai, nustatyti po pirmojo ir antrojo atkasimo (3.19 pav. ir 3.7 lentelėje).

Naudojant geotekstilę dangos sluoksniams atskirti, svarbu žinoti geotekstilės savybes ir eksploatuojant kelią geotekstilės tvarumą nulemiančius veiksnius. Tuo tikslu ir buvo vykdytas pilnas faktorinis 2^3 plano eksperimentas. Eksperimento plano matricos pateiktos 3.3 ir 3.5 lentelėse, o kelio dangos konstrukcijos, naudojamų geotekstilių ir pravažiavusių ekvivalentinių 100 kN ašių įvairios kombinacijos, atitinkančios lentelių matricas, pavaizduotos 3.10 ir 3.11 paveiksluose. Pagal 2^3 planą eksperimento rezultatai pateikti 3.7 ir 3.10 lentelėse.

Eksperimentinio tyrimo pažaidoms nuo įrengimo apkrovų nustatyti geotekstilės GTX1 matematinio modelio laisvasis narys, apskaičiuojamas pagrindiniame lygyje pagal 3.3 formulę, yra $b_0 = 0{,}34$.

Kiti šio modelio koeficientai apskaičiuojami pagal 3.4 formulę ir atitinkamiems veiksniams arba jų sandaugoms yra tokio dydžio:

a) dangos pagrindo sluoksnio medžiagai $b_1 = -0{,}06$;

b) asfaltbetonio dangos storiui $b_2 = -0{,}24$;

c) ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimams $b_3 = -0{,}04$;

d) dangos pagrindo sluoksnio medžiagos ir asfaltbetonio dangos storio sandaugai $b_{12} = -0{,}04$;

e) dangos pagrindo sluoksnio medžiagos ir ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų sandaugai $b_{13} = -0{,}04$;

f) asfaltbetonio dangos storio ir ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų sandaugai $b_{23} = -0{,}04$;

g) dangos pagrindo sluoksnio medžiagos, asfaltbetonio dangos storio ir ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų sandaugai $b_{123} = 0{,}11$.

3.7 lentelė. Kelio su asfaltbetonio danga, dangos pagrindo sluoksnio medžiagos ir krovininių automobilių eismo įtaka geotekstilės tvarumui

Rodikliai, dangos ir apkrovos kodai		Veiksniai ir jų sandaugos							Geotekstilės pažaidų laipsnis, %	
		MM	H, cm	A, ESA 100 kN	MM×h	MM×A	h×A	MM×h×A		
Žemutinis lygis		MM_{sk}	0	68000					GTX1	GTX2
Viršutinis lygis		MM_{nesk}	6	34000						
1-Nr.5	2-Nr.5	–1	–1	–1	+1	+1	+1	–1	0,45	2,45
1-Nr.6	2-Nr.6	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1	0,06	1,51
1-Nr.7	2-Nr.7	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1	0,42	0,45
1-Nr.8	2-Nr.8	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1	0,02	0,7
1-Nr.1	2-Nr.1	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1	0,70	0,45
1-Nr.2	2-Nr.2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,01	0,07
1-Nr.3	2-Nr.3	–1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	0,74	1,92
1-Nr.4	2-Nr.4	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1	0,34	2,32

Taigi matematinis modelis, aprašytas polinomu, rodančiu geotekstilės GTX1 suirties laipsnį nuo aukščiau išvardintų veiksnių, jų dydžio ir sąveikos, turės tokią išraišką:

$$GTX1_{paž} = 0{,}34 - 0{,}06MM - 0{,}24h - 0{,}04A - 0{,}04MMh - 0{,}04MMA - 0{,}04hA + 0{,}11MMhA. \qquad (3.10)$$

Matematinio modelio tinkamumui nustatyti apskaičiuojame pasikliautinojo intervalo plotį. Dispersijos S^2_{liek} apskaičiavimas pateiktas 3.8 lentelėje.

Pasikliautinojo intervalo plotis apskaičiuojamas formule 3.8 ir yra toks:

$$\Delta b_j = \pm\frac{2{,}365\sqrt{0{,}0006}}{\sqrt{8}} = \pm 0{,}021.$$

Matematinio modelio visų regresijos koeficientų reikšmės yra didesnės už pasikliautinojo intervalo plotį, tai visi modelio regresijos koeficientai yra reikšmingi, o modelis adekvatus.

3.8 lentelė. Dispersijos apskaičiavimas (geotekstilė GTX1)

Dangos ir apkrovos kodas	Geotekstilės pažaidų laipsnis, %		$GTX_{paž(i)} - GTX'_{paž(i)}$	$\left(GTX_{paž(i)} - GTX'_{paž(i)}\right)^2$
	Nustatytas eksperimentu	Apskaičiuotas		
1-Nr.5	0,45	0,45	0	0
1-Nr.6	0,06	0,05	0,01	0,0001
1-Nr.7	0,42	0,41	0,01	0,0001
1-Nr.8	0,02	0,01	0,01	0,0001
1-Nr.1	0,70	0,71	-0,01	0,0001
1-Nr.2	0,01	0,01	0	0
1-Nr.3	0,74	0,75	-0,01	0,0001
1-Nr.4	0,34	0,35	-0,01	0,0001
			Viso:	0,0006

Analizuojant gautą modelį galima pažymėti, kad geotekstilės pažaidų laipsnis žymiai sumažėja įrengus asfaltbetonio dangą kinta nuo 0,02 iki 0,06 %, kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš neskaldytų medžiagų. Kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų, pravažiavus mažiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių, geotekstilės pažaidų laipsnis yra mažas 0,06 %, tačiau pravažiavus daugiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių – ženkliai padidėja iki 0,34 %. Tuo tarpu kai pačios nepalankiausios sąlygos (ant geotekstilės įrengto dolomitinės skaldos pagrindo sluoksniu pravažiuoja daugiausia ESA 100 kN) geotekstilės pažaidų laipsnis yra didžiausias ir sudaro 0,71 %. Galima daryti išvadą, kad naudojant geotekstilės tarpsluoksnį ant įrengto dangos pagrindo sluoksnio, iš karto turi būti klojamas asfaltbetonio pagrindo (apatinis) sluoksnis arba įrengiama asfaltbetonio danga. Įrengtu pagrindo sluoksniu, be asfaltbetonio sluoksnio (dangos), leidžiant važiuoti krovininiams automobiliams geotekstilės, paklotos po dangos pagrindo sluoksniu, pažaidų laipsnis padidėja daugiau kaip 30 kartų (kai GTX1, prie krovininio eismo 150 aut/parą per 6 mėn.).

Eksperimentinio tyrimo pažaidoms nuo įrengimo apkrovų nustatyti geotekstilės GTX2 matematinio modelio laisvasis narys, apskaičiuojamas pagrindiniame lygyje 3.3 formule, yra b_0 = 1,23.

Kiti šio modelio koeficientai apskaičiuojami 3.4 formule ir atitinkamiems veiksniams arba jų sandaugoms yra tokie:

a) dangos pagrindo sluoksnio medžiagai b_1 = –0,82;
b) asfaltbetonio dangos storiui b_2 = –0,08;
c) ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimams b_3 = –0,25;
d) dangos pagrindo sluoksnio medžiagos ir asfaltbetonio dangos storio sandaugai b_{12} = 0,05;
e) dangos pagrindo sluoksnio medžiagos ir ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų sandaugai b_{13} = 0,09;

f) asfaltbetonio dangos storio ir ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų sandaugai $b_{23} = -0{,}11$;

g) dangos pagrindo sluoksnio medžiagos, asfaltbetonio dangos storio ir ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų sandaugai $b_{123} = -0{,}04$.

Taigi matematinis modelis, aprašytas polinomu, rodančiu geotekstilės GTX2 suirties laipsnį nuo aukščiau išvardintų veiksnių, jų dydžio ir sąveikos, turės tokią išraišką:

$$GTX2_{paž} = 1{,}23 - 0{,}82MM - 0{,}08h - 0{,}25A + 0{,}05MMh + 0{,}09MMA - 0{,}11hA - 0{,}04MMhA. \qquad (3.11)$$

Matematinio modelio tinkamumui nustatyti apskaičiuojame pasikliautinojo intervalo plotį. Dispersijos S^2_{liek} apskaičiavimas pateiktas 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Dispersijos apskaičiavimas (geotekstilė GTX2)

Dangos ir apkrovos kodas	Geotekstilės pažaidų laipsnis, %		$GTX_{paž(i)} - GTX'_{paž(i)}$	$\left(GTX_{paž(i)} - GTX'_{paž(i)}\right)^2$
	Nustatytas eksperimentu	Apskaičiuotas		
2-Nr.5	2,45	2,45	0	0
2-Nr.6	1,51	1,51	0	0,0001
2-Nr.7	0,45	0,43	0,02	0,0004
2-Nr.8	0,7	0,69	0,01	0,0001
2-Nr.1	0,45	0,45	0	0
2-Nr.2	0,07	0,07	0	0
2-Nr.3	1,92	1,91	0,01	0,0001
2-Nr.4	2,32	2,33	–0,01	0,0001
			Viso:	0,0008

Pasikliautinojo intervalo plotis apskaičiuojamas formule 3.8 ir yra toks:

$$\Delta b_j = \pm \frac{2{,}365\sqrt{0{,}0008}}{\sqrt{8}} = \pm 0{,}024 .$$

Matematinio modelio visų regresijos koeficientų reikšmės yra didesnės už pasikliautinojo intervalo plotį, tai visi modelio regresijos koeficientai yra reikšmingi, o modelis adekvatus.

Analizuojant šį modelį galima pažymėti, kad geotekstilės pažaidų laipsnis įrengus asfaltbetonio dangą sumažėja apie 20 %. Kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų, pravažiavus mažiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių, geotekstilės pažaidų laipsnis yra 1,91 %, tačiau pravažiavus daugiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių – padidėja iki 2,45 %. Tuo tarpu kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš neskaldytų medžiagų, geotekstilės pažaidų laipsnis nekinta pravažiavus mažiausiai ir daugiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių ir yra 0,45 %. Taigi galima daryti

išvadą, kad naudojant GTX2 geotekstilės tarpsluoksnį, didžiausią įtaką geotekstilės pažaidų laipsniui turi dangos pagrindo sluoksnio medžiaga ir krovininių automobilių eismo intensyvumas.

Eksperimentinio tyrimo pažaidoms nuo automobilių eismo apkrovų eksploatuojant kelią nustatyti matematinio modelio laisvasis narys, apskaičiuojamas pagrindiniame lygyje 3.3 formule, yra b_0 = 1,82.

Kiti šio modelio koeficientai apskaičiuojami 3.4 formule ir atitinkamiems veiksniams arba jų sandaugoms yra tokie:

- ✓ dangos pagrindo sluoksnio medžiagai b_1 = –1,31;
- ✓ ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimams b_2 = –0,25;
- ✓ geotekstilės ploto vieneto masei b_3 = –1,34;
- ✓ dangos pagrindo sluoksnio medžiagos rūšies ir ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų sandaugai b_{12} = 0,18;
- ✓ dangos pagrindo sluoksnio medžiagos rūšies ir geotekstilės ploto vieneto masės sandaugai b_{13} = 1,4;
- ✓ ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų ir geotekstilės ploto vieneto masės sandaugai b_{23} = 0,16;
- ✓ dangos pagrindo sluoksnio medžiagos, ekvivalentinių 100 kN ašių pravažiavimų ir geotekstilės ploto vieneto masės sandaugai b_{123} = –0,23.

3.10 lentelė. Kelio dangos be asfaltbetonio dangos, dangos pagrindo sluoksnio medžiagos ir krovininių automobilių įtaka geotekstilės tvarumui

Rodikliai, dangos ir apkrovos kodai	Veiksniai ir jų sandaugos							Geotekstilės pažaidų laipsnis, %
	MM	A, ESA 100 kN	T, g/m^2	MM×h	MM×A	h×A	MM×h×A	
Žemutinis lygis	MM_{sk}	68000	110					
Viršutinis lygis	MM_{nesk}	34000	300					
3-Nr.4	–1	–1	–1	+1	+1	+1	–1	6,70
3-Nr.1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1	0,34
1-Nr.1	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1	0,70
2-Nr.7	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1	0,45
2-Nr.1	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1	0,45
1-Nr.7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,42
3-Nr.2	–1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	0,44
3-Nr.3	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1	5,05

Taigi matematinis modelis, aprašytas polinomu, rodančiu geotekstilės suirties laipsnį nuo aukščiau išvardintų veiksnių, jų dydžio ir sąveikos, turės tokią išraišką:

$$GTX_{paž} = 1{,}82 - 1{,}31MM - 0{,}25h - 1{,}34A + 0{,}18MMh + 1{,}4MMA + 0{,}16hA - 0{,}23MMhA. \quad (3.12)$$

Matematinio modelio tinkamumui nustatyti apskaičiuojame pasikliautinojo intervalo plotį. Dispersijos S^2_{liek} apskaičiavimas pateiktas 3.11 lentelėje.

3.11 lentelė. Dispersijos apskaičiavimas

Dangos ir apkrovos kodas	Geotekstilės pažaidų laipsnis, %		$GTX_{paž(i)} - GTX'_{paž(i)}$	$\left(GTX_{paž(i)} - GTX'_{paž(i)}\right)^2$
	Nustatytas eksperimentu	Apskaičiuotas		
3-Nr.4	6,70	6,69	0,01	0,0001
3-Nr.1	0,34	0,35	-0,01	0,0001
1-Nr.1	0,70	0,71	-0,01	0,0001
2-Nr.7	0,45	0,45	0	0
2-Nr.1	0,45	0,45	0	0
1-Nr.7	0,42	0,43	-0,01	0,0001
3-Nr.2	0,44	0,43	0,01	0,0001
3-Nr.3	5,05	5,05	0	0
			Viso:	0,0005

Pasikliautinojo intervalo plotis apskaičiuojamas formule 3.8 ir yra toks:

$$\Delta b_j = \pm \frac{2{,}365\sqrt{0{,}0005}}{\sqrt{8}} = \pm 0{,}019$$

Matematinio modelio visų regresijos koeficientų reikšmės yra didesnės už pasikliautinojo intervalo plotį, tai visi modelio regresijos koeficientai yra reikšmingi, o modelis adekvatus.

Analizuojant šį modelį galima pažymėti, kad geotekstilės pažaidų laipsnis labai priklauso nuo geotekstilės ploto vieneto masės ir kinta nuo 0,34 iki 0,44 %, kai geotekstilės ploto vieneto masė mažiausia, bei nuo 5,05 iki 6,7 %, kai geotekstilės ploto vieneto masė didžiausia. Kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų, kurių didžiausi mineraliniai grūdeliai siekia 56 mm (dolomito skalda frakcija 16/45), mažiausiai geotekstilės ploto masei pažaidų laipsnis iki trijų kartų didesnis, negu tada, kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų, kurių didžiausi mineraliniai grūdeliai siekia 35 mm (smėlio ir granitinės skaldos mišinys frakcija 0/45). Modelio analizė taip pat patvirtina, kad geotekstilės pažaidų laipsnis didėja pravažiuojant daugiau ekvivalentinių 100 kN ašių.

3.4. Eksperimentiniai tyrimai geotekstilės mechaninių savybių kitimui nustatyti

Eksperimentinių tyrimų tikslas – nustatyti pažaidų įtaką geotekstilės stipriui. Šią įtaką atspindės statinio pradūrimo atsparumo (N) priklausomybė nuo geotekstilės pažaidų laipsnio (%).

Šiems tyrimams buvo panaudoti eksperimentinių tyrimų, pažaidoms nuo transporto priemonių apkrovų eksploatuojant kelią, geotekstilės pavyzdžiai bei tyrimų metu gauti rezultatai. Iš kiekvieno geotekstilės pavyzdžio, žiūrint dangos ir apkrovos kodą, iškirpti 6 vienodo ploto (30 cm × 30 cm) bandiniai, nustačius geotekstilės pažaidų laipsnį, buvo išbandyti VGTU Medžiagų atsparumo katedros Stiprumo mechanikos laboratorijoje. Bandymais buvo nustatytas kiekvieno bandinio statinio pradūrimo atsparumas. Bandymų rezultatai pateikti 3.12 lentelėje.

Apskaičiavus geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio bei statinio pradūrimo atsparumo vidurkius, nustatyti geotekstilių GTX1 ir GTX2 koreliacijos koeficientai tarp šių vidurkių. GTX1 koreliacijos koeficientas yra (–0,84), o GTX2 – (–0,88). Koreliacijos grafikai pateikti priede Nr. 2.

3.12 lentelė. Geotekstilės bandinių pažaidų laipsnis ir statinio pradūrimo atsparumas

Dangos ir apkrovos kodas	Geotekstilės pažaidų laipsnis, %						Statinio pradūrimo atsparumas, N					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
$GTX1_{nepažeista}$	0	0	0	0	0	0	2723	2714	2802	2584	2682	2717
$GTX2_{nepažeista}$	0	0	0	0	0	0	1058	1279	1206	1301	1298	1309
1-Nr.5	0,2	0,3	0,5	0,1	1,5	0,1	1582	1016	789	2006	873	1483
1-Nr.6	0,2	0,1	0	0	0	0	2016	2131	2248	2824	3200	2362
1-Nr.7	0,3	0,5	0,8	0,4	0,1	0,4	705	1001	1184	836	1267	954
1-Nr.8	0	0	0	0	0	0	2860	3724	3220	3637	2967	3086
1-Nr.1	0,6	0,8	0,7	0,4	0,7	0,7	1129	1020	932	1892	1536	1224
1-Nr.2	0	0	0	0	0	0	3546	3286	3148	2946	2832	3087
1-Nr.3	0,6	0,2	0,2	1,3	1,1	1,1	1473	1872	2130	1092	664	1205
1-Nr.4	0,1	0,1	0,3	0,8	0,3	0,4	3834	3100	1983	764	2492	2460
2-Nr.5	2,2	2,4	4,7	1,8	2,4	1,2	449	425	75	372	309	473
2-Nr.6	1,7	1,2	1,9	0,3	2,1	1,9	332	482	432	505	409	405
2-Nr.7	0,3	1,4	0,3	0,2	0,3	0,3	907	406	512	511	446	651
2-Nr.8	0,1	0,2	0,2	0,2	2,7	0,9	713	775	562	710	408	854
2-Nr.1	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	492	485	501	648	554	702
2-Nr.2	0,2	0,1	0	0	0	0	906	608	710	576	708	745
2-Nr.3	1,1	2,1	0,8	1,7	3,7	1,9	353	408	338	365	348	590
2-Nr.4	3,4	2,3	3,2	1,4	1,9	1,3	352	329	326	456	678	715
3-Nr.4	3,8	4,2	3,9	8,5	9,7	10	215	300	200	256	289	179
3-Nr.1	0	0,8	0,1	0,2	0,1	0,8	1956	1544	2086	2016	1242	1267
3-Nr.2	0,6	0,5	0,6	0,3	0,4	0,3	1256	1267	1900	1570	1199	1196
3-Nr.3	2,7	2,9	2,9	6,9	6,1	8,7	259	237	363	233	332	190

Analizuojant šių eksperimentinių tyrimų koreliacijos koeficientus tarp geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio ir statinio pradūrimo atsparumo, galima pastebėti, kad koreliacijos neįmanoma nustatyti tais atvejais, kai geotekstilė yra pažeista labai nežymiai (geotekstilės pažaidų laipsnis artimas 0). Didelė koreliacijos koeficientų sklaida (kinta nuo 0 iki –0,93), rodo didelę

pažaidų laipsnio sklaidą tarp geotekstilės bandinių. Tai gali reikšti, kad geotekstilės tarpsluoksnis įrengtas tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo, eksploatuojant kelią, gali būti pažeidžiamas netolygiai. Šią išvadą patvirtina geotekstilės bandinių vizualūs stebėjimai, atkasus geotekstilės tarpsluoksnius. Geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio bei statinio pradūrimo atsparumo vidurkių koreliacijos koeficientai bandomosioms geotekstilėms (GTX1 ir GTX2) rodo gerą koreliaciją tarp šių dviejų geotekstilės rodiklių. Žinant geotekstilės pažaidų laipsnį galima prognozuoti (apskaičiuoti) geotekstilės statinio pradūrimo atsparumą, kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengiamas tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo.

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

1. Eksperimentinių tyrimų rezultatai paneigia prielaidą, kad svarbiausios geotekstilių pažaidos susidaro įrengiant kelio dangą. Šių tyrimų rezultatai parodė, kad net silpniausia sluoksnių atskyrimo funkcijai naudojama geotekstilė gali atlaikyti įrengimo mechanizmų apkrovas ir tinkamai realizuoti sluoksnių atskyrimo funkciją (tipinėje Lietuvos automobilių kelių dangoje).
2. Eksperimentinių tyrimų transporto priemonių apkrovų pažaidoms, kelią eksploatuojant, modeliais apibūdinamos taip: 1) geotekstilės pažaidų laipsnis ženkliai sumažėja įrengus asfaltbetonio dangą. Kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų, pravažiavus mažiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių, geotekstilės pažaidų laipsnis yra mažas 0,06 %, tačiau pravažiavus daugiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių ženkliai padidėja iki 0,34 %. Taigi galima daryti išvadą, kad naudojant geotekstilės tarpsluoksnį ant įrengto dangos pagrindo sluoksnio, iš karto turi būti klojamas asfaltbetonio pagrindo (apatinis) sluoksnis arba įrengiama asfaltbetonio danga. Įrengtu pagrindo sluoksniu, be asfaltbetonio sluoksnio (dangos), leidžiant važiuoti krovininiams automobiliams, geotekstilės, paklotos po dangos pagrindo sluoksniu, pažaidų laipsnis padidėja daugiau kaip 30 kartų (kai GTX1, prie krovininio eismo 150 aut/parą per 6 mėn.); 2) kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų (geotekstilė GTX2), pravažiavus mažiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių, geotekstilės pažaidų laipsnis yra 1,91 %, tačiau pravažiavus daugiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių padidėja iki 2,45 %. Tuo tarpu kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš neskaldytų medžiagų geotekstilės pažaidų laipsnis nekinta pravažiavus mažiausiai ir daugiausiai ekvivalentinių 100 kN ašių skaičiui ir yra 0,45 %. Galima daryti išvadą, kad naudojant geotekstilę GTX2 didžiausią įtaką geotekstilės pažaidų laipsniui turi

dangos pagrindo sluoksnio medžiaga ir krovininių automobilių eismo intensyvumas; 3) geotekstilės pažaidų laipsnis labai priklauso nuo geotekstilės ploto vieneto masės, jis kinta nuo 0,34 iki 0,44 %, kai geotekstilės ploto vieneto masė didžiausia, ir nuo 5,05 iki 6,7 %, kai geotekstilės ploto vieneto masė mažiausia. Kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų, kurių didžiausi mineraliniai grūdeliai siekia 56 mm (dolomito skalda frakcija 16/45), mažiausiai geotekstilės ploto masei pažaidų laipsnis iki trijų kartų didesnis, negu tada, kai dangos pagrindo sluoksnis įrengtas iš skaldytų medžiagų, kurių didžiausi mineraliniai grūdeliai siekia 35 mm (smėlio ir granitinės skaldos mišinys frakcija 0/45). Taip pat geotekstilės pažaidų laipsnis didėja pravažiavus daugiau ekvivalentinių 100 kN ašių.

3. Eksperimentinių tyrimų geotekstilių mechaninių savybių kitimui nustatyti didelė koreliacijos koeficientų sklaida tarp geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio ir statinio pradūrimo atsparumo rodo didelę pažaidų laipsnio sklaidą tarp geotekstilės atskirų bandinių. Tai patvirtino ir vizualūs stebėjimai. Iškastuose geotekstilių pavyzdžiuose pažaidų laipsnio sklaida buvo netolygi. Daugiau pažaidų pastebėta automobilių vėžės pėdsako zonoje prie dangos krašto. Čia įtaką galėjo turėti apkrovų koncentracija vėžės zonoje. Geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio bei statinio pradūrimo atsparumo vidurkių koreliacijos koeficientai bandomosioms geotekstilėms (GTX1 ir GTX2) rodo gerą koreliaciją tarp šių dviejų geotekstilės rodiklių. Žinant geotekstilės pažaidų laipsnį galima prognozuoti (apskaičiuoti) geotekstilės statinio pradūrimo atsparumą, kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengiamas tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo.
4. Apibendrinant eksperimentinių tyrimų rezultatus galima išskirti svarbiausius veiksnius, turinčius įtakos geotekstilės pažaidoms susidaryti, įrengiant bei eksploatuojant kelią:
    1) virš geotekstilės įrengiamo sluoksnio medžiagos granuliometrinė sudėtis ir didžiausių mineralinės medžiagos grūdelių matmenys;
    2) dangos sluoksnių storis virš geotekstilės;
    3) apkrovos įrengiant dangą (kelių tiesimo mašinų eismas virš geotekstilės įrengtu sluoksniu).
    4) dangos apkrovos eksploatuojant kelią;

Šio skyriaus medžiaga paskelbta [2a, 4a, 7a] publikacijose.

4. GEOTEKSTILIŲ PARINKIMO METODAS LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ IR MIESTŲ GATVIŲ KONSTRUKCIJOS SLUOKSNIAMS ATSKIRTI

4.1. Geotekstilės naudojimo tikslingumas

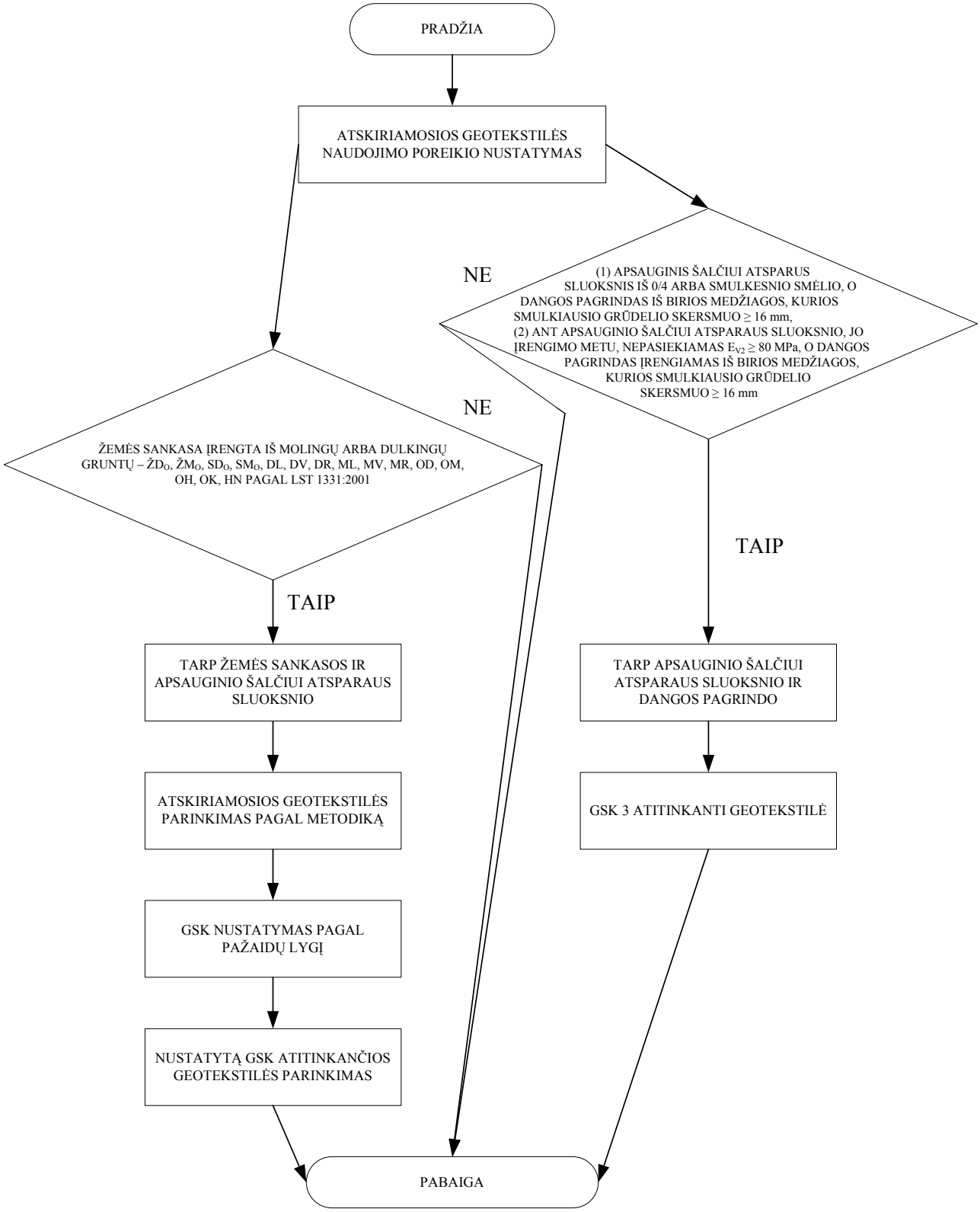
Mokslininkų tyrimais įrodyta, kad veikiant statinėms bei dinaminėms automobilių eismo apkrovoms, skirtingų kelio dangos sluoksnių medžiagos susimaišo (žr. 1 skyrių). Šiam susimaišymo procesui eliminuoti, Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių dangose tikslinga naudoti neaustinės kamšytos adatomis geotekstilės (toliau šio skyriaus tekste geotekstilės) tarpsluoksnį. Reikia pažymėti, kad tik nuodugnus kiekvienos konkrečios situacijos apibūdinimas bei tinkamai parinkta geotekstilė gali efektyviai atskirti dangos sluoksnius.

Geotekstilės tarpsluoksnius rekomenduojama naudoti tik naujai rengiant arba rekonstruojant Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių konstrukcijas tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio.

Efektyviai atskirti Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių dangos sluoksnius bei racionaliai naudoti geotekstiles rekomenduojama taikant autoriaus sukurtąjį geotekstilių parinkimo metodą.

4.2. Geotekstilių parinkimo metodas

Geotekstilės tarpsluoksnius rekomenduojama naudoti visose naujai rengiamose arba rekonstruojamose Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių dangose tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio. Pagal eksperimentinių tyrimų rezultatus teorinis geotekstilės parinkimo metodas, aprašytas 2.5 skyriuje, patikslinamas šiame skyriuje. Atskiriamosios geotekstilės naudojimo bei parinkimo procedūra pateikta 4.1 paveiksle.



4.1 pav. Geotekstilių naudojimo poreikio nustatymo bei parinkimo procedūra

Geotekstilę įrengiant kelio dangoje bei vėliau eksploatuojant kelią, ši geotekstilė yra veikiama tam tikrų veiksnių, kurie gali turėti įtaką jos pažaidoms susidaryti, ir todėl gali būti nepilnai arba visiškai nerealizuota atskyrimo funkcija. Tokie veiksniai yra skiriami į pažaidų lygius, kurie atitinka penkias geotekstilių stiprio klases (GSK1, GSK2, GSK3, GSK4, GSK5).

Geotekstilių parinkimo metode, išskiriami tokie veiksniai turintys didžiausią įtaką geotekstilės pažaidoms bei atskyrimo funkcijai:

1) Žemės sankasos grunto stipris:
   a) Mažas – žemės sankasa iš DR, MR, OD, OM, OH, OK, HN grunto pagal LST 1331:2002;
   b) Vidutinis – žemės sankasa iš DL, DV, ML, MV grunto pagal LST 1331:2002;
   c) Didelis – žemės sankasa iš $ŽD_O$, $ŽM_O$, SD_O, SM_O grunto pagal LST 1331:2002.

2) Sluoksnio virš geotekstilės įrengimo mechanizmų apkrovos:
   a) Mažos – sluoksnio medžiagai skleisti naudojami maži mechanizmai, tankinti – vibro plokštės arba volai, kurių masė ≤ 5 t;
   b) Vidutinės – sluoksnio medžiagai skleisti naudojami sunkūs mechanizmai, tankinti – volai (vibro), kurių masė ≥ 5 t;
   c) Didelės – sluoksnio medžiagai skleisti naudojami sunkūs mechanizmai, tankinti – volai (vibro), virš geotekstilės įrengtu sluoksniu leidžiamas kelių tiesimo automobilių eismas.

3) Dangos sluoksnių storis virš geotekstilės:
   a) Mažas – virš geotekstilės įrengtų dangos sluoksnių storis ≤ 50 cm;
   b) Didelis – virš geotekstilės įrengtų dangos sluoksnių storis > 50 cm.

4) Apkrovos eksploatuojant dangą (kelią):
   a) Mažos – krovininių automobilių rodiklis < 18 000 arba projektinė apkrova A < 10 mln;
   b) Didelės – krovininių automobilių rodiklis ≥ 18 000 arba projektinė apkrova A ≥ 10 mln.

Geotekstilių stiprio klasės priklausomybė nuo veiksnių, turinčių įtaką dangai ją įrengiant bei eksploatuojant kelią, kombinacijų pateikta 4.2 lentelėje. Pagal šios lentelės parametrus nustatoma reikiama geotekstilės stiprio klasė. Pagal 4.3 lentelės parametrus nustatoma GSK, t.y.

reikalinga geotekstilė. Šioje lentelėje pateiktos reikalingos geotekstilės savybės ir jų parametrai, nustatyti pagal autoriaus bei kitų mokslininkų eksperimentinių tyrimų rezultatus. Daugelis šių savybių yra reglamentuojamos standarte „EN 13249 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant keliams tiesti ir kitų transporto sričių statiniams“.

4.2 lentelė. Geotekstilių stiprio klasės, žiūrint veiksnių, turinčių įtaką geotekstilės pažaidoms bei atskyrimo funkcijai, kombinacijų

Sluoksnio virš geotekstilės apkrovos įrengiant dangą	Dangos sluoksnių storis virš geotekstilės	Dangos apkrovos eksploatuojant kelią	Žemės sankasos grunto stipris		
			Didelis	Vidutinis	Mažas
Didelės	Mažas	Didelės	GSK 4	GSK 5	GSK 5
		Mažos	GSK 3	GSK 4	GSK 5
	Didelis	Didelės	GSK 3	GSK 4	GSK 5
		Mažos	GSK 3	GSK 4	GSK 5
Vidutinės	Mažas	Didelės	GSK 3	GSK 4	GSK 5
		Mažos	GSK 2	GSK 3	GSK 4
	Didelis	Didelės	GSK 2	GSK 3	GSK 4
		Mažos	GSK 2	GSK 3	GSK 3
Mažos	Mažas	Didelės	GSK 1	GSK 3	GSK 3
		Mažos	GSK 1	GSK 2	GSK 3
	Didelis	Didelės	GSK 1	GSK 2	GSK 2
		Mažos	GSK 1	GSK 1	GSK 2

4.3 lentelė. Geotekstilės savybių reikalingi parametrai žiūrint geotekstilės stiprio klasės

Geotekstilės savybės	Leidžiami nuokrypiai	Geotekstilės stiprumo klasė				
		GSK1	GSK2	GSK3	GSK4	GSK5
		Geotekstilės savybių reikalingi parametrai				
Tempimo stiprio riba*, kN/m	–10 %	5	7	10	13	15
Pailgėjimas, kai didžiausia deformacija, %	–15 %	60	55	55	50	50
Mažiausias energijos indeksas, kN/m	-	1,4	1,8	2,5	2,9	3,4
Dinaminio pradūrimo atsparumas, mm	+20 %	33	28	24	19	14
Statinio pradūrimo atsparumas, kN	–15 %	1,1	1,6	2,2	2,7	3,2
Laidumas vandeniui, 10^{-3} m/s	–25 %	120	100	100	80	70
Būdingas kiaurymės dydis, µm	+25 %	150	150	130	100	100
Ploto vieneto masė	-	–12 %	–12 %	–12 %	–10 %	–10 %

* Parametrai nurodyti geotekstilės išilginio tempimo stiprio ribai.

4.3. Ekonominio efekto nustatymas dangai naudojant geotekstilę

Ekonominis efektas apskaičiuojamas nagrinėjant šiuos geotekstilės tarpsluoksnio įrengimo dangoje variantus:

a) kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengtas tarp dangos pagrindo sluoksnio ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;
b) kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengtas tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir žemės sankasos;
c) kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengtas tarp dangos pagrindo sluoksnio ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir žemės sankasos.

Nustatant ekonominį efektą taikyti šie pagrindiniai įverčiai [96]:

a) vidinė grąžos norma VGN;
b) naudos ir kaštų santykis N/K.

Remiantis moksline literatūra [96], projekto patrauklumas pagal VGN apibūdinamas taip:

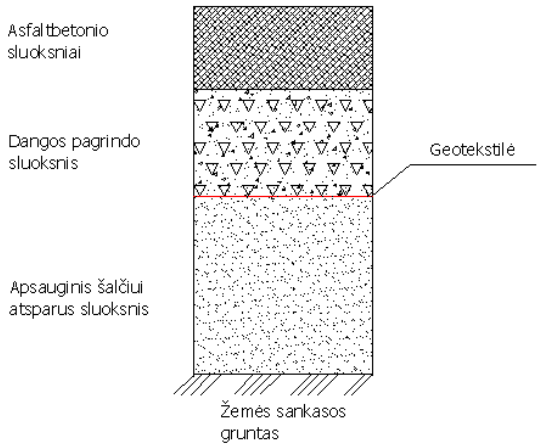
a) patenkinamas, jeigu VGN yra 5–10 %,
b) geras, jeigu VGN yra 10–15 %,
c) labai geras, jeigu VGN yra ≥ 15 %.

Pagal santykį N/K projekto patrauklumas apibūdinamas taip:

a) patenkinamas, jeigu N/K yra 1,0–1,5,
b) geras, jeigu N/K yra 1,5–2,5,
c) labai geras, jeigu N/K yra >2,5.

Apskaičiuojant ekonominį efektą, kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengtas tarp dangos pagrindo sluoksnio ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio (4.2 pav.), tariama, kad danga yra įrengiama iš tokių medžiagų: apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis iš smėlio frakcija 0/4, dangos pagrindo sluoksnis iš dolomitinės skaldos frakcija 16/56.

Nenaudojant geotekstilės tarpsluoksnio dangos pagrindo sluoksniui naudojama daugiau medžiagos, nes jos grūdeliai įspaudžiami į silpnesnį apsauginį šalčiui atsparų sluoksnį. Prognozuojama, kad ši skvarba yra nuo 10 iki 15 % dangos pagrindo sluoksnio storio. Taikant, kad dangos pagrindo sluoksnio storis turi būti 25 cm, o skvarbos gylis vidutiniškai 12 %, maždaug 0,05 t dangos pagrindo sluoksnio medžiagos pereikvojama kiekvienam kelio kvadratiniam metrui.



4.2 pav. Dangos pagrindo ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio atskyrimas geotekstile

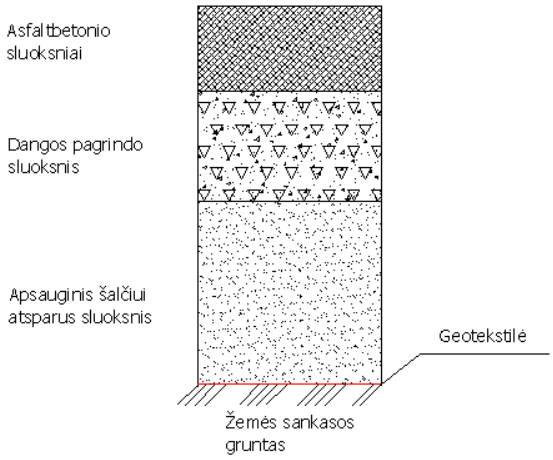
Apskaičiuojant kaštus taikomos tokios kainos:

a) dangos pagrindo sluoksnio medžiaga – dolomitas, kurio kaina karjere yra 70 Lt/t;
b) karjeras yra už 15 km nuo objekto, todėl dolomito pristatymo į objektą kaina – 15 Lt/t;
c) papildomo 0,03 m storio dangos pagrindo sluoksnio medžiagos įrengimo kaina – 0,5 Lt/m^2;
d) pagal parinkimo metodą reikalingos GSK 3 stiprio geotekstilės kaina (įskaitant ir pristatymo į objektą išlaidas) – 2,2 Lt/m^2;
e) geotekstilės paklojimo kaina – 0,5 Lt/m^2.

Pagal kaštų ir naudos skaičiavimus 1 km kelio atkarpai, kai kelio dangos plotis 7 metrai, nustatyta, kad naudojant geotekstilę galima sutaupyti lėšų jau įrengiant dangą N/K = 1,76 (žr. priedo Nr. 3, P-3.1 lentelę). Taigi naudoti geotekstilę yra rentabilu. Šiuo atveju VGN skaičiuoti netikslinga.

Reikia pažymėti, kad dangos pagrindo sluoksnio medžiagos stambieji grūdeliai eksploatuojant kelią, kai veikia statinės ir dinaminės apkrovos, taip pat gali būti įspaudžiami į apsauginį šalčiui atsparų sluoksnį. Šiuo atveju grūdelių skvarbos gylis vėžės zonoje gali siekti 5 % dangos pagrindo storio. Naudoti geotekstilę ekonomiškai tikslinga jau įrengiant dangą, todėl ekonominis efektas po tam tikro eksploatacijos laikotarpio nebuvo nustatomas.

Apskaičiuojant ekonominį efektą, kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengtas tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir žemės sankasos (4.3 pav.), tariama, kad danga yra įrengiama iš tokių medžiagų: apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis iš smėlio frakcija 0/4, žemės sankasa iš grunto – mažo plastiškumo molio (ML).



4.3 pav. Apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir žemės sankasos atskyrimas geotekstile

Šioje dangoje nededant geotekstilės tarpsluoksnio, naudojama daugiau medžiagos apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui įrengti, nes šio sluoksnio medžiaga įspaudžiama į silpnesnį žemės sankasos gruntą, įrengiant dangą. Prognozuojama 10 cm skvarba. Taigi apie 0,16 t apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagos pereikvojama kiekvienam kelio kvadratiniam metrui.

Apskaičiuojant kaštus taikomos tokios kainos:

a) apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiaga – sijotas smėlis, kurio kaina karjere yra 15 Lt/t;
b) karjeras yra už 15 km nuo objekto, todėl smėlio pristatymo į objektą kaina – 15 Lt/t;
c) papildomo 0,1 m storio medžiagos kaina – 0,5 Lt/m^2;
d) pagal parinkimo metodą, reikalingos GSK 2 stiprio geotekstilės kaina (įskaitant ir pristatymo į objektą išlaidas) – 2,0 Lt/m^2;
e) geotekstilės paklojimo kaina – 0,5 Lt/m^2.

Pagal kaštų ir naudos skaičiavimus 1 km kelio atkarpai, kai kelio dangos plotis 7 metrai, nustatyta, kad naudojant geotekstilę galima sutaupyti lėšų jau įrengiant dangą N/K = 2,12 (žr. priedo Nr. 3, P-3.2 lentelę). Taigi naudoti geotekstilę yra rentabilu. Šiuo atveju VGN skaičiuoti netikslinga.

Reikia pažymėti, kad rentabilu naudoti geotekstilės tarpsluoksnį ne tik dėl to, kad įrengiant dangą nebus pereikvojamos apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagos. Kelią eksploatuojant apsauginio šalčiui atsparaus bei dangos pagrindo sluoksnių medžiaga užteršiama smulkiausiomis

žemės sankasos grunto dalelėmis, dėl to pabloginamos sluoksnių medžiagų filtracinės savybės. Taigi didėja tikimybė susidaryti iškyloms, plyšiams bei kitoms pažaidoms kelio dangoje. Taip pat blogėja važiavimo komfortas, mažėja kelio tarpremontinis periodas, didėja automobilių eksploatacinės išlaidos, kelionės laikas. Atsižvelgiant į tai, kad geotekstilę naudoti ekonomiškai naudinga jau įrengiant dangą, ekonominis efektas po tam tikro eksploatacijos laikotarpio nebuvo nustatomas.

Apskaičiuojant ekonominį efektą, kai geotekstilės tarpsluoksnis yra tarp dangos pagrindo ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir žemės sankasos, tariama, kad dangos pagrindo sluoksnis iš dolomitinės skaldos frakcija 16/56, apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis iš smėlio frakcija 0/4, žemės sankasos gruntas – mažo plastiškumo molis (ML).

Apskaičiuojant kaštus taikomos tokios kainos:

a) dangos pagrindo sluoksnio medžiaga – dolomitas, kurio kaina karjere yra 70 Lt/t;
b) pagal parinkimo metodą reikalingos GSK 3 stiprio geotekstilės kaina (įskaitant ir pristatymo į objektą išlaidas) – 2,2 Lt/m^2;
c) apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiaga – sijotas smėlis, kurio kaina karjere yra 15 Lt/t;
d) pagal parinkimo metodą, reikalingos GSK 2 stiprio geotekstilės kaina (įskaitant ir pristatymo į objektą išlaidas) – 2,0 Lt/m^2;
e) karjeras yra už 15 km nuo objekto, todėl medžiagų pristatymo į objektą kaina – 15 Lt/t;
f) papildomo 0,03 m storio dangos pagrindo sluoksnio medžiagos kaina – 0,5 Lt/m^2;
g) papildomo 0,1 m storio apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagos kaina – 0,5 Lt/m^2;
h) geotekstilės paklojimo kaina – 0,5 Lt/m^2.

Pagal kaštų ir naudos skaičiavimus 1 km kelio atkarpai, kai kelio dangos plotis 7 metrai, nustatyta, kad naudojant geotekstilę galima sutaupyti lėšų jau įrengiant dangą N/K = 1,94 (žr. priedo Nr. 3, P-3.3 lentelę). Taigi naudoti geotekstilę yra rentabilu. Šiuo atveju VGN skaičiuoti netikslinga.

4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Geotekstilės atskiriamuosius tarpsluoksnius rekomenduojama naudoti tik naujai rengiamose arba rekonstruojamose Lietuvos automobilių kelių bei miestų gatvių dangose tarp žemės sankasos ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo sluoksnio.
2. Automobilių kelių bei miestų gatvių dangų sluoksniams atskirti rekomenduojama naudoti tik neaustines kamšytas adatomis geotekstiles.
3. Geotekstiles rekomenduojama naudoti pagal geotekstilės parinkimo procedūrą (4.1 pav.) ir geotekstilių parinkimo metodą (4.2 ir 4.3 lentelės).
4. Pagal sukurtą parinkimo metodą, geotekstilę naudojant tiesiamų ir rekonstruojamų Lietuvos automobilių kelių ir miestų gatvių dangų sluoksniams atskirti, ekonominiu požiūriu yra rentabilu. Geotekstilės ir jos įrengimo kaštai atsiperka jau įrengiant dangą – tai rodo naudos ir kaštų santykis, kuris kinta nuo 1,76 iki 2,12.

Šio skyriaus medžiaga paskelbta [5a] publikacijoje.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Analizuojant eksperimentinių tyrimų rezultatus nustatyta, kad geotekstilės pažaidos, susidariusios įrengiant dangos konstrukcijos sluoksnius virš geotekstilės, neturi ženklios įtakos sluoksnių atskyrimo funkcijai atlikti. Taip pat nustatyta, kad reikšmingiausios geotekstilės pažaidos, turinčios neigiamą įtaką kelio dangos sluoksniams atskirti, yra pradūros. Bandomųjų geotekstilių pažaidos (pradūros), susidariusios eksperimento metu, įrengiant dangos konstrukcijos sluoksnius virš geotekstilės, sudaro 0–0,035 % lyginant su nepažeistos geotekstilės plotu.
2. Analizuojant eksperimentinių tyrimų rezultatus nustatyta, kad eksploatuojant kelią geotekstilė pažeidžiama iki 200 kartų labiau lyginant su geotekstilės pažaidom, susidarančiom įrengiant kelio dangos konstrukcijos sluoksnius. Išbandytų geotekstilių pažaidos (pradūros), sudaro 0,01–6,7 % lyginant su nepažeistos geotekstilės plotu. Taip pat nustatyti pagrindiniai veiksniai, turintys įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti tiesiant bei eksploatuojant kelią:
   a) virš geotekstilės įrengiamo sluoksnio mineralinės medžiagos granuliometrinė sudėtis ir didžiausių medžiagos grūdelių matmenys;
   b) dangos konstrukcijos sluoksnių storis virš geotekstilės;
   c) apkrovos įrengiant dangos konstrukcijos sluoksnius (kelių tiesimo mašinų eismas virš geotekstilės įrengtu sluoksniu);
   d) transporto apkrovos eksploatuojant kelią.
3. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė rodo stiprią priklausomybę tarp geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio bei statinio pradūrimo atsparumo vidurkių reikšmių. GTX1 rodiklių koreliacijos koeficientas (–0,84), o GTX2 – (–0,88). Žinant geotekstilės pažaidų laipsnį galima prognozuoti (apskaičiuoti) geotekstilės statinio pradūrimo atsparumą, kai geotekstilės tarpsluoksnis įrengiamas tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir dangos pagrindo.
4. Lietuvos automobilių kelių ir gatvių konstrukcijų sluoksnių atskyrimui geotekstiles rekomenduojama parinkinėti taikant autoriaus sukurtą geotekstilių parinkimo metodą. Šis metodas nurodo geotekstilės naudojimo poreikį, įvertina veiksnius, turinčius įtaką geotekstilės pažaidoms susidaryti tiesiant ir eksploatuojant kelią ar gatvę, bei įgalina parinkti tinkamą geotekstilę atskyrimo funkcijai atlikti. Pagal sukurtą metodą parinktų geotekstilių

taikymas, atskyrimo funkcijai atlikti, yra racionalus. Geotekstilės ir jos įrengimo kaštai atsiperka jau įrengiant dangos konstrukciją, tai rodo naudos ir kaštų santykis, kuris kinta nuo 1,76 iki 2,12.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Guidelines for Design, Specification, and Contracting of Geosynthetic Mechanically Stabilized Earth Slopes on Firm Foundations.US DOT, FHWA-SA-93025, Washington, D.C., 1993, 89 p.
2. Koerner, R.M. Designing with Geosynthetics. Fifth Edition, Pearson Education, Inc., 2005, 796 p.
3. Giroud, J.P. Designing With Geotextiles, *Mater. Const.* (Paris), Vol. 14, No. 82, 1981, p. 257–272; reprinted in *Geotextiles and Geomembranes.* Defininions, Properties and Designs. Vol. 1, IFAI, 1984, p. 5–40.
4. Geotekstilės ir geotinklų naudojimas tiesiant kelius. Laikini nurodymai. Vilnius, 1998, 47 p.
5. Statybos techniniai reglamentai. Automobilių keliai. STR 2.06.03:2001, Vilnius 2001, 80 p.
6. Palšaitis, E.; Vidugiris, L. Automobilių kelių projektavimas. Teorija ir praktika. Vilnius, 1999, 440 p.
7. Molenaar, A.A.A. Principles of Pavement Design. Delft University of Technology, Netherlands 2004, 71 p.
8. Meyer, N.; Elias, J. M. Design Methods for Roads Reinforced with Multifunctional Geogrid Composites for Subbase Stabilization. *German Conference on Geosynthetics.* Technical University Munich, 1999, p. 1–8.
9. Houlsby, G.T.; Jewell, R.A. Design of Reinforced Unpaved Roads for Small Rut Depths. *Geotextiles, Geomembranes and Related Products.* ed. G. den Hoedt, Balkema, Rotterdam, 1990, p. 171–176.
10. Groot, M.; Janse, E.; Maagdenberg T.A.C.; Van den Berg, C. Design Method and Gudelines for Geotextile Application in Road Construction. *Proceedings of the 3rd International Conference on Geotextiles*. Vienna, 1986, Vol. 3, p. 704–711.
11. Brandl, H. Separation Function and Bearing Capacity of Nonwowen Fabrics in Special Geotechnical Practice. *Proceedings 2nd International Conference on Geotextiles*. Las Vegas, Vol. II, p. 441–446.
12. Holtz, R.D.; Christopher, B.R.; Berg, R.R. Geosynthetic Design and Construction Gudelines. National Highway Institute. Federal Highway Administration. Washington DC, Report No. FHWA HI-95-038, 1998, 460 p.

13. Henry, K.S.; Tingle, J. Pavement Base and Subgrade Mixing Due to Repeated Loading: a Literature Review. *Fifty-Sixth Canadian Geotechnical Conference Proceedings*, Winnipeg, Canada, 2003, 8 p.
14. Holtz, R.D.; Sivakugan, N. Design Charts for Roads with Geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 5, No. 3, 1987, p. 191–199.
15. Narejo, D.B. Opening Size Recommendations for Separation Geotextiles Used in Pavements. *Geotextiles and Geomembranes*. 2003, Vol. 21, p. 257–264.
16. Kuo, C.; Lin, S.S.; Lee, W.F.; Huang, Y.M. Geosynthetics applications for heavy load railway mitigation. *Proceedings of Eight International Conference on Geosynthetics.* Yokohama, Japan, 2006, p. 853–856.
17. Rowe, R. K.; Badv, K. Use of Geotextile Separator to Minimize Intrusion of Clay Into a Coarse Stone Layer. *Geotextiles and Geomembranes.* No. 14, 1996, p. 73–93.
18. Riedėjimo tako „B“ esamos dangos tyrimai ir rekomendacijų rekonstrukcijai paruošimas. Mokslo darbo ataskaita. VGTU, Vilnius, 2006, 23 p.
19. Recommended Descriptions of Geosynthetics Functions, Geosynthetics Terminology, Mathematical and Graphical Symbols. International Geosynthetic Society. USA, 2000, 17 p.
20. Gautiem, K.B.; Kocher, C.W.; Drean, J.Y. Mechanical Behavior of Non-woven Geotextiles Studied by Infrared Thermography Techniques. *7th International Conference on Geosynthetics*. Nice, 2002, p. 1371–1374.
21. Collins, B.M.; Holtz, R.D. Long-Term Performance of Geotextile Separators, Bucoda Test Site—Phase III. Final Research Report. Washington State Transportation Center (TRAC)**.** 2005, 234 p.
22. Geotextile Specification for Highway Applications, M 288. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 2 Specifications. AASHTO, Washington, DC, 2000, 19 p.
23. Al-Qadi, I.L.; Brandon, T.L.; Bhutta, S.A.; Appea, A.K. Geosynthetics Effectiveness in Flexible Secondary Road Pavements. The Charles E. Via. Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA., 1998, 24 p.
24. McGown, A. Geosynthetics in Separation. IGS No. 5, 2007, 17 p.
25. Koerner, R.M.; Hwu, B.L.; Wayne, M.H. Soft Soil Stabilization Designs Using Geosynthetics. *Geotextiles and Geosynthetics*. USA, 1987, p. 33–51.
26. Hufenus, R.; Rüegger, R.; Weingart, K.; Banjac, R.; Mayor, P.; Springman, S.M.; Brönnimann, R.; Feltrin, G. Reinforcing Foundation Layers on Soft Subgrade. *EuroGeo3*. Munich, 2004, p. 255–260.

27. Abramento, M.; Castro, G.R.; Campos, S.J.A.M. Short and Long-Term Analysis of a Reinforced Embankment Over Soft Soil. *7th International Conference on Geosynthetics*. Nice, 2002, p. 139–142.
28. Labuz, J.; Bearden, J. Geotextile-Reinforced Unpaved Roads: Model Tests. *Geotechnical Fabrics Report.* Vol. 18, No. 5, 2000, p. 38–44.
29. Gupte, A.; Satkalmi, V.; Bhonsle S.; Viswanadham, B.V.S. Performance of Road Reinforced With Polypropylene Geotextile – a Case Study. *Proceedings of Eight International Conference on Geosynthetics*. Yokohama, Japan, 2006, p. 821–824.
30. Kohata, Y.; Tanaka, M.; Sato, O.; Hirai, T. Clogging Evaluation on Cross-plane Flow Performance of Geotextile Filtre. *Proceedings of Eight International Conference on Geosynthetics.* Yokohama, Japan, 2006, p. 561–564.
31. Metcalfe, R.C. Performance of Geotextile Separators in Western Washington. MSCE Thesis, University of Washington, Seattle, 1993, 262 p.
32. Fourie, A.B.; Addis, P.C. Changes in Filtration Opening Size of Woven Geotextiles Subjected to Tensile Loads. *Geotextiles and Geomembranes.* No. 17, 1999, p. 331–340.
33. Palmeira, E.M.; Gardini, M.G. Drainage and Filtration Properties of Non-woven Geotextiles Under Confinement Using Different Experimental Techniques. *Geotextiles and Geomembranes.* No. 20, 2002, p. 97–115.
34. Liu, L.F.; Chu, C.Y. Modeling the Slurry Filtration Performance of Nonwoven Geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes.* No. 24, 2006, p. 325–330.
35. Metcalfe, R.C.; Holtz, R.D. Performance of Geotextile Separators in Western Washington. Final Technical Report, Washington State Department of Transportation, Report No. WA-RD 321.1, 1994, 265 p.
36. Dembicki, E.; Cichy, W.; Danczak, J. In-Plane Hydraulic Conductivity and Porosity of Geotextiles. *Seventh International Conference on Geosynthetics.* Nice, France, Vol. 3, 2002, p. 1089–1093.
37. Shukla, S.K.; Sharma, U. Effect of Seating Time on Transmissivity and Permittivity of Nonwoven Geotextiles. *Proceedings of Eight International Conference on Geosynthetics.* Yokohama, Japan, 2006, p. 403–406.
38. Watn, A.; Eiksund, G.; Knutson, A. Deformations and Damage of Non-Woven Geotextiles in Road Construction. *Proceedings of Sixth International Conference on Geosynthetics*, Atlanta, USA, 1998, Vol. 3, p. 933–938.

39. Shevchuk, V.; Mozgovoy, V.; Gamelyak, I.; Shevchuk, E. Laboratory Test Method to Evaluate the Installation Damage of Geotextiles. *Proceedings of Eight International Conference on Geosynthetics*, Yokohama, Japan, 2006, p. 1535–1538.
40. Carneiro, J.R.; Almeida, P.J.; Lopes, M.L. Durability of Polypropylene Geotextiles Exposed to Several Degradation Agents – Importance of the Incorporation of a Chemical Stabilizer on the Geotextiles Formulation. *Proceedings of Eight International Conference on Geosynthetics*, Yokohama, Japan, 2006, p. 1559–1562.
41. Bonaparte, R.; Ah-Line, C.; Charron, R. Survivability and Durability of a Nonwoven Geotextile. Geosynthetics for soil improvement, Geotechnical special publication. No. 18, ASCE 1988, p. 68–91.
42. Pinho-Lopes, M.; Recker, C.; Lopes, M.L.; Müller-Rochholz, J. Experimental Analysis of the Combined Effect of Installation Damage and Creep of Geosynthetics – New Results. *Proceedings of Seventh International Conference on Geosynthetics*, Nice, 2002, p. 1539–1544.
43. Eiksund, G.; Watn, A.; Rathmayer, H. NorGeoSpec, a Proposed System for Specification and Control of Geotextiles for Separation and Filtration in Roads in the Nordic Countries. *7th International Conference on Geosynthetics*. Nice, 2002, p. 1375–1378.
44. Paula, A. M.; Pinho-Lopes, M.; Lopes, M.L. Damage During Installation Laboratory Test. Influence of the type of granular material. *Proceedings of Seventh International Conference on Geosynthetics*, Nice, France, 2002, p. 603–606.
45. Huang, C.C.; Chiou, S.L. Investigation of Installation Damage of Some Geogrids Using Laboratory Tests. *Geosynthetics International,* No.1, 2006, p. 23–36.
46. Huang, C.C. Laboratory Simulation of Installation Damage of a Geogrid. *Geosynthetics International,* No.3, 2006, p. 120–133.
47. Tsai, W.S.; Savage, B.M.; Holtz, R.D.; Christopher, B.R.; Allen, T.M. Evaluation of Geotextiles as Separators in Full-Scale Road Test. *Geosynthetics '93 Conference Proceedings*, Vancouver, B.C., Vol. 1, 1993, p. 35–48.
48. Austin, D.N.; Coleman, D.M. A Field Evaluation of Geosynthetics Reinforced Haul Roads Over Soft Fundation Soils. *Proceedings Geosynthetics'93 Conference,* Vancouver, Canada, Vol. 1, 1993, p. 65–80.
49. Tsai, W.S. Evaluation of Geotextiles as Separators in Roadways. PhD thesis. University of Washington. 1995, 172 p.

50. Watn, A.; Chew, S.H. Geosynthetic Damage – from Laboratory to Field. *Proceedings of Seventh International Conference on Geosynthetics*, Nice, France, Vol. 4, 2002, p. 1203–1226.
51. Brady, K.C.; Watts, G.R.A.; Nagarkatti, A.S.; Greenwood, J.H. Installation Damage Trials on Geotextiles. Research Report 382. Crowthorne, U.K.: Transport Research Laboratory, 1994, 109 p.
52. Greenwood, J.H. The Nature of Mechanical Damage. Seminar on Installation Damage in Geosynthetics. ERA Report 98-0853, Leatherhead, U. K. ERA Technology Ltd., 1998, 75 p.
53. Non-woven Geotextiles – Field Test on Damage During Installation. Report STF22 F97658. SINTEFF, Trondheim, 1997, 80 p.
54. Müller-Rochholz, J. Abrasion Damage of Geosynthetics. Geosynthetics: Applications, Design and Construction. *1st European Geosynthetics Conference,* Maastricht, Netherlands, 1996, p. 1061–1063.
55. Huang, C.C.; Liao, C.C. Abrasion Damage of Geogrids Induced by Turbin Flow. *Geotextiles and Geomembranes.* Vol. 25 (2), 2007, p. 128–138.
56. Cancelli, P.; Montanelli, F. Geogrid Construction Damage Resistance: Preliminary Test Results. *2nd European Geosynthetics Conference,* Bologna, 2000, p. 883–888.
57. Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills. British Standard BS 8006, London, U.K. 1995, 162 p.
58. Wilmers, W. The Revised German Regulations for the Use of Geosynthetics in Road Construction. *7th International Conference on Geosynthetics.* Nice, 2002, p. 1401–1404.
59. Hufenus, R.; Rüegger, R.; Reifler, F.; Raschle, P. Langzeitverhalten von Geotextilien. In: Schweizerischer Verband der Geotextilfachleute (ed.), Das Geotextilhandbuch. St. Gallen: SVG, 1997. 34 p.
60. Koerner, R.M.; Koerner, G.R. Reduction Factors Used in Geosynthetic Design. GSI White Paper #4. Folsom, USA, 2005, 13 p.
61. Corrosion/Degradation of Soil Reinforcements for Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. *FHWA–NHI–00–044*. Washington DC, 2000, 58 p.
62. Hufenus, R.; Rüegger, R.; Flum, D. Geosynthetics for Reinforcement – Resistance to Damage During Installation. *7th International Conference on Geosynthetics*. Nice, 2002, p. 1387–1390.
63. LST EN ISO 13433:2006. Geosintetika. Dinaminis prakirtimo bandymas (kūgio kritimo bandymas), 8 p.

64. Radovskiy, B. Approximate Equation for Vertical Stress in Pavement Structure. *Highways and road construction.* Vol. 43, 1988, p. 8–10.
65. Timoshenko, S.P.; Goodier, J.N. Theory of Elasticity, 3rd ed., McGraw-Hill, 1970, 368 p.
66. Hufenus, R.; Rüegger, R.; Flum, D.; Stemba, I.J. Strength Reduction Factors Due to Installation Damage of Reinforcing Geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes.* No. 23, 2005, p. 401–424.
67. NorGeoSpec 2002. A Nordic System for Specification and Control of Geotextiles in Roads and Other Trafficked Areas. VTT and SINTEF, 2004, 27 p.
68. Holtz, R.D.; Page, M.W. Performance of Geotextile Separators – Phase I. Final Technical Report, Washington State Department of Transportation, Report No. WA-RD 280.1, 1991, 136 p.
69. Metcalfe, R.C.; Holtz, R.D.; Allen, T.M. Field Investigations to Evaluate the Long-Term Separation and Drainage Performance of Geotextile Separators. *Geosynthetics '95 Conference Proceedings*, Nashville, USA, Vol. 3, 1995, p. 951–962.
70. Savage, B.M. Field Activities Report. Bucoda, Washington, Field Research Project, 1991, 29 p.
71. Black, P.J.; Holtz, R.D. Long-Term Performance of Geotextile Separators, Bucoda Test Site—Phase II. Final Summary Report, Washington State Department of Transportation, Report No. WA-RD 440.1, 1997, 210 p.
72. Black, P.J.; Holtz, R.D. Performance of Geotextile Separators Five Years after Installation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 5, 1999, p. 404–412.
73. Al-Qadi, I.L. The Proper Use of Geosynthetics in Flexible Pavements. *Proceedings of Seventh International Conference on Geosynthetics*, Nice, France, Vol. 3, 2002, p. 913–916.
74. Al-Qadi, I.L.; Brandon, T.L.; Valentine, R.J.; Lacina, B.A.; Smith, T. E. Laboratory Evaluation of Geosynthetic Reinforced Pavement Sections, Transportation Research Record 1439, Washington DC., USA, 1994, p. 25–31.
75. Al-Qadi, I.L. Quantifying the Separation Characteristic of Geosynthetics in Flexible Pavements. *Proceedings of Sixth International Conference on Geosynthetics*, Atlanta, USA, Vol. 3, 1998, p. 945–950.
76. Tsai, W.S., Holtz, R.D. Laboratory Model Tests to Evaluate Geotextile Separators in Service. *Geosynthetics '97 Conference Proceedings*, Long Beach, USA, Vol. 2, 1997, p. 633–646.

77. Suits, L.D.; Koerner, G.R. Site Evaluation/Performance of Separation Geotextiles. *Geosynthetics Conference 2001 Proceedings*, Portland, USA, 2001, p. 451–467.
78. Rathmayer, H. Evaluation of Geotextiles' Survivability by Field Tests. *2nd European Geosynthetics Conference,* Bologna, 2000, p. 899–904.
79. Blivet, J.C. Emploi des geosynthétiques en séparation: vers de nouvelles spécification techniques. *Comptes Rendus de Rencontres 99*. Bordeaux, France: Comité Français des Geosynthétiques, 1999, p. 89–97.
80. Chew, S.H.; Karunaratne, G.P.; Tan, S.A.; Wong, W.K. Standardized Drop Test Method (SDT) to Evaluate the Puncture Resistance of Geotextiles in Coastal Revetments. Comptes Rendus de Rencontres 99. Bordeaux, France: Comité Français des Geosynthétiques, 1999, p. 263–271.
81. Diederich, R. Beurteilung der Einbaubeschädigung von Geotextilien. Korrelation mit Indexversuchen. 7. Informations– und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik, München, Germany, 2001, p. 199–203.
82. Wong, W.K.; Chew, S.H.; Tan, S.A.; Faure, Y.H. Geotextile Puncture Against Installation Damage. *7th International Geosynthetics Conference,* Nice, 2002, p. 1405–1408.
83. Diederich, R. Evaluation of Installation Damage of Geotextiles. A Correlation to Index Test. DuPont de Nemours Luxembourg S. A. 2000, 8 p.
84. Giroud, J.P. Le concept d'énergie pour les spécifications des geotextiles utilisés comme séparateurs: la théorie et la pratique. *Comptes Rendus de Rencontres 99.* Bordeaux, France: Comité Français des Geosynthétiques, 1999, p. 152–167.
85. Moritz, K.; Murray, H. Comparison Between Different Tensile Tests and the Plunger Puncture Test (CBR test). *Second International Conference on Geotextiles,* Las Vegas, 1982, p. 757–762.
86. Cazzuffi, D.; Venesia, S.; Rinaldi, M.; Zocca, A. The Mechanical Properties of Geotextiles: Italian Standard and Interlaboratory Test Comparison. *Third International Conference on Geotextiles,* Vienna, 1986, p. 695–700.
87. Frobel, R.K.; Montalvo, J.R. A Comparison of Three Commonly Specified Axisymmetric Stress Tests for Geosynthetics. In *Geosynthetics '93,* Vancouver, 1993, p. 561–570.
88. Montalvo, J.R.; Sickler, W. Comparison of Geotextiles– The Correlation Between Test Methods and Practical Performance. In *Geosynthetics '93,* Vancouver, 1993, p. 547–559.
89. Agosti, A.; Cazzuffi, D.; Mongiovi, L. Validation of the Comparison Between Wide-width Tensile Test and Static Puncture Test on Geotextiles. *Second European Geosynthetics Conference,* Bologna, 2000, p. 855–858.

90. Atmatzidis, D.K; Chrysikos, D.A. On the Static Puncture Strength of Nonwoven Geotextiles. *7th International Conference on Geosynthetics*. Nice, 2002, p. 1363–1366.
91. Notes on the Use of Geosynthetics in Earthwork in Road Construction. Germany, 2002, 30 p.
92. LST 1331. Automobilių kelių gruntai. Klasifikacija. Vilnius, 2002, 14 p.
93. Automobilių kelių pagrindai. Statybos rekomendacijos R 34-01. Vilnius, 2001, 124 p.
94. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos. Statybos rekomendacijos R 35-01. Vilnius, 2001, 119 p.
95. Adler, U.P.; Markova, E.V.; Granovski, U.V. Planning of Experiment on Optimal Specification Finding. [Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий]. Наука. Москва 1971, 278 p.
96. Čygas D.; Laurinavičius A.; Miškinis D.; Puodžiukas V. Automobilių kelių investiciniai projektai. Reikalavimai ir vertinimas. Vilnius, 2006, 191 p.

Autoriaus paskelbti straipsniai

I. Straipsniai žurnaluose, įtrauktuose į Mokslinės informacijos instituto (MII) duomenų bazę ***ISI Web of Science:***

1a. VAITKUS, A.; LAURINAVIČIUS, A.; ČYGAS, D. Site Damage Tests of Geotextiles Used for Layer Separation in Road Construction. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering,* 2006, Vol I, No 1, p. 29–37. ISSN 1822-427X print, ISSN 1822-4288 online.

2a. VAITKUS, A.; ČYGAS, D.; LAURINAVIČIUS, A.; JUZĖNAS A. A. Evaluation of Geotextiles Separation Performance on the Impact of Transport Loads: Experimental Research-Stage I. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering,* 2007, Vol II, No 1, p. 45–50. ISSN 1822-427X print, ISSN 1822-4288 online.

II. Straipsniai kituose Mokslinės informacijos instituto (MII) duomenų bazėje referuojamuose leidiniuose ***ISI Proceedings:***

3a. ČYGAS, D.; LAURINAVIČIUS, A.; JUKNEVIČIŪTĖ, L.; VAITKUS, A. Investigations of Pavement Structure of Public Transport Stops on Vilnius City Streets. In *8th International Conference Modern Building Material, Structures and Techniques. Selected papers,* edited by Zavadskas, E. K.; Vainiūnas, P.; Mazzolani, F. M. Vilnius, 2004, p. 186–192. ISBN 9986-05-757-4.

4a. VAITKUS, A.; ČYGAS, D.; LAURINAVIČIUS, A. Analysis and Evaluation of Determination Methods of Non-Rigid Pavement Structures Deformation Modulus. In *6th*

International Conference Environmental Engineering. *Selected papers,* edited by Čygas, D.; Froehner, K.D. Vilnius, 2005, p. 792–795. ISBN 9986-05-851-1.

5a. VAITKUS, A.; ČYGAS, D.; LAURINAVIČIUS, A. Evaluation of the Damage and Implementation of Separation Function of Geotextiles in Road Structure. In *International Conference on Advanced Characterisation of Pavement and Soil Engineering Materials. Selected papers,* edited by Loizos, A.; Scarpas, T.; Al-Qadi, I. Athens 2007, p. 1403–1414. Volume 1 ISBN: 978-0-415-44880-2, Volume 2 ISBN: 978-0-415-44881-9.

6a. VOROBJOVAS, V.; VAITKUS, A.; LAURINAVIČIUS, A.; ČYGAS, D. Evaluation of Asphalt Composition Laboratory Determination Methods. 9th *International Conference Modern Building Material, Structures and Techniques*. Vilnius, 2007, p. 112–114 ISBN 978-9955-28-131-3.

III. Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose:

7a. ČYGAS, D.; LAURINAVIČIUS, A.; VAITKUS, A.; TUMINIENĖ, F. Implementation of Special Requirements for Asphalt Concrete Street Pavement. *Construction Science & Engineering,* 2007, No 3 (12), p. 91-95. ISSN 1818–9792.

IV. Straipsniai kituose žurnaluose:

8a. VAITKUS, A.; KELMELIS, D. The Use of Geosynthetics in Road Building. *Lietuvos keliai,* 2006/1, 2006, p. 45–50 (in Lithuanian).

PRIEDAI

1 PRIEDAS

Standartai, taikomi geosintetines medžiagas naudojant statiniams ir šioms medžiagoms bandyti

1. LST EN 13249:2004/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant keliams ir kitoms eismo zonoms tiesti.

2. LST EN 13250:2004/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant geležinkeliams tiesti.

3. LST EN 13251:2002/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant žemės darbuose, pamatams ir atraminiams statiniams.

4. LST EN 13252:2002/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant drenažo sistemose.

5. LST EN 13253:2002/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant apsaugos nuo erozijos darbuose (pakrančių apsaugai, krantų tvirtinimui).

6. LST EN 13254+AC:2004/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant rezervuarų ir užtvankų statyboje.

7. LST EN 13255+AC:2004/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant kanalų statyboje.

8. LST EN 13256+AC:2004/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant tuneliams tiesti ir požeminiams statiniams.

9. LST EN 13257+AC:2004/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant kietųjų atliekų sąvartynuose.

10. LST EN 13265+AC:2004/A1:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Būtinosios savybės naudojant skystųjų atliekų sulaikymo projektuose.

11. LST EN 12224:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Atsparumo atmosferos poveikiui nustatymas.

12. LST EN 12225:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Mikrobiologinio atsparumo nustatymo metodas, užkasant dirvožemyje.

13. LST EN 12226:2001 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Bendrieji bandymai patvarumui įvertinti.

14. LST EN 12447:2002 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Ekraninis bandymo metodas nustatyti atsparumą hidrolizei vandenyje.

15. LST EN 13562:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Atsparumo vandens prasiskverbimui nustatymas (hidrostatinio slėgio bandymas).

16. LST EN 13719:2002/AC:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Geotekstilės, susiliečiančios su geosintetinėmis užtvaromis, ilgalaikės apsaugos efektyvumo nustatymas.

17. LST EN 14030:2002/A1:2003 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Ekraninis bandymo metodas nustatyti atsparumą rūgštims ir šarmams (ISO/TR 12960:1998, modifikuotas).

18. LST EN 1897:2001 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Gniuždomojo valkšnumo nustatymas.

19. LST EN ISO 13433:2006 Geosintetika. Dinaminis prakirtimo bandymas (kūgio kritimo bandymas) (ISO 13433:2006).

20. LST EN ISO 9862:2005 Geosintetika. Bandinių ėmimas ir paruošimas (ISO 9862:2005).

21. LST EN ISO 9863-1:2005 Geosintetika. Storio nustatymas esant apibrėžtiems slėgiams. 1 dalis. Vienasluoksniai gaminiai (ISO 9863-1:2005).

22. LST EN ISO 9864:2005 Geosintetika. Geotekstilė ir su geotekstile susijusių gaminių plotinio tankio nustatymo metodas (ISO 9864:2005).

23. LST EN ISO 10320:2003 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Identifikavimas naudojimo vietoje (ISO 10320:1999).

24. LST EN ISO 11058:2001 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Plokštumai statmena kryptimi laidumo vandeniui savybių nustatymas be apkrovos (ISO 11058:1999).

25. LST EN ISO 12236:2006 Geosintetika. Statinis pradūrimo bandymas (CBR bandymas) (ISO 12236:2006).

26. LST EN ISO 12956:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Būdingojo kiaurymės dydžio nustatymas (ISO 12956:1999).

27. LST EN ISO 12958:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Vandens sklidumo plokštumoje gebos nustatymas (ISO 12958:1999).

28. LST EN ISO 13426-1:2003 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Vidinių struktūrinių jungčių atsparumas. 1 dalis. Geosintetiniai elementai (ISO 13426-1:2003).

29. LST EN ISO 13427:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Dildymo poveikio imitavimas (slankiojančio skridinio bandymas) (ISO 13427:1998).

30. LST EN ISO 13431:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Tempimo deformacijos ir trūkimo veikiant ilgalaikėms apkrovoms elgsenos nustatymas (ISO 13431:1999).

31. LST EN ISO 13437:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Ėminių įtaisymo dirvožemyje bei ištraukimo iš jo metodas ir bandinių tyrimas laboratorijoje (ISO 13437:1998).

32. LST EN ISO 9863-1:2005 Geosintetika. Storio nustatymas esant apibrėžtiems slėgiams. 1 dalis. Vienasluoksniai gaminiai (ISO 9863-1:2005).

33. LST EN ISO 9863-2:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Storio nustatymas esant nurodytiems slėgiams. 2 dalis. Daugiasluoksnių produktų atskirų sluoksnių storio nustatymo procedūra (ISO 9863-2:1996).

34. LST EN 12447:2002 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Atsparumo hidrolizei nustatymas panardinimo metodu.

35. LST L ENV ISO 10722-1:2000 Geotekstilė ir su geotekstile susiję produktai. Sugadinimų instaliuojant imitavimo procedūra. 1 dalis. Instaliavimas granuliuotose medžiagose (ISO 10722-1:1998).

36. LST EN 14030:2002/A1:2003 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Ekraninis bandymo metodas nustatyti atsparumą rūgštims ir šarmams (ISO/TR 12960:1998, modifikuotas).

37. LST EN ISO 13438:2005 Geotekstilė ir su geotekstile susiję gaminiai. Paieškos metodas nustatyti atsparumą oksidacijai (ISO 13438:2004).

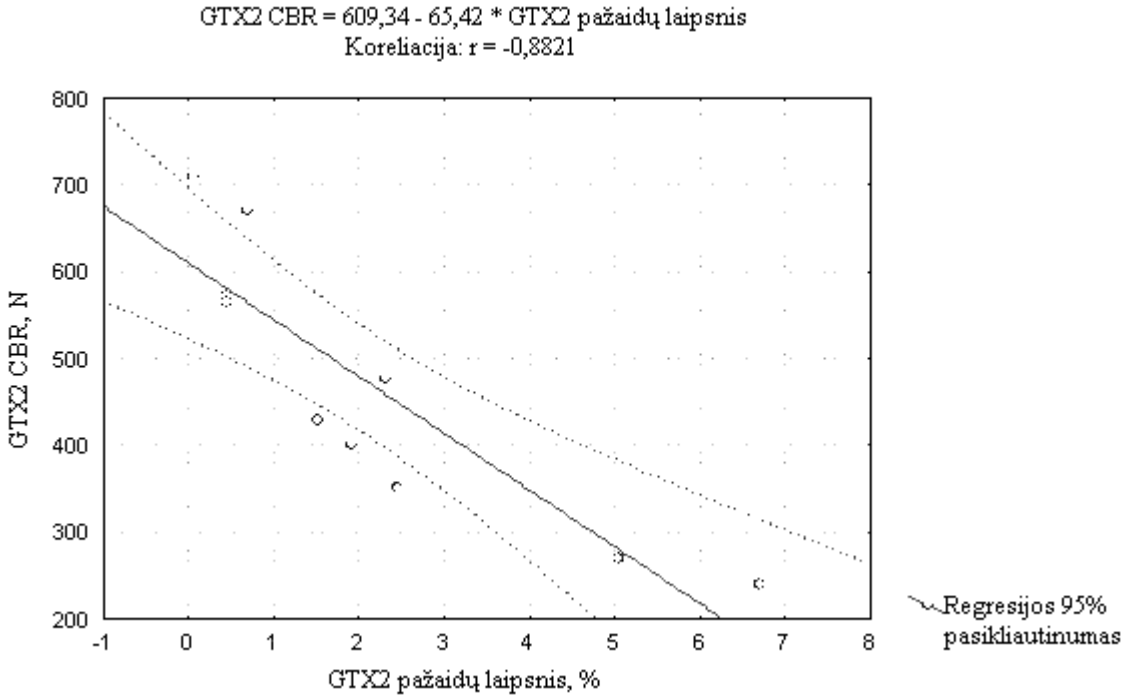
38. LST EN 1997-1:2006 Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 1 dalis. Pagrindinės taisyklės.

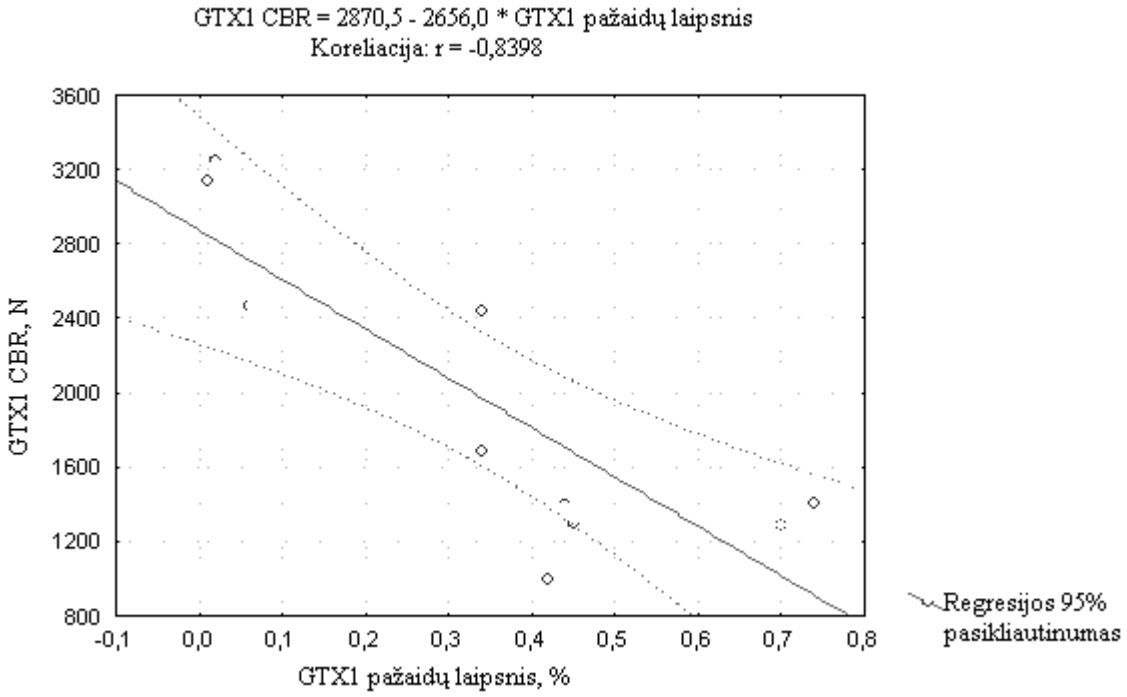
39. LST EN 1997-2:2007 Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Grunto tyrinėjimai ir bandymai Nuo 2010-03-01 pakeičia LST L ENV 1997-2:2001, LST L ENV 1997-3:2001.

40. LST L ENV 1997-3:2001 Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 3 dalis. Lauko bandymai Iki 2010-03-01 galioja LST L ENV 1997-3:2001 ir LST EN 1997-2:2007, o nuo 2010-03-01 - LST EN 1997-2:2007.

2 PRIEDAS

GTX1 ir GTX2 koreliacijos koeficientai tarp geotekstilės bandinių pažaidų laipsnio bei statinio pradūrimo atsparumo vidurkių


GTX2 CBR = 609,34 - 65,42 * GTX2 pažaidų laipsnis
Koreliacija: r = -0,8821
GTX2 CBR, N
800
700
600
500
400
300
200
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
GTX2 pažaidų laipsnis, %
Regresijos 95% pasikliautinumas


GTX1 CBR = 2870,5 - 2656,0 * GTX1 pažaidų laipsnis
Koreliacija: r = -0,8398
GTX1 CBR, N
3600
3200
2800
2400
2000
1600
1200
800
-0,1
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
GTX1 pažaidų laipsnis, %
Regresijos 95% pasikliautinumas

3 PRIEDAS

Ekonominis efektas taikant geotekstilę dangos sluoksniams atskirti, naudos ir kaštų analizė

P-3.1 lentelė. Ekonominis efektas naudojant geotekstilę tarp dangos pagrindo ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio

NAUDOS IR KAŠTŲ ANALIZĖ

(1 km atkarpoje, kai kelio dangos plotis 7 m)

Geotekstilės kaina 2,2 Lt/m^2

Metai	KAŠTAI, Lt.				NAUDA, Lt.						Diskonto veiksnys
	Geotekstilės kaina	Geotekstilės įrengimo kaštai	Viso		Dangos pagrindo medžiagos papildomos sąnaudos	Dangos pagrindo medžiagos atvežimo ir įrengimo papildomos sąnaudos	Dangos pagrindo medžiagos papildomos sąnaudos	Dangos pagrindo medžiagos atvežimo ir įrengimo papildomos sąnaudos	Viso		
			nediskontuota	diskontuota	nediskontuota		diskontuota		nediskontuota	diskontuota	
2008	19800	4500	24300	24300	31500	11250	31500	11250	42750	42750	1,0000
2009			0,000	0,000					0,000	0,000	0,9302
2010			0,000	0,000					0,000	0,000	0,8653
.....			0,000	0,000					0,000	0,000	.....
2024			0,000	0,000					0,000	0,000	0,3144
2025			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2925
2026			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2720
2027			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2531
2028			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2354
2029			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2190
Iš viso	**19800**	**4500**	**24300**	**24300**	Naudos procentinė išraiška: 31500	11250	73,68 31500		42750	**42750**	

Dabartinė kaštų vertė (DKV):	24300
Dabartinė naudos vertė (DNV):	42750
Grynoji dabartinė vertė (GDV):	**18450**
Naudos ir kaštų santykis (N/K):	**1,76**
Diskonto norma = 7,5 %	1,08

P-3.2 lentelė. Ekonominis efektas naudojant geotekstilę tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir žemės sankasos

NAUDOS IR KAŠTŲ ANALIZĖ

(1 km atkarpoje, kai kelio dangos plotis 7 m)

Geotekstilės kaina 2 Lt/m^2

Metai	KAŠTAI, Lt.				NAUDA, Lt.						Diskonto veiksnys
	Geotekstilės kaina	Geotekstilės įrengimo kaštai	Viso		Apsauginio šalčiui atsparaus sl. medžiagos papildomos sąnaudos	Apsauginio šalčiui atsparaus sl. medžiagos atvežimo ir įrengimo papildomos sąnaudos	Apsauginio šalčiui atsparaus sl. medžiagos papildomos sąnaudos	Apsauginio šalčiui atsparaus sl. medžiagos atvežimo ir įrengimo papildomos sąnaudos	Viso		
			nediskontuota	diskontuota	nediskontuota		diskontuota		nediskontuota	diskontuota	
2008	20000	5000	25000	25000	24000	29000	24000	29000	53000	53000	1,0000
2009			0,000	0,000					0,000	0,000	0,9302
.....			0,000	0,000					0,000	0,000	....
2025			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2925
2026			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2720
2027			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2531
2028			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2354
2029			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2190
Iš viso	**20000**	**5000**	**25000**	**25000**	Naudos procentinė išraiška: 24000	29000	45,28 24000		53000	**53000**	

Dabartinė kaštų vertė (DKV):	25000
Dabartinė naudos vertė (DNV):	53000
Grynoji dabartinė vertė (GDV):	**28000**
Naudos ir kaštų santykis (N/K):	**2,12**
Diskonto norma = 7,5 %	1,075

P-3.3 lentelė. Ekonominis efektas naudojant geotekstilę tarp dangos pagrindo ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio bei tarp apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio ir žemės sankasos

NAUDOS IR KAŠTŲ ANALIZĖ

(1 km atkarpoje, kai kelio dangos plotis 7 m)

Geotekstilės kaina 2,2 Lt/m^2

Geotekstilės kaina 2 Lt/m^2

Metai	KAŠTAI, Lt.				NAUDA, Lt.						Diskonto veiksnys
	Geotekstilės kaina	Geotekstilės įrengimo kaštai	Viso		Papildomų mineralinių medžiagų sąnaudos	Papildomų mineralinių medžiagų atvežimo ir įrengimo sąnaudos	Papildomų mineralinių medžiagų sąnaudos	Papildomų mineralinių medžiagų atvežimo ir įrengimo sąnaudos	Viso		
			nediskontuota	diskontuota	nediskontuota		diskontuota		nediskontuota	diskontuota	
2008	39800	9500	49300	49300	55500	40250	55500	40250	95750	95750	1,0000
2009			0,000	0,000					0,000	0,000	0,9302
2010			0,000	0,000					0,000	0,000	0,8653
2011			0,000	0,000					0,000	0,000	0,8050
.....			0,000	0,000					0,000	0,000	....
2025			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2925
2026			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2720
2027			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2531
2028			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2354
2029			0,000	0,000					0,000	0,000	0,2190
Iš viso	**39800**	**9500**	**49300**	**49300**	Naudos procentinė išraiška: 55500	40250	57,96 55500		95750	**95750**	

Dabartinė kaštų vertė (DKV):	49300
Dabartinė naudos vertė (DNV):	95750
Grynoji dabartinė vertė (GDV):	**46450**
Naudos ir kaštų santykis (N/K):	**1,94**
Diskonto norma = 7,5 %	1,075