



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

Kęstutis Škutas

**SANKASOS GRUNTŲ STANDUMO ĮTAKA STANDŽIOMS IR
LIAUNOMS DANGOMS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. Dainius Vaičiulis

PANEVĖŽYS, 2018

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**SANKASOS GRUNTŲ STANDUMO ĮTAKA STANDŽIOMS IR
LIAUNOMS DANGOMS**

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas 621J80001)

Vadovas

Doc. Dainius Vaičiulis
2018-01-09

Recenzentas

Projektą atliko

Kęstutis Škutas
2018-01-09

PANEVĖŽYS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Kęstutis Škutas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Sankasos gruntų įtaka standžioms ir liaunoms dangoms“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. sausio 9 d.

Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Kęstučio Škuto**, baigiamasis projektas tema „Sankasos gruntų standumo įtaka standžioms ir liaunoms dangoms“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TVIRTINU:
KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto
Technologijų katedros vedėjas

doc. Arūnas Tautkus
2018 – –

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Kęstučiui Škutui grupė PMS-6

1. Projekto tema

Lietuvių kalba: Sankasos gruntų standumo įtaka standžioms ir liaunoms dangoms

Anglų kalba: Subgrade Soil Stiffness Influence Rigid and Slender Coverings

Patvirtinta 2017-11-20 dekanų potvarkiu Nr. V25-13-19.

2. Projekto tikslas

Ištirti kokią įtaką kelio (laisvai pasirinktos kategorijos) sankasos gruntai turi kelio nusėdimui (deformavimuisi).

3. Reikalavimai ir sąlygos

Tyrimą atlikti taikant skaitinius inžinerijos metodus esant keliems skirtingiems apkrovimo atvejams. Kelio sankasos modelis gali būti plokščias.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

Įvadas
Mokslinės literatūros projekto tematika apžvalga (skyriaus pavadinimas gali būti kitoks)
Tiriamoji dalis (skyriaus (-ių) pavadinimas gali būti kitoks)
Išvados
Literatūros šaltiniai

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas 2018-01-05
(data)

Užduotį gavau: Kęstutis Škutas 2017-09-02
(studento vardas, pavardė, parašas) (data)

Vadovas: doc. Dainius Vaičiulis 2017-09-02
(pareigos, vardas, pavardė, parašas) (data)

Kęstutis, Škutas. Sankasos gruntų įtaka standžioms ir liaunoms dangoms. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Statyba.

Reikšminiai žodžiai: Sankasa, grunto standumas, kelio danga.

Panevėžys, 2018. 40 p.

SANTRAUKA

Projekte pateikta tyrimui atlikti reikalinga informacija. Išanalizuota su tyrimo sritimi susijusi literatūra. Sudarytos modelių skaičiuojamosios schemos. Pateikti aštuoni apkrovų atvejai su kuriais sudaryti modelių deriniai. Tyrimas atliktas remiantis baigtinių elementų metodu. Naudojantis gautais tyrimo rezultatais nustatyti tinkamiausias ir prasčiausias, iš pasirinktų, gruntų tipai. Palyginti skirtingų konstrukcijų gruntų sluoksnių nusėdimai. Išsiaiškinta kokią įtaką turi sankasos gruntų deformacijos standžioms ir liaunoms dangoms.

Škutas, Kęstutis. SUBGRADE SOIL STIFFNESS RIGID AND SLENDER COVERINGS: *Master's thesis in construction engineering / supervisor doc. Dainius Vaičiulis. The Faculty of Technologies and business, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Construction engineering

Key words: Subgrade, soil stiffness, road coverings.

Panevėžys, 2018. 40 p.

SUMMARY

The project provided the information needed for the study. The literature related to the field of research has been analyzed. Model schemes are compiled. The eight load cases presented with combinations of models. The study was performed on the finite element method. Using the obtained test results, identify the most suitable and worst types of selected primers. Comparison of deposition of layers of different constructions. The impact of subsoil deformations on rigid and slender coatings has been clarified.

TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ.....	9
2. METODOLOGINĖ DALIS	15
2.1 Mechaninės gruntų savybės	15
2.2 Skaičiuojamųjų sluoksnių modeliavimas.....	16
2.3 Apkrovimo atvejai	22
2.4 Apkrovų ir grunto konstrukcijos derinimas.....	25
3. TIRIAMOJI DALIS	26
3.1 Dangų konstrukcijų tipų nusėdimai	28
3.2 Pirma asfalto dangos konstrukcija	29
3.3 Antra asfalto dangos konstrukcija.....	30
3.4 Betono dangos konstrukcija.....	32
3.5 Bendras kelio konstrukcijų nusėdimas	33
3.6 Sankasos gruntų sluoksnių įtaka standžioms ir liaunoms dangoms	35
IŠVADOS.....	37
LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	38

ĮVADAS

Projekto aktualumas ir problematika. Kelio sankasa yra pagrindinė kelio dangos sudedamoji dalis. Teisingai įrengus kelio sankasą kelias tarnaus ilgai, neatsivers duobės, neskilinės danga. Duobės atsiranda blogai įrengus sankasą. Didelę įtaką šiam procesui turi netinkamai sutankinti sankasos sluoksniai, jų storių parinkimas ar prastai įvertinti natūraliai slūgsantys gruntai. Taip pat didžiulę įtaką deformacijoms turi natūralus gruntinio vandens lygis bei atsparumas šalčiui.

Parinkti sankasos gruntų sluoksniai turi išlaikyti puikias drenavimo savybes. Nepasišalinęs iš sankasos vanduo užšąla. Vanduo šaldamas plečiasi, tokiu būdu pažeidžiami sankasos gruntai. Dėl šios priežasties pažeidžiama ir kelio danga. Dažniausiai su vandens lygiu susijusios problemos pastebime žiemą ir pavasarį, kada įvyksta daugiausia temperatūros ciklą.

Šiltuoju metų laiku kylančios kelio dangos problemos susijusios su netinkamai parinktais sankasos sluoksnių storiais ir prastu jų sutankinimu. Keliais važinėja ne tik lengvieji automobiliai, kurie kelią apkrauna mažiau. Lietuvos keliais juda daug sunkiasvorių transporto priemonių. Jos kelią apkrauna žymiai stipriau nei lengvieji automobiliai. Labiausiai pastebima transporto keliamą problema yra kelio dangos provėžos. Tūkstančiai kilometrų kelio sugadinta. Norint išvengti liekamųjų kelio deformacijų reikia labai atsakingai įvertinti būsimas kelio apkrovas, tinkamai parinkti sankasos sluoksnius. Būtina atlikti kontrolinius patikrinimus įrengimo metu, kad būtų nustatyta, ar tinkamai įrengti sluoksniai, ar laikomasi nustatytų storių. Taip pat reikia atlikti bandymus, kurių metu nustatoma, ar sluoksniai sutankinti pakankamai.

Šiame projekte yra tirta, kad kelio sankasa turi didžiulę įtaką kelių dangų deformacijoms.

Projekto tikslas: ištirti kokią įtaką I kategorijos valstybinės reikšmės kelių sankasos gruntai turi kelio dangų nusėdimui (deformavimuisi).

Projekto uždaviniai:

- 1) Išanalizuoti įvairių šalių mokslinę literatūrą, susijusią su šio projekto tyrimo sritimi;
- 2) Sumodeliuoti kelio sankasas ir jų apkrovimo atvejus valstybinės reikšmės I kategorijos keliams;
- 3) Nustatyti mažiausias ir didžiausias kelio dangos deformacijas, kurios priklauso nuo sankasos gruntų sluoksnių.

Tyrimo metodai: lyginamoji analizė, skaitiniai gruntų sėdimo nustatymo metodai (baigtinių elementų metodas).

Projekto struktūra: baigiamąjį magistro projektą sudaro įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis 40 p., tekste panaudotos 3 lentelės, 44 paveikslėliai, 28 literatūros šaltiniai.

1. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

Šiandieninį pasaulį tikriausiai būtų sunku įsivaizduoti be automobilio. Jam eksploatuoti sukurtas ištisas infrastruktūros tinklas, kurio dažnas nė neįsivaizduoja. Susisiekimas tarp miestų ar valstybių būtų gana sudėtingas, jeigu nebūtų puikiai įrengtų kelių. Magistralės, greitkeliai, regioniniai keliai. Šie keliai driekiasi laukais, kuriuose apstu įvairių gruntų. Atsižvelgiant į regioną tai gali būti smėlis, žvyras, molis, durpės, uolos ar kita.

Keliams tiesti naudojamos sankasos, kurios susideda iš natūraliai slūgsančių ir supiltų gruntų. Sankasa – grunto statinys, atliekantis dangos konstrukcijos pagrindo funkcijas. Žemės sankasą sudaro pylimai, iškasos. Sankasa turi būti rengiama laikantis esminių reikalavimų: stabilumo ir atsparumo mechaniniams poveikiams, darnumo su aplinka, saugos (1).

Viena iš labiausiai paplitusių problemų yra žemės sankasos liekamosios deformacijos – nusėdimai. Dėl įšalo sankasos gruntų tūris padidėja, o polaidžio metu sumažėja, tačiau ne visur vienodai. Kai pylimai nusėda nedaug, kelio dangos konstrukcijai pavojus negresia, tačiau nevienodai ir labai nusėdę mažuose pylimo plotuose gruntai gali dangoje sukelti pavojingus ribinius įtempius ar net ją suardyti. Taip pat gali būti deformuota ir kuri nors kita sankasos dalis: nušliuožti šlaitas arba nusėsti kelkraštis. Šių procesų priežastimis dažniausiai būna padidėjusios transporto priemonių apkrovos ar per daug įmirkę sankasos gruntai (2).

Kanados mokslininkai D. G. Frendlund, A. T. Bergan ir E. K. Sauer 1974–1975 m., atlikdami tyrimus nustatė, jog gruntui didžiulę įtaką turi oro slėgis ir vanduo. Po užšalimo ir atšilimo medžiaga turėtų grįžti į savo pradinį būvį. Bandymų metu pastebėta, jog bandinius prisotinus skirtingu vandens kiekiu ir paveikus keletu temperatūrinių ciklų, medžiagų tūriai keičiasi. Keičiasi ir medžiagos struktūra (3). Sankasose esantys gruntai skirtingai įgeria vandenį, taigi skirtingai keičiasi ir medžiagų savybės. Tokių procesų metu susidaro skirtingi nusėdimai, kurių vietą užpildo aukščiau esantys gruntai, o kelio danga laikui bėgant sugadinama.

Atmosferos veiksniai (liūtys, sausros, temperatūros pokyčiai, gruntinio vandens lygis) sankasą veikia ištisus metus. Dėsninga drėgmės ir temperatūros kaita sankasos masyvo sluoksniuose apibūdinama hidroterminiu režimu. Hidroterminis režimas ypač svarbus aktyvioje sankasos zonoje, t. y. iki tokio gylio, kur apkrovų įtempimai gerokai juntami. Hidroterminis režimas skirstomas į keturis periodus. Pirmasis periodas prasideda rudenį ir trunka iki grunto įšalimo pradžios. Sankasą intensyviai drėkina krituliai, vyksta aktyvi garų difuzija, grunto drėgmė didėja, o tankis ir tamprumo modulis mažėja. Antrasis periodas tęsiasi visą šaltąjį laikotarpį iki jo pabaigos. Šiuo periodu didėja įšalo gylis ir dangos drėgnumas būna didžiausias. Gali pradėti formotis iškylos ir mažėti grunto tankis. Trečias periodas sąlyginai trumpas. Jis prasideda, kai gruntas pradeda atšilti, o baigiasi įšalui ištirpus. Vykstant šiam procesui sankasoje labai nevienodai pasiskirsto drėgmė, nes ji susikaupia

atšilusiose linzėse ir toliau negali migruoti. Susidaro permirkusio grunto zonos. Šio periodo metu sankasos tankis ir stiprumas būna mažiausi, ir ji lengvai deformuojasi. Ketvirtas periodas yra šiltasis metų laikotarpis, kurio metu sankasos sluoksniai džiūsta, didėja jų tankis, gerėja stiprumo charakteristikos. Didžiausią dėmesį reikėtų skirti trečiajam periodui, kurio metu fiksuojamas didžiausias drėgmės kiekis. Jis smarkiai sumažina sankasos stiprumą. Dėl to atsiranda įvairių deformacijų ir nelygumų, kurie gali persiduoti ir aukščiau esantiems konstrukcijos sluoksniams (4).

Norint apsaugoti kelio dangą ir sankasą nuo vandens poveikio naudojamas drenažas. Vanduo yra surenkamas ir nuvedamas nuo dangos. Drenažo sistemų naudojimas yra ne tik gruntų apsauga šalant orui. Jis taip pat atlieka didžiulę ekologinę funkciją. Nuo automobilių ant kelio patenka daugybė cheminių medžiagų. Dažniausiai įvairūs naftos produktai (degalai, tepalai ir pan.). Nenaudojant drenažo sistemos visi cheminiai junginiai patenka į žemesnius gruntuos taip užteršdami ir gruntuos, ir gruntinį vandenį. Drenažo sistema užkerta kelią užterštam vandeniui patekti į tvenkinius, ežerus, kanalus ir vandens rezervuarus (5). Prasta drenažo sistema kelia pavojų eismo saugumui (akvaplaningas ir ledas), sukelia šalikelių eroziją, kelio deformacijas (duobės, kalneliai, provėžos) (6). (žr. į 1.1 pav. ir 1.2 pav.).



1.1 pav. Šalikelių erozija (6)



1.2 pav. Kelio deformacijos (6)

Gruntai nėra vienalytė išlieta masė, todėl jų charakteristikos skirtingos. Skiriasi stipris, įmirkio rodiklis, deformacijos modulis. Tiesiant kelią atsiranda silpnų gruntų, juos reikia sustiprinti. Paprasčiausias būdas juos sutankinti vibroplokštėmis ar gruntiniais vibrovolais, jeigu tai stiprūs gruntai. (žr. 1.3 pav.) Silpnus gruntus reikia keisti į stipresnius. Silpnas gruntas, pvz., durpės, gali būti iškasamas ir jo vietoje supilamas stipresnis gruntas, t. y. smėlis, žvyras, ir taip pat sutankinamas anksčiau minėtomis mechaninėmis priemonėmis.



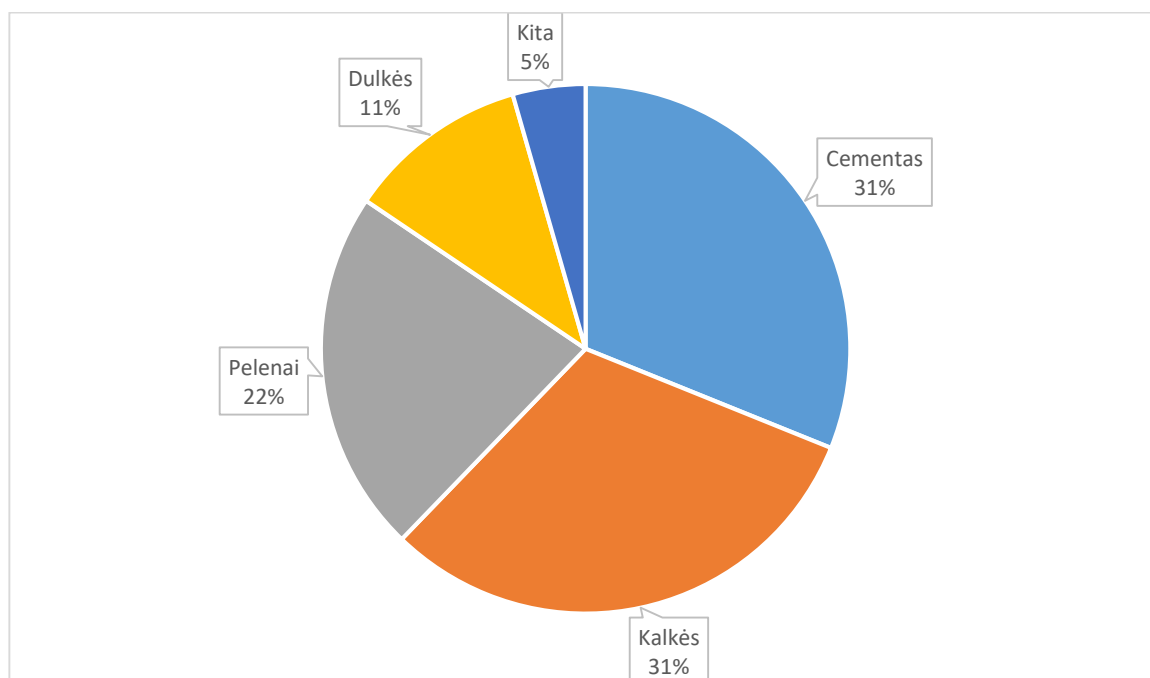
1.3 pav. Gruntinis vibrovolas (27) ir vibroplokštė (28)

Dar vienas puikus būdas gruntams stiprinti tai gruntų stabilizavimas cheminėmis medžiagomis. Šis būdas leidžia sustiprinti didelius plotus grunto, nes tai yra paprasčiau ir pigiau

padaryti, nei iškasti silpnus gruntus ir jų vietas užpildyti stipresniais. Gruntų stabilizavimo cheminėmis medžiagomis pradžia buvo 1960 m., kai Dempsey ir Thompson atliko keletą bandymų analizuodami gruntų stabilizavimą kalkėmis (7). Stabilizavimui galima naudoti šias medžiagas:

- Cementą;
- Gesintas kalkes;
- Cemento ir kalkių mišinį;
- Pelenus;
- Kalkių dulkes;
- Bitumines medžiagas.

Lorenzo (Lawrence) technologijų universiteto, esančio Mičigane (Jungtinės Amerikos Valstijos), mokslininkai atliko apklausą visose JAV valstijose bei Kanadoje, ir išsiaiškino koks būdas stabilizuoti gruntą yra populiariausias (7). Duomenys pateikti 1.4 pav.



1.4 pav. Populiariausios gruntų stabilizavimo medžiagos Šiaurės Amerikoje (7)

Stabilizavimo proceso metu yra visapusiškai arba iš dalies užpildomi tarpai tarp grunto dalelių. Tai sumažina dirvožemio pralaidumą ir padidina vandens nutekėjimo galimybes. Remiantis vandens pralaidumo sumažėjimu galima teigti, jog susidaro vandeniui atsparus sluoksnis, kuris apsaugo žemiau esančius grunto sluoksnius nuo paviršiaus vandens. Taip pat šio proceso metu, kai tarpai užpildomi, dalelės tarsi susijungia, taip didina atsparumą šlyčiai ir galimybę atlaikyti didesnes paviršiaus apkrovas. Tokiu būdu užtikrinamas dangos ilgaamžiškumas ir jos geba atlaikyti eismo intensyvumą (8).

Gruntų stabilizavimas tai grunto charakteristikų gerinimas. Stabilizavimo zonos šioms charakteristikoms gerinti pasirenkamos atsižvelgiant į keletą kriterijų. Tai silpnas gruntas, didesnės transporto apkrovos, transporto tinklo svarba, konstrukcijos tipas, drenažo savybės (8).

Lenkijoje 2014 m. atnaujintas tipiška lanksčių ir pusiau standžių dangų katalogas. Lenkijos valdžia į katalogą įtraukė punktus, kurie turėtų užtikrinti kelių kokybę ir ilgaamžiškumą. Čia aiškiai apibrėžta asfalto dangos sudėtis. Įtraukta nuostata, jog kelio sankasos gruntų stipris turi būti diferencijuojamas pagal transporto apkrovas (anksčiau buvo taikomas vienodas stiprio reikalavimas nepaisant transporto apkrovų). Įvardyti gruntų rišikliai, t. y. cementas, kalkės, pelenai, leidžiantys per trumpesnę laiko tarpą pasiekti labai gerų rezultatų. Taip yra pabrėžiamas perdirbtų žaliavų naudojimas dangoms gaminti ir sankasos gruntams gerinti (9).

Daugelyje Europos valstybių sankasos specifikacijos dažnai apima stiprumo ir standumo parametrus, gruntų tankį ir jų sluoksnių storį. Vokietijoje, Belgijoje ir kitose Europos valstybėse standumo bandymai atliekami statybų aikštelėje. Gauti duomenys turi atitikti nustatytus reikalavimus. Jeigu gruntai neatlaiko apkrovų juos reikia sustiprinti prieš įrengiant kitą sluoksnį (10). Tokioje situacijoje galima naudoti geotekstilę. Ji ne tik suteikia gruntams didesnę laikomąją galią, bet tarnauja kaip gruntus atskirianti medžiaga ar drenažas. Geotekstilės panaudojimas leidžia ploninti sluoksnių storius ir tokiu būdu sutaupyti nuo 30 iki 50 procentų medžiagų, skirtų sankasos sluoksniams įrengti (11). Sluoksnių storių mažinimas nesukelia laikomosios galios nuostolių.

Teisingam kelių įrengimui turėtų būti skirti didelį dėmesį. Kelių tinklas pasaulyje yra begalinis ir sparčiai auga. Lietuvos automobilių kelių tinklas siekia apie 70 tūkst. kilometrų (12). Dėl šios priežasties dėmesys krypta į ekologijos klausimą. Įrengiant kelius stengtis panaudoti kuo daugiau antrinių žaliavų. Labiausiai pasaulyje paplitusi statybinė medžiaga yra betonas. Betono gamybai naudojamos medžiagos nėra deficitinės, tačiau žvelgiant ekologiniu požiūriu betonas yra vienas iš geriausių produktų, kurį galima perdirbti ir panaudoti antrą kartą kaip žaliavą (13). Formuojant sankasą sumaltą betoną galima naudoti jos sluoksniams įrengti, tokiu būdu sutaupant natūralių iškastinių medžiagų kieki.

Asfalto dangos yra priskiriamos liaunoms dangoms. Dėl transporto priemonių sukeltų apkrovų liaunos dangos deformuojasi ir linksta vienodai su sankasos gruntų sluoksniais (25).

Standžioms dangoms yra priskiriamos dangos sudarytos iš betono mišinio. Betono dangos, transporto priemonių sukeltas apkrovas, pasiskirsto didesniame plote. Ši medžiaga yra žymiai patvaresnė ir ilgaamžiškesnė, nei asfalto. Betono dangos naudojimo laikotarpis yra nuo 25 iki 40 metų, t. y. iki dviejų kartų ilgiau nei asfalto dangų įrengtų tokiomis pačiomis sąlygomis. 1891 m. betonas pradėtas naudoti kelių tiesyboje. Pirmą kartą, greitkeliams tiesti, betono danga panaudota 1913 m. Arkanzaso valstijoje, Jungtinėse Amerikos Valstijose. Dangai gaminti naudojamas C30/37 stiprio betonas. Norminis C30/37 betono tamprumo modulis yra 32 GPa. Betono dangą, palyginti su

asfalto, yra brangiau įrengti. Taip pat yra ilgesnis kelio dangos eksploatavimo pradžios terminas. Palyginti su asfaltu betonas reikiamą stiprį įgauna žymiai vėliau, taigi dėl šios priežasties eismo srautų judėjimas dangos paviršiumi yra vėlesnis (22).

Lietuvoje yra vienas kelias su betonine danga. Tai valstybinės reikšmės A14 Vilnius–Utena magistralė. Apie 70 km. kelio atkarpos ruožas dengtas betoninėmis plokštėmis ir yra labai smarkiai nusidėvėjęs. Senąją betono danga ruošiamasi keisti asfaltu. Labai karštomis vasaros dienomis betono plokštės susiduria ir išskyla, tokiu būdu sudarydamos labai nesaugias eismas sąlygas. Pavojus gresia ne tik transporto priemonėms, bet ir žmonių gyvybėms (23). A14 Vilnius–Utena kelio deformacijų nuotrauka pateikta 1.5 pav.



1.5 pav. A14 Vilnius–Utena kelio betoninės dangos deformacijos (24)

Apibendrinant galima teigti, kad sankasa yra svarbiausia kelio dalis ir turi didžiulę įtaką kelio dangoms. Didelis dėmesys skiriamas gruntų stabilizavimui bei charakteristikų gerinimui. Norint turėti kokybišką ir ilgaamžį kelią jį reikia kloti ant gerai sutvirtintų sankasos gruntų, įrengti puikiai veikiančią vandens nuvedimo sistemą, kuri apsaugo sankasą nuo įmirkio. Kelių dangos ir sankasų įrengimo metu nepamiršti naudoti perdirbtas statybines medžiagas.

2. METODOLOGINĖ DALIS

Kelio dangos konstrukcija – tai daugiasluoksnė sistema, susidedanti iš dangos ir pagrindo sluoksnių, įrengtų ant žemės sankasos paviršiaus. Šios sistemos funkcionavimas priklauso nuo dangos medžiagos ryšies ir ypatybių. Automobilių kelių ir gatvių danga pagal rūšis skirstoma į liaunas ir standžias (14).

Liaunoms dangoms yra priskiriama asfalto danga, įrengta ant surištojo ar nesurیشtojo mineralinių medžiagų pagrindo sluoksnio. Standžiomis yra vadinamos betono dangos (14).

Žemės ir statinio, šiuo atveju žemės ir kelio, dažnai vadinama grunto ir statinio sąveika, yra procesas, kurio metu statinio standumas ir grunto standumas įtakoja įtempius konstrukcijose ir grunte, taigi daro įtaką ir statinio (kelio) deformacijoms (17).

Šiame projekte modeliuosiu, kaip gruntai veikia dangą. Viena iš pagrindinių deformacijų yra dangos įlinkis, kuris priklauso nuo gruntų tipų ir savybių, dangos rūšies, sankasos stiprumo, sluoksnių storių bei natūralių aplinkos veiksnių.

Modeliavime naudotos prielaidos:

- Kelio konstrukcijos deformacijų būvis – plokščia deformacija;
- Modeliuota tiesi (ne posūkis) horizontali kelio atkarpa;
- Grunto mechaninė charakteristikų priklausomybė yra tiesinė;
- Transporto priemonės dešinys ir kairys ratai dangą spaudžia vienoda jėga;
- Kontaktas tarp kelio konstrukciją sudarančių sluoksnių vertinamas tik jiems vienas kitą spaudžiant;
- Įmirkis nevertinamas;
- Danga deformuojasi tikrai tampriai;
- Laikoma, kad veikia statinė apkrova.

2.1 Mechaninės gruntų savybės

Svarbiausios mechaninės savybės yra dvi: spūdimas ir kerpamasis stipris.

Apskaičiuojant nusėdimus, dažniausiai taikomi du rodikliai: tamprumo (Jungo) modulis ir skersinių deformacijų (Puasono) koeficientas (15).

Tamprumo rodiklis nusako biriųjų gruntų sutankinimo laipsnį, palyginti su tankiausiomis ir puriausiomis grunto būsenomis (17).

Šiame projekte naudojamos ne skaičiuojamosios, o realios apytikslės, kai kurių gruntų ir medžiagų, Puasono koeficiento ir deformacijų modulio E reikšmės. Reikšmės pateiktos 2.1 lentelėje (15).

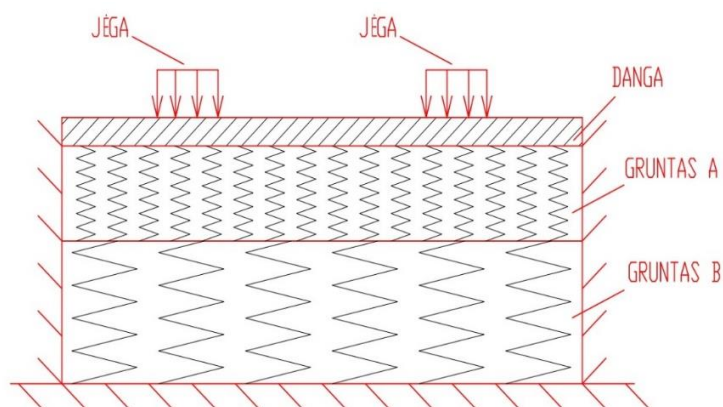
2.1 lentelė. Skersinių deformacijų koeficiento reikšmės (17)

Gruntas, medžiaga	Skersinių deformacijų (Puasono) koeficientas	Deformacijų modulis E, MN/m ² (MPa)
Dulkinis smėlis	0,2–0,4	10,35–24,15
Vidutinio tankumo smėlis	0,25–0,4	17,25–27,60
Tankus smėlis	0,3–0,45	34,50–55,20
Sąnašinis smėlis	0,2–0,4	10,35–17,25
Smėlis ir žvyras	0,27	69,00–172,50
Minkštas molis	0,2–0,5	5,10–20,70
Vidutinio kietumo molis	0,2–0,5	20,70–41,40
Kietas molis	0,2–0,5	41,40–96,60
Skalda	0,35	300
Asfaltas	0,35	2500
Betonas	0,2	32 000

Pastaba: mažesnės skersinių deformacijų koeficiento reikšmės imamos didesniai grunto tankiui.

2.2 Skaičiuojamųjų sluoksnių modeliavimas

Modeliai sudaryti iš skirtingų tipų asfalto dangos, betono dangos, skaldos, įvairių charakteristikų smėlio ar molio. Naudojami skirtingi sluoksnių storiai bei medžiagų savybės. Keičiant apatinio sankasos grunto sluoksnio medžiagas ir jų charakteristikas pamatysime ar jos turi įtakos kitiems sluoksniams. 2.1 pav. pateiktas sankasos konstrukcijos skaičiuojamojo modelio pavyzdys. Sankasos apačia įtvirtinama standžiai, o šonai gali judėti tik aukštyn ir žemyn. Skirtingi gruntai vaizduojami, kaip skirtingo standumo spyruoklės. Vietoje grunto bus be galo daug tamprių spyruoklių, t. y. bus taip vadinamas Vinklerio pagrindas (18). Visais atvejais danga yra veikiamą skirtingo dydžio apkrova.



2.1 pav. Sankasos skaičiuojamasis modelis

Pirmos kategorijos valstybinės reikšmės keliai projektuojami keturių eismo juostų su skiriamąja juosta (21). Važiuojamoji kelio dalis yra 7,00 m pločio (dvi juostos po 3,50 m). Šalikelės prie skiriamosios juostos po 0,50 m, dešinėsios po 2,50 m (naudojamos avariniam sustojimui). Reglamentuotas kelio skersinis profilis pavaizduotas 2.2 pav. Modeliavimui naudojama tik viena (dvi važiuojamosios dalies juostos) kelio dangos pusė, kurioje eismas vyksta viena kryptimi. Kelias įrengiamas ant F2 ir F3 jautrio šalčiui klasės gruntų (28). Priimame, jog naudojamas, asfalto ir betono dangoms, šalčiui atsparios mažiausias dangos konstrukcijos storis valstybinės reikšmės I kategorijos keliams yra ne mažesnis kaip 70 cm.



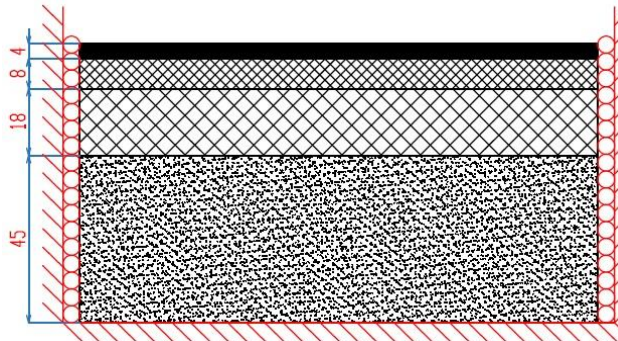
2.2 pav. Valstybinės reikšmės I kategorijos kelio skersinis profilis (21): ■ – asfalto arba betono danga, ■ – kraštinės saugos arba sustojimo juostos

Tyrimui atlikti naudojami automobilių kelių standartizuotų dangų (asfalto, betono) konstrukcijų storiai iš projektavimo taisyklių KPT SDK 07 (28). Kelio dangos konstrukcijų schemas pateiktos 2.3 – 2.17 pav. Kelias su asfalto danga turės 10 skirtingų modelių, o kelias su betono danga – 5. Reglamentuotų asfalto dangų konstrukcijų yra žymiai daugiau nei betono. Lietuvos teritorijos keliuose asfalto dangos paplitę daugiausiai. Dėl šių priežasčių asfalto dangų modelių sudaryta dvigubai daugiau. Konstrukcijos suskirstytos į tris tipus:

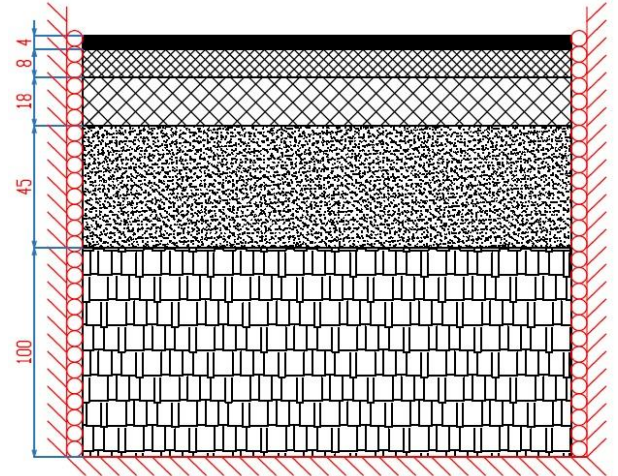
- Pirmo tipo (asfalto) dangų konstrukcija. Atsparumo šalčiui storis yra 75 cm. Jį sudaro 45 cm storio apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis, įrengtas iš žvyro ir smėlio, 18 cm storio asfalto pagrindo sluoksnis, 8 cm asfalto apatinis sluoksnis ir 4 cm storio asfalto viršutinis sluoksnis. Asfalto dangos konstrukcija (1-asis modelis) pavaizduota 2.3 pav.
- Antro tipo (asfalto) dangų konstrukcija. Atsparumo šalčiui storis yra 85 cm. Jį sudaro 44 cm storio apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis, įrengtas iš žvyro ir smėlio, 15 cm dolomito skaldos sluoksnis, 14 cm storio asfalto pagrindo sluoksnis, 8 cm asfalto apatinis sluoksnis ir 4 cm storio asfalto viršutinis sluoksnis. Asfalto dangos konstrukcija (6-asis modelis) pavaizduota 2.8 pav.
- Trečio tipo (betono) dangų konstrukcija. Šalčiui atsparus sluoksnis yra 75 cm, kaip ir pirmo tipo asfalto konstrukcijos. Tipą sudaro 17 cm storio šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnis, 30 cm skaldos pagrindas, 28 cm storio betono danga. Betono dangų schema (11-asis modelis)

pavaizduota 2.13 pav. Betono deformacijų modulis 32 GPa arba 32 000 MN/m². Skersinių deformacijų (Puasono) koeficientas yra 0,20 (26).

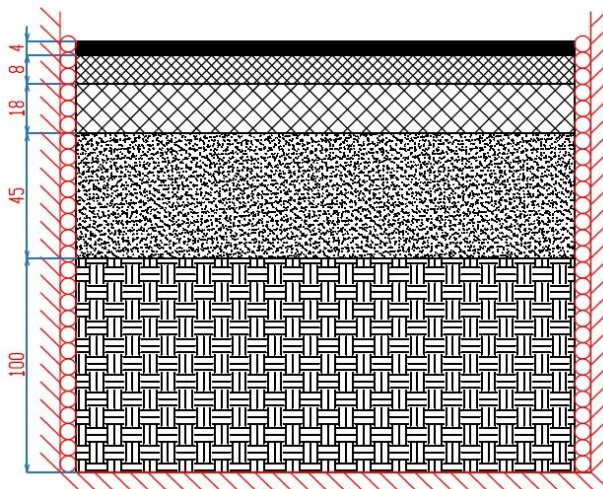
Kelio konstrukcijų modeliuose sluoksnių brūkšniavimo paaškinimai ir naudotos mechaninės charakteristikos pateiktos 2.2 lentelėje.



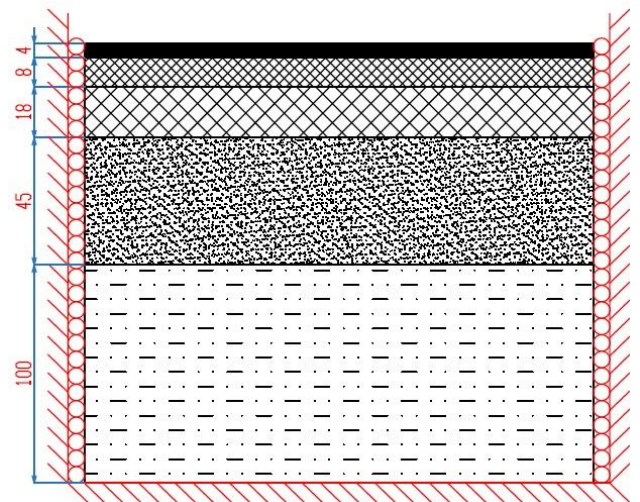
2.3 pav. Kelio su asfalto danga 1-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



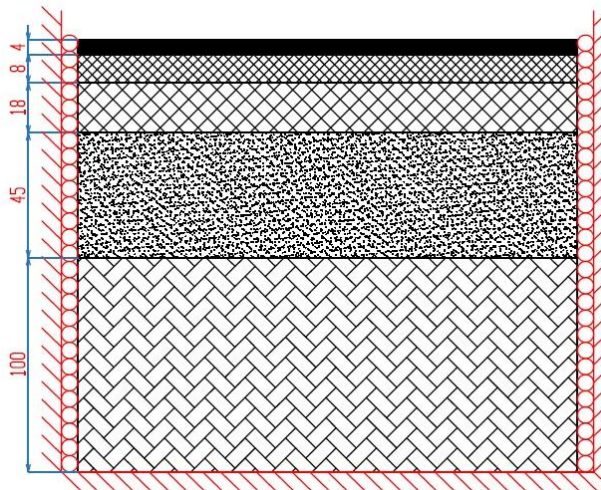
2.4 pav. Kelio su asfalto danga 2-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



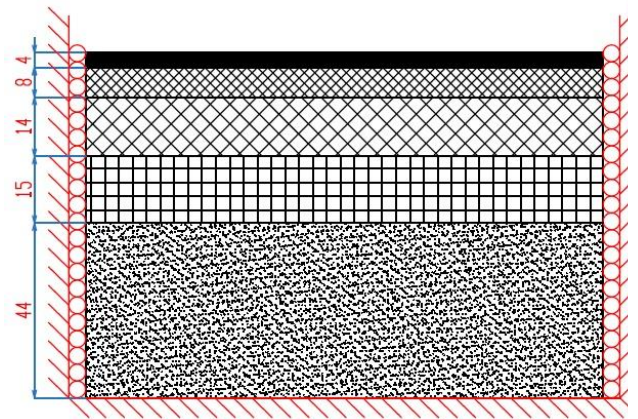
2.5 pav. Kelio su asfalto danga 3-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



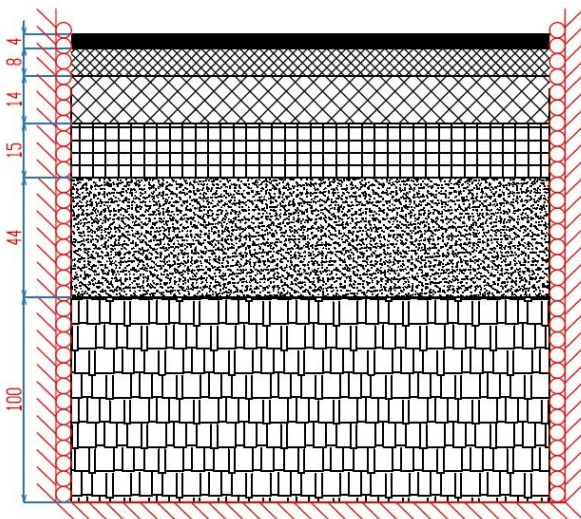
2.6 pav. Kelio su asfalto danga 4-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



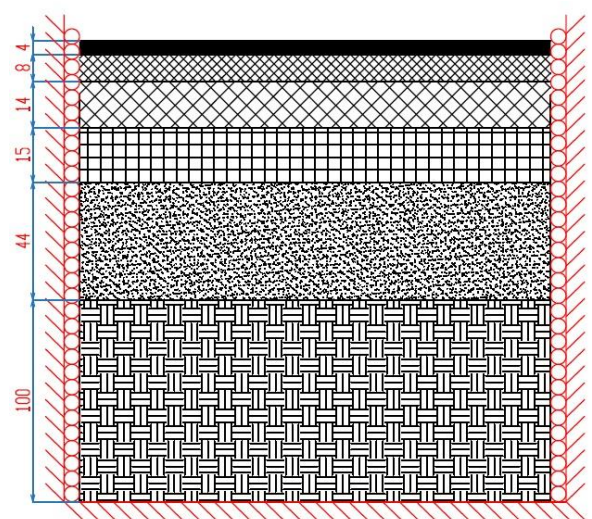
2.7 pav. Kelio su asfalto danga 5-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



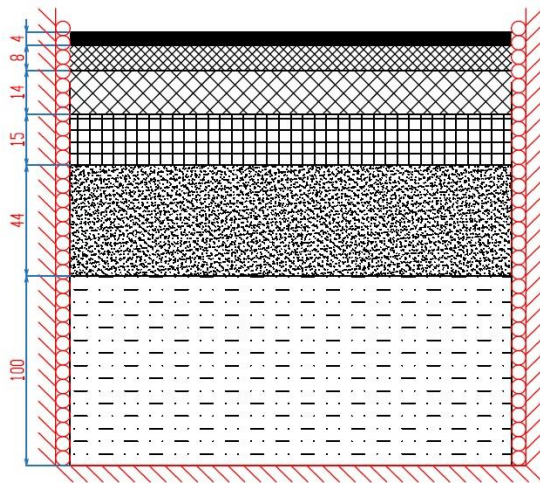
2.8 pav. Kelio su asfalto danga 6-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



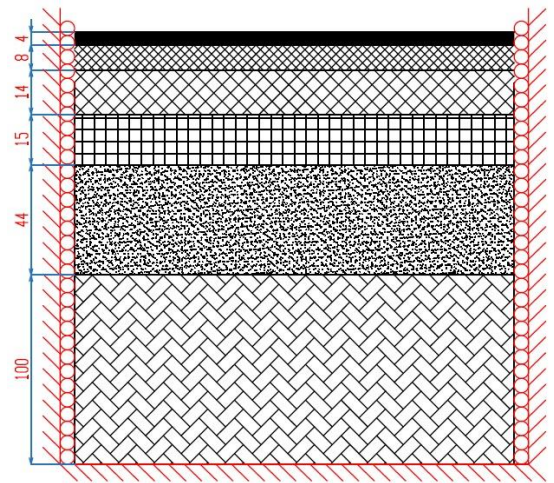
2.9 pav. Kelio su asfalto danga 7-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



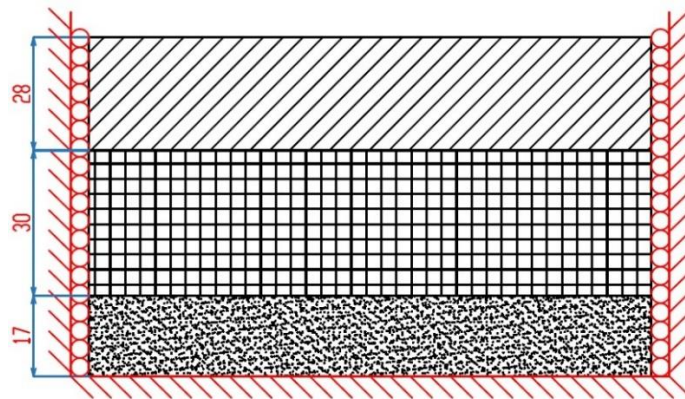
2.10 pav. Kelio su asfalto danga 8-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



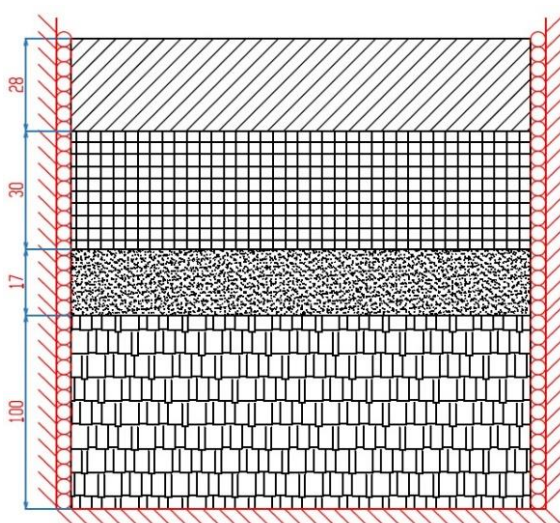
2.11 pav. Kelio su asfalto danga 9-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



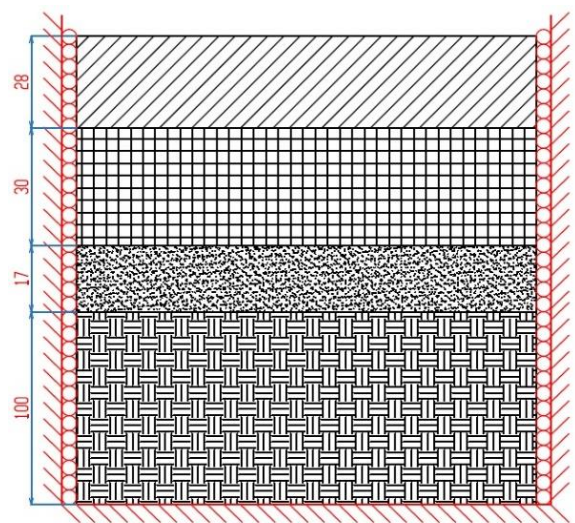
2.12 pav. Kelio su asfalto danga 10-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



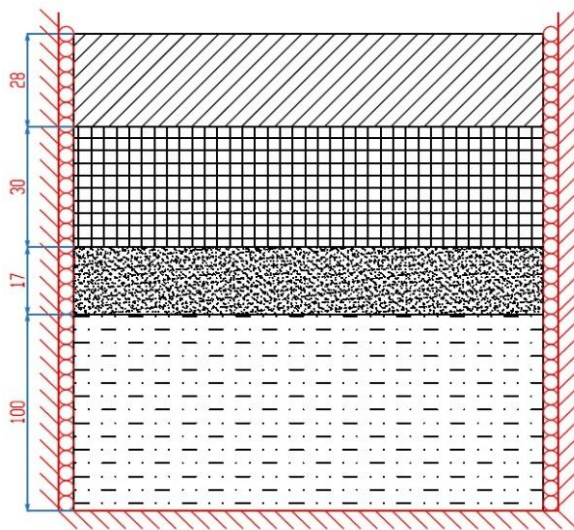
2.13 pav. Kelio su betono danga 11-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



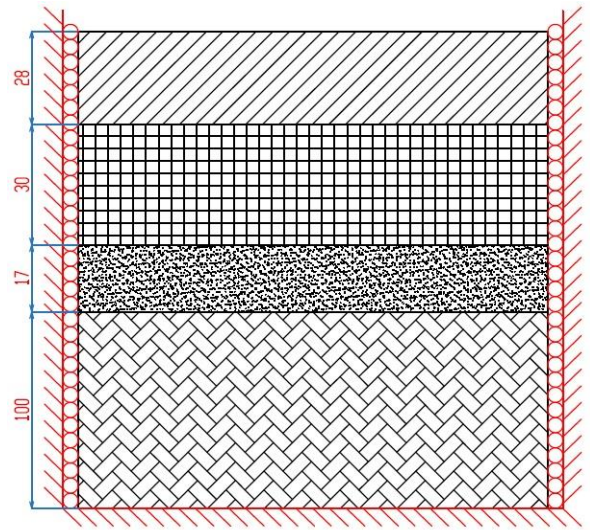
2.14 pav. Kelio su betono danga 12-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



2.15 pav. Kelio su betono danga 13-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)


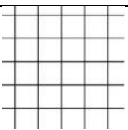

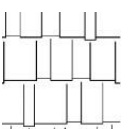
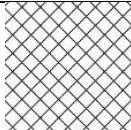
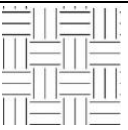
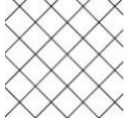
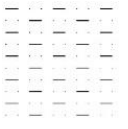

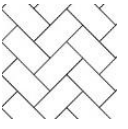


2.16 pav. Kelio su betono danga 14-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)



2.17 pav. Kelio su betono danga 15-asis konstrukcijos modelis (matmenys nurodyti cm)

2.2 lentelė. Kelio konstrukcijų modeliuose sluoksnių brūkšniavimo paaiškinimai ir naudotos mechaninės charakteristikos: E – deformacijų (Jungo) modulis; ν – skersinių deformacijų (Puasono) koeficientas

Nr	Žymuo	Reikšmė			
1		Asfalto viršutinis sluoksnis: $E=2500$ MPa; $\nu=0,35$	6		Skaldos pagrindo sluoksnis: $E=300$ MPa; $\nu=0,35$
2		Betono sluoksnis: $E=32\ 000$ MPa; $\nu=0,2$	7		Vidutinio tankumo smėlio sluoksnis: $E=17,25$ MPa; $\nu=0,25$
3		Asfalto apatinis sluoksnis: $E=2500$ MPa; $\nu=0,35$	8		Tankaus smėlio sluoksnis: $E=55,2$ MPa; $\nu=0,3$
4		Asfalto pagrindo sluoksnis: $E=2500$ MPa; $\nu=0,35$	9		Minkšto molio sluoksnis: $E=5,1$ MPa; $\nu=0,5$
5		Apsauginis šalčiui atsparaus pagrindo sluoksnis: $E=172,5$ MPa; $\nu=0,27$	10		Kieto molio sluoksnis: $E=96,6$ MPa; $\nu=0,2$

2.3 Apkrovimo atvejai

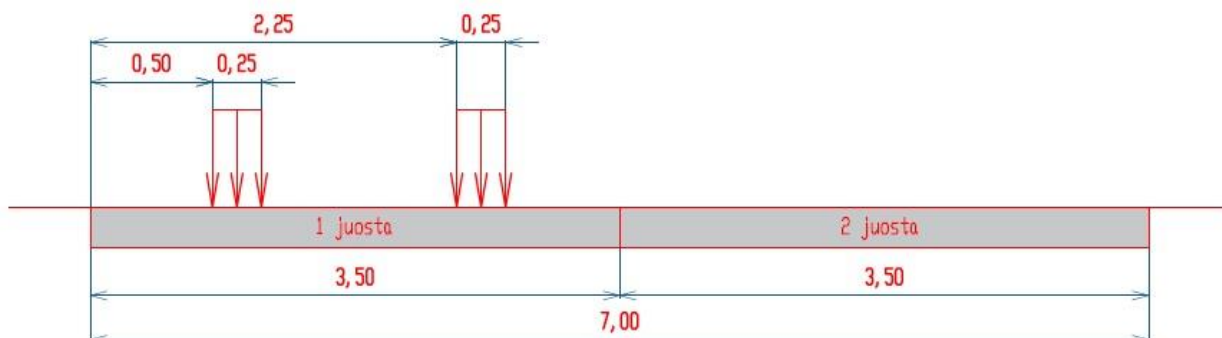
Kelio danga nėra apkrauta vienodai. Motociklo, lengvojo automobilio ar sunkvežimio apkrova dangai yra skirtinga. Nagrinėjami aštuoni skirtingi apkrovų atvejai veikiantys kelio sankasą. Sudaromi apkrovų deriniai su minėtomis transporto priemonėmis.

Pirmas apkrovimo atvejis (2.18 pav.): apkrauta tik pirmoji juosta. Apkrovą sukelia motociklas. Rato perduodama apkrova keliui lygi 2,5 kN. Apkrovos veikimo plotis 0,20 m. Danga apkrauta 1 m atstumu nuo krašto.



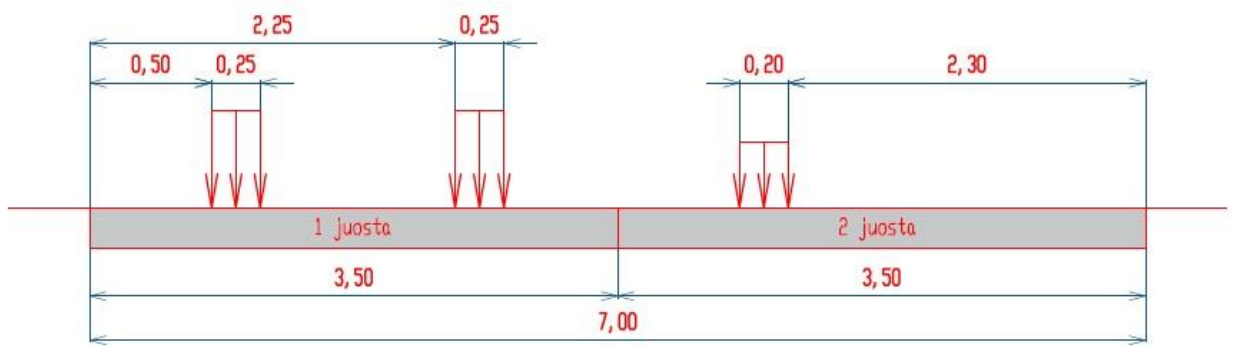
2.18 pav. Pirmo apkrovimo schema

Antras apkrovimo atvejis (2.19 pav.): apkrauta tik pirmoji juosta. Apkrovą sukelia lengvasis automobilis. Lengvojo automobilio svoris imamas 2 000 kg, o plotis 2 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 5 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,25 m. Danga apkrauta 0,5 m ir 2,25 m atstumu nuo krašto.



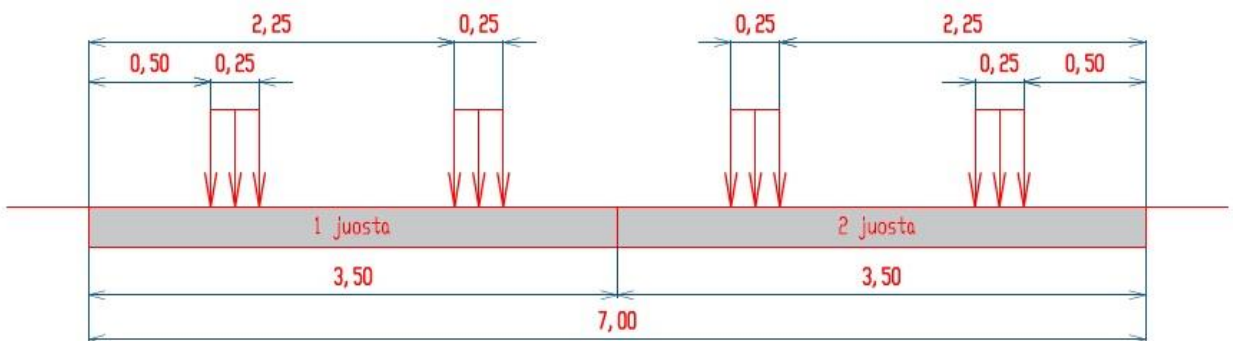
2.19 pav. Antro apkrovimo schema

Trečias apkrovimo atvejis (2.20 pav.): apkrauta pirma ir antra juosta. Apkrovą sukelia lengvasis automobilis ir motociklas. Pirmą juostą veikia lengvasis automobilis. Automobilio svoris imamas 2 000 kg, o plotis 2 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 5 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,25 m. Danga apkrauta 0,5 m ir 2,25 m atstumu nuo krašto. Antrą juostą veikia motociklas. Rato perduodama apkrova keliui lygi 2,5 kN. Apkrovos veikimo plotas 0,20 m. Danga apkrauta 1 m atstumu nuo vidurio juostos.



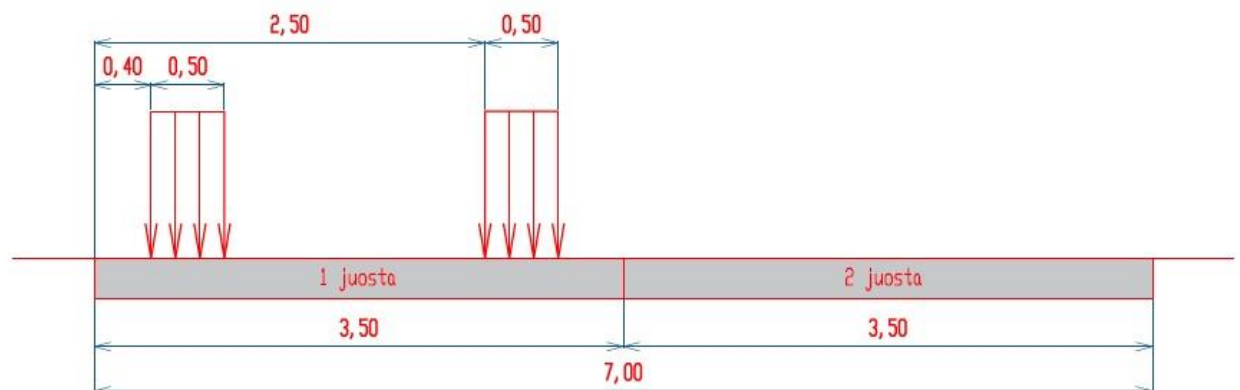
2.20 pav. Trečio apkrovimo schema

Ketvirtas apkrovimo atvejis (2.21 pav.): apkrauta pirmą ir antrą juosta. Apkrovą sukelia du lengvieji automobiliai. Pirmą juostą veikia lengvasis automobilis. Automobilio svoris imamas 2 000 kg, o plotis 2 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 5 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,25 m. Danga apkrauta 0,5 m ir 2,25 m atstumu nuo krašto. Antrą juostą veikiama tokia pačia apkrova, išdėstyta tokiais pačiais atstumais, kaip ir pirmoji.



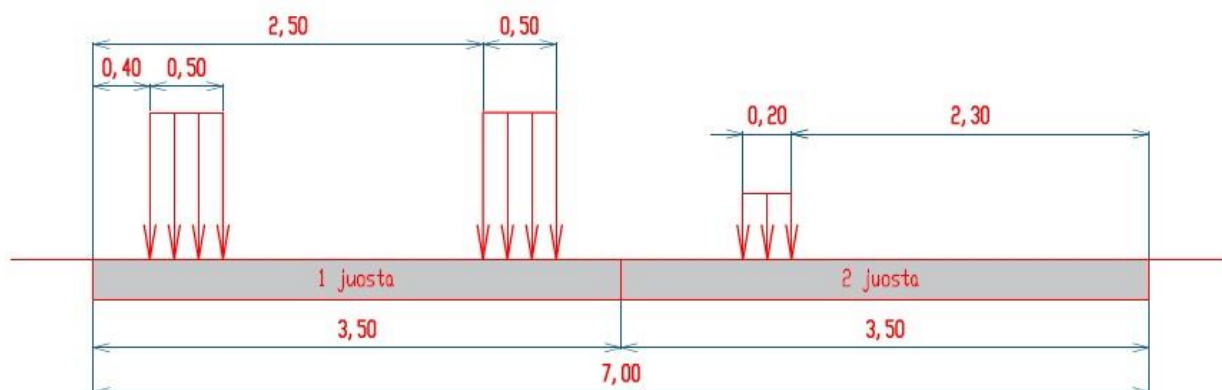
2.21 pav. Ketvirto apkrovimo schema

Penktas apkrovimo atvejis (2.22 pav.): apkrauta tik pirmą juosta. Apkrovą sukelia sunkvežimis. Sunkvežimio plotis 2,6 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 60 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,50 m. Danga apkrauta 0,4 m ir 2,50 m atstumu nuo krašto.



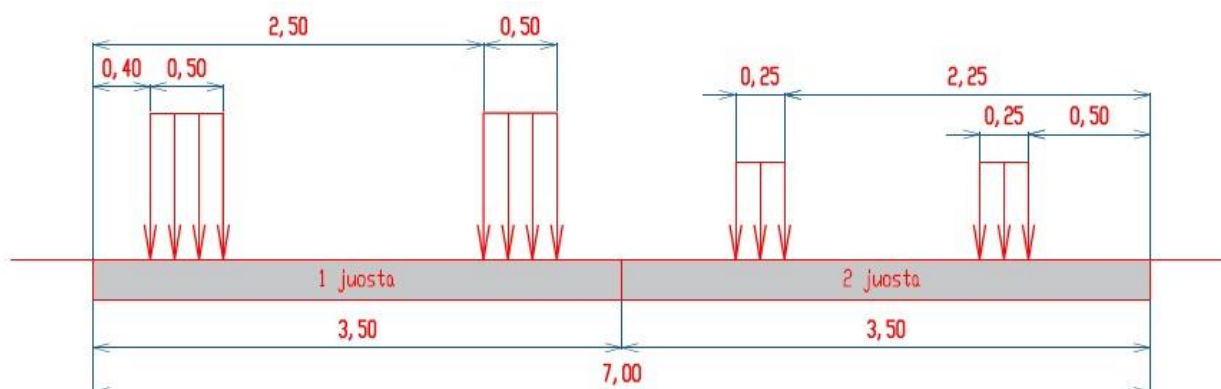
2.22 pav. Penkto apkrovimo schema

Šeštas apkrovimo atvejis (2.23 pav.): apkrauta pirma ir antra juosta. Apkrovą sukelia sunkvežimis ir motociklas. Pirmą juostą veikia sunkvežimis. Sunkvežimio plotis 2,6 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 60 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,50 m. Danga apkrauta 0,4 m ir 2,50 m atstumu nuo krašto. Antrą juostą veikia motociklas. Rato perduodama apkrova keliui lygi 2,5 kN. Apkrovos veikimo plotas 0,20 m. Danga apkrauta 1 m atstumu nuo vidurio juostos.



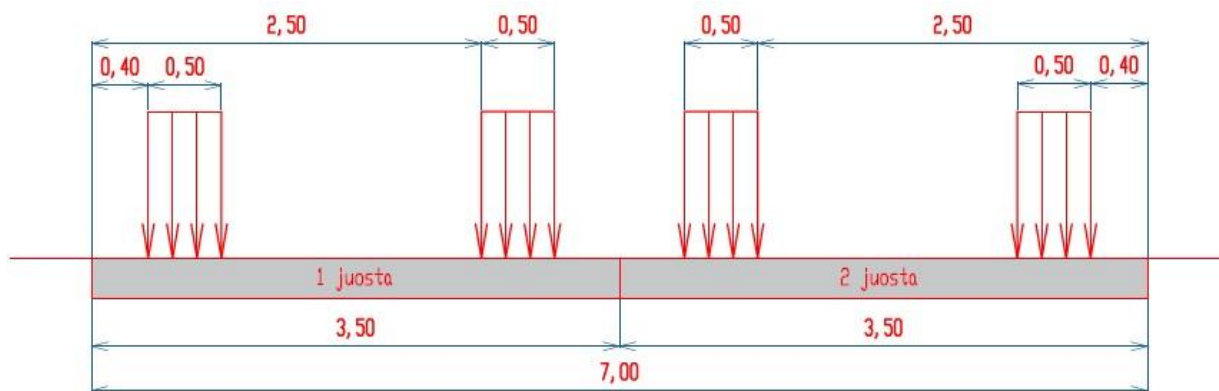
2.23 pav. Šešto apkrovimo schema

Septintas apkrovimo atvejis (2.24 pav.): apkrauta pirma ir antra juosta. Apkrovą sukelia sunkvežimis ir lengvasis automobilis. Pirmą juostą veikia sunkvežimis. Sunkvežimio plotis 2,6 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 60 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,50 m. Danga apkrauta 0,4 m ir 2,50 m atstumu nuo krašto. Antrą juostą veikia lengvasis automobilis. Automobilio svoris imamas 2000 kg, o plotis 2 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 5 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,25 m. Danga apkrauta 0,5 m ir 2,25 m atstumu nuo dešinės pusės (skiriamosios juostos).



2.24 pav. Septinto apkrovimo schema

Aštuntas apkrovimo atvejis (2.25 pav.): apkrauta pirma ir antra juosta. Apkrovą sukelia du sunkvežimiai. Sunkvežimio plotis 2,6 m. Rato perduodama jėga keliui lygi 60 kN. Apkrova veikia du plotus po 0,50 m pirmojoje juostoje. Danga apkrauta 0,4 m ir 2,50 m atstumu nuo krašto. Antrą juostą veikiama tokia pačia apkrova, išdėstyta tokiais pat atstumais, kaip ir pirmojoje.



2.25 pav. Aštuonio apkrovimo schema

2.4 Apkrovų ir grunto konstrukcijos derinimas

Sudaryti modelių ir apkrovų atvejų deriniai. Kiekvienam modeliui priskirti aštuoni apkrovų atvejai. Taip pat modeliai sugrupuoti į tris tipus. Pirmas tipas yra asfalto dangos konstrukcija. Antras tipas – antra asfalto konstrukcija. Trečias tipas yra betono dangos konstrukcija. Modelių ir apkrovų atvejų deriniai pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Sankasos modelių ir apkrovų atvejų deriniai

Tipas	Modeli	Apkrov	Modeli	Apkrov	Modeli	Apkrov	Modeli	Apkrov	Modeli	Apkrov
Pirmas tipas	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1
		2		2		2		2		
		3		3		3		3		
		4		4		4		4		
		5		5		5		5		
		6		6		6		6		
		7		7		7		7		
		8		8		8		8		
Antras tipas	6	1	7	1	8	1	9	1	10	1
		2		2		2		2		
		3		3		3		3		
		4		4		4		4		
		5		5		5		5		
		6		6		6		6		
		7		7		7		7		
		8		8		8		8		
Trečias tipas	11	1	12	1	13	1	14	1	15	1
		2		2		2		2		
		3		3		3		3		
		4		4		4		4		
		5		5		5		5		
		6		6		6		6		
		7		7		7		7		
		8		8		8		8		

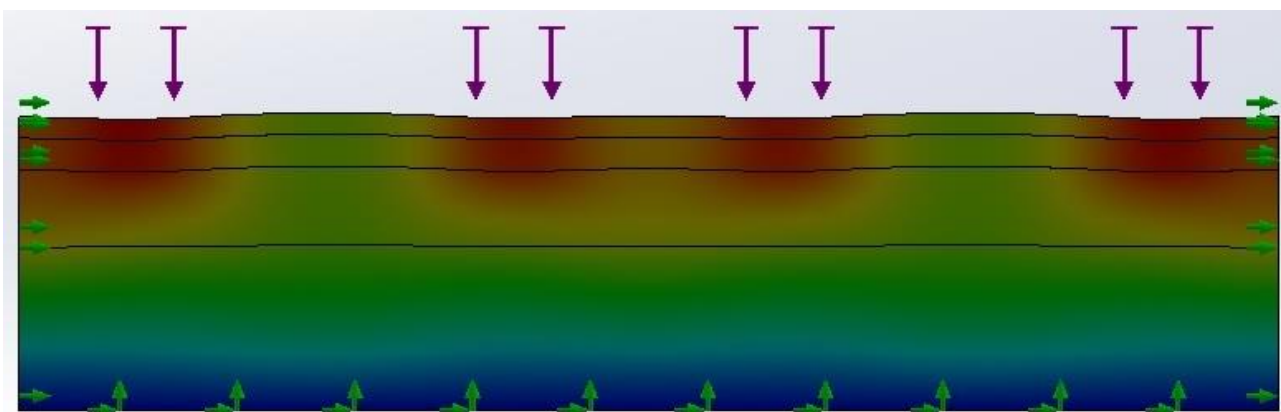
3. TIRIAMOJI DALIS

Tyrimui atlikti naudojami metodinėje dalyje pateikti sankasos konstrukcijos modeliai, apkrovimo atvejai, skaičiavimų schemos ir kiti duomenys.

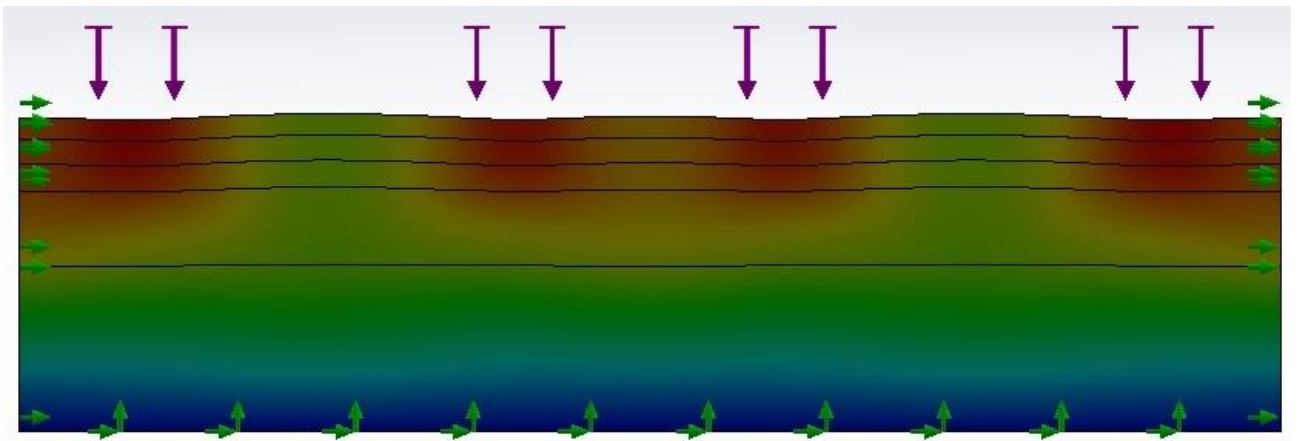
Pateikti trijų sankasos konstrukcijų bendro didžiausio nusėdimo minus savojo svorio nusėdimas pavyzdžiai. Visos trys sumodeliuotos sankasos įrengtos ant kieto molio grunto sluoksnio. Modeliams apkrauti naudotos dvi sunkiasvorės transporto priemonės, t. y. aštuntas apkrovimo atvejais. Modelių apačia įtvirtinta standžiai. Šonai suvaržyti, kad sankasos sluoksniai galėtų judėti aukštyn ir žemyn. Deformacijos pavyzdžiuose pateiktos 1:25 masteliu.

Pirmojo asfalto dangos konstrukcijos modelio gruntų deformacijos pavyzdys pateiktas 3.1 pav. Didžiausias šio modelio nusėdimas apkrovos veikimo vietoje yra apie 4,21 mm. Antrojo asfalto dangos konstrukcijos modelio deformacijos pavyzdys pateiktas 3.2 pav. Šiame modelyje bendra didžiausia deformacija siekia apie 4,14 mm. Sankasos konstrukcijos su betono danga deformacijų pavyzdys pateiktas 3.3 pav. Iš trijų pateiktų konstrukcijų trečiojoje deformacijos mažiausios – apie 3,36 mm.

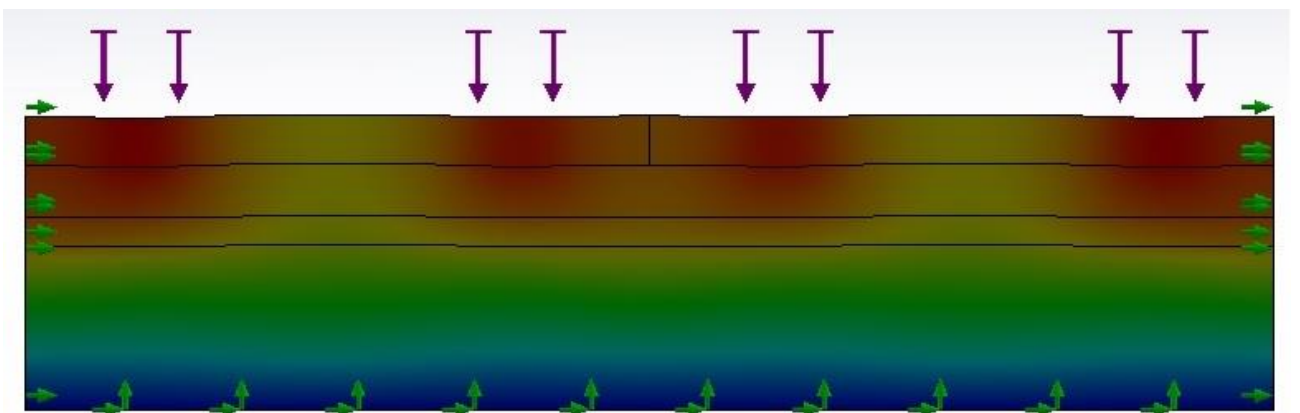
Modeliuose su asfalto danga apkrovos gruntų sluoksniuose pasiskirsto, koncentruojasi sąlyginai siaurame plote. Betono dangos konstrukcijose jėgos persiskirsto kitaip, nei asfalto. Betono dangos plokštė yra standesnė už asfalto dangą apie 12 kartų, todėl jėgos grunte pasiskirsto tolygiau. 3.3 pav. pavyzdį lyginant su kitais dviem jėgų persiskirstymas sankasos sluoksniuose aiškiai matomas. Tai rodo didesni geltonos spalvos plotai. 3.1 pav. ir 3.2 pav. vaizduojamuose sankasos modeliuose tuose pačiuose plotuose vyrauja žalia spalva. Tai reiškia mažesnius jėgų persiskirstymus sankasos konstrukcijoje.



3.1 pav. Pirmos konstrukcijos tipo asfalto modelių deformacijų pavyzdys

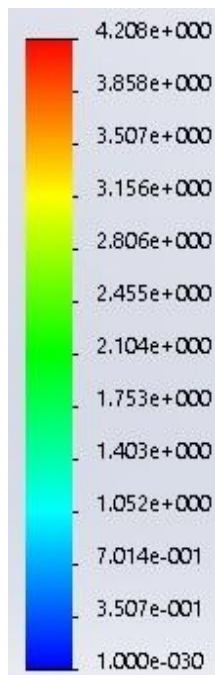


3.2 pav. Antros konstrukcijos tipo asfalto modelių deformacijų pavyzdys

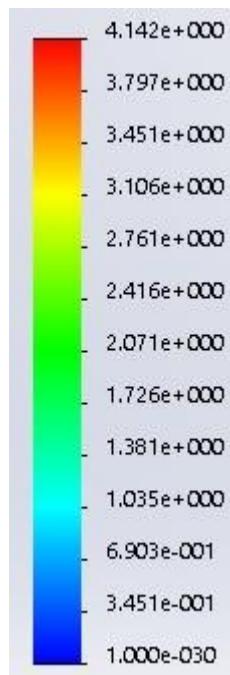


3.3 pav. Betono modelių deformacijų pavyzdys

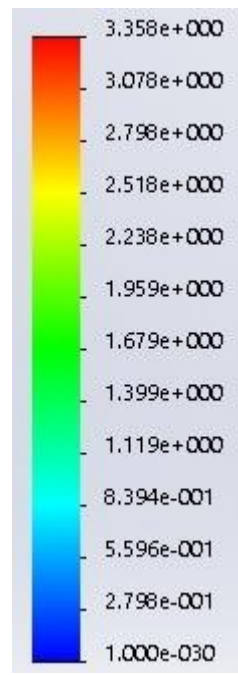
Pateiktuose pavyzdžiuose raudona spalva žymi didžiausią apkrovą gaunantį sluoksnių plotą. Tai reiškia didžiausią nusėdimą ir liekamąsias deformacijas šioje gruntų srityje. Geltona spalva žymi mažesnes apkrovas ir jų pasiskirstymą. Pasiekiant žalios spalvos ribą apkrovų pasiskirstymas sumažėja dar labiau, o pasiekus žydrą jis yra labai mažas. Plotai pažymėti tamsiai mėlyna spalva nėra veikiami apkrovos ir deformacijų juose neatsiranda. 3.4, 3.5 ir 3.6 pav. pateiktos aprašytų sankasos pavyzdžių su asfalto ir betono dangomis apkrovų pasiskirstymo skalės.



3.4 pav. Pirmos konstrukcijos asfalto modelių deformacijos skalė



3.5 pav. Antros konstrukcijos asfalto modelių deformacijos skalė

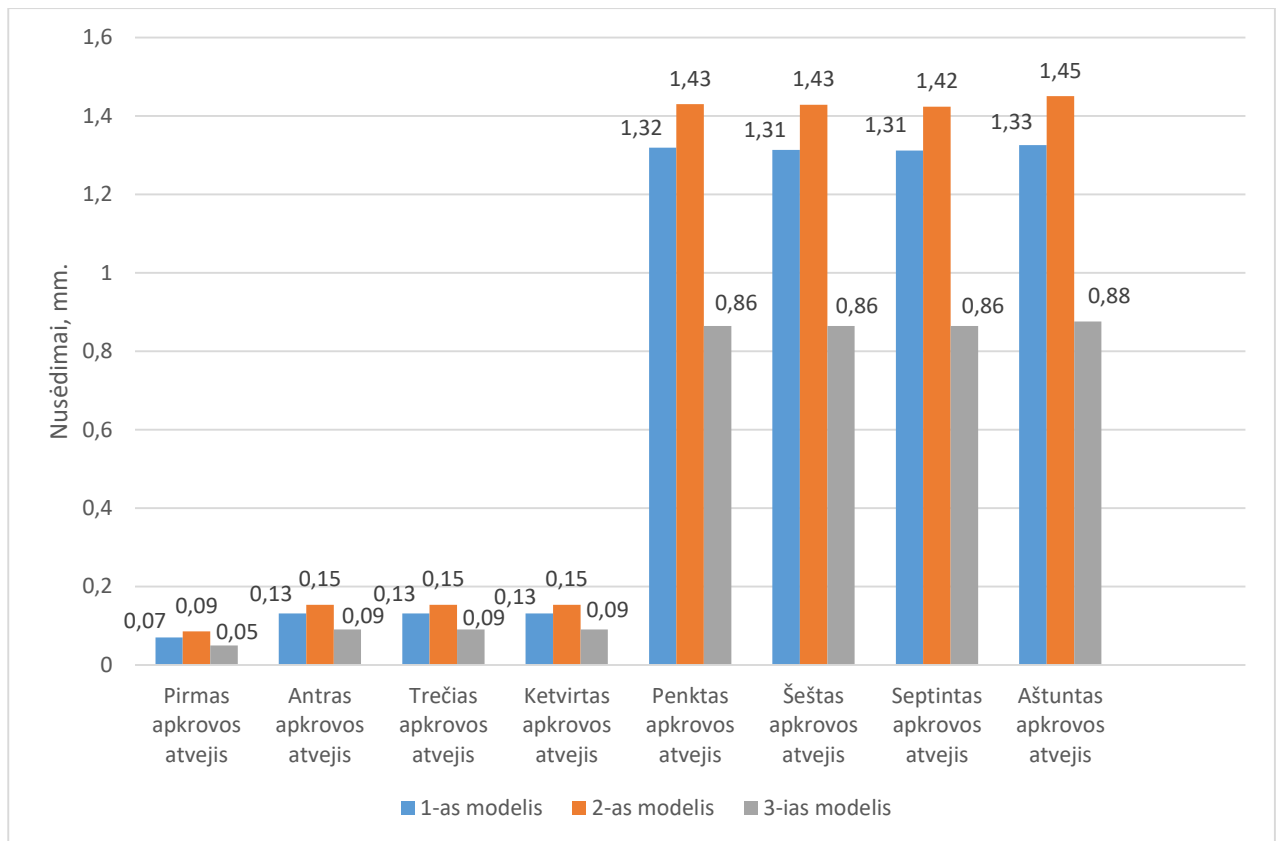


3.6 pav. Betono modelių deformacijos skalė

3.1 Dangų konstrukcijų tipų nusėdimai

1-as modelis, 6-as modelis ir 11-as modelis yra pagrindiniai, iš kurių sudaryti kiti modeliai. Jie skiriasi konstrukcijų sluoksnių struktūra. 1-as modelis panašus į 6-ą modelį. Abiem tipams naudojama asfalto danga. 6-me modelyje suploninti asfalto pagrindo ir apsauginis atsparus šalčiui sluoksniai. Papildomai pridėtas skaldos sluoksnis, tačiau dangos sluoksnis lieka toks pats, kaip 1-me modelyje. 11-me modelyje naudojama betono dangos konstrukcija sudaryta iš betono blokų, skaldos ir atsparių šalčiui medžiagų.

Asfalto konstrukcijos modeliai, apkrauti tokiais pat apkrovų tipais, veikia labai panašiai. Vis dėlto nežymiai jaučiami 1-jo modelio pranašumai prieš 6-tą modelį. Šis modelis mažiau deformuojasi veikiant skirtingiems apkrovos atvejams. Betono konstrukcijos nusėdimai yra daug mažesni palyginti su asfalto. Modelius slegiant vienodo dydžio apkrovomis nusėdimai yra apie 35% mažesni, nei 1-mo modelio. Dar didesnis skirtumas yra tarp 6-to ir 11-to modelio. Skirtumas siekia 40%. Asfalto dangų didžiausias nusėdimas 1-mo modelio konstrukcijoje yra 1,33 mm, 6-to modelio – 1,45 mm. Betono dangos, 11-to modelio, nusėdimas yra 0,88 mm. Gautų rezultatų duomenys pateikti diagramoje 3.7 pav.



3.7 pav. 1-mo, 6-to ir 11-to modelių nusėdimų palyginimas

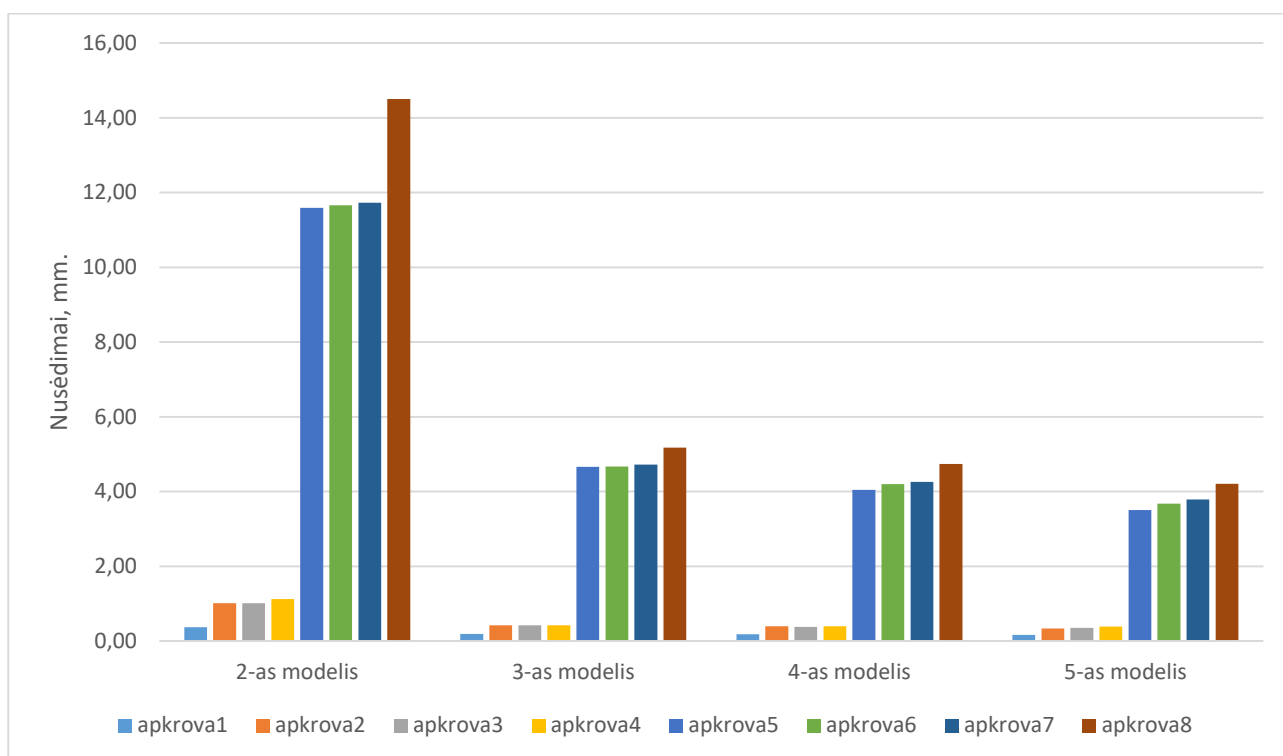
3.2 Pirma asfalto dangos konstrukcija

Atlikus modeliavimus, naudojant pirmą asfalto sluoksnių konstrukcijos tipą, gauti gruntų sluoksnių nusėdimai priklausantys nuo aštuonių apkrovų atvejų. Nusėdimai pateikti grafike (žr. 3.8 pav.).

Grafike matyti, jog pirmi keturi apkrovų atvejai modelius veikia nežymiai. Deformacijos yra mažos. Šie atvejai yra sudaryti iš pirmųjų keturių apkrovimo atvejų, slepia nedidelės jėgos. Motociklo sukeliama apkrova yra 2,5 kN. Gruntai veikiami sąlyginai mažo dydžio jėga. Nusėdimai susidarę dėl šios apkrovos svyruoja nuo 0,16 iki 0,39 mm. Didžiausi nusėdimai, iš šių keturių mažiausių apkrovų, susidaro gruntų sluoksnius slepiant ketvirtuoju apkrovų atveju. Asfalto danga veikiama dviejų lengvųjų automobilių, kurių jėga, perduodama kiekvieno rato keliui, yra po 5 kN. Veikiant šiai apkrovai nusėdimai svyruoja nuo 0,34 iki 1,12 mm.

Slegiant didesnėmis jėgomis (penktas, šeštas, septintas, aštuntas apkrovų atvejais) gruntų modelių tipai nusėda žymiai daugiau. Šie atvejai yra sudaryti iš didesnių apkrovų. Sunkiasvorės transporto priemonės (penktas apkrovos atvejis) sukeliama apkrova yra 60 kN nuo rato perduodama į kelią arba 120 kN per ašį. Nusėdimai susidarę dėl šios apkrovos svyruoja nuo 3,50 iki 11,59 mm. Didžiausi nusėdimai, iš šių keturių didžiausių apkrovų, susidaro gruntų sluoksnius slepiant aštuntuoju

apkrovų atveju (dvi šalia stovinčios sunkiasvorės transporto priemonės). Veikiant šiai apkrovai nusėdimai svyruoja nuo 4,21 iki 14,50 mm.



3.8 pav. Pirmos asfalto dangos konstrukcijos nusėdimų grafikas

Konstrukcija 2-me modelyje yra silpniausia ir nusėdimai joje susidaro didžiausi veikiant mažos reikšmės jėgoms. Šis konstrukcijos modelis sudarytas iš vidutinio tankumo smėlio. 2-me modelyje gruntai nusėda apie du kartus daugiau, nei kituose modeliuose. Atspariausias veikiančioms jėgoms yra 5-as modelis. Jis sudarytas iš kieto molio sluoksnio. Didžiausias šio modelio nusėdimas yra 0,39 mm slegiant ketvirtuoju apkrovos atveju. 3-io ir 4-o modelio nusėdimai panašūs į 5-o modelio, tačiau yra nežymiai didesni.

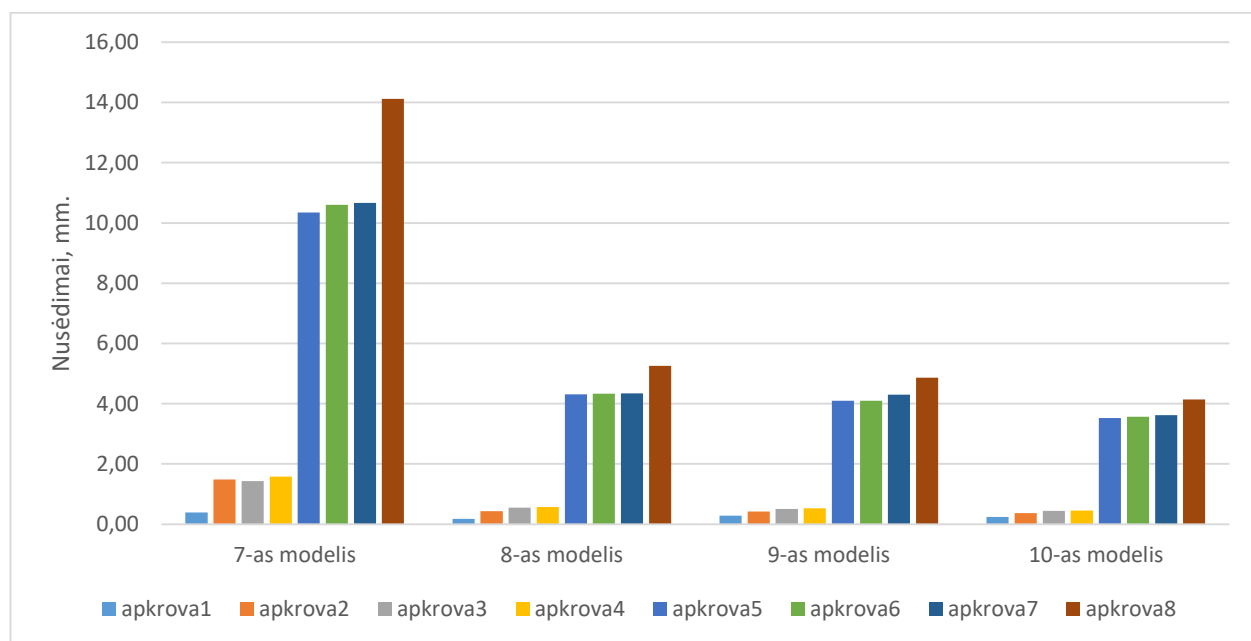
Dangą veikiant didesnėmis apkrovomis prasčiausiai, kaip ir veikiant mažesnėmis jėgomis, susidoroja modelis-2 konstrukcija. Aštuntasis apkrovų atvejis 2-o modelio gruntus nusodina net 71% daugiau, nei kituose modeliuose. Jis nusėda 14,50 mm. Atspariausias veikiančioms jėgoms yra 5-as modelis. Nusėdimas – 4,21 mm. 19% mažesnis už 3-io modelio ir 12% mažesnis už 4-o modelio maksimalias vertes. 3-io modelio didžiausias nusėdimas 5,18 mm, 4-o modelio – 4,74 mm.

3.3 Antra asfalto dangos konstrukcija

Nusėdimai pateikti grafike (žr. 3.9 pav.). Grafike matyti, jog pirmi keturi apkrovų atvejai modelius veikia nežymiai. Deformacijos yra mažos. Motociklo sukeliama apkrova yra 2,5 kN. Gruntai veikiami mažo dydžio jėga. Nusėdimai susidarę dėl šios apkrovos svyruoja nuo 0,18 iki

0,39 mm. Didžiausi nusėdimai, iš šių keturių mažiausių apkrovų, susidaro gruntų sluoksnius slegiant ketvirtuoju apkrovų atveju. Danga veikiama dviejų lengvųjų automobilių, kurių jėga, perduodama kiekvieno rato į pagrindą, yra po 5 kN. Veikiant šiai apkrovai nusėdimai svyruoja nuo 0,45 iki 1,58 mm.

Slegiant didesnėmis jėgomis (penktas, šeštas, septintas, aštuntas apkrovų atvejais) gruntų modelių tipai nusėda žymiai daugiau. Šie atvejai yra sudaryti iš didesnių apkrovų. Sunkiasvorės transporto priemonės (penktas apkrovos atvejis) sukeliama apkrova yra 60 kN nuo rato perduodama į kelį arba 120 kN per ašį. Nusėdimai susidarę dėl šios apkrovos svyruoja nuo 3,53 iki 10,35 mm. Likę keturi apkrovų atvejai yra ženkliai pavojingesni. Šios jėgos žymiai smarkiau slegia konstrukcijos sluoksnius. Didžiausi nusėdimai, iš šių keturių didžiausių apkrovų, susidaro gruntų sluoksnius slegiant aštuntuoju apkrovų atveju (dvi šalia stovinčios sunkiasvorės transporto priemonės). Veikiant šiai apkrovai nusėdimai svyruoja nuo 4,14 iki 14,12 mm.



3.9 pav. Antros asfalto dangos konstrukcijos nusėdimų grafikas

7-o modelio sluoksniai yra silpniausi, todėl nusėdimai susidaro didžiausi. Šis konstrukcijos modelis, kaip ir 2-as modelis, sudarytas iš vidutinio tankumo smėlio. 7-me modelyje gruntai nusėda beveik tris kartus daugiau, nei kituose modeliuose. Atspariausias veikiančioms jėgoms yra modelis-10. Didžiausias nusėdimas yra 0,45 mm slegiant ketvirtu apkrovos atveju. 8-o ir 9-o modelio nusėdimai panašūs į 10-o modelio, bet didesni.

Dangą veikiant didesnėmis apkrovomis prasčiausiai, kaip ir veikiant mažesnėmis jėgomis, susidoroja 7-o modelio konstrukcija. Aštuntasis apkrovų atvejis 7-o modelio konstrukcijoje gruntus nusodina net 70% daugiau, nei kituose modeliuose. Jis nusėda 14,12 mm. Atspariausias veikiančioms jėgoms yra 10-as modelis. Didžiausias nusėdimas yra 4,14 mm. 21% mažesnis už 8-o modelio ir

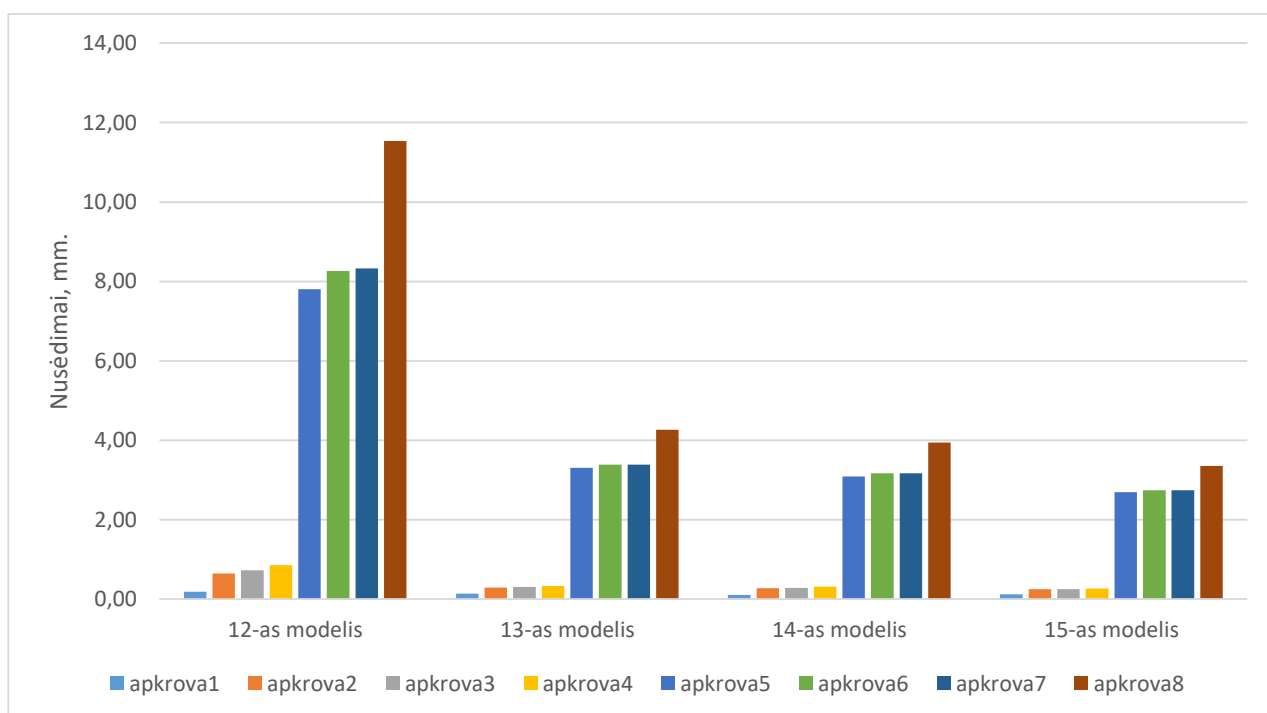
15% mažesnis už 9-o modelio maksimalias vertes. 8-o modelio didžiausias nusėdimas 5,26 mm, 9-o modelio – 4,87 mm.

3.4 Betono dangos konstrukcija

Atlikus modeliavimus, naudojant trečią konstrukcijos tipą, gauti gruntų sluoksnių nusėdimai priklausantys nuo aštuonių apkrovų atvejų. Nusėdimai pateikti grafike (žr. 3.10 pav.).

Grafike matyti, jog pirmi keturi apkrovų atvejai modelius veikia nežymiai. Deformacijos yra mažos. Šie atvejai yra sudaryti iš pirmųjų keturių apkrovimo atvejų, slepia nedidelės jėgos. Motociklo sukeliama apkrova yra 2,5 kN. Gruntai veikiami sąlyginai mažo dydžio jėga. Nusėdimai susidarę dėl šios apkrovos svyruoja nuo 0,11 iki 0,19 mm. Didžiausi nusėdimai, iš šių keturių mažiausių apkrovų, susidaro gruntų sluoksnius slepiant ketvirtuoju apkrovų atveju. Betono danga veikiama dviejų lengvųjų automobilių, kurių jėga, perduodama kiekvieno rato keliui, yra po 5 kN. Veikiant šiai apkrovai nusėdimai svyruoja nuo 0,27 iki 0,85 mm.

Slegiant didesnėmis jėgomis (penktas, šeštas, septintas, aštuntas apkrovų atvejais) gruntų modelių tipai nusėda žymiai daugiau. Šie atvejai yra sudaryti iš didesnių apkrovų. Sunkiasvorės transporto priemonės (penktas apkrovos atvejis) sukeliama apkrova yra 60 kN nuo rato perduodama į pagrindą arba 120 kN per ašį. Nusėdimai susidarę dėl šios apkrovos svyruoja nuo 2,69 iki 7,80 mm. Didžiausi nusėdimai, iš šių keturių didžiausių apkrovų, susidaro gruntų sluoksnius slepiant aštuntuoju apkrovų atveju (dvi šalia stovinčios sunkiasvorės transporto priemonės). Veikiant šiai apkrovai nusėdimai svyruoja nuo 3,36 iki 11,54 mm.



3.10 pav. Betono konstrukcijos nusėdimų grafikas

Konstrukcija 12-me modelyje yra silpniausia ir nusėdimai joje susidaro didžiausi. Šis konstrukcijos modelis sudarytas iš vidutinio tankumo smėlio. Betonų dangos blokus veikiant ketvirtuoju apkrovos atveju susidaro jėga, kuri gruntus nusodina virš trijų kartų daugiau, nei jėga susidariusi kituose modeliuose. Atspariausias veikiančioms jėgoms yra 15-as modelis. Jis sudarytas iš apatinio kieto molio sluoksnio. Didžiausias nusėdimas yra 0,27 mm slegiant ketvirtuoju apkrovos atveju. 13-o ir 14-o modelio nusėdimai panašūs į 15-o modelio, tačiau yra apie 10% didesni.

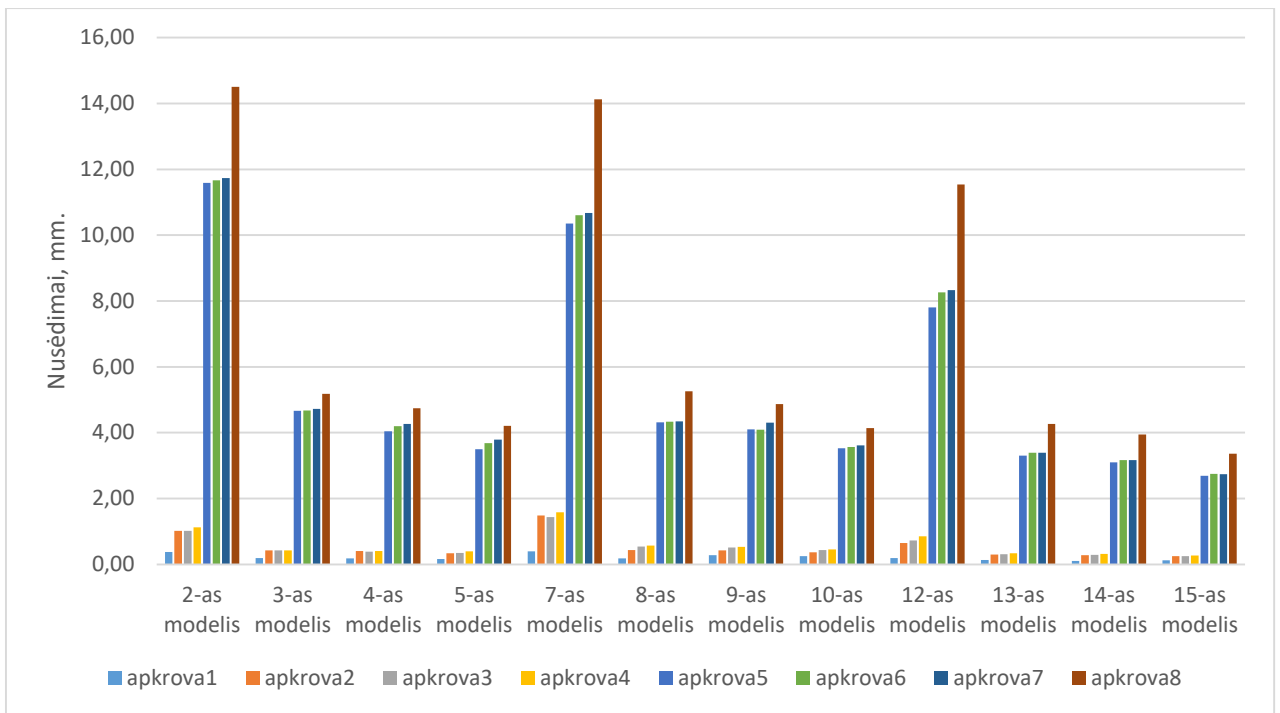
Dangą veikiant didesnėmis apkrovomis prasčiausiai, kaip ir veikiant mažesnėmis jėgomis, susidoroja 12-o modelio konstrukcija. Susidaro didžiausi nusėdimai. Aštuntasis apkrovų atvejis 12-o modelio konstrukcijoje gruntus nusodina net 70% daugiau, nei kituose modeliuose. Jis nusėda 11,54 mm. Atspariausias veikiančioms jėgoms yra 15-as modelis. Didžiausias nusėdimas yra 3,36 mm. Net 22% mažesnis už 13-o modelio ir 15% mažesnis už 14-o modelio maksimalias vertes. 13-o modelio didžiausias nusėdimas 4,27 mm, 14-o modelio – 3,94 mm.

3.5 Bendras kelio konstrukcijų nusėdimas

Visuose modelių ir apkrovų atvejų deriniuose vyrauja ta pati tendencija. Gruntai apkrauti mažomis jėgomis nusėda daug mažiau, nei apkrovus didesnėmis. Vertinant didžiausių apkrovos atvejų sukeltas deformacijas mažiausi nusėdimai yra 3-me konstrukcijos tipe, kuriame naudojama betono danga (žr. 3.11 pav.). Visuose konstrukcijų tipuose daugiausiai nusėda 2-as, 7-as ir 12-as modeliai. Šiuose modeliuose yra 1 m storio vidutinio tankumo smėlio sluoksnis.

Kai kelias apkraunamas didžiausia užsiduota apkrova (aštuntas apkrovimo atvejis) pirmo tipo konstrukcija daugiausiai nusėda 14,50 mm, antro tipo 14,12 mm, trečio tipo 11,54 mm. Pakeitus apatini sluoksnį situacija pagerėja. Vidutinio tankumo smėlio sluoksnį pakeitus į tankų smėlį nusėdimai, veikiant tam pačiam apkrovos atvejui, sumažėja apie 63% visuose konstrukcijų tipuose. Smėlio gruntų sluoksnius pakeitus moliu nusėdimai tampa dar mažesni. Palyginti su vidutinio tankumo smėlio sluoksniu nusėdimai sumažėja 66-71%.

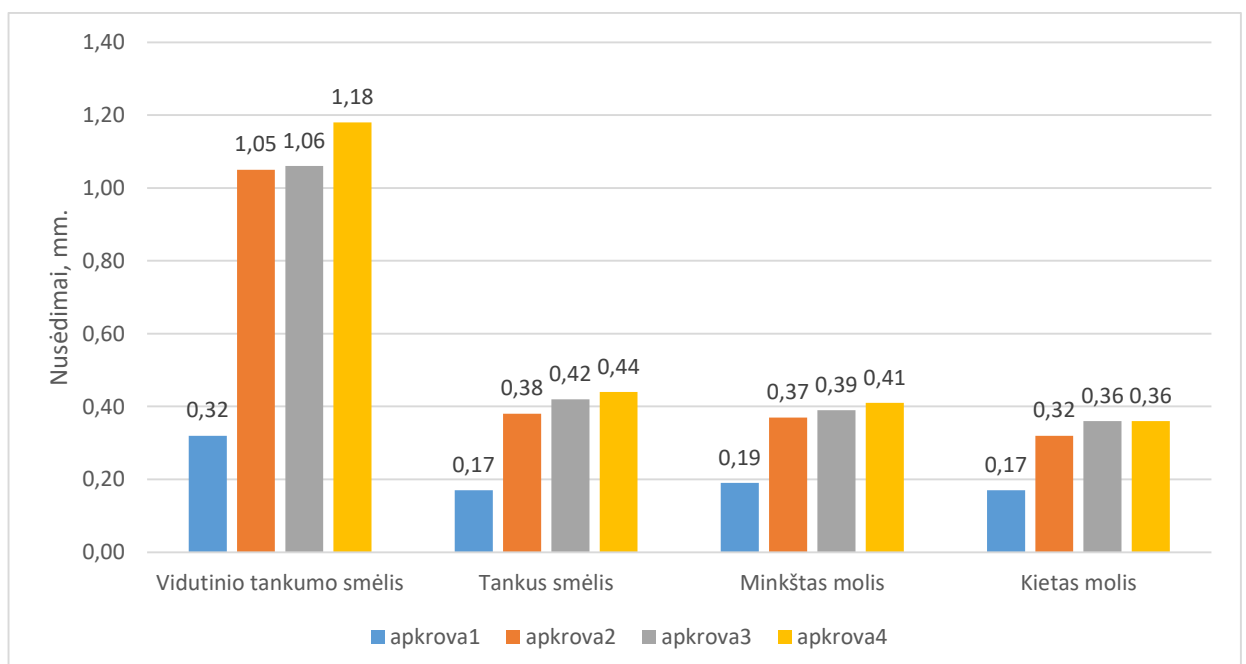
Mažiausi nusėdimai gaunami 5-me, 10-me ir 15-me modeliuose, o konstrukcijos, visais apkrovų atvejais, deformavosi mažiausiai. Šiuose modeliuose naudotas kieto molio grunto sluoksnis. Tai reiškia, kad naudojant šį grunto tipą kelio sankasa yra standžiausia. Visi gruntų sluoksniuose susidarę nusėdimai pateikti 3.11 pav.



3.11 pav. Visų modelių nusėdimai

Pirmi keturi apkrovų atvejai sudaryti iš mažų jėgų. Sluoksnius veikia motociklo ar lengvojo automobilio sukeltos apkrovos. Atlikus tyrimą sudaryta nusėdimų diagrama, pagal gruntų tipus (žr. 3.12 pav.). Gruntai deformuojasi nevienodai. Tankus smėlis ir minkštas molis deformuojasi panašiai. Didžiausi nusėdimai 0,44 mm (tankus smėlis) ir 0,41 mm (minkštas molis).

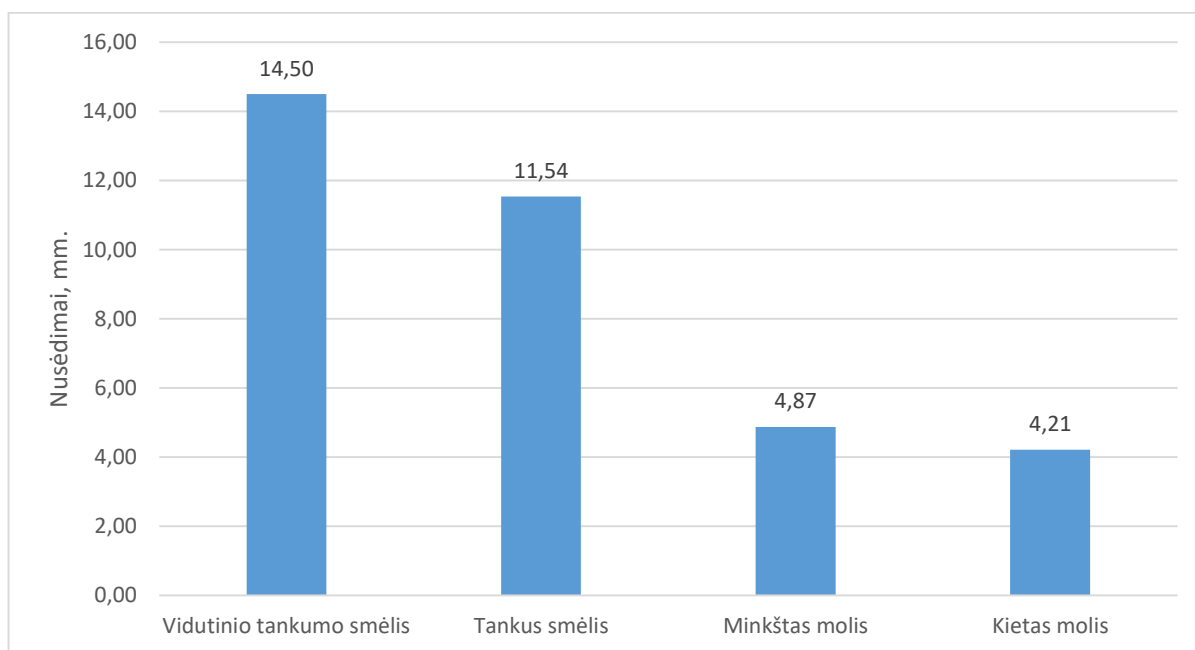
Slegiant dviejų lengvųjų automobilių jėga vidutinio tankumo smėlio sluoksnis nusėda daugiausiai. Vidutinis jo nusėdimas yra 1,18 mm. Žymiai mažiau nusėda kieto molio sluoksnis. Jis nusėda 0,36 mm. Tai yra virš trijų kartų mažiau, nei vidutinio tankumo smėlis.



3.12 pav. Gruntų nusėdimai veikiant mažiausioms apkrovoms

Penktas, šeštas, septintas ir aštuntas apkrovų atvejai sukelia didžiausias gruntų deformacijas. Sluoksnius veikia sunkiasvorė transporto priemonė ir jos deriniai su kitu transportu. Atlikus tyrimą sudaryta didžiausių nusėdimų diagrama, pagal gruntų tipus (žr. 3.13 pav.). Mažiausiai deformuojasi kieto molio sluoksnis. Labai panašiai sėda minkšto molio gruntas. Minkšto molio nusėdimas yra 4,87 mm. Tankaus smėlio didžiausias nusėdimas 11,54 mm.

Sankasą veikiant didžiausiu apkrovimo atveju (aštuntas apkrovimo atvejis) vidutinio tankumo smėlio sluoksnis nusėda daugiausiai. Didžiausias jo nusėdimas veikiant apkrovai yra 14,50 mm. Kieto molio nusėdimas mažiausias – 4,21 mm. Vidutinio tankumo smėlio ir kieto molio nusėdimai skiriasi 71%. Kelio sankasos konstrukcija sudaryta su tankaus smėlio sluoksniu nusėda 20% mažiau už vidutinio tankumo smėlį, o minkšto molio sluoksnis 66% mažiau. Didžiausi nusėdimai pateikti 3.13 pav.



3.13 pav. Gruntų didžiausi nusėdimai

3.6 Sankasos gruntų sluoksnių įtaka standžioms ir liaunoms dangoms

Neatsižvelgiant danga yra standi ar liauna sankasos gruntų įtaka yra akivaizdi. Apibendrinant visus gautus rezultatus didžiausi nusėdimai atsiranda naudojant vidutinio tankumo smėlį, mažiausi kieto molio sluoksniuose. Lyginant skirtingus konstrukcijų tipus nusėdimai tarp šių dviejų gruntų mažiausių ir didžiausių verčiu skiriasi iki 3,5 karto.

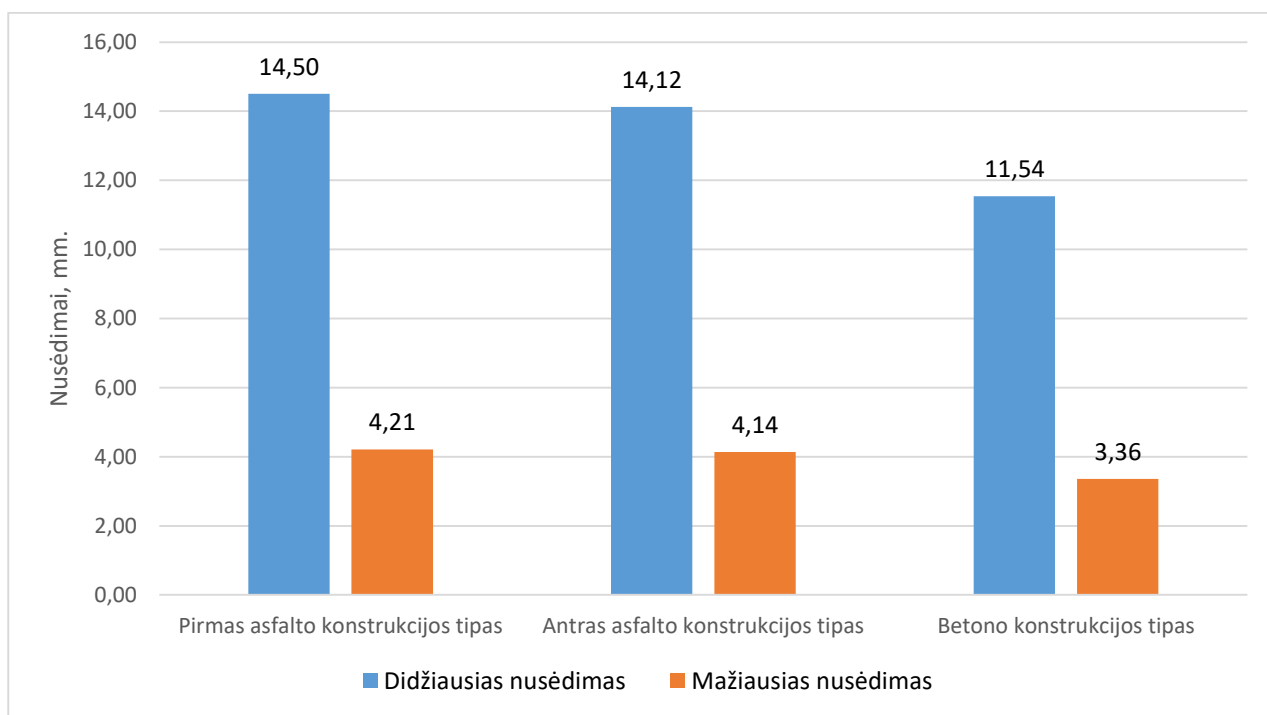
Sankasoje naudojant vidutinio tankumo smėlio sluoksnį konstrukcijos deformuojasi skirtingai. Asfalto dangų pirmo ir antro konstrukcijų tipų nusėdimai skiriasi nežymiai. Trečiasis

konstrukcijos tipas nusėda 20% mažiau. Naudojant kietą molį nusėdimai sumažėja apie 71%. Nusėdimų skirtumas tarp asfalto ir betono dangų – apie 20%.

Liaunoms dangoms grunto įtaka yra 20% didesnė nei standžioms dangoms. Tiek veikiant didesnėmis, tiek mažesnėmis apkrovomis šis įtakos pasiskirstymas išlieka panašus.

Tinkamiausias kelio sankasos konstrukcijos gruntų sluoksnis (iš pasirinktų) standžioms ir liaunoms dangoms yra kieto molio.

3.14 pav. pateikta diagrama rodo didžiausius ir mažiausius konstrukcijų tipų nusėdimus.



3.14 pav. Didžiausi ir mažiausi konstrukcijų tipų nusėdimai

IŠVADOS

Iš sumodeliuotų sankasos tipų geriausias yra betono konstrukcijos modelis, kurio apatinis grunto sluoksnis yra kietas molis. Tokios sankasos skaičiuotinas nusėdimas yra 3,36 mm. Prasčiausias (didžiausi nusėdimai) modelis – asfaltas, kurio apatinis grunto sluoksnis sudarytas iš vidutinio tankumo smėlio. Remiantis modeliavimu kelio nusėdimas prasčiausiame modelyje siekia 14,50 mm.

Nustatyta, kad pavojingiausią apkrovą sukelia dvi prasilenkiančios sunkiasvorės transporto priemonės. Šios apkrovos sukeltos mažiausios ir didžiausios deformacijos, vidutinio tankumo smėlio ir kieto molio modeliuose, skiriasi 70%.

Sankasos gruntų sluoksnių įtaka liaunų dangų (asfalto) konstrukcijoms yra 20% didesnė už įtaką standžioms (betono) dangoms.

LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Automobilių kelių žemės darbų atlikimo ir žemės sankasos įrengimo taisyklės IT ŽS 17. Vilnius, 2017. //Prieiga per internetą: <<http://lakd.lrv.lt/lt/paslaugos/irengimo-taisykles>> [žiūrėta 2017-11-22].
2. Kelių tampriosios dangos konstrukcijų savybių įtaka jų viršutinio sluoksnio eksploataciniams rodikliams: daktaro disertacija. M. Bulevičius. Vilnius: Technika, 2013. ISBN 978-609-457-582-2 //Prieiga per internetą: <<http://dspace.vgtu.lt/handle/1/1672>> [žiūrėta 2017-10-05].
3. Deformation characterization of subgrade soils for highways and runways in northern environments. //Prieiga per internetą: <<https://www.soilvision.com/subdomains/unsaturatedsoil.com/Docs/Research%20Papers/1975/Journal%20Papers/Deformation%20characterization%20of%20subgrade%20soils%20for%20highways%20and%20runways%20in%20northern%20environments.pdf>> [žiūrėta 2017-11-25].
4. Izoliuotosios bėgių sandūros stiprumo parametrų tyrimas: baigiamasis magistro projektas. L. Gintauskas. Kaunas, 2016. //Prieiga per internetą: <<https://www.google.lt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=40&ved=0ahUKEwjPIK6w8PXAhXKAJoKHQcACq44HhAWCGEwCQ&url=https%3A%2F%2Fpubl.ktu.edu%2Fobject%2Felaba%3A16053019%2F16053019.pdf&usg=AOvVaw2trZqcHeBFT6hgBMnAUakj>> [žiūrėta 2017-10-27].
5. Design of highway drainage systems //Prieiga per internetą: <<http://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmrb/vol4/section2/hd3316.pdf>> [žiūrėta 2017-10-27].
6. Drainage importance //Prieiga per internetą: <<http://www.roadex.org/e-learning/lessons/drainage-of-low-volume-roads/introduction-why-drainage-is-important/>> [žiūrėta 2017-10-05].
7. Performance evaluation of subgrade stabilization with recycled materials //Prieiga per internetą: <https://www.michigan.gov/documents/mdot/RC-1635_REPORT_522701_7.pdf> [žiūrėta 2017-11-13].
8. Geotechnical aspects of pavements reference manual //Prieiga per internetą: <<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/05037/07d.cfm>> [žiūrėta 2017-10-26].
9. New Polish catalogue of typical flexible and semi-rigid pavements //Prieiga per internetą: <https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/36/mateconf_gambit2017_04002.pdf> [žiūrėta 2017-10-26].

10. Bases and subbases for concrete pavements //Prieiga per internetą: <<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif16005.pdf>> [žiūrėta 2017-10-09].
11. An economical solution for road construction on weak subgrades using geogrid/geotextile geocomposites //Prieiga per internetą: <<https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/IPWEA/d084dcf4-6215-4255-a0bd-255ce5299a58/UploadedImages/QLD%20Conferences/Cairns%202013/Papers%20Presentations/An%20Economical%20Solution%20For%20Road%20Construction%20On%20Weak%20Subgrades%20Using%20Geogrid-Geotextile%20Geocomposition%20-%20AS.pdf>> [žiūrėta 2017-11-13].
12. Kelias //Prieiga per internetą: <<https://lt.wikipedia.org/wiki/Kelias>> [žiūrėta 2017-10-05].
13. Gerbūvio aikštelių įrengimas, panaudojant perdirbtą statybinį laužą: baigiamasis magistro projektas. A. Miliūtė. – Kaunas: 2016.
14. Betono danga keliuose – bėda ar alternatyva. //Prieiga per internetą: <<http://sa.lt/betono-danga-keliuose-beda-ar-alternatyva/>> [žiūrėta 2017-12-27].
15. Pamatai ir pagrindai: vadovėlis. D. Sližytė, J. Medzvieckas, R. Mackevičius. – Vilnius: Technika, 2012. ISBN 978-609-457-176-3.
16. Geoinžineriniai lauko tyrimų metodai: Mokomoji knyga. S. Gadeikis, P. Klizas, R. Mokrik, K. Jokšas. – Vilnius: 2012. ISBN 978-609-459-087-0.
17. Pamatų projektavimas pagal 7 eurokodą vadovas: mokomoji knyga. B. Černius. – Kaunas: Technologija, 2007. ISBN 9955-25-161-1.
18. Seklieji pamatai: mokomoji knyga. B. Černius. – Kaunas: Technologija, 2014. ISBN 978-9955-25-754-7.
19. Pagrindai ir pamatai: mokomoji knyga. B. Černius. – Kaunas: 2003. ISBN 9955-09-331-5.
20. Kelių techninis reglamentas KTR 1.01.2008 Automobiliu keliai. Vilnius, 2008. //Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.3383DAEA9386>> [žiūrėta 2017-11-19].
21. Standžių dangų panaudojimo Lietuvos kelių tiesyboje analizė ir gaminamo betono stiprio gniuždant tyrimas. R. Kleizienė, A. Vaitkus. – Vilnius, 2012. //Prieiga per internetą: <http://leidykla.vgtu.lt/conferences/JM_Transport_2012/PDF/transportas-lt-388-392.pdf> [žiūrėta 2017-12-27].
22. . Vienintelis Lietuvoje betoninis kelias vasarą tampa mirtinų kliūčių ruožu. //Prieiga per internetą: <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/automobiliai_ir_motociklai/S-49459/straipsnis/Vienintelis-Lietuvoje-betoninis-kelias-vasara-tampa-mirtinu-kliuciu-ruozu> [žiūrėta 2017-12-27].

23. A14 Vilnius - Utena kelio deformacijos //Prieiga per internetą: <<https://www.delfi.lt/verslas/transportas/atsisakoma-kelio-vilnius-utena-rekonstrukcijos-koncesijos-budu.d?id=74545910>> [žiūrėta 2017-12-27].
24. Gruntų mechanika, pagrindai ir pamatai. J. Šimkus. – Vilnius, Mokslas, 1984.
25. STR 2.05.05:2005 Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Vilnius, 2005. //Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalActPrint?documentId=TAR.C8C4EF7FF7AE>> [žiūrėta 2017-12-27].
26. Vibrovoliai //Prieiga per internetą: <<http://rkr.lt/nuoma/gruntiniai-vibrovoliai/vibrovolas-bomag>> [žiūrėta 2017-12-27].
27. Vibroplokštės //Prieiga per internetą: <<http://www.ramirent.lt/produktai/grunto-tankinimo-ranga-ir-vibro-voliai-22/vibroploksts-25/vibroplokst-dvikrypt-280kg-2751>> [žiūrėta 2017-12-27].
28. Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės KPT SDK 07. Vilnius, 2008. //Prieiga per internetą: < <http://lakd.lrv.lt/lt/paslaugos/keliu-projektavimo-taisykles>> [žiūrėta 2017-11-19].