



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Vilius Filotenkovas

**TRANSPORTO EISMO ZONŲ DANGOS KONSTRUKCIJŲ
PRALAUDUMO VANDENIUI FUNKCIONALUMO TYRIMAS**

**ANALYSIS OF TRAFFIC ZONES PAVEMENT CONSTRUCTION
WATER PERMEABILITY FUNCTIONALITY**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas

(Vardas, pavardė)

2018 05 21

(Data)

Vilius Filotenkovas

**TRANSPORTO EISMO ZONŲ DANGOS KONSTRUKCIJŲ
PRALAIMUMO VANDENIUI FUNKCIONALUMO TYRIMAS**

**ANALYSIS OF TRAFFIC ZONES PAVEMENT CONSTRUCTION
WATER PERMEABILITY FUNCTIONALITY**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas: prof. Audrius Vaitkus



(Parašas)

2018 05 16

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas dr. Aušra Žemienė



(Parašas)

2018-05-16

(Data)

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

Statybos inžinerija (02 T) studijų kryptis

Civilinė inžinerija studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Keliai specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas

(Vardas, pavardė)

2018 05 23

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei) Viliui Filotenkovui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Transporto eismo zonų dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui funkcionalumo tyrimas

patvirtinta 2018 m. kovo 19 d. dekanų potvarkiu Nr. 82 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2018 m. gegužės 21 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti literatūros, susijusios su reikalavimais dangos konstrukcijos atsparumui šalčiui, pralaidumui vandeniui ir medžiagoms. Atlikti visuotinai priimtų principų ir dokumentų, reglamentuojančių dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui nustatymą, analizę. Atlikti gruntų ir mineralinių medžiagų, naudojamų apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui įrengti, eksperimentinį tyrimą, nustatant pralaidumo vandeniui savybes. Pateikti rekomendacijas dangos konstrukcijos medžiagų pralaidumo vandeniui bandymo metodų taikymui bei interpretavimui.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

prof. dr. Audrius Vaitkus

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Vilius Filotenkovas

(Vardas, pavardė)

2016-11-07

(Data)

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vilius Filotenkovas, 20122707

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Civilinė inžinerija, Kmf-16

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

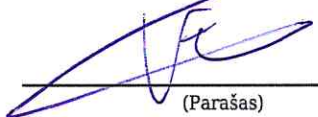
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA

2018 m. gegužės 21 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Transporto eismo zonų dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui funkcionalumo tyrimas“ patvirtintas 2018 m. kovo 19 d. dekanų potvarkiu Nr. 82ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas prof. dr. Audrius Vaitkus.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Vilius Filotenkovas
(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Civilinės inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Transporto eismo zonų dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui funkcionalumo tyrimas**

Autorius **Vilius Filotenkovas**

Vadovas **Audrius Vaitkus**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame baigiamajame magistro darbe analizuojama šalčiui nejautrių, atsparių sluoksnių savybių įtaka pralaidumo vandeniui funkcionalumui. Siekiant išvengti ar bent sumažinti dangos paviršiaus deformacijas, būtina užtikrinti pakankamą konstrukcijos sluoksnių pralaidumą vandeniui ir gruntinio vandens lygio kontrolę. Itin svarbūs rodikliai tinkamam vandens pralaidumui yra naudojamų mineralinių medžiagų mišinių ar gruntų granulometrinė sudėtis, jų užterštumas, soties laipsnis ir oro tuštymų kiekis sluoksniuose, sluoksnių tankiai. Pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo bandymas remiasi Darsi (Darcy) dėsnio, kuris teigia, jog pralaidumas vandeniui (taip pat žinomas kaip hidraulinis pralaidumas) yra lygus slėgių pokyčiui per tam tikro ilgio kūną. Tradiciškai geotechninėje inžinerijoje, išotintos medžiagos pralaidumas vandeniui gruntams ir mineralinėms medžiagoms nustatomas naudojant pastovaus spūdzio pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo įrangą. Siekiant įvertinti rezultatų tinkamumą, būtina atsižvelgti į bandomojo objekto frakciją ir atlikti bandymą esant skirtingiems hidrauliniams nuolydžiams. Šiame darbe atlikti eksperimentiniai tyrimai pralaidumo vandeniui funkcionalumo gerinimui. Apžvelgiama užsienio šalių patirtis, visuotinai taikomi principai bei norminiai dokumentai, kuriuose aprašomi pralaidumo vandeniui koeficiento reikalavimai. Eksperimentinio tyrimo metu nustatytos šios mineralinių medžiagų savybės: granulometrinė sudėtis, dalelių tankis, Proktoro tankis, optimalus drėgnis, pralaidumas vandeniui esant skirtingam sutankinimui ir hidrauliniams nuolydžiams. Remiantis gautais tyrimo rezultatais pateikiamos išvados bei pralaidumo vandeniui funkcionalumo gerinimo dangos konstrukcijose ir tolimesnių tyrimų rekomendacijos. Darbo apimtis – 81 puslapis teksto be priedų, 30 paveikslų, 13 lentelių.

Prasminiai žodžiai: pralaidumas vandeniui, pralaidumo vandeniui koeficientas, hidraulinis nuolydis, dangos konstrukcija, apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis, sutankinimo rodiklis, granulometrinė sudėtis, oro tuštymės

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Roads

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Civil Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Analysis of Traffic Zones Pavement Construction Water Permeability Functionality**

Author **Vilius Filotenkovas**

Academic supervisor **Audrius Vaitkus**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This master's degree thesis analyzes the influence of frost-susceptible layers' properties on water permeability functionality. In order to prevent or at least reduce the deformation of road surface, it is necessary to ensure adequate water permeability of the structural layers and control of groundwater level. Particularly important factors for proper water permeability are the particle size distribution composition of the mineral aggregates mixtures or used soil, their contamination, degree of saturation and the number of air voids in the layers, the density of the layers. The test for determination of the water permeability coefficient is based on the Darcy law, which states that water permeability (also known as hydraulic permeability) is equal to the pressure variation over a body of a certain length. In geotechnical engineering, the water permeability of the mineral aggregates or soils is determined using a constant head water permeability apparatus. In order to assess the suitability of the results, it is necessary to take into account the fraction of the test object and perform the test at different hydraulic ramps. In this work, tests were done to improve the functionality of water permeability. An overview of foreign experience, universally applicable principles and normative documents describing the requirements for water permeability coefficient was made. The following properties have been determined during the tests: particle size distribution, particle density, Proctor density, optimum water quantity, water permeability under different compaction and hydraulic slopes. Based on the results of the research, conclusions and recommendations for further research and for improvement of water permeability functionality in the road pavement are presented. Thesis consist of 81 pages of text without appendixes, 30 pictures, 13 tables.

Keywords: water permeability, coefficient of water permeability, hydraulic slope, road pavement, frost-susceptible layer, compaction rate, particle size distribution, air voids

TURINYS

Baigiamojo magistro darbo užduotis.....	3
Sąžiningumo deklaracija.....	4
Anotacija lietuvių kalba.....	5
Anotacija anglų kalba	6
Turinys.....	7
Lentelių sąrašas.....	9
Paveikslų sąrašas	10
Žymėjimai.....	12
Įvadas.....	13
1. TRANSPORTO EISMO ZONŲ DANGOS KONSTRUKCIJŲ SPECIFIKA	15
1.1. Lietuvos automobilių kelių tinklas	15
1.2. Transporto eismo zonų bei jų dangos konstrukcijų specifika.....	17
1.2.1. Transporto zonos	17
1.2.2. Dangos konstrukcijų specifika	19
1.2.3. Dangų konstrukcijų specifika Lietuvoje.....	21
1.2.4. Dangų konstrukcijų specifika kitose šalyse.....	25
1.3. Mokslo darbų, susijusių su transporto eismo zonų dangos konstrukcijų funkcionalumo pralaidumo vandeniui aspektu, apžvalga.....	30
1.4. Pirmojo skyriaus išvados.....	35
2. NORMINIŲ TECHNINIŲ DOKUMENTŲ, REGLAMENTUOJANČIŲ PRALAIMUMĄ VANDENIUI, ANALIZĖ.....	36
2.1. Visuotinai pripažinti principai, tiriant dangos konstrukcijų pralaidumą vandeniui	36
2.2. Nesurištųjų hidraulinių mišinių ir gruntų pralaidumo vandeniui bandymo metodų analizė	40
2.3. Norminių techninių dokumentų bei standartų analizė.....	49
2.4. Antrojo skyriaus išvados	52
3. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS PRALAIMUMĄ VANDENIUI DARANČIŲ VEIKSNIŲ ĮTAKAI ĮVERTINTI.....	53

3.1.	Tyrimo objektas ir metodika.....	53
3.2.	Tyrimo rezultatų analizė ir vertinimas.....	63
3.3.	Trečiojo skyriaus išvados	73
4.	REKOMENDACIJOS TRANSPORTO EISMO ZONŲ DANGOS KONSTRUKCIJŲ PRAL AidUMO VANDENIUI FUNKCIONALUMUI PADIDINTI	75
4.1.	Rekomendacijos dangos konstrukcijai	75
4.2.	Rekomendacijos apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagoms	75
4.3.	Ketvirtojo skyriaus išvados	76
	Išvados.....	78
	Literatūros šaltiniai	80

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių pasiskirstymas, pagal dangos tipą	17
1.2 lentelė. Automobilių kelių klasifikacija pagal kategorijas ir reikšmes	18
1.3 lentelė. Projektinės apkrovos ir joms priskirtos dangų konstrukcijų klasės.....	22
1.4 lentelė. Gatvių dangų konstrukcijų klasės.....	22
1.5 lentelė. Važiuojamosios dalies juostos, skirtos maršrutiniam transportui, dangos ir joms priskiriamos dangų konstrukcijų klasės.....	23
1.6 lentelė. Dangos prie transporto aptarnavimo ir eismo dalyviams skirtų paslaugų statinių ir joms priskiriamos dangų konstrukcijų klasės.....	23
1.7 lentelė. Automobilių stovėjimo aikštelės ir joms priskiriamos dangų konstrukcijų klasės ...	24
1.8 lentelė. Šalčiui atsparių dangų konstrukcijų mažiausi storiai	25
2.1 lentelė. Dažniausiai pasitaikančios įsotintų medžiagų pralaidumo vandeniui rodiklių vertės (Folkeson <i>et al.</i> 2009).....	39
2.2 lentelė. Reikalavimai, keliamų nesurištų medžiagų sluoksniui AŠAS sluoksniui, pagal Latvijos norminį dokumentą „Ceļu specifikācijas 2017“.....	51
3.1 lentelė. Tiriamųjų nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių išbyrų kiekis masės procentais ir atitikimas TRA SBR 07 reikalavimams AŠAS sluoksniui	64
3.2 lentelė. Tiriamųjų nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių dalelių ir Proktoro tankio, optimalaus drėgnio, oro tuštymų bei poringumo koeficiento vertės	65
3.3 lentelė. Skirtingų hidraulinių nuolydžių verčių pralaidumo vandeniui koeficiento nuokrypiai nuo tikrosios vertės, atliekant bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus	69

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Valstybinės ir vietinės reikšmės kelių pasiskirstymas pagal ilgį	15
1.2 pav. Transporto eismo zonos.....	19
1.3 pav. Detalusis vandens balanso modelis kiekvienam kelio konstrukcijos komponentui su vandens srautais: v – vertikalusis vandens srautas, l – horizontalusis, ca – paviršiaus, su – dangos, rb – pagrindo sluoksnio, sub – AŠAS sluoksnio, sc – iškasos šlaito, t – pralaidos, em – pylimo, b – pylimo šlaito.....	32
1.4 pav. Nesurištųjų mineralinių medžiagų sluoksnio skeleto schema.....	33
2.1 pav. Vandens slėgio pokyčio, tekant per poringąjį kūną, schema	36
2.2 pav. Pralaidumo vandeniui verčių, gautų skaičiuojant Hazeno lygtį, priklausomybė nuo efektyviojo medžiagos dalelių dydžio	38
2.3 pav. Pastovaus spūdžio pralaidumo vandeniui bandymo nustatymo schema.....	40
2.4 pav. Darsi dėsnio sąlygų tinkamumas atsižvelgiant nuo vandens tekėjimo greičio ir hidraulinio gradiento priklausomybės	42
2.5 pav. Kintančio spūdžio pralaidumo vandeniui bandymo nustatymo schema	43
2.6 pav. Pastovios apkrovos odometrinio bandymo schema	44
2.7 pav. Siurbimo iš šulinio bandymo schema.....	45
2.8 pav. a) Prietaiso filtracijos koeficientui nustatyti schema: 1 – žalvarinis dėklas; 2 – stiklinis vamzdelis; 3 – žalvarinis štuceri; 4 – metalinis indas vandeniui; 5 – vonelė; 6 – liniuotės šablonas; 7 – žalvarinis cilindras; 8 – varinis tinklelis; 9 – žalvarinis disko formos skylėtas antgalis; 10 – žalvarinis padėklas; b) Prietaiso filtracijos koeficientui nustatyti cilindras.....	46
3.1 pav. Bandomųjų objektų pavyzdžiai: a) plautas nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys fr. 0/4; b) sijotas nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys fr. 0/4.....	54
3.2 pav. Tyrimo objektų ir metodikos apibendrinančioji schema.....	55
3.3 pav. Granuliometrinės sudėties nustatymo pagal standartą LST EN 933-1:2012 sietų rinkinys	56
3.4 pav. Dalelių tankio nustatymo piknometras ir vielos krepšelis pagal standartą LST EN 1097-6:2013	57
3.5 pav. Proktoro gilzėje sutankintas bandinys ir Proktoro tankinimo plūktuvas.....	58
3.6 pav. Pralaidumo vandeniui bandymo sistema ir bandymui paruošta gilzė	60
3.7 pav. Dvi hidraulinių aukščių skirtumų vertės: a) 4 cm; b) 19 cm.....	62
3.8 pav. Tiriamųjų nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių granuliometrinės sudėtys	64

3.9 pav. Tiriamųjų nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių Proktoro ir soties laipsnio kreivės	65
3.10 pav. Tiriamųjų nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių, esant skirtingam sutankinimui, surinkto vandens kiekio Q priklausomybė nuo laiko t , per kurį pratekėjo vanduo atliekant pralaidumo vandeniui bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus	67
3.11 pav. Skirtingo tankio tiriamųjų nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių pralaidumo vandeniui koeficientų vertės	67
3.12 pav. Pralaidumo vandeniui koeficiento priklausomybė nuo skirtingų hidraulinių nuolydžių verčių, atliekant bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus	69
3.13 pav. Pro plautos, optimalaus sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debeto priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio	70
3.14 pav. Pro plautos, 103 % sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debeto priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio	70
3.15 pav. Pro sijotos, optimalaus sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debeto priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio	71
3.16 pav. Pro sijotos, 103 % sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debeto priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio	71
3.17 pav. Pralaidumo vandeniui koeficiento k_{10} reikšmių nuokrypių nuo vidurkio reikšmių priklausomybė nuo skirtingų bandymo etapų (pratekėjusio per bandinį tūrio).....	72
3.18 pav. Pralaidumo vandeniui koeficiento k_{10} reikšmių nuokrypių nuo vidurkio reikšmių pasiskirstymas.....	73

ŽYMĖJIMAI

ES – Europos Sąjunga

KĮ – Kelių įstatymas

TRA – techninių reikalavimų aprašas

ĮT – įrengimo taisyklės

SBR – sluoksnis be rišiklių

AŠAS – apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis

CBR – Kalifornijos laikomosios gebos rodiklis

KTR – Kelių techninis reglamentas

KPT – Kelių projektavimo taisyklės

SDK – standartizuotos dangos konstrukcijos

LADK – Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos

IVADAS

Spartėjant pasaulinio atšilimo procesams bei keičiantis klimatinėms sąlygoms metų bėgyje sudėtingėja transporto eismo zonų dangos konstrukcijų funkcionavimas vandens pralaidumo aspektu. Tai silpnina kelio dangos konstrukcijas, mažina jų laikomąją gebą. Dažni klimatiniai veiksniai pokyčiai (atšilimo bei užšalimo ciklai) bei didesnis jų agresyvumas (gausūs krituliai, škvalas, staigus užšalimai ir kt.) sąlygoja poreikį užtikrinti fizinį funkcionalumą sąlygojantį dangos konstrukcijos pralaidumą bei atsparumą vandens bei šalčio poveikiui.

Transporto eismo zonų dangos konstrukcijos sluoksnių pralaidumo vandeniui reikalavimai nustatyti daugiau kaip prieš dešimt metų. Jie aprašyti 2007 metais Lietuvos automobilių kelių direkcijai patvirtinus sluoksnių bei rišiklių įrengimo taisyklės IT SBR 07. 2015 metais pakeistas bandymo metodas, kuomet vietoje filtracijos rodiklio reikalaujamas pralaidumo vandeniui rodiklis. Atsižvelgiant į pasikeitusias aplinkos sąlygas, apkrovų poveikį, medžiagų rūšis bei bandymų atlikimo specifiką susidaro poreikis įvertinti dangos konstrukcijos pralaidumo vandeniui funkcionalumo parametrus bei pateikti patikslinimus bandymo metodams.

Lietuvoje sukaupta nedaug patirties tiriant pralaidumo vandeniui funkcionalumą, todėl išsikeltas darbo tikslas – padidinti transporto eismo zonų dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui funkcionalumą nustatant reikalavimus šalčiui nejautrių medžiagų ir apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui bei jo įrengimui taikomoms medžiagoms. Šiam tikslui pasiekti būtina išspręsti šiuos uždavinius:

- Atlikti literatūros, susijusios su reikalavimais dangos konstrukcijos atsparumui šalčiui, pralaidumui vandeniui ir medžiagoms.
- Atlikti visuotinai priimtų principų ir dokumentų, reglamentuojančių dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui nustatymą, analizę.
- Atlikti gruntų ir mineralinių medžiagų, naudojamų apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui įrengti, eksperimentinį tyrimą, nustatant pralaidumo vandeniui savybes.
- Pateikti rekomendacijas dangos konstrukcijos medžiagų pralaidumo vandeniui bandymo metodų taikymui bei interpretavimui.

Eksperimentinio tyrimo metu taikoma kompleksinė bandymų metodika. Darbo metu dviems tiriamiesiems objektams (plautam ir sijotam fr. 0/4 smėliams) atlikti šie mineralinių medžiagų mišinio ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio tyrimai: granulimetrinės sudėties,

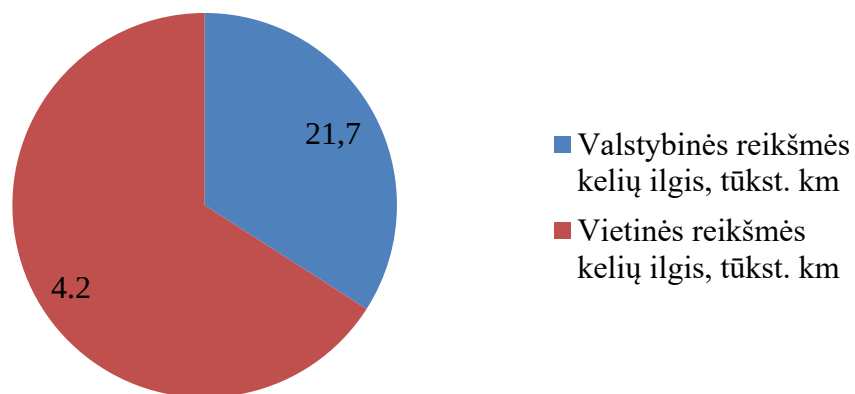
dalelių tankio, Proktoro tankio ir optimalaus drėgnio nustatymas, pralaidumo vandeniui bandymai, esant skirtingiems bandinio sutankinimo laipsniams ir hidraulinių aukščių skirtumams.

Gauti rezultatai leidžia patikslinti ne tik Lietuvoje normuotas pralaidumo vandeniui koeficiento vertės, bet ir bandymo metodiką.

1. TRANSPORTO EISMO ZONŲ DANGOS KONSTRUKCIJŲ SPECIFIKA

1.1. Lietuvos automobilių kelių tinklas

Lietuvos Respublikos kelių įstatymo 3 straipsnyje (2016: 1–51) pateiktas Lietuvos Respublikos automobilių kelių skirstymas atsižvelgiant į transporto priemonių eismo pralaidumą, socialinę ir ekonominę jų reikšmę. Lietuvoje automobilių keliai skirstomi į valstybinės ir vietinės reikšmės kelius (1.1 pav.).



1.1 pav. Valstybinės ir vietinės reikšmės kelių pasiskirstymas pagal ilgį
Valstybinės reikšmės keliai skirstomi į:

- magistralinius kelius;
- krašto kelius;
- rajoninius kelius.

Lietuvos statistikos departamento duomenimis (toliau – LSD) duomenimis (Departamentas), bendras Lietuvos kelių tinklo ilgis yra 63684 km (2016 liepos 27d. duomenys). Jo pasiskirstymas, pagal reikšmę, pateiktas 1 lentelėje ir 2 paveiksle.

Bendras valstybinės reikšmės kelių ilgis – 21657 km (Lietuvos Respublikos Vyriausybė 2016: 1–51, 2016-09-01 duomenys), iš jų:

- magistralinių kelių – 1 886 km (8,7 %);
- krašto kelių – 5057 km (23,4 %);
- rajoninių kelių – 14714 km (67,9 %).

Bendras vietinės reikšmės kelių ilgis – 42027 km, kurie skirstomi į:

- viešieji keliai;
- vidaus keliai.

Lietuvos teritoriją kerta dviejų tarptautinių Europos transporto koridorių (TEN-T) trasos (Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo Ministerijos 2017):

- Šiaurės – Pietų kryptimi: I koridorius – greitkelis „Via Baltica“ ir geležinkelio linija „Rail Baltica“, jungiantis Taliną, Rygą, Saločius, Panevėžį, Kauną, Kalvariją, Varšuvą, ir jo IA šaka (Talinas – Ryga – Šiauliai – Tauragė – Kaliningradas);
- Rytų – Vakarų kryptimi: IX koridoriaus IX B šaka (Kijevas – Minskas – Vilnius – Klaipėda) ir IX D šaka (Kaunas – Kaliningradas).

Lietuvos Respublikoje yra 6 europinėms magistralėms (E) priskirti keliai:

- 1) E 28 Berlynas – Gdanskas – Karaliaučius – Kybartai – Marijampolė – Prienai – Vilnius – Minskas;
- 2) E 67 „Via Baltica“ Helsinkis – Talinas – Ryga – Panevėžys – Kaunas – Varšuva – Vroclavas – Praha;
- 3) E 77 Pskovas – Ryga – Šiauliai – Karaliaučius – Varšuva – Krokva – Budapeštas;
- 4) E 85 Klaipėda – Kaunas – Vilnius – Lyda – Černovcai – Bukareštas – Aleksandropolis;
- 5) E 262 Ostravas – Rėzeknė – Daugpilis – Utena – Kaunas;
- 6) E 272 Klaipėda – Palanga – Šiauliai – Panevėžys – Vilnius.

Lietuvos automobilių kelių dangos skirstomos į asfalto, cementbetonio, žvyro ir grindinio. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių pasiskirstymas pagal dangos tipą ir reikšmę pateiktas 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių pasiskirstymas, pagal dangos tipą

Dangos	Valstybinės reikšmės keliai, km			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
Asfalto danga	1686,124	5057,221	7372,076	14115,421
Cementbetonio danga	59,883	-	1,371	61,254
Žvyro danga	-	-	7198,593	7198,593
Grindinys	0,252	-	7,203	7,455
Iš viso	1746,259	5057,221	14579,243	21382,723

1.1 lentelėje matyti, kad daugiausiai Lietuvos valstybinės reikšmės kelių yra su asfalto danga (14115,421 km), t. y. 66,01 % visų valstybinės reikšmės kelių. Mažiausiai valstybinės reikšmės kelių yra su grindinio danga (7,455 km), t. y. 0,03 % visų valstybinės reikšmės kelių. Daugiausia kelių su asfalto danga yra rajoninės reikšmės – 7372,076 km, t. y. 52,23 % visų valstybinės reikšmės kelių ir 50,57 % visų rajoninių kelių. Tuo tarpu, 49,38 % rajoninių kelių yra su žvyro danga. Visi krašto keliai turi asfaltbetonio dangą. Daugiausiai Lietuvos valstybinės reikšmės magistralinių kelių yra su asfalto danga (1686,124 km), t. y. 96,56 % visų valstybinės reikšmės magistralinių kelių.

Valstybinės reikšmės kelius prižiūri valstybinės įmonės: Alytaus, Kauno, Klaipėdos, Marijampolės, Panevėžio, Šiaulių, Tauragės, Telšių, Utenos, Vilniaus regiono keliai ir Automagistralė.

1.2. Transporto eismo zonų bei jų dangos konstrukcijų specifika

1.2.1. Transporto zonos

Transporto zonos pagal funkcionavimo pobūdį gali būti skirstomos į: automobilių kelius, gatves, dviračių ir pėsčiųjų takus, eismo dalyviams skirtus aptarnavimo statinius.

Kelias – inžinerinis statinys, skirtas transporto priemonių ir pėsčiųjų eismui. Kelio elementai yra šie: žemės sankasa, kelio dangos konstrukcija, kelkraščiai, skiriamoji juosta, kelio grioviai ir kitos vandens nuleidimo sistemos, sankryžos, autobusų sustojimo aikštelės, poilsio aikštelės, pėsčiųjų ir dviračių takai, kelio statiniai, techninės eismo reguliavimo priemonės, želdiniai, esantys kelio juostoje, kelio oro sąlygų stebėjimo ir transporto eismo apskaitos, apšvietimo ir kiti įrenginiai su šių elementų užimama žeme (Lietuvos kelių įstatymas 2016: 1–51). Automobilių eismo kelių kategorijos nustatomos atsižvelgiant transporto priemonių eismo pralaidumą ir kelių padėtį gyvenamųjų vietovių atžvilgiu bei vadovaujantis Aplinkos ministerijos ir Susisiekimo ministerijos patvirtintais Lietuvos kelių projektavimo normatyviniais dokumentais. Kelių techniniame reglamente KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“ (Kelių techninis reglamentas

2008: 39) aprašomas valstybinės reikšmės kelių skirstymas pagal parametru, eismo sąlygas eismo intensyvumą į AM (automagistrales) ir I-V kategorijos kelių, o vietinės reikšmės kelių į I_v-III_v kategorijos kelių (žr. į 1.2 lentelę). Nustatant kelio kategoriją ir projektuojant planą, išilginio ir skersinio profilių elementus bei dangą, reikia atsižvelgti į projektinį

1.2 lentelė. Automobilių kelių klasifikacija pagal kategorijas ir reikšmes

Kelio reikšmė		Kelio kategorija	Projektinis vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, aut./parą	Projektinis greitis, km/h	Eismo juostų skaičius (S – skiriamoji juosta)	Skersinio profilio tipas	Sankryžų tipai
1		3	4	5	6	7	8
Valstybinės reikšmės keliai	magistraliniai keliai	AM	> 45000	130/110	3+S+3	1	skirtingų lygių
		AM	12000–55000	130/110	2+S+2	2	
		I	12000–55000	110/100	2+S+2	3	skirtingų lygių, vieno lygio
		II	iki 15000 (20000)	90	2	5	
		Ila	iki 18000 (23000)	100	2+1	6	
		III	iki 15000 (20000)	90	2	7	
	krašto keliai	Ia	12000–30000	90	2+S+2	4	vieno (skirtingų) lygio
		Ila	iki 18000 (23000)	90	2+1	6	
		III	iki 15000 (20000)	90	2	7	
		(IV)	iki 10000 (12000)	90	2	8	
	rajoniniai keliai	IV	iki 10000 (12000)	90	2	8	vieno lygio
		V	iki 3000, iki 1000 ¹⁾	70	2	9, 10	
		Va	iki 1500	70/50	1	11	
Vietinės reikšmės keliai		I _v	1000–2000	50/40	2	12, 13	vieno lygio
		II _v	500–1000	40/30	1	14, 15	vieno lygio
		III _v	iki 500	30/20	1	16	vieno lygio

Pastabos:

1. Projektiniai greičiai parenkami atsižvelgiant į kelio reikšmę ir paskirtį bei vietovės sudėtingumą.

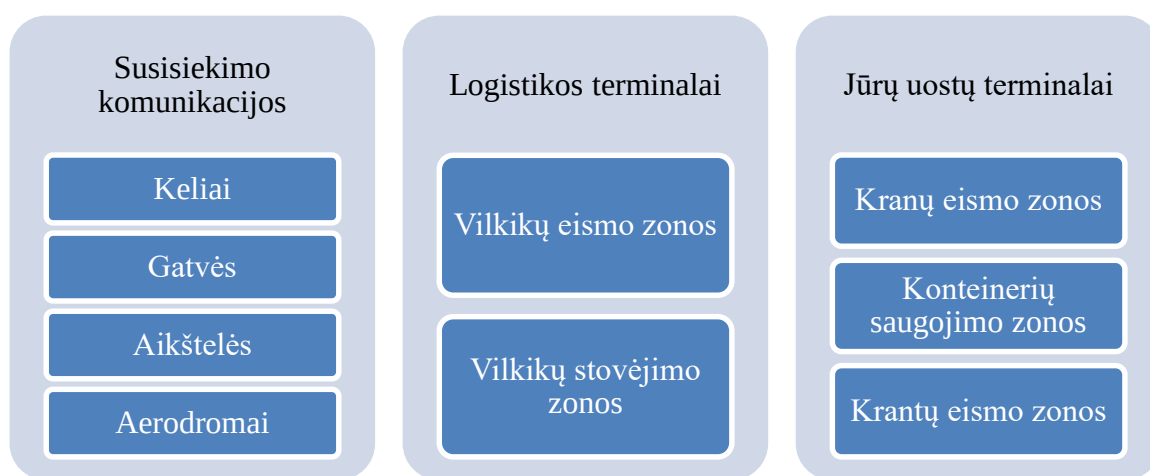
2. (...) – taikoma išimties atvejais.

¹⁾ taikoma, kai yra žvyro dangą.

kelio naudojimo laikotarpį, kuris ekonominiu ir techniniu požiūriais pagrindus, gali būti nustatytas 10, 20 ar 30 metų.

Nustatinėjant kelio kategoriją eismo organizavimo, kelių tiesimo ir rekonstravimo reikmėms, atliekama eismo srautų nustatymo tyrimai, kuriais gaunami transporto priemonių srautų intensyvumai ir rūšys. Projektiniam valandos ar vidutiniam metiniam paros transporto priemonių eismo intensyvumui apskaičiuoti yra priimami duomenys gauti iš tiesioginių stebėjimų tyrimų, stacionarios ar kilnojamos eismo intensyvumo matavimo įrangos ar apdorotų modeliavimo metodų. Būsimas eismo srautų didėjimas yra nustatomas iš daugiamečių stebėjimo duomenų tendencijų ir bendrojo vidaus produkto (BVP) augimo.

Apibendrintos skirtingų transporto eismo zonos pavaizduotos 1.2 paveiksle (Vaitkus *et al*, 2014).



1.2 pav. Transporto eismo zonos

1.2.2. Dangos konstrukcijų specifika

Transporto eismo zonos dangų konstrukcijų fizikinės ir mechaninės savybės, geometriniai, eksploataciniai ir kiti rodikliai priklauso nuo veikiančių aplinkos, ypač nuo sezonų kaitos, transporto eismo veiksnių. Kelio dangos konstrukcija yra sudėtinga daugialypė sistema, veikianti tokioje pat sudėtingoje ir daugialypėje aplinkoje. Projektuojant kelio dangos konstrukcijas, svarbu išsiaiškinti joje vykstančius procesus, įvertinti visus konstrukciją ir ją supančią aplinką lemiančius parametrus. Kelio dangos konstrukcija sudaro danga (asfalto, betono, trinkelų, plytelių, žvyro) ir pagrindo surištieji (asfalto, stabilizuoti, sucementuoti), sluoksniai be rišiklių (skaldos, žvyro, apsauginis šalčiui atsparus) ar šalčiui nejautrus medžiagų sluoksniai.

Įprastos dangų konstrukcijos susideda iš vieno ar daugiau surištųjų sluoksnių, kurie dengia vieną ar kelis nesurįstuosius mineralinių medžiagų sluoksnius, kurie yra pakloti ant žemės sankasos gruntų. Beveik visose dangose viršutiniai sluoksniai yra surišti bituminiu ar

hidrauliniu rišikliais. Jei kelio konstrukcija yra pylime, žemės sankasa gali būti sutankinama arba atvežta iš karjerų. Dažniausiai kelio konstrukcijas sudaro šie tipiniai sluoksniai:

- kelio konstrukcijos pagrindą sudaro esami gruntai (žemės sankasa);
- pagrindo sluoksnius sudaro šalčiui nejautrus sluoksnis (toliau – ŠNS) arba apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis (toliau – AŠAS), kurie pagerina konstrukcijos sluoksnių lygumą žemės sankasos atžvilgiu, vientisumą, laikomąją gebą, ir sutankintų mineralinių medžiagų sluoksnis, kuris veikia kaip konstrukcijos ir sutankinimo platforma viršuje esantiems sluoksniams. Taip pat mineralinių medžiagų pagrindo sluoksnis perduoda apkrovas, gautas iš viršutinio sluoksnio į žemės sankasą. Pagrindo sluoksniai taip pat turi atsparumo šalčiui funkciją;
- surištojo pagrindo sluoksniai dažniausiai naudojami didelių transporto srautų keliuose. Šie sluoksniai padidina konstrukcijos mechaninį atsparumą atlaikyti transporto priemonių sukiamas apkrovas ir perduoti jas į apatinius konstrukcijos sluoksnius;
- dangos sluoksniai yra viršutiniai konstrukcijos sluoksniai, kurie yra tiesiogiai veikiami transporto priemonių ir klimato. Šie sluoksniai turi būti atsparūs transporto priemonių sukiamam nusidėvėjimui ir apsaugoti apatinius sluoksnius, ypač nuo vandens įsiskverbimo.

Pagrindo ir žemės sankasos sluoksnius turi užtikrinti būtina pagrindą viršutiniams sluoksniams, kad jie nesideformuotų veikiant transporto priemonėms. Tai gali daryti įtaką ankstyvam viršutinių surišųjų sluoksnių pažeidimų atsiradimą nuo nuovargio. Viršutiniai sluoksniai turi būti pakankamo storio, jog užtikrintų sklandų eismo sukiamų apkrovų sklaidimą per apatinius kelio konstrukcijos sluoksnius taip, jog tarpiniai sluoksniai nebūtų perkrauti ir tinkamai atliktų savo funkcijas. Tinkamas kelio konstrukcijos projektavimas ir yra šių dviejų sąlygų įgyvendinimas efektyviausiais būdais su turimais resursais.

Dangos konstrukcija ir dangos tipas dažnai parenkamas atsižvelgiant į eismo intensyvumą, jo sudėtį, kelio kategoriją, klimatines, gruntines ir geologines sąlygas, taip pat į vietinių statybinių ir antrinių medžiagų galimą naudojimą, taip, kad atlaikytų transporto sukiamas apkrovas per projektuojamą kelio laikotarpį be dangos struktūros pažeidimų. Dangų konstrukcijos gali būti parinktos taikant specialius skaičiavimo metodus arba standartinės – pagal ekvivalentinės 10 t svorio ašies apkrovų skaičių. Reikalavimai dangų konstrukcijų medžiagoms yra išdėstyti atitinkamuose normatyviniuose dokumentuose.

1.2.3. Dangų konstrukcijų specifika Lietuvoje

Lietuvoje dangos projektuojamos vadovaujantis Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklėmis KPT SDK 07 (2008). Šios taisyklės parengtos vadovaujantis Vokietijos normatyviniu dokumentu RStO 01.

Pirmasis automobilių kelių dangos konstrukcijų projektavimo žingsnis – nustatoma dangos konstrukcija. KPT SDK 07 taikomas automobilių kelių ir kitų eismo vietų naujai tiesiamų, rekonstruojamų ir remontuojamų dangų konstrukcijų projektavimui. Dangos konstrukcija parenkama iš šiame dokumente esančių dangų konstrukcijos šablonų, pagal apskaičiuotą projekcinę apkrovą A – ekvivalentės 10 t svorio ašies apkrovų skaičiaus sumą per nustatytą projekcinį naudojimo laikotarpį (naujoms automagistralėms ir naujiems greitkeliams – 30 metų, visiems kitiems keliams – 20 metų), atsižvelgiant į:

- ašių skaičių;
- apkrovų koeficientą;
- važiuojamosios dalies juostų skaičių;
- važiuojamosios dalies juostos plotį;
- išilginį nuolydį;
- eismo intensyvumo didėjimą.

Projekcinę apkrovą galima nustatyti dviem metodais, kai:

- žinomi $VPI^{(SV)}$ – vidutinio paros intensyvumo – duomenys;
- žinomi detalūs duomenys apie ašių apkrovas.

Ekonominiais ir techniniais skaičiavimais pagrindus projekcinis naudojimo laikotarpis gali būti nustatomas 10, 15 metų (pvz., kai dangos konstrukcija įrengiama etapais, atnaujinama ar rekonstruojama danga, mažos reikšmės keliams) ar 30 metų (pvz., ypatingos reikšmės keliams).

Apskaičiavus projekcinę apkrovą A nustatoma dangos konstrukcijos klasė ir remiantis KPT SDK 07 parenkama dangos konstrukcija klasė (žr. į 1.6 lentelę). Dangos konstrukcijų klasės skiriasi net tik reikalaujamų dangos konstrukcijų sluoksnių tipais, bet ir jų storiais, naudojamomis medžiagomis bei reikalaujamomis laikomosiomis gebomis, atsižvelgiant į apkrovas veikiančias kelio konstrukciją. Esant ypatingoms didelėms apkrovoms, sukeltoms sunkiojo, daugiaašio transporto, dangos konstrukcija parenkama taip, kad atlaikytų šių didelių apkrovų poveikį per visą kelio tarnavimo laikotarpį. Ypatingosios apkrovos atsiranda:

- kai eismas vyksta tomis pačiomis vėžėmis,
- mažų kreivių posūkiuose;
- dėl lėtaeigio eismo;
- dėl dažnų stabdymo ir greitėjimo veiksmų;
- sankryžų zonoje;
- stovėjimo vietose.

Esant didelėms ypatingoms apkrovoms, naudojamos didelio atsparumo plastinėms deformacijoms asfalto dangos.

1.3 lentelė. Projektinės apkrovos ir joms priskirtos dangų konstrukcijų klasės

Eil. Nr.	Projektinė apkrova A (ekvivalentinės 10 t svorio ašies apkrovų skaičius), mln.	Dangos konstrukcijos klasė
1.	daugiau kaip 32	SV
2.	nuo 10 iki 32	I
3.	nuo 3 iki 10	II
4.	nuo 0,8 iki 3	III
5.	nuo 0,3 iki 0,8	IV
6.	nuo 0,1 iki 0,3	V
7.	iki 0,1	VI

Projektuojant gatvių, pėsčiųjų ir dviračių takų dangų konstrukcijas gyvenvietėse, dangos konstrukcija taip pat parenkama pagal tą patį principą, kaip ir automobilių kelių konstrukcijos – skaičiuojant projektines apkrovas. Tačiau, jei dėl projektinės apkrovos dėl tam tikrų priežasčių nebuvo apskaičiuotos, dangos konstrukcijos klasės gali būti parenkamos pagal gatvių ir susisiekimų linijų funkcijas ir kategorijas, nurodytas 1.7 lentelėje (KPT SDK 2008).

1.4 lentelė. Gatvių dangų konstrukcijų klasės

Eismo grupės	Gatvės ir susisiekimo linijų kategorijos	Dangos konstrukcijos klasė
Motorizuoto eismo	Greito eismo gatvės (A)	SV, I, II
	Pagrindinės gatvės (B)	II, III
	Aptarnaujančios gatvės (C)	III, IV
	Pagalbinės gatvės (D)	V, VI
Nemotorizuoto eismo	Pėsčiųjų ir dviračių eismo gatvės, takai (E)	V, VI
	Pagalbiniai pėsčiųjų ir dviračių eismo takai, (F)	VI

Atskirai nuo kelių dangų konstrukcijų, yra projektuojamos važiuojamosios dalies maršrutinio transporto eismo juostos. Jų dangų konstrukcijų klasės, kurios priklauso nuo eismo juostos funkcionavimo tipo (važiuojamoji dalis, skirta maršrutiniam transportui; autobusų sustojimo aikštelės; autobusų stotys ir kt.), nurodytos 1.8 lentelėje.

1.5 lentelė. Važiuojamosios dalies juostos, skirtos maršrutiniam transportui, dangos ir joms priskiriamos dangų konstrukcijų klasės

Eil. Nr.	Važiuojamosios dalies juostos, skirtos maršrutiniam transportui (autobusams), dangos	Projektinė apkrova A, skirta	Žemiausios dangų konstrukcijų klasės
1.	Taip pat ir maršrutiniam transportui (autobusams) skirta bendra važiuojamosios dalies juosta	važiuojamosios dalies juostoms	1)
2.	Autobusų sustojimo vietos kelio važiuojamosios dalies juostoje	važiuojamosios dalies juostoms	III ²⁾³⁾
3.	Važiuojamosios dalies juostos, skirtos tikrai maršrutiniam transportui (autobusams)	važiuojamosios dalies juostoms, skirtoms tikrai maršrutiniam transportui (autobusams)	III ²⁾
4.	Autobusų sustojimo aikštelės	autobusų eismui autobusų stovėjimui	III ²⁾ III
5.	Mažos autobusų sustojimo aikštelės („kišenės“)	autobusų sustojimo aikštelėms	III ²⁾³⁾⁴⁾
6.	Autobusų stotys	autobusų eismui sustojimo juostoms	III ²⁾ III
¹⁾ reikia patikrinti, ar šioms dangoms taikytinos ypatingosios apkrovos ²⁾ kai eismo intensyvumas didesnis kaip 150 autobusų per parą, reikia parinkti aukštesnę dangų konstrukcijų klasę ³⁾ gali būti tikslinga parinkti konstrukcijos klasę tokią pat kaip gretimos važiuojamosios dalies juostos ⁴⁾ kai eismo intensyvumas mažesnis kaip 15 autobusų per parą, reikia parinkti žemesnę dangų konstrukcijų klasę ⁵⁾ autobusams gali būti prilyginami troleibusai ir kitos panašios transporto priemonės			

Dangų konstrukcijų klasės prie transporto aptarnavimo ir eismo dalyviams skirtų paslaugų statinių, išskyrus stovėjimo aikšteles, parenkamos atsižvelgiant į eismo rūšis, kurios savo projektinėmis apkrovomis veikia dangos konstrukciją (žr. į lentelę 1.9)

1.6 lentelė. Dangos prie transporto aptarnavimo ir eismo dalyviams skirtų paslaugų statinių ir joms priskiriamos dangų konstrukcijų klasės

Eil. Nr.	Eismo rūšis	Dangų konstrukcijų klasės
1.	Sunkiojo transporto eismas	III ¹⁾
2.	Lengvųjų automobilių eismas ir pasitaikantis sunkiojo transporto eismas	IV, V
3.	Lengvųjų automobilių eismas ²⁾	VI
¹⁾ reikia patikrinti, ar šioms dangoms taikytinos ypatingosios apkrovos ²⁾ leidžiamas priežiūros tarnybų automobilių eismas tik esant būtinumui		

Automobilių stovėjimo aikštelių dangų konstrukcijos parenkamos atsižvelgiant į naudojimo dažnumą (nuolat ar retai naudojamos) ir aptarnaujamas eismo rūšis (1.10 lentelė).

1.7 lentelė. Automobilių stovėjimo aikštelės ir joms priskiriamos dangų konstrukcijų klasės

Eil. Nr.	Eismo rūšis		Dangų konstrukcijų klasės
1.1.	Nuolat naudojamos stovėjimo aikštelės	Sunkiojo transporto eismas	III, IV ¹⁾
1.2.		Lengvųjų automobilių eismas ir pasitaikantis sunkiojo transporto eismas	V
1.3.		Lengvųjų automobilių eismas	VI
2.1.	Laikiniai (retai) naudojamos stovėjimo aikštelės	Sunkiojo transporto eismas	III, IV
2.2.		Lengvųjų automobilių eismas ir pasitaikantis sunkiojo transporto eismas	V, VI
2.3.		Lengvųjų automobilių eismas	2)
¹⁾ kai šioms dangoms netaikomos ypatingosios apkrovos pagal 33–35 punktus			
²⁾ pagal poreikį, taip pat žr. 114–119 punktus			

Itin svarbus aspektas projektuojant dangos konstrukcijos, yra jos storio parinkimas: jis turi užtikrinti ne tik pakankamą laikomąją galią, bet ir pakankamą atsparumą šalčiui; įvertinus abu rodiklius, pasirenkama didesnė storio vertė.. Dangos konstrukcijos atsparumas šalčiui priklauso nuo žemės sankasos, veikiančios kaip pagrindas visai kelio dangos konstrukcijai, grunto. Žemės sankasos grunta yra skirstomi į 3 klases pagal jautrumą šalčiui: F1 – nejautrūs šalčiui, F2 – vidutinio jautrumo, F3 – jautrūs šalčiui grunta. Kai F1 jautrio šalčiui klasės grunta, esantys po dangos konstrukcija, slūgso virš F2 ar F3 klasės gruntų, tuomet galima nerengti AŠAS sluoksnio, jei F1 klasės grunta taip pat atitinka ir AŠAS sluoksnio reikalavimus pagal dokumentą „Automobilių kelių mineralinių medžiagų mišinių, naudojamų sluoksniams be rišiklių, techninių reikalavimų aprašą TRA SBR 07“ ar sustiprinami pagal statybos rekomendacijas R 34-01 „Automobilių kelių pagrindai“ (toliau – R 34-01) arba esamas F1 klasės gruntų sluoksnio storis yra ne mažesnis nustatytas AŠAS sluoksnio storis ant F2 ar F3 klasės gruntų. Kai F1 klasės gruntų sluoksnio storis mažesnis ir kartu su dangos konstrukcija nepasiekiamas reikalingas atsparumas šalčiui, tuomet nustatoma giliau slūgstančių F2 ar F3 klasės gruntų įtaka mažiausiam šalčiui atsparios dangos konstrukcijos storiui. Atsparumas šalčiui turi būti pasiektas pakeičiant gruntus, įrengiant AŠAS sluoksnį ar papildomą sluoksnį iš šalčiui nejautrių medžiagų. Žemės sankasos deformacijos modulis turi būti stabilus visais metų laikais. Kai prognozuojama, kad toks modulis virš žemės sankasos gali būti neilgalaikis ir nestabilus, reikia numatyti papildomas priemones. Tokiu atveju žemės sankasos grunta, kurių klasė yra F2 ar F3, yra pagerinami, stabilizuojami, mechanškai modifikuojami (paprastai ne mažiau kaip 30 cm) arba pakeičiami geresnių savybių gruntais.

Šalčiui atsparios dangos konstrukcijos pakankamas storis užtikrina transporto eismo

apkrovų pasiskirstymą ir apsaugą dangą nuo susidarančių deformacijų dėl šalčio ir atšilimo poveikio. Jei neatlikti specialūs tyrimai ar nėra darbo patirties šalčiui atsparios dangos konstrukcijos mažiausiam storiui nustatyti, tai sluoksnio storis bet kuriai dangos konstrukcijos klasei apskaičiuojamas atsižvelgiant į:

- 1) žemės sankasos gruntų jautrį šalčiui (žr. į 1.11 lentelę);
- 2) nustatomus sluoksnio storio tikslinimus, atsižvelgiant .

1.8 lentelė. Šalčiui atsparių dangų konstrukcijų mažiausi storiai

Eil. Nr.	Jautrio šalčiui klasės	Storis, cm, kai dangų konstrukcijų klasės			
		SV	I–III	IV	V, VI
1.	F2	80	70	65	55
2.	F3	90	80	75	65

Pagrindai su hidrauliniiais rišikliais gali būti rengiami sucementuoti, stabilizuoti, drenuojančio betono ar betono. Pagrindai turi atitikti metodinių nurodymų „Gruntų pagerinimas ir sustiprinimas rišikliais“ MN GPSR 12 (LAKD 2012) ir bandymo nurodymų „Gruntai, sustiprinti rišikliais“ BN GSR 12 (LAKD 2012: 1–26) stiprumo reikalavimus, priklausomai nuo asfalto ar betono dangos tipo.

1.2.4. Dangų konstrukcijų specifiška kitose šalyse

Suomijoje kelio konstrukcijų projektavimas ir priežiūra atliekami atsižvelgiant į skirtingus kriterijus:

- dangos konstrukcijos ir žemės sankasos jautrumą šalčiui;
- eismo sukeliamas apkrovas ir atsparumą nuovargiui;
- atsparumą nusėdimui ir deformacijoms tarp konstrukcijų sluoksnių, žemės sankasos;
- atsparumą provėžoms, atsirandančioms dėl dygliuotų padangų.

Projektuojant valstybinės reikšmės kelius Suomijoje naudojamas pusiau empirinis metodas, pagrįstas šalčiui atsparaus sluoksnio storio apskaičiavimu, kuriame įtraukiami tokie parametrai kaip:

- kelio kategorija;
- struktūrinis patvarumas;
- žemės sankasos homogeniškumas (jei žemės sankasa homogeniška, tai priimama atsparumo šalčiui vertė gauta bandymų metu)

- geografinės padėties užšalimo ir atšilimo ciklų skaičiaus indeksas;
- empirinis skaičius, kuris nusako žemės sankasos jautrumą šalčiui; šis skaičius priklauso nuo grunte esančių mažesnių nei 0,063 mm ir 2,0 mm dalelių santykinį kiekį ir nuo vietovės vidutinio drėgnumo.

Šalčio poveikio mažinimas kelio konstrukcijoje yra padalintas į dvi atskiras dalis: ledo linzių atsiradimo prevencija ir atšilimo ciklų sukeliama konstrukcijos laikomosios gebos sumažėjimo kontrolė. Suminis kelio dangos konstrukcijos storis projektuojamas atsižvelgiant į žemės sankasos jautrumą šalčiui ir naudotų medžiagų šiluminio laidumo savybių. Jei yra būtinybė, konstrukcija yra apsaugoma naudojant šalčiui atsparias izoliacines medžiagas, kad šalčio linija nepasiektų kritinės ribos, numatytos projektavimo etape. Ši metodika Suomijoje naudojama tiek naujų kelių tiesyboje, tiek senų įvairaus reikšmingumo kelių rekonstravimui. Taip pat, šiame metode apskaičiuojamos sluoksnių deformacijos, pagrįstos žemės sankasos sluoksniuose esančio vandens kiekio santykinio kiekiu išilgai kelio trasos.

Modelis nuovargio nustatymui yra sukurtas metodais, paremtais Odemarko formule ir analitiniais skaičiavimais. Abiejuose methoduose sezoniškumo variacijos gali būti priimtos tik atskiriems (ypač nesurištiems) sluoksniams, kurie pasako vidutinę vertę vienerių metų laikotarpyje. Didžiausias poveikis kelio konstrukcijai dėl atšilimo ir drėgmės atsiranda pavasarį, per kurį ir atliekami tyrimai.

Vis atsiranda nuomonių, teigiančių, jog reikia naudoti skirtingus laiko periodus skirtingų medžiagų ir sluoksnių tyrimų vykdymui dėl skirtingų drėgmės, temperatūros, oro slėgio, vandens tankio poveikių. Nepriklausomai nuo skirtingų objektų tyrimų, nuolatos turi būti fiksuojamos vertikalios deformacijos ir tikrinama ar tenkina reikalavimus kelio dangos konstrukcijos sluoksniams, iškeltus projektavimo metu.

Suomijoje kelio konstrukcijos atsparumo šalčiui tyrimai atliekami atsižvelgiant į didžiausią poveikį konstrukcijai darantį metų laiką – pavasario atšilimą. Bandymai atliekami ne tik sluoksniams, bet ir medžiagoms (AMADEUS, 2000).

Jungtinėse Amerikos Valstijose į AASHTO dokumente aprašytą mechanistinį – empirinį kelio konstrukcijos projektavimo modelį įtraukti klimatiniai faktoriai, medžiagų savybės ir eismo sukeliamos apkrovos kelio eksploatacinių savybių prognozavimui. Į pagerintą kombinuotą klimatinį modelį (The Enhanced Integrated Climatic Model) įtraukti trys projektavimo modeliai:

- dviejų dimensijų drenažo modelis, kuris nustato lietaus tekėjimo kelio dangos konstrukcijoje kryptį;
- medžiagų klimatinės konstrukcijos modelis – vienos dimensijos baigtinių skirtumų modelis, kuriuo apskaičiuojami šilumos bei drėgmės srautai ir jų tekėjimas konstrukcijos sluoksniuose. Šiuo metodu nustatoma konstrukcijos temperatūros;
- jautrumo šaldymo ir atšildymo ciklams modelis, kuris atlikęs temperatūrų ir drėgmės tekėjimų analizę nustato šalčio įsiskverbimo ir atšilimo veikimo gylius.

Modeliai naudoja realius valandos arba mėnesio klimatinius duomenis ir numato visos kelio konstrukcijos sluoksnių parametrus:

- 1) temperatūrą;
- 2) tamprumo modulio faktorius;
- 3) porų vandens slėgį;
- 4) vandens kiekį;
- 5) šalčio ir atšilimo poveikio gylį;
- 6) ledo linzių susidarymo galimybę;
- 7) drenažo pralaidumą vandeniui.

Modelis numato vandens kiekio pasikeitimus nuo optimalaus kiekio, prie kurio pasiekiamas didžiausias sausasis sluoksnio tankis, kai žemės sankasa ir nesurištųjų medžiagų sluoksniai pasiekia tas pačias drėgmės sąlygas. Modelis, taip pat, įvertina sezoniškus drėgmės pokyčius ir šaldymo ir atšildymo ciklų poveikius, kartu prognozuojant tamprumo modulio pokyčius ir numatant kritines sąlygas prie kurių visa konstrukcija ar jos dalis pradeda deformuotis ar irti (AASHTO, 1998).

Kroatijoje projektuojant kelio dangos konstrukcijas daugiausia dėmesio kreipiama eismo sukeliams apkrovoms. Tačiau, jei žemės sankasos gruntas yra jautrus šalčiui ar hidraulinės sąlygos yra nepalankios tinkamam vandens nuleidimui, pradinė konstrukcija turėtų būti papildomai ištirta atsižvelgiant į jos jautrumą šalčiui. Jei yra užšalimo rizika, turėtų būti vykdomi atitinkami techniniai veiksmai panaikinantys arba kiek įmanoma labiau sumažinantys jautrumą šalčiui konstrukcijoje ir žemės sankasoje.

Atsižvelgiant į gruntų ir mineralinių medžiagų mechanikos charakteristikas, kelio dangos konstrukcijos medžiagos skirstomos į keturias grupės, priklausomai nuo jautrumo šalčiui:

- 1) nejautrios (žvyras), kurios turi 3–10 % dalelių mažesnių nei 0,02 mm;
- 2) mažai jautrios (smėlis, smėlingas žvyras), kurios turi smulkiųjų dalelių;
- 3) vidutinio jautrumo (smėliai ir moliai, kurių plastiškumo rodiklis didesnis nei 12,0 %), kurios turi daugiau, nei 15 % dalelių mažesnių nei 0,02 mm;
- 4) jautrios šalčiui (dulkės, smulkus dulkėtas smėlis, molingos dulkės), turinčios daugiau, nei 15 % dalelių mažesnių nei 0,02 mm.

Kroatijoje yra nustatyta kuriose geografinėse vietose hidrologinės sąlygos yra palankios kelių statybai. Reikalaujama, jog objekte būtų nustatomas atsparumo šalčiui rodiklis, kuris priklauso nuo įšalo gylio. Šis rodiklis parenkamas iš kontūrinio žemėlapiu, sudaryto vietinio meteorologijos ir hidrologijos centro, kuriame pavaizduoti plotai, su skirtingais įšalo gylio vertėmis. Įšalo gylis nustatomas įvertinant parinktą ar suprojektuotą kelio dangos konstrukcijos storį, sutankinimą, vandens kiekį konstrukcijoje ir žemės sankasos grunto savybių (Sr̃sen, M. *et al.* 2004).

Danijos projektuotojai įvertina kiekvieno konstrukcijos sluoksnio laikomąją gebą skirtingais metų laikotarpiais ir gautą informaciją sujungia į vieną objektą. Tam naudojama projektavimo programa, kurios pagalba naudotojas gali atlikti kelio eksploatavimo simuliaciją daugiau nei 40-čiai metų. Programai yra suteikiama informacija apie kiekvienos naudotos medžiagos elastingumo modulius ir jie pritaikomi kiekvienam konstrukcijos sluoksniui. Šie moduliai varijuoja skirtingais metų laikais: konstantos įvedamos aprašant šiltąjį metų laiką, o esant drėgnajam metų laikui modulio vertės sumažinamos, šaltajam – padidinamos (Loizos A *et al.* 2002).

Švedijoje projektuojant kelio dangos konstrukcijas, skirtingiems sluoksniams suteikiamos skirtingos standumo vertės, priklausomai nuo metų laiko. Procedūra labai panaši į Danijoje naudojamą, tačiau šioje papildomai įvertinamas ir skirtingų sluoksnių storių veikimas skirtingais metų laikais (Ṽagverket, 2005).

Lenkijoje standartinės kelio konstrukcijos projektuojamos atsižvelgiant į dangoje atsirandančias deformacijas ir įtempimus. Anot Lenkijos norminių dokumentų, aprašančių nurodymus kelių projektavimui bei reikalavimus kelio konstrukcijoms, išskiriami šie pagrindiniai projektavimo faktoriai:

- klimatinės sąlygos ir gruntinio vandens parametrai;

- skirtingų eismo tipų intensyvumo rodikliai per visą projektuojamo kelio laikotarpį (dažniausiai 20 metų);
- transporto priemonių sukeliamų apkrovų į dangą reikšmės (100 kN/ašis);
- dangos funkciją.

Klimatinių sąlygų analizę sudaro įšalo gylio, vidutinės metinės temperatūros ir temperatūrų tarp aukščiausios ir žemiausios skirtumų nustatymas.

Žemės sankasos laikomosios gebos grupės (G1-G4) priklauso nuo grunto tipo, vandens būvio sluoksnyje ir CBR rodiklio. G1 yra geriausi žemės sankasos sluoksniai, daugiausia smėlingieji gruntai, kurių CBR rodiklis yra didesnis nei 10, o G4 yra silpniausi sluoksniai, dažniausiai molingi gruntai, kurių CBR rodiklis – mažiau nei 3. Norint pagerinti žemės sankasos sluoksnį, jį sustiprinant, būtina išsiaiškinti grunto laikomosios gebos grupę. Parinkus standartizuotą kelio dangos konstrukciją, žemės sankasos sluoksnio deformacijos modulio vertės turi pasiekti reikalaujamas vertes. Antrojo apkrovimo statinis modulis E_2 , turi būti didesnis arba lygus 100 arba 120 MPa, o sutankinimo santykis didesnis arba lygus 1,00 arba 1,03 priklausomai nuo eismo sukeliamų apkrovų.

Vandens sąlygos įvertinamos priklausomai nuo gruntinio vandens gylio nuo dangos konstrukcijos apačios. Jei žemės sankasai reikalingas papildomas vandens nuleidimas, uždedamas apsauginis sluoksnis iš šalčiui atsparių medžiagų, kurio pralaidumo vandeniui koeficientas didesnis nei $K > 9,3 \times 10^{-5}$ m/s. Apsauginis sluoksnis (bent 15 cm storio) turi būti padengtas per visą dangos konstrukcijos plotį. Situacijose, kai ant nesustiprinto žemės sankasos sluoksnio yra apsauginis sluoksnis, turi būti įgyvendinta sandūros sąlyga, kuri imponuojama abiem sluoksniams:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5,$$

D_{15} yra sieto akučių dydis, per kurį prabyra 15,0 % apsauginio sluoksnio dalelių granulių, ir d_{85} yra sieto akučių dydis, per kurį prabyra 85,0 % žemės sankasos grunto dalelių. Jei ši sąlyga netenkinama, tarp minėtų dviejų sluoksnių turi būti klojamas papildomas skiriamasis mažiausiai 10 cm sluoksnis iš tinkamos frakcijos mineralinių medžiagų arba klojama neausta geosintetinė danga.

Jei žemės sankasos gruntas yra atsparus šalčiui, būtina įsitikinti ar visas kelio konstrukcijos storis yra pakankamas, tam, kad būtų užtikrinta pakankamo atsparumo šalčiui

sąlyga. Tuomet, kai ši sąlyga netenkinama, apatinis sluoksnis turi būti storinamas iki pakankamo dydžio (General Directorate of Public Roads, 1997).

1.3. Mokslo darbų, susijusių su transporto eismo zonų dangos konstrukcijų funkcionalumo pralaidumo vandeniui aspektu, apžvalga

Projektuojant kelio dangos konstrukciją, svarbu įvertinti didžiausius leistinus vertikalius nesurištojo pagrindo ir žemės sankasos įtempimus sluoksnių paviršiuose sumažinant leistinas deformacijas.

Nestandžios dangos konstrukcijos pagrindiniai funkcionalumo parametrai (įtempimai ir deformacijos) yra itin priklausomi nuo šalčiui nejautrių, atsparių sluoksnių bei žemės sankasos grunto savybių. Didelė dalis dangos paviršiaus deformacijų dėl per didelio vandens kiekio yra sąlygojamos nepakankamos žemės sankasos, jos laikomosios gebos. Todėl projektuojant dangos konstrukciją itin svarbu, jog žemės sankasa būtų apsaugota nuo drėkinimo iš dangos konstrukcijos ir iš žemės sankasos pylimo kapiliarais. Tuo tikslu turi būti užtikrintas gruntinio vandens pažeminimas, pakankamas žemės sankasos paviršiaus skersinis profilis ir dangos konstrukcijos nesurištųjų pagrindo sluoksnių pralaidumas vandeniui, kuris sąlygojamas daugelio aplinkybių (Thompson *et al.* 1998).

Projektuojant kelio konstrukcijas, žemės sankasos ir sluoksnių be rišiklių deformacijos moduliai yra vieni iš pagrindinių įvesties duomenų. Tačiau didžioji dalis konstrukcijų projektavimo programų, naudojančių mechanistinį-empirinį skaičiavimo metodą, neįvertina galimo sluoksnių savybių horizontalia kryptimi pokyčio. Dėl šios priežasties įtraukiant žemės sankasos gruntu į skaičiavimus, būtina atsižvelgti į savybių pokytį. Didelės veikiančių įtempimų amplitudės sukelia sluoksnio sėdimą ir mažina laikomąją gebą. Blogos sankibos gruntai pasižymi netiesinėmis ir plastinėmis savybėmis.

Itin svarbus rodiklis – medžiagos soties laipsnis, kuris apibūdina bendrą sutankinimo ir vandens kiekio poveikį sluoksniui. Laikomoji sluoksnio geba koreliuoja su šiuo rodikliu: didėjant soties laipsnio vertei, mažėja laikomosios gebos rodiklis. Taigi esant dideliame vandens kiekiui sluoksnyje, ar mažėjant sutankinimo laipsniui (didėjant oro tuštymių kiekiui), sluoksnio laikomosios gebos rodiklis ir tamprumo modulis mažėja.

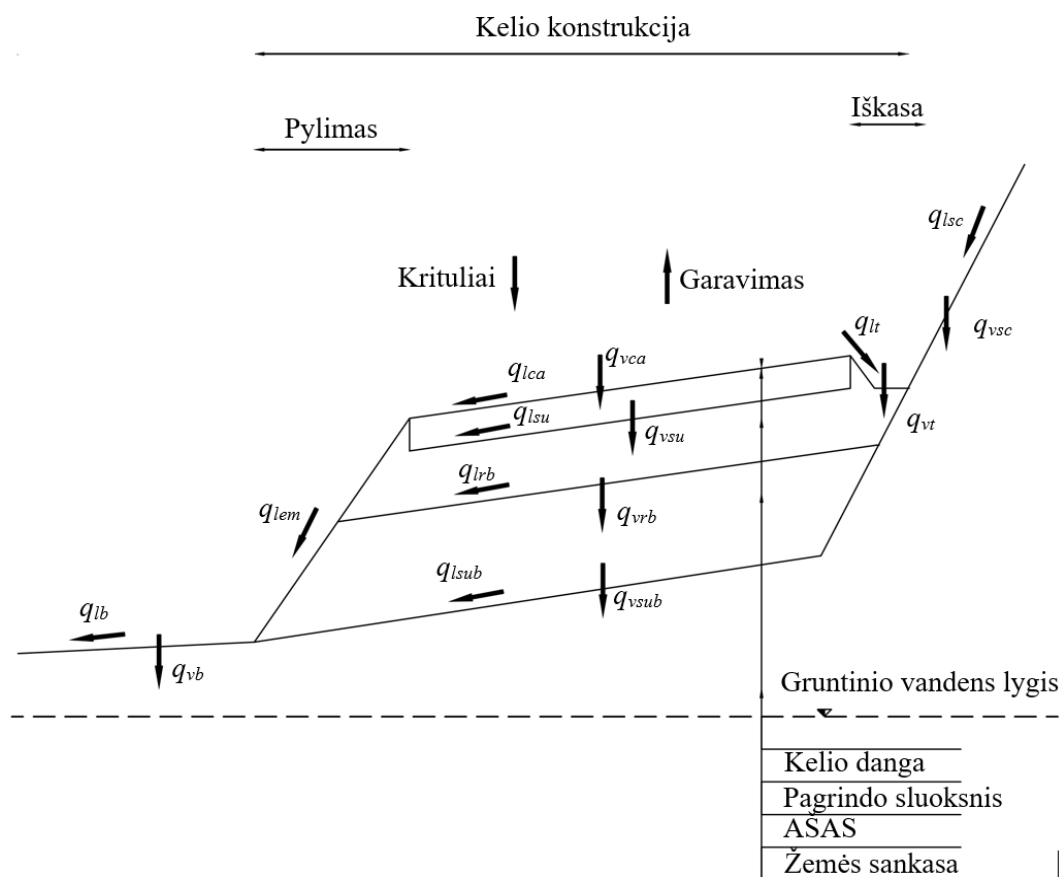
Į kelio konstrukciją vanduo gali patekti įvairiais būdais: pakilti gruntinio vandens lygis, paviršiaus vandens judėjimas per griovius, įtrūkimus kelio dangos sluoksniuose. Daugelyje kelių, grioviai yra labai nuožulnūs arba drenavimo sistemos nėra suprojektuotos dideliame

vandens kiekiui dreuoti, todėl per intensyvias liūtis vandens lygis grioviuose gali pakilti ir įsiskverbti į kelio konstrukciją (Araya 2011).

Vandens (ar kitų skysčių) balansas kelio konstrukcijoje priklauso nuo jos geometrinių parametrų ir kelio išilginio profilio nuolydžių būsenos. Pratekančio vandens kiekis keliuose, kurių dangos konstrukcija yra virš esamo grunto lygio, skiriasi nuo kelių, kurių dangos konstrukcija yra žemiau esamo grunto lygio ar tuneliuose. Detalusis vandens balanso modelis kiekvienam kelio konstrukcijos komponentui su vandens srautais pateiktas 1.2 paveiksle.

Anot Marshallo R. Thompsono, Erolo Tutumluero ir Manuelo Bejarano (Thompson *et al.* 1998) atliktų tyrimų, nustatyta, jog skirtingiems gruntams esamo vandens kiekio poveikis skirtingiems gruntams turi ir skirtingą poveikį tamprumo modulio sumažėjimui, pvz., 1,0 % vandens kiekio padidėjimas moliuose grunto tamprumo modulį sumažina iki 0,7 %, o 1,0 % vandens kiekio padidėjimas molinguose smėliuose grunto tamprumo modulį sumažina iki 2,1 %. Iš to galima teigti, jog mažas žemės sankasos sluoksnio (šiuo atveju grunto) pralaidumas vandeniui sukelia tamprumo modulio ir laikomosios gebos sumažėjimą, palaikant vandens kiekį sluoksnyje.

Vanduo yra polinė medžiaga, t. y. vandens molekulės turi teigiamo ir neigiamo poliarškumo dalelių. Tai leidžia vandens dalelėms prisijungti prie mineralinių medžiagų paviršiaus. Taip pat vanduo migruoja į sluoksnių oro tuštymes dėl kapiliarinės traukos, jei poros yra pakankamai mažos. Tai priklauso nuo mineralinės medžiagos granuliometrinės sudėties bei smulkiųjų frakcijų kiekio. Hidrauliškai nesurištiems sluoksniams mažas vandens kiekis gali sustiprinti sluoksnį: vandens plėvelė ant atskirų mineralinių medžiagų granulių daro įtaką atsparumui šlyčiai (Werkmeister 2003: 189). Pasiekus sluoksnio iš mineralinių medžiagų mišinio soties laipsnį, pasikartojančios apkrovos gali sukelti teigiamą vandens slėgio poveikį tuštymėse. Vis dėlto per didelis vandens kiekis mineralinių medžiagų mišinių tuštymėse sukelia per didelį slėgį į mišinio granules: tai sumažina medžiagos bendrąjį atsparumą ilgalaikėms deformacijoms.



1.3 pav. Detalusis vandens balanso modelis kiekvienam kelio konstrukcijos komponentui su vandens srautais: v – vertikalusis vandens srautas, l – horizontalusis, ca – paviršiaus, su – dangos, rb – pagrindo sluoksnio, sub – AŠAS sluoksnio, sc – iškasos šlaito, t – pralaidos, em – pylimo, b – pylimo šlaito

Vadinasi galima teigti, jog esant mažam hidrauliškai nesurišto pagrindo sluoksnių (šiuo atveju mineralinių medžiagų mišinių) pralaidumui vandeniui, didinamas medžiagos bendrasis atsparumas ilgalaikėms deformacijoms, palaikant vandens kiekį medžiagos oro tuštymėse.

Didelis smulkiosios frakcijos kiekis mineralinėje medžiagoje užpildo oro tuštymes, neleidžia jų užpildyti vandeniu bei mažina pralaidumą vandeniui, kas gali sukelti oro tuštymėse esančio vandens perteklines apkrovas į granules. Tačiau smulkiųjų frakcijų poveikis laikomajai gebai, didėjant vandens kiekiui, neturi didelės įtakos. Vis dėlto rekomenduojama parinkti mineralinių medžiagų granulimetrinę sudėtį taip, jog būtų kuo arčiau reikalaujamų apatinių ribų, t. y. medžiaga būtų stambesnė bei turėtų geresnes laidumo vandeniui savybes (Folkesson et al. 2009).

Didžiausias vandens poveikis tamprumo savybėms pasireiškia smulkiagrūdėms mineralinėms medžiagoms su dideliu smulkiųjų frakcijų kiekiu. Anot A. A. Araya (Araya 2011) įvairiagrūdėms ir stambiagrūdėms mineralinėms medžiagoms vandens poveikis daro mažą įtaką tamprumo savybėms: šioms mineralinėms medžiagoms didžiausią įtaką tamprumo savybėms sukelia medžiagos skeletas sluoksnyje.



1.4 pav. Nesurištųjų mineralinių medžiagų sluoksnio skeleto schema

Nustatyta, kad vandens slėgis turi tendenciją atskirti mineralinių medžiagų daleles viena nuo kitos, sukeliant slidimą (Saevarsdottir *et al.* 2013: 274–286). Tai lemia deformaciją tarp medžiagos dalelių, kuri gali sukelti papildomų įtempimų, tarp medžiagos komponentų. Jei medžiaga nėra visiškai įsotinta, vanduo turi tendenciją kauptis ties dalelių lietimosi taškais, o vandens paviršiaus įtempimo jėga padidina adhezinės dalelių tarpusavio savybes. Net ne esant išorinėms apkrovoms, dalelės yra veikiamos vandens sukiamo kapiliarinio slėgio, kuris sukelia šlyties įtempimus. Ši sąveika, kuri dažnai vadinama sukibimo geba, pradingsta kai medžiaga tampa įsotinta, o porose esančio vandens slėgis tampa teigiamas, t. y. pradeda sąveikauti su medžiagos komponentais iš vidaus, slegiant porų sienelės ir suteikiant papildomus įtempimus. Šis veikimo principas galioja ne tik stambiagrūdžiams gruntams ar mineralinėms medžiagoms, kurių santykinis oro tuštymių kiekis yra didelis, bet ir daug smulkiųjų frakcijų turinčioms medžiagoms, tačiau tik esant ribotam vandens kiekiui porose. Įsotinti smulkiagrūdžiai gruntai ar smulkiųjų frakcijų mineralinės medžiagos turi tendenciją veikti kaip klampus skystis. Ši riba, kuomet medžiaga netenka kietosios agregatinės būsenos medžiagos savybių, vadinama takumo riba, kuomet neigiamas vandens poveikis sumažina medžiagos dalelių tarpusavio sąveiką.

Taikant projektavimo modelius, užsibrėžiama, jog medžiagos sluoksnio skeleto, kurio poros užpildytos vandeniu, tūris yra nekintamas, t. y. nesuspaudžiamas. Sluoksnio tūrio pokytis vertinamas kaip vandens išstūmimas iš porų.

Viršutiniai surišti dangos sluoksniai taip pat yra veikiami drėgmės. Esant pasikartojančioms drėgnoms oro sąlygoms, gali atsirasti oro tuštymėse esančio vandens slėgio sukeltų plyšių, kai eismo transportas nuosavais impulsais, apkrovomis ir vibracijomis veikia dangą. Vanduo šiuose plyšiuose gali sumažinti bituminio rišiklio ir mineralinės medžiagos adhezinės savybės: tai sumažina sukibimą tarp atskirtų sluoksnių dalelių, padidina dėvėjimąsi ir trinties efektą sluoksnio viduje. Be to, vanduo gali sumažinti sukibimą tarp skirtingų surišių konstrukcijos sluoksnių, kas sumažintų konstrukcijos laikomąją gebą atsiradus tarpsluoksniniams įtrūkiams.

Kita deformacijų atsiradimo kelio konstrukcijoje priežastis yra sezoniškas vandens užšalimas. Ledo linzių sukelti plyšiai gali atsirasti tarp užšalusio kelio dangos konstrukcijos sluoksnių ir neužšalusių žemės sankasos gruntų. Dėl šios priežasties gruntai gali judėti dešimtimis centimetrų žiemos sezonu. Pavasarį ledas tirpsta nuo konstrukcijos viršutinių sluoksnių, kur danga veikiama tiesioginių šildančių klimato veiksnių. Tačiau apatiniuose sluoksniuose esantis ledas nepraleidžia viršuje ištirpusio ledo vandens, todėl nesidrenuojantis vanduo gali stipriai pakenkti kelio konstrukcijos stipriui.

Paskutiniaais dešimtmečiais klimato kaitos problema neaplenkė ir kelių inžinerijos specialistų bei projektuotojų. Vidutinės temperatūros kilimas neturi itin didelės reikšmės kelio konstrukcijos vandeniui šiltuose kraštuose, tačiau teritorijose, kuriose vyrauja sezoniškas užšalimas, tai daro didelį poveikį. Kai metinio užšalimo periodas sumažėja, išnyksta ar su mažais tarpais iškart pereina į atšilimo periodą, tuomet pailgėja drėgnojo periodo, kuris pasireiškia rudens ir pavasario sezonais, trukmė. Tai reikalauja griežtesnių priemonių vandeniui drenuoti ir atsargumo priemonių, susijusių su padažnėjusiomis cikliško atšilimo problemomis. Tačiau trumpesnis užšalimo periodas ir negili įšalo penetracija į kelio konstrukciją užtikrina ilgesnį ir efektyvesnį vandens drenavimo funkcionavimą ištisus metus. Taip pat didelis dėmesys yra skiriamas padidėjusiam iškritusių kritulių kiekiui.

Aukštesnės vandenynų temperatūros skatina vandens garavimą, o tai, gausesnius lietaus ir sniego kritulius. Nepriklausomai nuo iškrintančių kritulių dažnumo, liūtys ir pūgos intensyvėja, tačiau tai priklauso nuo esamos geografinės padėties. Tikslus kritulių kiekis gali būti numatomas, todėl būtina priimti griežtesnius reikalavimus kelio konstrukcijų drenavimo sistemoms. Didesnis kritulių kiekis, reikalauja geresnių pralaidumo vandeniui savybių įvairiuose

sluoksniuose. Žemės sankasos sluoksniuose turi būti numatomas didesnis vandens srovių tekėjimas ilgesniais laiko tarpais.

1.4. Pirmojo skyriaus išvados

1. Nestandžios dangos konstrukcijos pagrindiniai funkcionalumo parametrai (įtempimai ir deformacijos) yra itin priklausomi nuo šalčiui nejautrių, atsparių sluoksnių, bei žemės sankasos gruntų savybių. Tuo tikslu turi būti užtikrintas gruntinio vandens pažeminimas, pakankamas žemės sankasos paviršiaus skersinis nuolydis ir dangos konstrukcijos nesurištųjų pagrindo sluoksnių pralaidumas vandeniui, kuris sąlygojamas daugelio faktorių.

2. Dažni klimatinių veiksnių pokyčiai bei didesnis jų agresyvumas (gausūs krituliai, škalas, staigus užšalimai ir kt.) sąlygoja poreikį peržvelgti esamus dangų konstrukcijų reikalavimus vandens pralaidumui.

3. Šio darbo tikslas – padidinti transporto eismo zonų dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui funkcionalumą nustatant reikalavimus šalčiui nejautrių medžiagų ir AŠAS sluoksniui bei jo įrengimui taikomoms medžiagoms.

4. Iškeliamam tikslui pasiekti būtina išspręsti šiuos uždavinius:

- Atlikti literatūros, susijusios su reikalavimais dangos konstrukcijos atsparumui šalčiui, pralaidumui vandeniui ir medžiagoms.
- Atlikti visuotinai priimtų principų ir dokumentų, reglamentuojančių dangos konstrukcijų pralaidumo vandeniui nustatymą, analizę.
- Atlikti gruntų ir mineralinių medžiagų, naudojamų AŠAS sluoksniui įrengti, eksperimentinį tyrimą, nustatant pralaidumo vandeniui savybes.
- Pateikti rekomendacijas dangos konstrukcijos medžiagų pralaidumo vandeniui bandymo metodų taikymui bei interpretavimui.

2. NORMINIŲ TECHNINIŲ DOKUMENTŲ, REGLAMENTUOJANČIŲ PRALAUDUMĄ VENDENIUI, ANALIZĖ

2.1. Visuotinai pripažinti principai, tiriant dangos konstrukcijų pralaidumą vandeniui

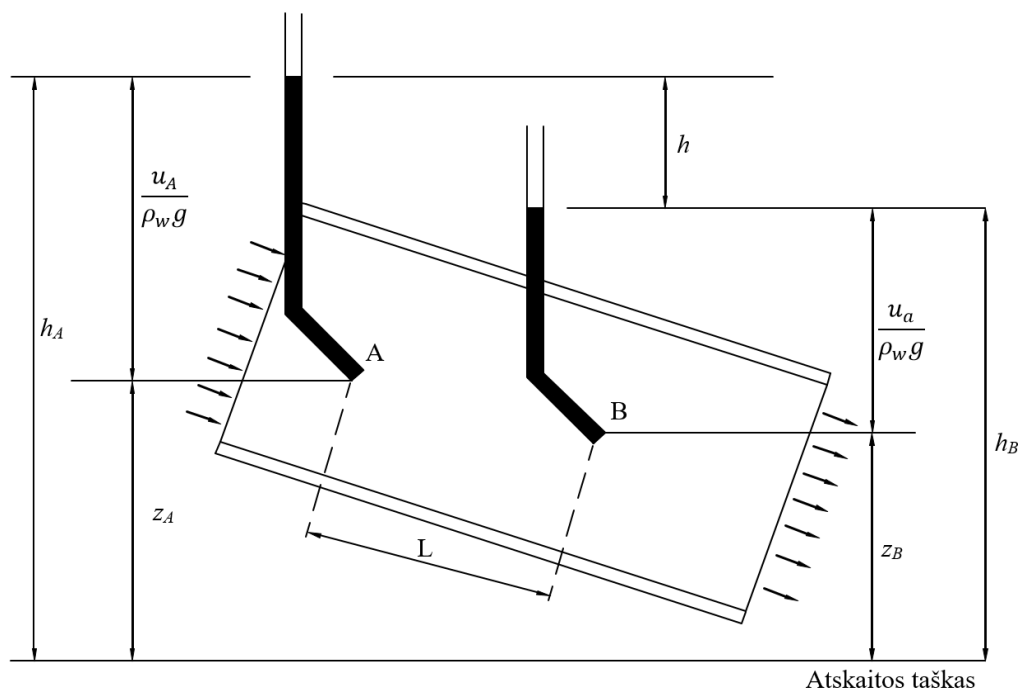
Kinetinės ir potencinės energijos turintis vanduo teka per poringuosius medžiagos sluoksnius iš vieno taško į kitą tašką, kuriame ši energija jau bus mažesnė (Cedergren 1974; 1977). Kinetinė energija priklauso nuo pratekančio skysčio greičio, tačiau potencinė energija priklauso nuo medžiagos ar sluoksnio savybių, jų padėties ir skysčio slėgio. Tekant vandeniui tarp dviejų taškų, tam tikras kiekis energijos dingsta, sumažėja slėgis.

Iš eksperimentinio bandymo, kurio schema pavaizduota 2.1 paveiksle, išreiškiama Bernulio energijos pusiausvyros lygtis tarp A ir B taškų:

$$\frac{u_A}{\rho_w g} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A = \frac{u_B}{\rho_w g} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + \Delta h, \quad 2.1$$

kur u ir v yra atitinkamai skysčio slėgis ir greitis, z yra atstumas nuo nulinės padėties linijos ir Δh – slėgių pokytis tarp taškų A ir B, kuris sukuria tekėjimą. Kadangi poringoje materijoje vandens greičiai yra maži, jie gali būti atmesti. Tuomet slėgių skirtumas gali būti išreikštas formule:

$$\Delta h = \left(\frac{u_A}{\rho_w g} + z_A \right) - \left(\frac{u_B}{\rho_w g} + z_B \right) \quad 2.2$$



2.1 pav. Vandens slėgio pokyčio, tekant per poringąjį kūną, schema

Darsi dėsnis teigia, jog pralaidumas vandeniui (taip pat žinomas kaip hidraulinis pralaidumas) yra slėgių pokytis per tam tikro ilgio kūną:

$$v = -K \frac{h}{L}, \quad 2.3$$

arba atsižvelgiant į be galo mažų elementų mastą:

$$v = -K \frac{dh}{dL} = -Ki, \quad 2.4$$

kur dh yra begalo mažų elementų slėgių pokytis per be galo mažą atstumą dL , o i yra tekėjimo hidraulinis spūdis tekėjimo kryptimi. Ši lygybė yra žinoma kaip Darsi dėsnis ir apibrėžia gruntų ir mineralinių medžiagų pralaidumą vandeniui.

Atsižvelgus į 2.2 formulę, matoma, jog geresnės pralaidumo vandeniui savybės yra tuomet kai:

- padidinamas skerspjūvio plotas, per kurį teką vanduo: taip padidinamas porų skaičius;
- padidinamas hidraulinis gradientas: pralaidose ar drenavimo sistemose įrengiant gylesnes drenas;
- padidinamas pralaidumo vandeniui koeficientas, t. y. pasirenkama porėtoji medžiaga vandeniui pralaidžiam sluoksniui.

Tačiau Darsi dėsnis taikomas tik laminariniam, neracionaliam vandens tekėjimui porėtuose kūnuose. Įsotintuose sluoksniuose laidumo vandeniui koeficientas galimas laikyti konstanta visame sluoksnio skelete, atmetant vandens verpetų susidarymą, kurie yra minimalūs. Virš gruntinio vandens lygio, neprisotintuose sluoksniuose, Darsi dėsnis taip pat galioja, tik pralaidumas vandeniui tampa vandens kiekio funkcija.

Pralaidumas vandeniui yra priklausomas nuo šių veiksnių:

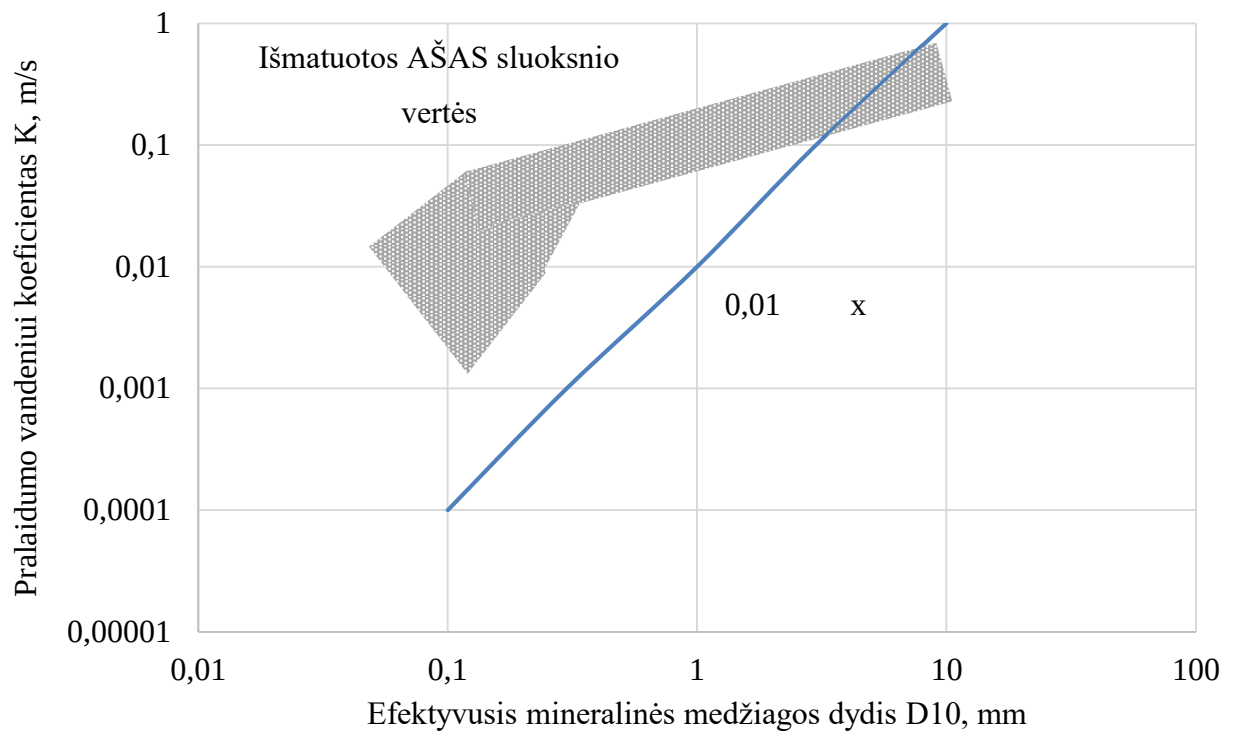
2. granuliometrinė sudėtis;
3. oro tuštymių kiekis;
4. grunto ar mineralinės medžiagos struktūros ir tekstūros;
5. grunto ar mineralinės medžiagos tankio;
6. vandens temperatūros (Cedergren, 1977).

Dėl šios priežasties praeityje buvo pasiūlytos kelios empirinės lygtys pralaidumo vandeniui nustatyti. Šiose lygybėse įtraukti parametrai, kurie tiesiogiai susiję su medžiagos granulimetrinės sudėties kreive ar jos oro tuštymių kiekiu.

Hazen (1911) pasiūlė lygybę biraus ir švaraus smėlio pralaidumo vandeniui skaičiavimui:

$$K = cD_{10}^2, \quad 2.5$$

kur c yra konstanta, kuri varijuoja nuo 1,0 iki 1,5, kai pralaidumo vandeniui rodiklis K yra nustatomas cm/s ir D_{10} efektyvusis mineralinės medžiagos dydis milimetrais. Hazeno lygtis galioja tik tam tikro dydžio ir granulimetrinės sudėties pasiskirstymo smėlingiems gruntams ir mineralinėms medžiagoms. Mažas kiekis dumblo, sąnašų ar molio dalelių gali žymiai pakeisti pralaidumo vandeniui rodiklio vertę. Hazeno lygties galimi rezultatai grafiškai pavaizduoti 2.2 paveiksle.



2.2 pav. Pralaidumo vandeniui verčių, gautų skaičiuojant Hazeno lygtį, priklausomybė nuo efektyviojo medžiagos dalelių dydžio

Kitokia pralaidumo vandeniui skaičiavimo metodika, kuri yra dažnai naudojama smėlingų gruntų pralaidumo vandeniui įvertinimui, yra paremta Kozeny-Carman lygtimi (Das 1997; Carrier 2003):

$$K = c \frac{e^3}{1+e} \quad 2.6$$

kur c yra konstanta, o e – poringumo koeficientas. Samarasinghe ir kt. (1982) pasiūlė panašią lygybę molingų gruntų pralaidumui vandeniui skaičiuoti:

$$K = c \frac{e^n}{1+e}, \quad 2.7$$

kur c ir n eksperimento metu nustatomi rodikliai.

Vandens tekėjimas neprisotintuose kelio konstrukcijos sluoksniuose labiausiai priklauso nuo esamo vandens kiekio, medžiagos įmirčio ir vandens traukos savybių bei gravitacinių savybių. Dėl esamo oro mineralinės medžiagos ar žemės sankasos sluoksnių porose, vandens tekėjimas yra stabdomas, o vandens tekėjimas galimas tik per smulkesnes oro tuštynes ar per vandens plėvelę, kuri aptraukia mineralinių medžiagų ar gruntų dalelių paviršių. Neprisotintų kelio konstrukcijos sluoksnių pralaidumas vandeniui (ar hidraulinis laidumas) yra mažesnis lyginant su prisotintų vandenių sluoksnių pralaidumo vandeniui rodikliu dėl esamo oro porose.

Pralaidumas vandeniui yra medžiagos savybė, kuri nusako vandens tekėjimo intensyvumą su tam tikru gradientu, ir, taip pat, nusako medžiagos tinkamumą vandeniui pralaidiems sluoksniams. Pagrindo sluoksniai dažniausiai susideda iš sutankintų medžiagų. Tankinimo pasekmė dažnai būna medžiagos anizotropija, kai vertikaliojo ir horizontaliojo pralaidumo vandeniui savybės yra nevienodos. Kelio konstrukcijos sluoksniams, esantiems žemiau gruntinio vandens lygio, vandens judėjimas beveik visada būna horizontalus, todėl šioms medžiagoms turi būti tiriamas horizontalusis pralaidumas vandeniui. Virš gruntinio vandens lygio esančiuose sluoksniuose, kurie nėra įsotinti vandeniui, vandens tekėjimas yra kur kas sudėtingesnis: judėjimą sudaro vertikalūs ir horizontalūs vektoriai, kurie priklauso nuo medžiagos parametrų, tokių kaip temperatūra, vandens kiekis ir medžiagos įmirčio ir vandens traukos savybių. Dažniausiai pasitaikančios įsotintų medžiagų pralaidumo vandeniui rodiklių vertės pateiktos 2.1 lentelėje.

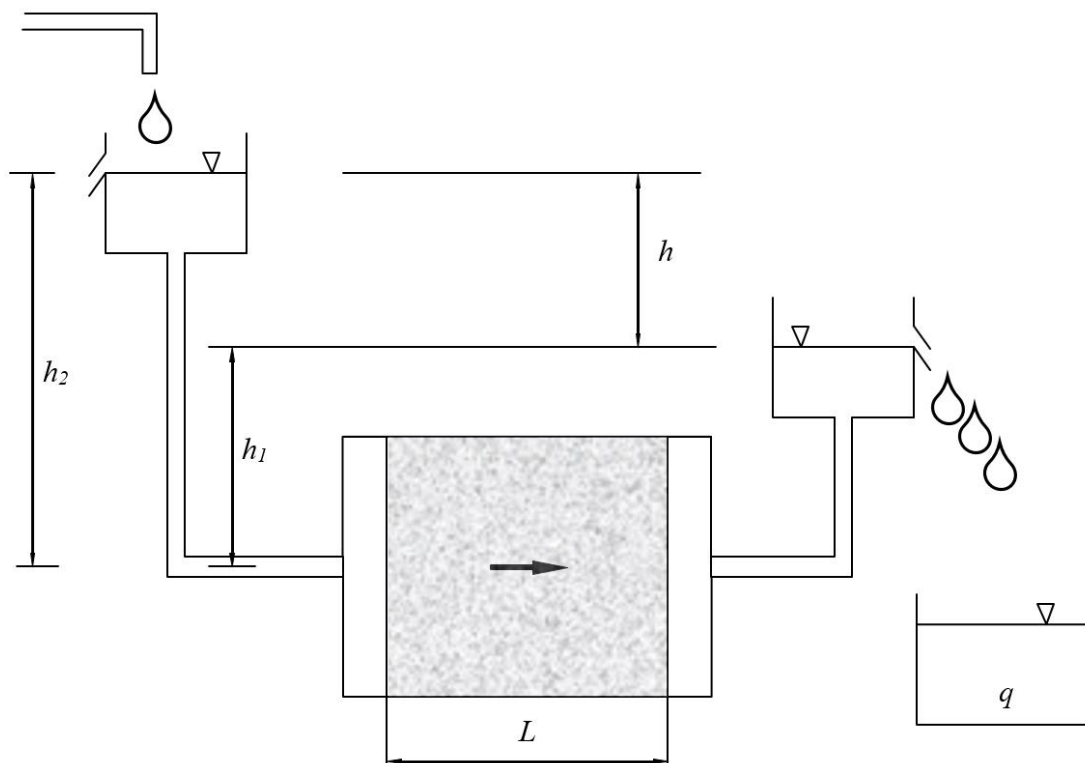
2.1 lentelė. Dažniausiai pasitaikančios įsotintų medžiagų pralaidumo vandeniui rodiklių vertės (Folkeson *et al.* 2009)

Gruntas	Vandens pralaidumo koeficientas L , (m/s)	Pralaidumo laipsnis
Žvyras	$> 10^{-3}$	Labai aukštas
Smėlingas žvyras, švarus smėlis, smulkus smėlis	$10^{-3} > K > 10^{-5}$	Nuo aukšto iki vidutinio
Smėlis, užterštas smėlis, dulkingas smėlis	$10^{-5} > K > 10^{-7}$	Žemas
Dulkis, dulkingas molis	$10^{-7} > K > 10^{-9}$	Labai žemas
Molis	$< 10^{-9}$	Praktiškai nelaidus vandeniui

2.2. Nesurištųjų hidraulinių mišinių ir gruntų pralaidumo vandeniui bandymo metodų analizė

Tradiciškai geotechninėje inžinerijoje, įsotintos medžiagos pralaidumas vandeniui stambiagrūdžiams ir įvairiagrūdžiams gruntams ir mineralinėms medžiagoms nustatomas naudojant pastovaus spūdžio įrangą, o smulkiagrūdžiams gruntams – kintančio spūdžio. Odometrinis bandymas taip pat gali pateikti įsotintų smulkiagrūdžių gruntų pralaidumo vandeniui vertes. Esamose kelio konstrukcijose galima ištirti vietos medžiagų pralaidumo vandeniui savybes naudojant „siurbiamo šulinio“ arba įleidimo bandymus.

Pastovaus spūdžio pralaidumo vandeniui bandymas dažniausiai atliekamas stambiagrūdžiams ir įvairiagrūdžiams gruntams ir mineralinėms medžiagoms. Bandinys yra įtalpinamas į permeametą – indą, kuris turi pralaidžius vandeniui filtrus, tačiau nepakeičia mineralinės medžiagos ar grunto skeleto (žr. 2.3 pav.). Tuomet į šį indą yra leidžiamas pastovaus spūdžio vandens srautas, kuris prateka per visą bandino tūrį. Bandymo metu nustatomas pratekėjusio vandens kiekis per tam tikrą laiko tarpą.



2.3 pav. Pastovaus spūdžio pralaidumo vandeniui bandymo nustatymo schema

Pertvarkius ir pakeitus vietomis tam tikrus rodiklius 2.4 formulėje, gaunama pralaidumo vandeniui rodiklio vertė lygi:

$$q = k \frac{Q \Delta h}{A \Delta L} \quad 2.7$$

čia A yra indo skerspjūvio plotas, per kurį praeina skystis per laiko tarpą, esant hidrauliniam nuolydžiui $\frac{\Delta h}{\Delta L}$, kur hidraulinis nuolydis – hidraulinių slėgių skirtumas Δh per atstumą ΔL , ir k – konstanta, kuri nurodo hidraulinį pralaidumą ir priklauso nuo tiriamos medžiagos tipo, jos poringumo, filtruojamo skysčio savybių, ypač nuo jo klampos.

Tačiau atliekant pralaidumo vandeniui nustatymą permeametro kelios dangos konstrukcijos medžiagoms yra keliami tam tikri reikalavimai. Pagrindo ar vandeniui laidūs sluoksniai dažniausiai turi dalelių, kurių didžiausias nominalus dydis yra tarp 20 ir 56 mm. Norint gauti patikimą pralaidumo vandeniui rezultatą, siūloma šį bandymą atlikti su permeametro skersmens ir maksimalaus nominalaus dalelės dydžio santykio verte tarp 8 ir 12. Tačiau standartiniai permeametrų yra per maži ar per daug trapūs, jog būtų galima ištirti visą pilnai sutankintą bandomosios dalos ėminį, nesumažinus ėminio frakcijos.

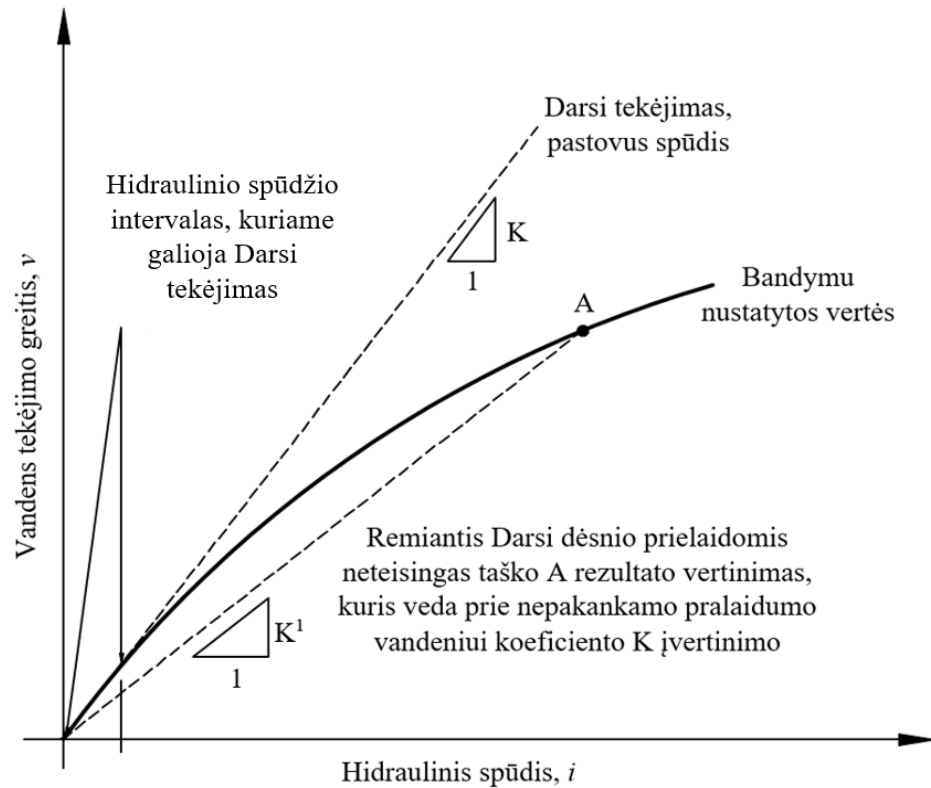
Įprastai, Darsi tekėjimas įvertina vandens pralaidumo režimą grunto ar mineralinių medžiagų sluoksniuose, kai vanduo prasisunkia ribiniais greičiais ir nesukuriant sūkurinių verpetų, kai teka iš mažų, į didesnio tūrio oro tuštymės. Tai reiškia, jog energijos nuostoliai atsiranda tik dėl trinties tarp vandens ir aplink esančių kietųjų dalelių, todėl pralaidumo vandeniui koeficientas gali būti nustatytas. Kai stambiagrūdžių medžiagų, su didelėmis oro tuštymėmis pralaidumas vandeniui yra nustatomas su įranga, pavaizduota 2.3 paveiksle, turi būti užtikrinta, jog Darsi dėsnio sąlygos yra tenkinamos.

Atliekant bandymus, priimamos standartinės sutartinės sąlygos, iš kurių viena yra hidraulinis gradientas. Ši sąlyga yra priimama daug didesnės vertės, negu galimi variantai, esantys statinio konstrukcijoje, keliuose kritinių sąlygų išsiaiškinimui. Jei tokio dydžio hidrauliniai nuolydžiai yra suteikiami medžiagoms, turinčioms dideles oro tuštymes, sūkuriniai verpetai gali susidaryti tuštymėse, todėl bus prarandama daugiau energijos, nei numato Darsi dėsnio sąlygos. Jei projektuotojas ar tyrėjas nėra susipažinęs su šiomis sąlygomis, vandens pralaidumo koeficiento vertė nebus pakankamai ar teisingai įvertinta.

Dėl šios priežasties, bandymai turėtų būti atlikti esant skirtingiems hidrauliniams nuolydžiams stambiagrūdžiams ir įvairiagrūdžiams gruntams ir mineralinėms medžiagoms. Tam, kad būtų įgyvendintos Darsi dėsnio sąlygos, reikalaujamas hidraulinis spūdis gali būti mažesnis už 0,1.

Kintančio spūdis bandymo metu (2.5 pav.), kinta hidraulinis slėgis, kol vanduo teka bandiniu. Šis bandymo metodas labiausiai tinkamas gruntams, kurių pralaidumas vandeniui yra mažas, pvz. dulkingiems ar molingiems gruntams. Tokio tipo gruntams didžiausia problema yra

pernelyg didelis hidraulinis nuolydis. Bandymo metu ši problema turėtų būti aplenkama dėl praktinių priežasčių, tokių kaip greitas hidraulinio slėgio kritimas.



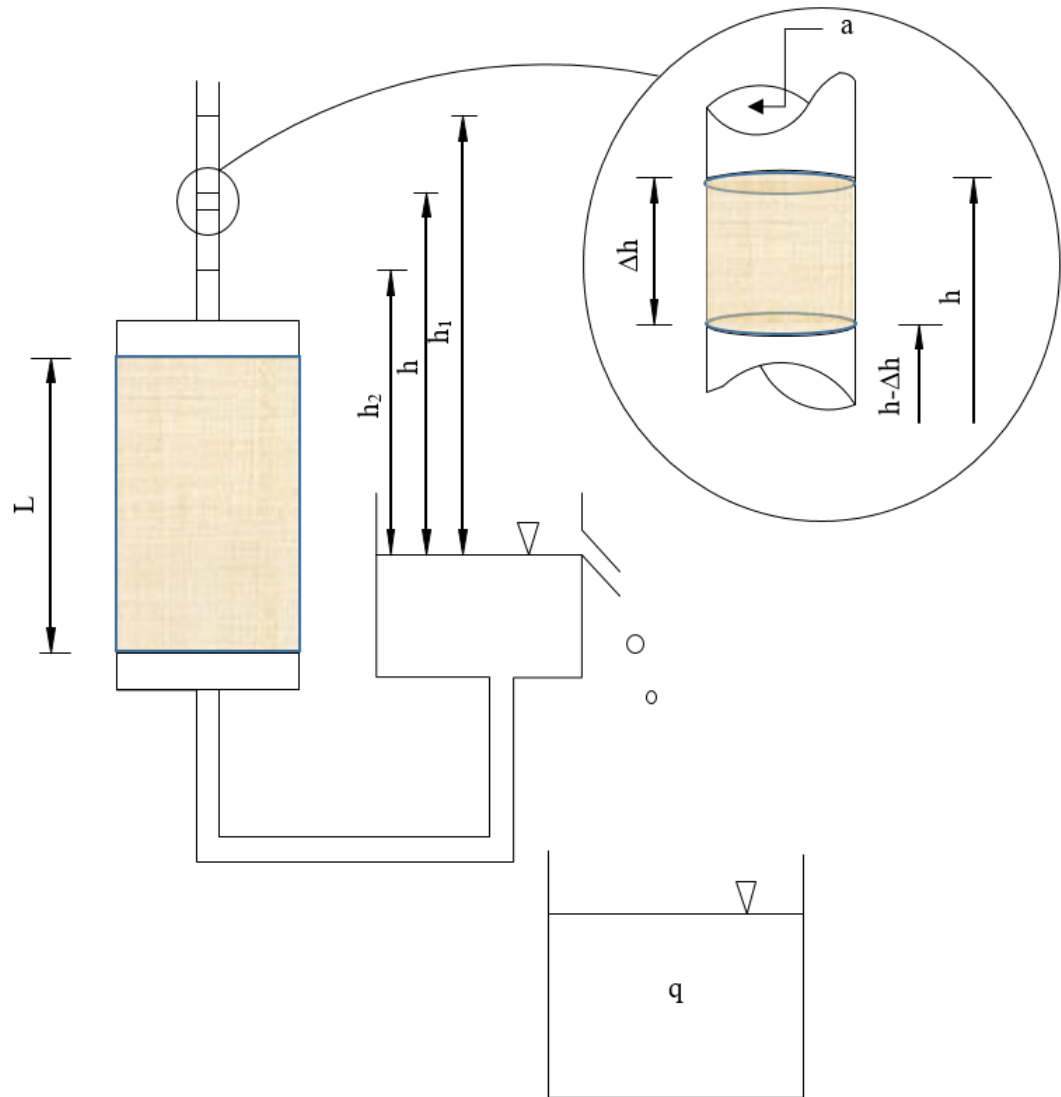
2.4 pav. Darsi dėsnio sąlygų tinkamumas atsižvelgiant nuo vandens tekėjimo greičio ir hidraulinio gradiento priklausomybės

Nustatant momentinį vandens pratekėjimo per bandinį srautą, su kintančiu spūdžiu, gaunama išraiška lygi:

$$q = K \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt} \quad 2.7$$

kur q yra vandens srautas, h yra slėgių aukščių skirtumas atsiradęs per laiką t , L yra bandinio, per kurį teka vanduo aukštis, A – skerspjūvio plotas, per kurį prateka skystis. Įvedant kintamųjų reikšmes nuo laiko tarpo t_1 iki t_2 , per kurį pakinta hidraulinio nuolydžio stulpelių vertės nuo h_1 iki h_2 , gaunama išraiška pralaidumo vandeniui koeficiento apskaičiavimui:

$$K = \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad 2.8$$

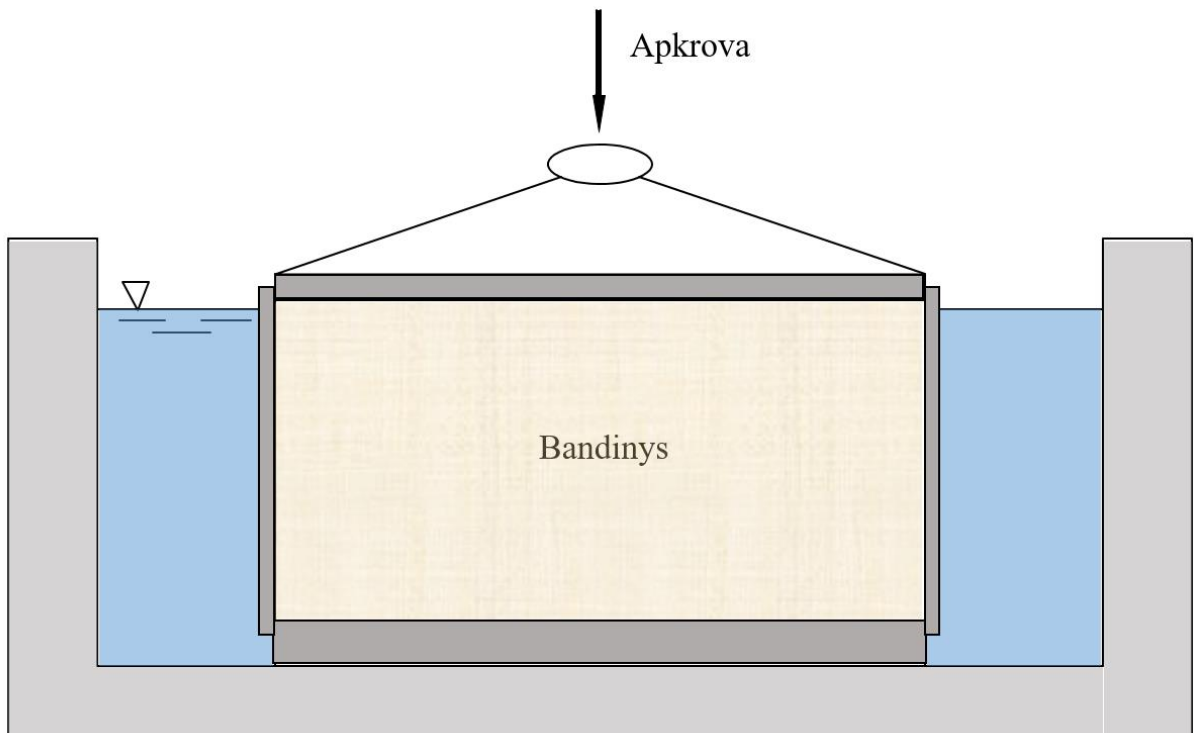


2.5 pav. Kintančio spūdžio pralaidumo vandeniui bandymo nustatymo schema

Pralaidumo vandeniui koeficientas gali būti nustatomas kaip vertikalųjų įtempimų funkcija atliekant odometrinį bandymą (2.6 pav.). Šis metodas dažniausiai naudojamas smulkiagrūdžių, neturinčių trinties savybių, gruntų konsolidacijos savybių nustatymui. Odometrinis bandymas atliekamas naudojant pastovias arba pastovaus kitimo apkrovas. Vienaašio gniuždymo pastovių įtempimų bandymo metu, cilindrinis grunto bandinys, esantis metalinėje bandymo gilzėje, yra cikliška apkraunamas statinėmis apkrovomis. Tuo pat metu yra fiksuojami bandinio aukščio pokyčiai per tam tikrą laiko tarpą. Pralaidumo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$K = c_v \cdot m_v \cdot \gamma_w = c_v \cdot m_v \cdot \rho_w g \quad 2.8$$

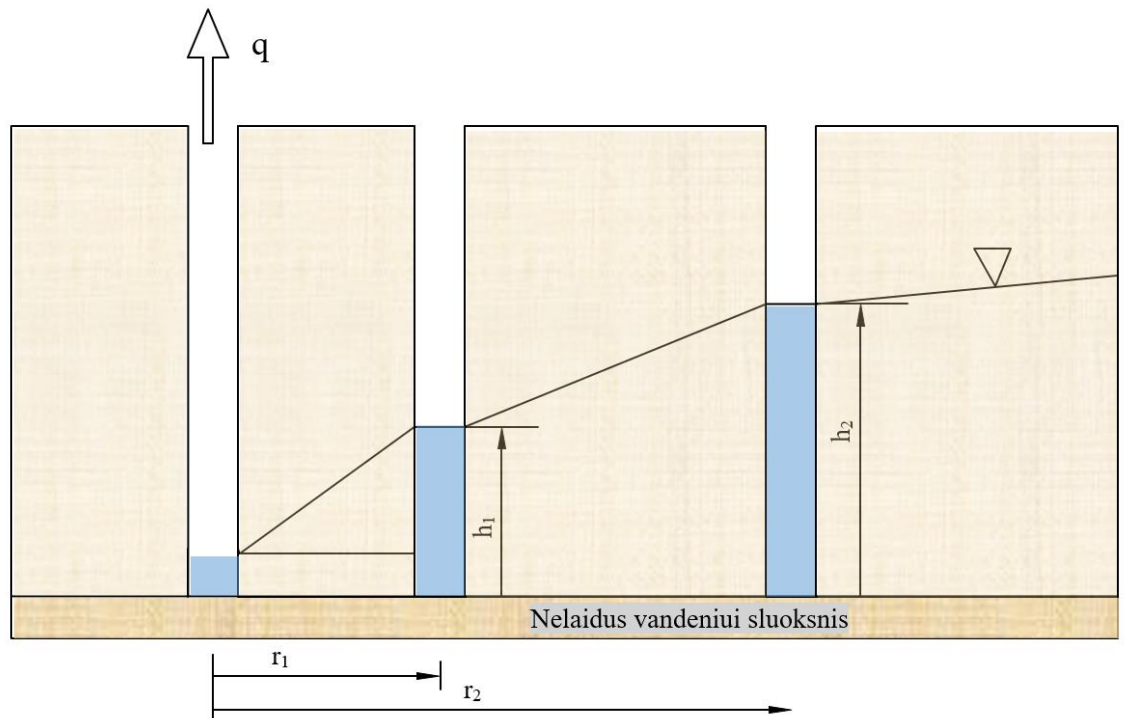
kur c_v – konsolidacijos koeficientas, m_v – tūrio sutankinamumo koeficientas, γ_w yra vandens savitasis svoris, g – laisvasis kritimo pagreitis lygus $9,81 \text{ m/s}^2$.



2.6 pav. Pastovios apkrovos odometrinio bandymo schema

Keliuose ar kituose objektuose vidutinė pralaidumo vandeniui koeficiento reikšmė gali būti nustatoma atliekant siurbimo bandymą (2.7 pav.), kai per šulinį vanduo yra išsiurbiamas pastoviu greičiu per tam tikrą laiko tarpą, kol vandens ar pjezometrinių stulpelių lygiai pasieks pastovią būseną. Išsiurbtas vandens srautas iš šulinio yra lygus tekėjimo greičiui ir gruntinio vandens į šulinį.

Išleidimo bandymų, kurie yra atvirkšti siurbimo bandymams, metu vanduo ar oras yra įpurškiamas į bandymo angą, tam, kad būtų išmatuotas pralaidumas vandeniui. Atliekant tyrimus skirtingais intervalais per visą tiriamojo sluoksnio aukštį, pralaidumo profilis gali būti nustatomas. Oras arba kitos dujos yra naudojami kaip skystis, kai tyrimai atliekami didelio pralaidumo vandeniui sluoksniams, kai vanduo negali suteikti didelio tekėjimo tokiomis sąlygomis.

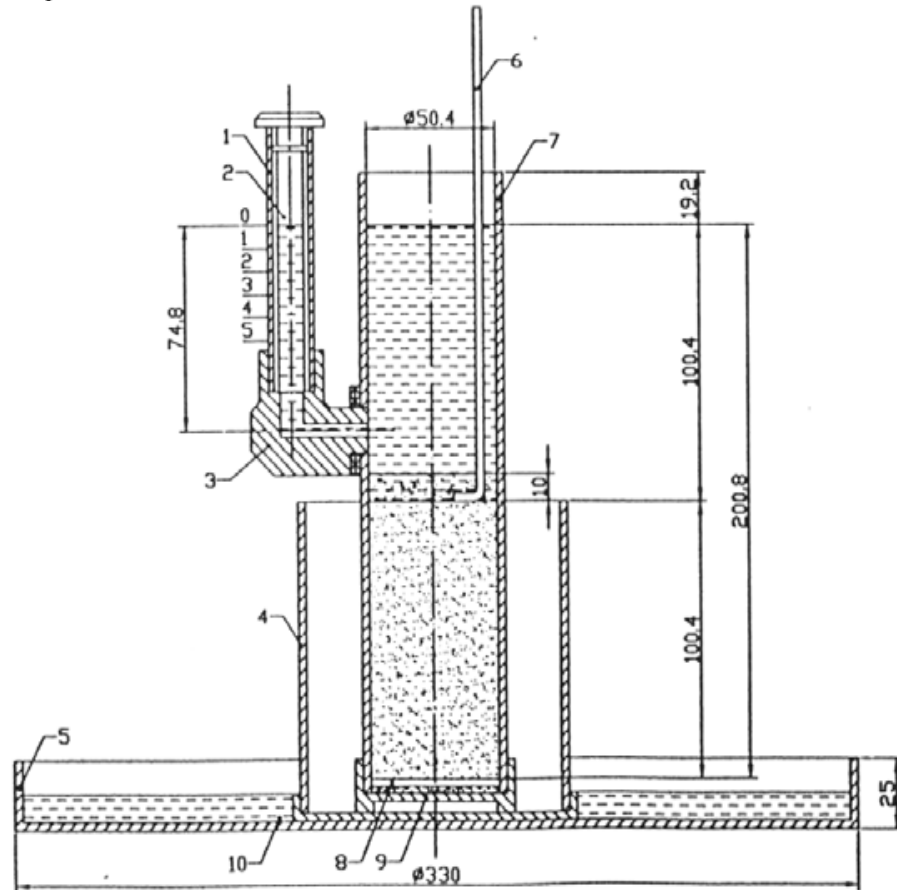


2.7 pav. Siurbimo iš šulinio bandymo schema

Latvijoje filtracijos koeficiento metodiniai nurodymai, aprašyti specifikacijų „Ceļu specifikācijas 2017“ 12.3 punkte, yra paremti dokumentais GOST 25584-90 ir LVS EN 13286-2. Šie nurodymai taikomi mineralinėms medžiagoms, naudojamoms kelio dangos konstrukcijos AŠAS sluoksniuose, pralaidose ir drenažuose. Filtracijos koeficientas nustatomas bandinį sutankinant iki optimalaus tankio ir prisotinant bandinį iki optimalaus drėgnio, nustatytą iš Proktoro tankio nustatymo bandymo. Per bandinį paleidžiamas vanduo laisvai drengtis (slėgio gradientas lygus 1); fiksuojamas išbėgusio vandens kiekis per tam tikrą laiko tarpą.

Bandymo prietaisą (žr. į 2.8 pav.) sudaro žalvarinis 220 mm aukščio cilindras, kurio vidinis skersmuo lygus 50,4 mm. Ant šio cilindro apatinės dalies užsuktas žalvarinis disko formos antgalis, kuriame yra 29,4 mm skersmens skylės. Ant antgalio vidinės pusės, t. y. cilindro dugne, padėtas varinis tinklelis, kurio akučių skersmuo lygus 0,25 mm, sulaikantis smulkiąsias tiriamojo objekto frakcijas. Cilindras yra sujungtas su hidrometriniu įtaisu, kuriame įmontuotas stiklinis vamzdelis vandens lygiui matuoti su milimetrais graduota 5 cm aukščio skale.

a)



b)



2.8 pav. a) Prietaiso filtracijos koeficientui nustatyti schema: 1 – žalvarinis dėklas; 2 – stiklinis vamzdelis; 3 – žalvarinis štuceri; 4 – metalinis indas vandeniui; 5 – vonelė; 6 – liniuotė-šablonas; 7 – žalvarinis cilindras; 8 – varinis tinklelis; 9 – žalvarinis disko formos skylėtas antgalis; 10 – žalvarinis padėklas; b) Prietaiso filtracijos koeficientui nustatyti cilindras

Iš išdžiovinto, per 5 mm kvadratinio akučių sieta persijotos mineralinės medžiagos paimamas bandinys. Į jį įpilamas švarus vanduo, kurio kiekis priklauso nuo bandinio rūšies: smulkiagrūdis, įvairiagrūdis ar stambiagrūdis. Tai padarius, bandinys kruopščiai išmaišomas, kad vanduo tolygiai sudrėkintų visą bandinio masę.

Bandinio masė suskirstoma į tris lygias dalis. Į cilindrą įpylus pirmąją masės dalį, ant jos statomas plūktuvas ir jo plūkiančiąja dalimi smūgiuojama 25 kartus. Po to į cilindrą įpilama antroji bandinio masės dalis ir vėl smūgiuojama 25 kartus. Trečioji bandinio masės dalis į cilindrą supilama ir tankinama ne iš karto, t. y.: numanomą dalį supylus, plūktuvu smogiama 15 kartų, tuomet patikrinamas bandiniu neužpildytos cilindro dalies aukštis nuo tankinamo bandinio paviršiaus iki apskritiminės įrėžos cilindro vidiniame paviršiuje, padarytos hidrometrinio įtaiso nulinės padalos aukštyje. Tikrinamasis bandinio aukštis – 100,4 mm. Jei trečiasis bandinio sluoksnis per mažas, įpilamas papildomas bandinio kiekis, kuris sutankinamas 10-čia plūktuvo smūgių ir po to vėl tikrinamas bandiniu neužpildytos cilindro dalies aukštis. Jeigu į trečiąjį bandinio sluoksnį, padarius 15 smūgių, paaiškėtų, kad bandinio per daug, tuomet bandinio perteklius nuimamas ir į likusį sluoksnį plūktuvu smogiama dar 10 kartų. Iš viso smūgiuojama 75 kartus. Šis smūgių ir sluoksnių skaičius yra priimamas optimaliam sutankinimui.

Bandymo indas pripildomas švaraus vandens tiek, kad jo lygis būtų 0-5 mm virš bandinio paviršiaus. Bandinys su vandeniu laikomas tol, kol bandinys juo įsisotins. Įsisotinimo vandeniui trukmė priklauso nuo bandinio sudėties: ji trumpesnė (vienos ar kelių valandų), kai bandinys stambiagrūdis ar švarus, ir ilgesnė (vienos ar dviejų parų), kai bandinys smulkiagrūdis ar nešvarus. Bendruoju atveju rekomenduojama bandiniui leisti sotintis parą ar ilgiau, nes per ilgesnį laiką vanduo išstumia iš sutankinto bandinio didesnę kiekį užsilikusio oro, sumažėja bandymo rezultatų sklaida ir padidėja filtracijos koeficiento vertės.

Į cilindrą su bandiniu, įsisotinusiu vandeniu, įpilama vandens iki įrėžos cilindro vidiniame paviršiuje, esančios hidrometrinio įtaiso nulinės padalos lygyje. Vandens stulpelio aukštis virš bandinio, neįskaičius žvyro sluoksnio storio, bus lygus 100,4 mm. Chronometru pradedamas matuoti vandens slūgimo hidrometrinio įtaiso stikliniame vamzdelyje laikas. Vandens slūgimas vamzdelyje stebimas, o atskaitos fiksuojamos ties vandens įgaubto paviršiaus viduriu iki vanduo nuo nulinės padalos nuslūgs per 5,0 cm ar per 4,0–3,0 cm. Kartą užfiksavus slūgimo aukštį ir laiką, į cilindrą vėl įpilama vandens iki įrėžos, t. y. iki nulinės padalos ir bandymas kartojamas. Bandinio laidumas vandeniui šitaip bandomas 3–4 kartus ir iš gautų rezultatų apskaičiuojamas vidutinis slūgimo laikas sekundėmis.

Kai bandymo metu per bandinį pratekančio vandens temperatūra lygi $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, filtracijos koeficientas (matuojamas metrais per parą) apskaičiuojamas šia formule:

$$k_{10} = \frac{l}{t \times r} \varphi \left(\frac{s}{h_0} \right) 864; \quad 2.9$$

čia:

l – cilindro dalies su bandiniu aukštis, lygus 10,0 cm;

t – vidutinis laikas, matuojamas sekundėmis, per kurį bandymo metu vanduo nuslūgsta per aukštį, ne didesnę kaip 5,0 cm;

r – bematis dydis, kuriuo atsižvelgiama į per bandinį pratekančio vandens temperatūrą ir nustatomas iš lygties $r = 0,70 + 0,03 T$; čia T – vandens temperatūra Celsijaus laipsniais;

s – vandens nuslūgimo aukštis per laiką t , matuojamas cm;

h_0 – pradinis, slėgį atstojantis, vandens stulpelio aukštis, t. y.: $h_0 = 10,0$ cm, kai cilindras su bandiniu ir vandeniu iki nulinės padalos yra įstatytas į indą su vandeniu, kurio lygis sutampa su bandinio paviršiaus lygiu; $h_0 = 20,0$ cm, kai cilindras su bandiniu ir vandeniu iki nulinės padalos pastatytas tiesiog vandenyje;

$\varphi(s/h_0)$ – santykio s/h_0 funkcija, kurios vertės pateiktos lentelėje; 864 – skaičius, kuriuo perskaičiuojami cm/s į m/parą.

Nors filtracijos koeficiento nustatymo principas yra labai panašus pralaidumo vandeniui nustatymui pagal standartą CEN ISO/TS 17892-11:2004, tačiau turi skirtumų bandymo eigoje, kurie yra itin svarbūs galutiniams rezultatams:

- bandinio didžiausios dalelės dydis: filtracijos koeficientui nustatyti bandinio frakcija prasijojama pro 5 mm sietą. Dėl šios priežasties, yra sunku įvertinti visos medžiagos savybę praleisti vandenį. Vandens pralaidumui nustatyti pagal standartą CEN ISO/TS 17892-11:2004 galimi daug didesnės frakcijos mišiniai (priklausomai nuo turimos įrangos): tai tiksliau parodomas pralaidumo vandeniui vertės;
- filtracijos koeficientu neužtikrinamas tinkamas bandinio sutankinimas. Metodikoje yra nurodytas tam tikro dydžio sutankinimas, tačiau nėra apibrėžta kokia sutankinimo vertė yra gaunama bei ar lankstumo gauti kitas sutankinimo vertes. Vandens pralaidumui nustatyti pagal standartą CEN ISO/TS 17892-11:2004

naudojamas Proktoro tankis, nustatytas pagal standartą LST EN 13286-2:2010. Gavus šį rodiklį, galima lengvai apskaičiuoti kiek bandinio reikia turėti gilzėje, norint gauti tam tikro dydžio sutankinimą;

- gaunami skirtingi rezultatai: pagal filtracijos koeficiento metodiką, gaunamas rezultatas yra metrai per parą (m/parą), o pralaidumo vandeniui nustatymu – metrai per sekundę (m/s). Nors šiuos rodiklius galima perskaičiuoti vienu ar kitu rodikliu, tačiau prilyginti vieną kitam yra nekorektiška dėl skirtingų metodų.

Lietuvoje iki 2015 metų galiojo Statybos rekomendacijos R 34-01, kuriame aprašyti reikalavimai kelio dangos konstrukcijos AŠAS sluoksnio reikalavimai filtracijos koeficientui. Šio dokumento B priede aprašyta metodika mineralinių medžiagų ir gruntų filtracijos rodiklio nustatymui. Ši metodika yra identiška Latvijos kelių specifikacijų „Ceļu specifikācijas 2017“ 12.3 punkte aprašytai metodikai. Tačiau Lietuvos automobilių kelių direkcijos direktoriaus įsakymu dokumentas Nr. V (E)-2 neteko galios. Kadangi Lietuvoje reikalavimai vandens pralaidumui yra aprašyti įrengimo taisyklėse IT „SBR 07“, tolimesni bandymai bus vykdomi atsižvelgiant į šį dokumentą ir jame aprašytus nurodymus bandymams: bandymus atlikti pagal standartą CEN ISO/TS 17892-11:2004.

Nors pralaidumo vandeniui nustatymas pagal standartą CEN ISO/TS 17892-11:2004 yra ne tik Europos, bet ir pasaulinio masto patvirtina metodika, tačiau ji nėra tiksli, atsižvelgiant į keliamus reikalavimus bandiniui ar bandymo procedūrai. Keliamas reikalavimas sutankinimui, tačiau nėra normuojama kokio tankio turi būti bandinys. Taip pat yra aprašoma, jog bandymo procedūros metu turi nekisti hidraulinių aukščių skirtumas, tačiau nėra apibrėžta, kokių verčių šis skirtumas turi būti. Nors literatūroje yra aprašoma, jog tai vieni svarbiausių parametų, nustatant pralaidumo vandeniui koeficientą, bandymo rezultatams, tačiau neapibrėžtumas gali sukelti daug problemų ne tik kontroliniuose bandymuose, bet ir patikimumo bandymuose tarp skirtingų operatorių.

2.3. Norminių techninių dokumentų bei standartų analizė

Kiekviena šalis, rengdama techninius dokumentus mineralinių medžiagų mišiniams, kuriuose pateikti reikalavimai mineralinių medžiagų mišinių fizikinėms bei mechaninėms savybėms, remiasi savo šalies bei kitų šalių patirtimi AŠAS sluoksniams įrengti ir eksploatuoti. Taip pat, svarbų vaidmenį turi šalies klimatinės sąlygos.

Lietuvoje šalčiui nejautrių medžiagų sluoksniai, kaip ir AŠAS, turi atitikti IT SBR 07 reikalavimus sutankinimo rodikliui ir pakankamam vandens pralaidumui. Nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių ir gruntų pralaidumo vandeniui, nustatytam pagal standartą LST CEN ISO/TS 17892-11, reikalavimai yra turi atitikti šiuos reikalavimus: AM ir I kategorijos keliams pralaidumo vandeniui koeficientas – $k \geq 2,0 \times 10^{-5}$ m/s; II-IV kategorijos keliams pralaidumo vandeniui koeficientas – $k \geq 1,5 \times 10^{-5}$ m/s; V kategorijos keliams pralaidumo vandeniui koeficientas – $k \geq 1,0 \times 10^{-5}$ m/s; techniniame projekte nurodytą kitą pralaidumo vandeniui koeficiento k vertę, pagrįstą skaičiavimais (įvertinus žemės sankasai ir AŠAS ar ŠNS panaudotų mišinių ir gruntų sąveiką) (TRA SBR 07, 2007).

Latvijos techninis dokumentas, apibrėžiantis reikalavimus kelio projektavimui yra „Ceļu specifikācijas 2017“ (VAS „Latvijas Valsts ceļi“ 2017). Šiame dokumente aprašomi techniniai duomenys ir projektavimo reikalavimai AŠAS sluoksniui. Turi būti užtikrintas pakankamas vandens srautų pašalinimas iš kelio dangos konstrukcijos, pavyzdžiui, jei yra būtinybė užtikrinti, kad gruntinio vandens lygis konstrukcijoje nepasiektų AŠAS sluoksnio. Tokiais atvejais, esant reikmei, įrengiama atitinkama drenažo sistema ar naudojamos geosintetinės medžiagos pačioje konstrukcijoje.

Šiame dokumente išskiriami reikalavimai sluoksniams, kurių projekcinė laikomoji geba yra daugiau nei 60 MPa ir daugiau nei 90 MPa. Atsparaus šalčiui sluoksniui, kurio laikomoji geba yra daugiau nei 60 MPa, naudojamos smėlingos, natūralios arba smulkiai skaldytos mineralinės medžiagos ar medžiagų mišiniai. Abiem laikomosios gebos atvejais, jei AŠAS sluoksnio medžiagos dalelės netenkina reikalavimų, keliamų nesurištųjų medžiagų sluoksniui AŠAS sluoksniui, aprašytų 2.2 lentelėje, turi būti nustatytas sluoksnio filtracijos koeficientas, kuris šiuo atveju neturi būti mažesnis kaip 1 m/parą pagal specifikacijų „Ceļu specifikācijas 2017“ 12.3 punkte aprašytą filtracijos nustatymo metodiką. Jei AŠAS sluoksnio medžiagos dalelės tenkina pateiktus reikalavimus, filtracijos koeficientas neturėtų būti nustatomas, o, jei jis nustatytas, filtracijos koeficiento rezultatas negali būti naudojamas vertinant AŠAS sluoksnio atitiktį. Bet kuriuo atveju, dalelių, mažesnių nei 0,063 mm, kiekis neturi viršyti 12 % viso bandinio masės.

Austrijos techninis dokumentas, apibrėžiantis reikalavimus kelio dangos konstrukcijos apsaugai nuo vandens poveikio, yra „RVS 04.04.11 Gewässerschutz an Straßen Januar 2011“. (2012: 1–26). Šiame dokumente aprašomi techniniai reikalavimai vandens filtracijai. AŠAS sluoksniui, kurio storis yra didesnis nei 30 cm ir tenkina reikalavimus keliamus AŠAS sluoksniui pagal norminį dokumentą „RVS 08.15.01 Ungebundene Tragschichten“, reikalaujamas

filtracijos koeficientas k_{10} turi būti nemažesnis nei $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s. Jei sluoksnis yra mažesnis, ar kelio dangos konstrukcijoje nėra numatomas AŠAS sluoksnis, t. y. konstrukcija rengiama ant esamo šalčiui nejautraus grunto, tuomet reikalaujamas filtracijos koeficientas k_{10} turi būti nemažesnis nei $1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s.

2.2 lentelė. Reikalavimai, keliamų nesurištų medžiagų sluoksniui AŠAS sluoksniui, pagal Latvijos norminį dokumentą „Ceļu specifikācijas 2017“

Reikalavimas	Bandymo metodas	Kategorija	Reikalaujama vertė
Prabyra per 90 mm sieta, %	LVS EN 933-1	–	100
Prabyra per 0,125 mm sieta, %	LVS EN 933-1	–	≤ 25
Prabyra per 0,063 mm sieta, %	LVS EN 933-1	f_5	≤ 5
Smulkiosios frakcijos kokybės rodiklis pagal metilenmėlynojo kiekį, metilenmėlynojo rodiklis g/kg	LVS EN 933-9	MB ₁₀	≤ 10

Australijos techninis dokumentas, apibrėžiantis reikalavimus kelio dangos konstrukcijos vandens pralaidumui, yra „AP-G17/04. Austroads Pavement Design – A Guide to the Structural Design of Road Pavements“ (Midgley 2009). Šiame dokumente yra teigiama, jog pagal klimatinės Australijos sąlygas, kelio dangos konstrukcija beveik neveikiama šalčio, todėl konstrukcijų projektavimas yra atsižvelgiamas tik į laikomąją gebą. Todėl AŠAS sluoksniui keliamas reikalavimas vandens pralaidumui k_{10} yra labai mažas – $5,0 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Didžiojoje Britanijoje techninis dokumentas „Design manual for roads and bridges“ (Pavements et al., 2018) aprašo pralaidumo vandeniui reikalavimus sluoksniui, esančiam virš šalčiui jautraus grunto (nepriklausomai ar tai yra dar vienas, tačiau šalčiui nejautrus, žemės sankasos sluoksnis ar papildomas AŠAS): reikalaujama minimali vertė k_{10} – $5,0 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Lietuvoje pagal įrengimo taisyklės IT SBR 07 aprašytus reikalavimus, pralaidumo vandeniui reikalavimai yra keliami skirtingoms kelio kategorijoms. Atlikus literatūros analizę, pralaidumo vandeniui koeficientas nepriklauso nuo kelio pločio, ar sluoksnio storio – parametrų, kurie atskiria skirtingų kelio kategorijų dangų konstrukcijas. Iš to seka, jog mineralinių medžiagų mišinių, naudojamų AŠAS sluoksniui, pralaidumo koeficiento vertinimas Lietuvoje yra netinkamas. Yra labai mažai informacijos, kaip AŠAS sluoksnio kelio dangos konstrukcijoje sutankinimas veikia pralaidumą vandeniui – tai vienintelis parametras, kuris priklauso nuo parinktos kelio reikšmės ir kelio dangos konstrukcijos. Dėl šios priežasties yra tinkama atlikti detalesnius bandymus.

Latvijoje pagal kelių specifikacijų „Ceļu specifikācijas 2017“ reikalavimus yra nurodomas bendras filtracijos koeficientas visų tipų dangų AŠAS sluoksniuose naudojamiems

mineralinių medžiagų mišiniams – $> 1 \text{ m/parą}$ ($\approx 1,157 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$), nepriklausomai nuo kelio kategorijos, kelio reikšmės ar kelio dangos konstrukcijos. Tuo tarpu Austrijoje, priklausomai nuo mineralinės medžiagos mišinio savybių, naudojamo AŠAS sluoksnyje, pralaidumo vandeniui koeficiento reikšmė varijuoja nuo $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ iki $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymas atliekamas jau daugiau kaip naudojant 100 metų skirtingas metodikas, tačiau vienas pagrindinių metodų, tiksliausiai nusakančių fizikinius energijos pusiausvyros dėsnius vykstančius tiriamuosiuose objektuose kintant vandens režimams – Bernulio teorema pagrįstas Darsi dėsnis.

2. Pralaidumo vandeniui koeficientas priklauso nuo mišinio grunto granulimetrinės sudėties, oro tuštymių kiekio, užpildo dalelių struktūros ir tekstūros, tankio bei vandens temperatūros.

3. Standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 metodika neapibrėžia keletos bandymo rezultatams įtakos turinčių parametrų (bandinio tankis bandymo metu bei hidraulinių aukščių skirtumas), todėl tinkamam rezultatų įvertinimui būtina atlikti šių parametrų įtakos analizę galutiniam bandymo rezultatui.

4. Atlikus literatūros ir norminių dokumentų, aprašančių pralaidumo vandeniui reikalavimus, analizę, nustatyta, jog IT SBR 07 keliame reikalavimai yra netinkamai kategorizuojami: pralaidumo vandeniui koeficientas nepriklauso nuo kelio reikšmės ar kategorijos.

3. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS PRALAUDUMĄ VANDENIUI DARANČIŲ VEIKSNIŲ ĮTAKAI ĮVERTINTI

3.1. Tyrimo objektas ir metodika

Kelio dangos konstrukcijos laikomoji geba ir ilgaamžiškumas priklauso nuo projekcinio sprendinio, apkrovos sąlygų, aplinkos veiksnių, panaudotų medžiagų ir įrengimo kokybės. Kelio dangos konstrukcijos eksploataciniams parametrams tiesiogiai įtaką daro ne tik AŠAS sluoksnio charakteristikos, tačiau ir mineralinės medžiagos, naudojamos pagrindo sluoksniuose.

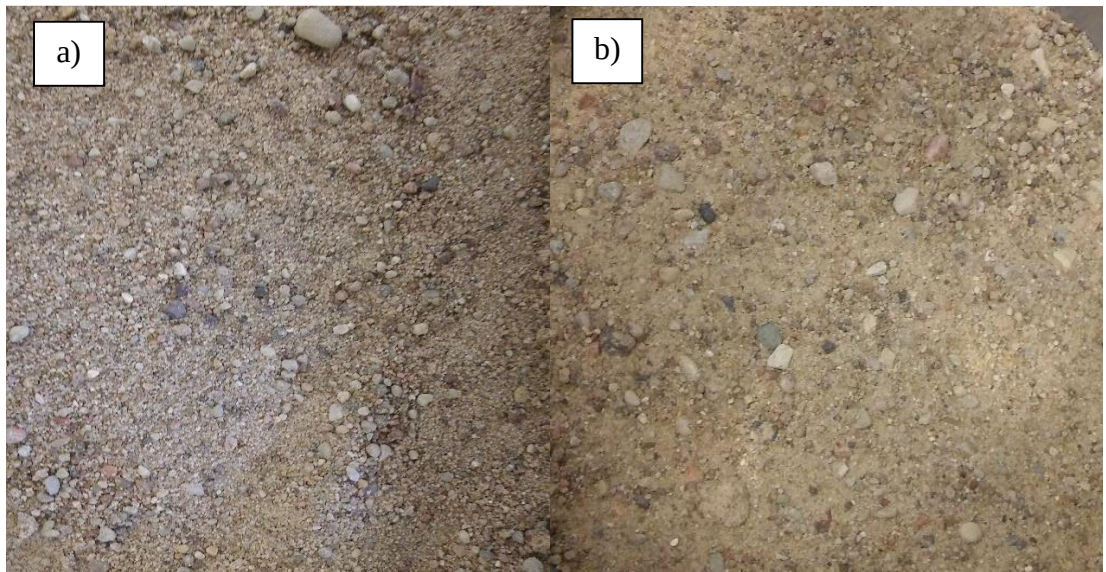
Panaudotos medžiagos ir jų tinkamumas yra vienas svarbiausių veiksnių, nulemiančių AŠAS sluoksnio savybes. Remiantis norminio dokumento TRA SBR 07 reikalavimais, AŠAS sluoksniams ir šalčiui nejautrių medžiagų sluoksniams gali būti naudojami nesurištieji mineralinių medžiagų mišiniai, kurių frakcijos kinta nuo fr. 0/2 iki 0/63, ir gruntai, kurie, pagal Lietuvos standartą LST 1331 „Gruntai, skirti keliams ir jų statiniams. Klasifikacija“ skirstomi į blogos, geros, periodinės sanklodos žvyrus ir smėlius.

Lietuvoje, didesnės reikšmės objektuose, dažniausiai naudojamas smulkus geros sanklodos smėlis. Jis gaunamas iš karjerų, upių ir kitų vandens telkinių. Dažnai esamas vietos gruntas tenkina reikalavimus keliamus AŠAS sluoksniui, todėl papildomų mineralinių medžiagų mišinių nenaudojama. Dažniausiai pasitaikantys gruntai, naudojami pagrindo sluoksniams – įvairaus dydžio žvyras.

Remiantis praktika, AŠAS sluoksniui įrengti dažniausiai naudojamas nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys fr. 0/4 – tai dažniausiai būna iš karjerų sausuoju būdu gauto smėlio mišiniai. Siekiant įvertinti šio mišinio kokybę, taip pat atlikti smėlio fr. 0/4, gauto iš vandens telkinio, tyrimai.

Nesurištieji sijoto ir plauto smėlių mišiniai tirti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje.

Siekiant tinkamai nustatyti AŠAS sluoksnio pralaidumo vandeniui savybes, pradžioje nustatytos šių nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių savybės ir įvertintas jų atitikimas techninių dokumentų reikalavimams.



3.1 pav. Bandomųjų objektų pavyzdžiai: a) plautas nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys fr. 0/4; b) sijotas nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys fr. 0/4

Eksperimentinį laboratorinį tyrimą sudarė šie etapai:

- mineralinių medžiagų mišinių savybių tyrimas;
- mineralinių medžiagų mišinių, kaip AŠAS sluoksnio, savybių nustatymas;
- pralaidumo vandeniui nustatymo tyrimas ir analizė.

Nesurištųjų mineralinių medžiagų mišiniams nustatytos šios savybės:

- granulimetrinės sudėties nustatymas (LST EN 933-1:2012);
- dalelių tankio nustatymas (LST EN 1097-6:2013, A4 pr.).

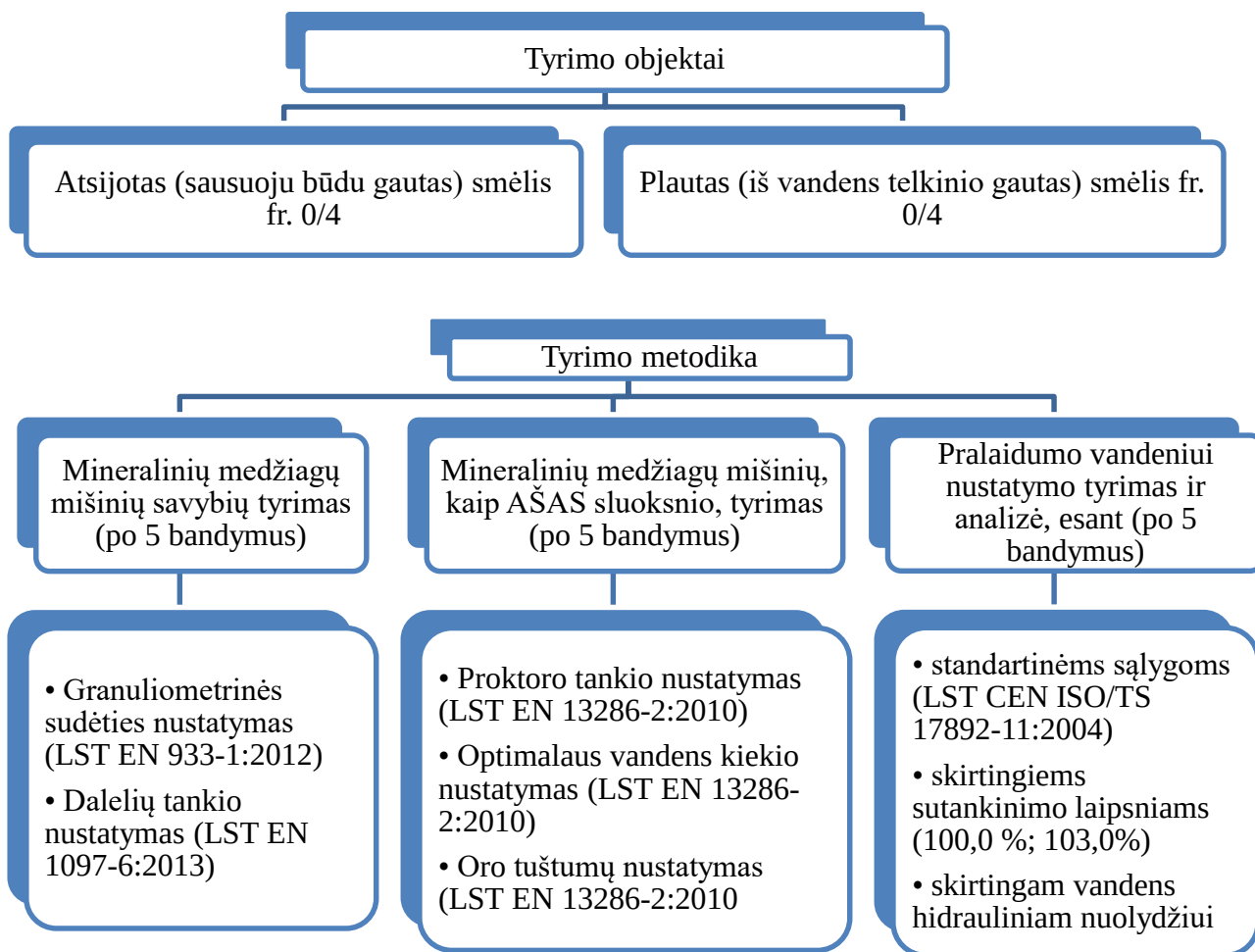
Nesurištųjų mineralinių medžiagų mišiniams, kaip AŠAS sluoksniui, nustatytos šios savybės:

- Proktoro tankio nustatymas (LST EN 13286-2:2010);
- optimalaus vandens kiekio nustatymas (LST EN 13286-2:2010);
- oro tuštumų nustatymas (LST EN 13286-2:2010).

Pralaidumo vandeniui tyrimo metu tyrimo objektams nustatytos pralaidumo vandeniui vertės esant:

- standartinėms sąlygoms (CEN ISO/TS 17892-11:2004, 4.3 p.);
- skirtingiems sutankinimo laipsniams (100,0 %; 103,0%);
- skirtingam vandens hidrauliniam nuolydžiui.

Tyrimo objektai ir metodika apibendrinta schema pavaizduota 3.2 paveiksle.



3.2 pav. Tyrimo objektų ir metodikos apibendrinančioji schema

Atliekant granuliometrinės sudėties nustatymo bandymą pagal standartą LST EN 933-1:2012 yra nustatoma mineralinių medžiagų dalelių sudėtis, kuri parodo tam tikro dydžio dalelių kiekio procentą pasiskirstymą pagal masę.

Sijojimas atliekamas su kontroliniais analitiniais sietų rinkiniais, kuriuos sudaro vieliniai (0,063 mm, 0,5 mm, 1,0 mm ir 2,0 mm akučių dydžių) ir perforuoti (4,0 mm, 5,6 mm, 8,0 mm, 11,2 mm ir didesnių akučių dydžių) sietai. Sijojant nustatyti mineralinių medžiagų dalelių dydžiai priskiriami identiška sieto akučių, pro kurias iškrito paskutinė dalelė, dydžiui. Bandymas atliekamas sijojant bandinį išdžiovinus iki pastovios masės, jei jame nėra didelis dulkių kiekis, t. y. dalelių mažesnių nei 0,063 mm. Jei mineralinių medžiagų bandinys turi daug dulkių, tuomet jis yra išplaunamas smulkiųjų dalelių atskirimui nuo didžiųjų frakcijų ir tuomet, išdžiovinus iki pastovios masės, sijojamas. Pakankamos masės bandinys prieš sijojimą pasveriamas ir pilamas per sietų rinkinį, kuriame skirtingo dydžio dalelės lieka ant skirtingų sietų. Ant analitinių sietų likusių dalelių dalinės masės užfiksuojamos ir išreiškiamos procentais

nuo pradinės išdžiovintos bandinio masės. Per 0,063 mm dydžio akelių sietą išbirusių dalelių kiekis f apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100, \quad 3.1$$

Čia f – per 0,063 mm dydžio akelių sietą išbirusių dalelių kiekis, %; M_1 – pradinė išdžiovinto bandinio masė, g; M_2 – dalinės liekanos ant 0,063 mm dydžio akelių sieto masė, g; P – išbirų ant sietų rinkinio dugno masė, g.

Visų išbirų procentinė masės dalis pavaizduojama grafiškai.

Mineralinių medžiagų dalelių tankio nustatymas atliekamas pagal standarto LST EN 1097-6:2013, A4 priedo nurodymus. Šis rodiklis naudojamas oro tuštymų ir soties laipsnio savybių nustatymui.

Dalelių tankis nustatomas iš medžiagos masės ir tūrio santykio. Tiriamoji masė nustatoma sveriant sausą ir drėgną bandinio dalį. Tūriai nustatomi iš vandens ir tiriamosios medžiagos tūrių santykių ir sauso ėminio išstumto vandens kiekio naudojant vielos krepšelio ar piknometro metodus. Tyrimui svarbi temperatūra, dėl vandens garavimo ir įmirkio: ji neturi būti aukšta, tačiau pastovi (reikalaujama 25°C). Porėtoms ir didelės frakcijos medžiagoms vandens sugertis turi didelę įtaką. Jei medžiaga turi daug skirtingų frakcijų, ji turi būti atskirta į atskiras dalis, kurioms bus taikomi skirtingi dalelių tankio nustatymo metodai: smulkiajai frakcijai – piknometro metodas, stambiajai – vielos krepšelio. Dėl turimų mažos frakcijos nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių, tyrimui buvo pasirinktas piknometro metodas.



3.3 pav. Granulimetrinės sudėties nustatymo pagal standartą LST EN 933-1:2012 sietų rinkinys

Bandymo procedūra: sausas bandomasis ėminys sudedamas į piknometrą, kurių masės yra fiksuojamos. Piknometras pripildomas distiliuotu vandeniu, iš kurio yra pašalintas oras. Iš bandymo indo su vandeniu ir bandiniu yra pašalinamas visas piknometre esantis oras: tai daroma mechaniškai, atsargiai sukamaisiais judesiais maišant bandinį, arba naudojant vakuuminę sistemą. Po oro pašalinimo bandymo inde, privaloma užtikrinti pastovią vandens temperatūrą bandinyje. Šiam tikslui įgyvendinti, piknometras yra laikomas vandens vonelėje apie valandą su uždėta piknometro karūna ir pripildytu vandens kiekiu iki nustatytos tūrinės žymos. Po vandens temperatūros užtikrinimo, piknometras yra nuvalomas ir pasveriamas. Mineralinių medžiagų didžiausias tankis ρ_s yra apskaičiuojamas 1 kg/m^3 tikslumu pagal formulę:

$$\rho_s = \frac{(m_2 - m_1)}{1000 \cdot V_p - \frac{(m_3 - m_2)}{\rho_w}}, \quad 3.2$$

čia m_1 – piknometro masė su antgaliu, g; m_2 – piknometro masė su antgaliu ir sausu bandomuoju ėminiu, g; m_3 – piknometro masė su antgaliu, bandomuoju ėminiu ir vandeniu, g; V_p – piknometro, užpildyto iki matavimo žymos, tūris, m^3 ; ρ_w – bandymo temperatūros vandens tankis, kg/m^3 .



3.4 pav. Dalelių tankio nustatymo piknometras ir vielos krepšelis pagal standartą LST EN 1097-6:2013

Proktoro tankis – laboratorinis tankio terminas, nustatomas iš sausos tankinamos medžiagos ir vandens kiekio esančio medžiagoje sąryšio gauto naudojant Proktoro tankinimą su nustatyta tankinimo energija (apytiksliai $0,6 \text{ MJ/m}^3$).

Proktoro tankio ir optimalaus drėgnio nustatymas atliekamas pagal standarto LST EN 13286-2:2010 priedo nurodymus. Bandymui dažniausiai daromi šeši skirtingi tyrimai, su tam tikromis variacijomis atsižvelgiant į tiriamos medžiagos dalelių dydį, kiekį ir naudojamų gilzių dydžius. Bandinio masė priklauso nuo didžiausios dalelės mineralinių medžiagų mišinyje; jei dalelės linkusios trupėti, reikalinga didesnė bandinio masė, kad kiekvienam bandymui atlikti būtų imamas nenaudotas bandinys. Sauso mineralinių medžiagų mišinio bandiniai sumaišomi su skirtingu vandens kiekiu ir tankinami. Bandymo cilindras su pagrindo plokšte ir uždedamuoju žiedu stabiliai pastatomas ant tvirto pagrindo. Atsižvelgiant į didžiausią leistiną grunto dalelę, bandymui naudojamas kiek galima mažesnis formos bandymo cilindras. Gruntas į cilindrą pilamas rankiniu semtuvu trimis vienodo storio sluoksniais. Sluoksnio paviršius tankinamas vienodai smūgiuojant ratu. Krūvio kritimo aukštis ir svoris priklauso nuo pasirinkto cilindro matmenų. Plūktuvas krenta į bandymo gilzėje esantį bandinį, kurios dydis priklauso nuo medžiagos didžiausios dalelės dydžio vertės. Vanduo patenka į mineralinių medžiagų mišinio poras ir jas užpildo – medžiaga tankinasi. Kai poros užsipildo, atsiranda vandens perteklius, kuris yra išstumiamas. Sutankinus visus sluoksnius bandinio perteklius nubraukiamas plienine liniuote lygiai su cilindro kraštais. Po kiekvieno etapo, mineralinės medžiagos, Proktoro gilzės, Proktoro gilzės su sutankintu bandiniu masės fiksuojamos.



3.5 pav. Proktoro gilzėje sutankintas bandinys ir Proktoro tankinimo plūktuvas

Žinant kiekvieno mišinio su skirtingais vandens kiekiais tankį, apskaičiuojamas sauso mineralinių medžiagų mišinio tankis. Šios vertės, kartu su procentiniu vandens kiekiu, grafiškai

pavaizduojamos mineralinės medžiagos sutankinimo grafike su kuo didesniu posūkio spinduliu viršūnėje. Aukščiausias grafiko taškas nurodo Proktoro tankį ir optimalų vandens kiekį. Gautas rezultatas parodo kokio dydžio nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinio sutankinimą reikia pasiekti rengiamame objekte.

Mineralinių medžiagų mišinio drėgnis w yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$w = \frac{m_w}{m_d}, \quad 3.3$$

čia m_w – vandens masė mišinyje, g; m_d – sauso mineralinių medžiagų mišinio masė, g.

Mineralinių medžiagų mišinio drėgnasis tankis ρ , žinant bandymo cilindro tūrį V , apskaičiuojamas 1 kg/m^3 tikslumu pagal formulę:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad 3.4$$

čia m – drėgno bandinio masė bandymo cilindre, g.

Mineralinių medžiagų mišinio sausasis tankis ρ_d , žinant bandymo cilindro tūrį V , apskaičiuojamas 1 kg/m^3 tikslumu pagal formulę:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} = \frac{\rho \cdot 100}{100 + w}, \quad 3.5$$

čia m_d – sauso bandinio masė bandymo cilindre, g.

Kai mineralinių medžiagų mišinio oro tuštymės būna užpildytos vandeniu (pvz., žemiau gruntinio vandens lygio), mišinys yra vadinamas prisotintuoju. Mineralinių medžiagų prisotinimo vandeniu laipsnį apibūdina soties laipsnis S_r . Jis parodo porų užpildymo vandeniu santykinį dydį, t. y. kokią porų tūrio dalį užima vanduo ir jis yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_r = \frac{V_w}{V_p}, \quad 3.6$$

čia V_w – vandeniu užpildytų oro tuštymų tūris, %; V_p – visų oro tuštymų tūris, %.

Soties laipsnį galima apskaičiuoti ir pagal kitas nustatytas charakteristikas:

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \rho_w} = \frac{W \cdot \rho_s (100 - n)}{n}, \quad 3.7$$

čia w – grunto drėgnis, %; ρ_s – mineralinių medžiagų mišinio dalelių tankis, kg/m^3 ; ρ_w – vandens tankis, kg/m^3 ; n – poringumas; e – poringumo koeficientas, kur:

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{n}{1 - n}, \quad 3.8$$

čia ρ_d – mineralinių medžiagų mišinio tankis, kg/m^3 .

Mineralinių medžiagų mišinio pralaidumo vandeniui nustatymas atliekamas pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus. Naudojama pastovaus hidraulinio aukščio metodas.

Laidumas vandeniui – mineralinių medžiagų geba praleisti vandenį, kurios intensyvumą nusako laidumo sritys, apibrėžiantys tam tikrais laidumo rodikliais, nustatytais specialiais bandymais. Pralaidumo vandeniui koeficientas pagal Darcy dėsnį laminariniam tekėjimui drėgnam mineralinių medžiagų mišiniui – praleisto pro grunto vandens debito ir hidraulinio gradiento santykis. Laidumas vandeniui nustatomas matuojant vandens tekėjimo greitį visiškai prisotintame bandinyje, esant tam tikram hidrauliniui nuolydžiui. Pralaidumo vandeniui nustatymo bandymo principas: pro sutankinto pagal Proktoro tankinimą bandinio, įdėto į gilzę, apačia paleidžiama pastovaus debito vandens srovė. Kai bandinys prisisotina vandeniu, iš gilzės viršaus pradeda tekėti vanduo, kurio ištekėjimo greitis yra nustatomas.



3.6 pav. Pralaidumo vandeniui bandymo sistema ir bandymui paruošta gilzė

Išdžiovintas vienalytis mineralinių medžiagų mišinys į bandymo cilindrą dedamas sluoksniais. Vengiant medžiagos susisluoksniavimo, ji dedama gana plonais sluoksniais. Jie turi būti tolygiai paskirstomi, vengiant stambesnių dalelių sankaupos. Sausas bandinys sutankinamas bandymo cilindre iki reikiamo tankio. Šiuo atveju buvo pasirinktos dvi sutankinimo rodiklio vertės, pralaidumo vandeniui priklausomybės nuo sutankinimo nustatymui. Bandymo metu dalelių dydis ir granulometrija neturi keistis, o įsotinimas ir brinkimas turi būti pasibaigęs prieš

atliekant matavimus. Bandymui atlikti naudojamas vanduo neturi tirpinti bandinio dalelių ar nusodinti laisvųjų dalelių. Dažniausiai naudojamas vandentiekio vanduo, iš kurio yra pašalintas oras. Bandinio aukštis ir skersmuo yra parenkami taip, kad bandinio nevienalytiškumas neturėtų įtakos bandymo rezultatams.

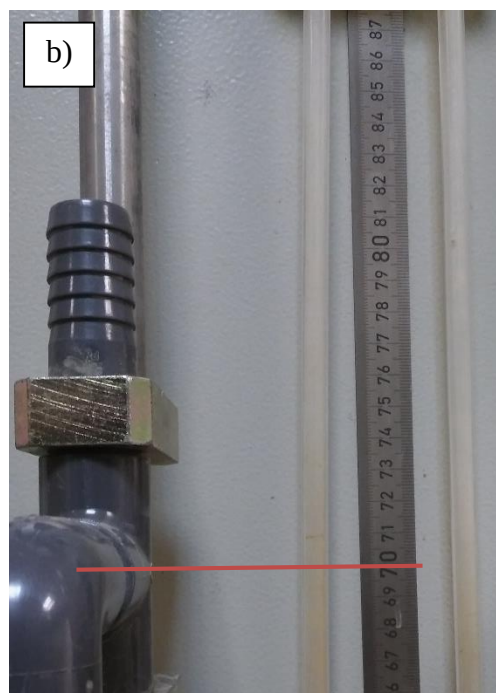
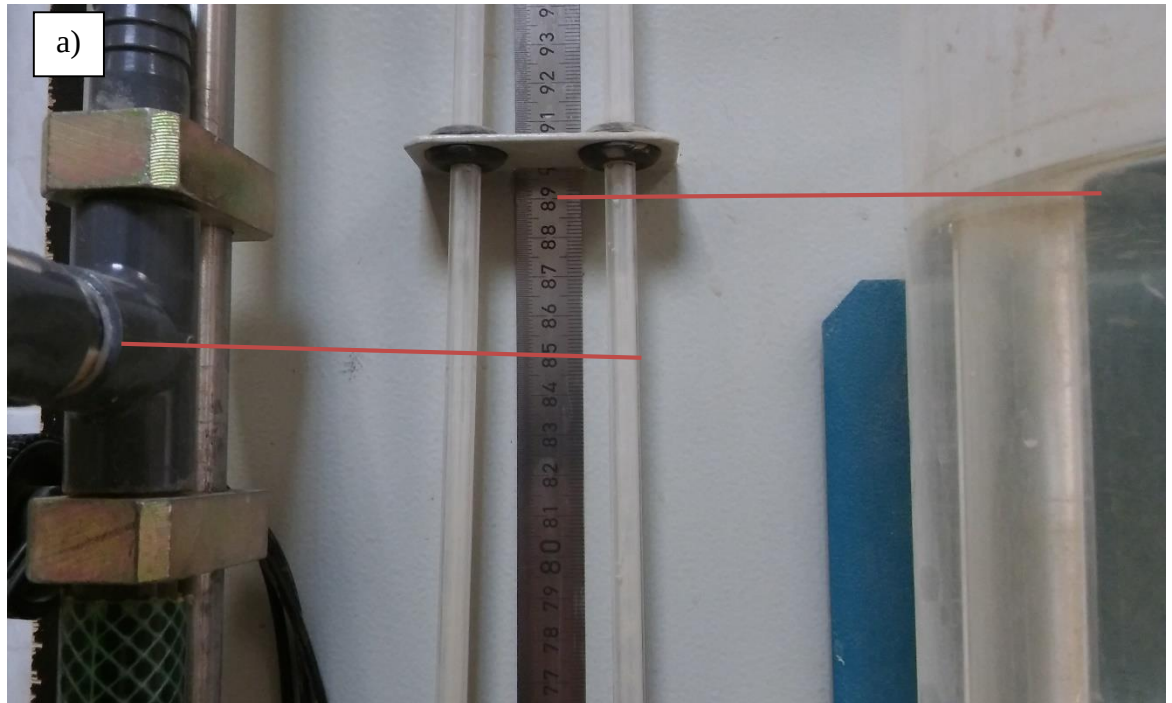
Permatoma lanksčia žarna tiekiant vandenį ir beorio vandens tiekimo įrenginio, pripildomas viršutinis perpylimo indas, iš jo – bandymo cilindras. Vandens slėgis reguliuojamas sklendėmis.

Paruoštas mineralinių medžiagų mišinio bandinys prisotinamas vandens taip, kad nesusidarytų oro tarpų bandymo įrangos sistemoje. Bandinys laikomas visiškai prisotintas, kai bandymo metu slėgis ir hidraulinis nuolydis yra pastovus, t. y. įtekančio vandens kiekis yra lygus ištekančio vandens kiekiui. Vandens, pratekančio per bandinį, kiekis matuojamas esant pastoviai srovei. Srovė laikoma pastovia, kai hidraulinis nuolydis yra pastovus, o įtekančio ir ištekančio vandens kiekis nekinta per laiko vienetą. Hidraulinis nuolydis laikomas pastoviu, jei skirtumas tarp vandens lygio matavimo vamzdelyje, kur į bandinį įteka vanduo, ir vandens lygio vamzdelyje, kur vanduo išteka, matavimo metu nesikeičia. Esant silpnai vandens srovei, reikia atkreipti dėmesį į galimas matavimo rezultatų paklaidas, kurios gali atsirasti dėl vandens garavimo. Jų galima išvengti padidinus hidraulinį nuolydį.

Prie bandymo cilindro su paruoštu bandiniu prijungus vandens žarną, pritvirtinus matavimo vamzdelius ir ištekėjimo žarną, kurios kitas galas prijungtas prie apatinio perpylimo indo, atsargiai paleidžiamas tekėti vanduo taip, kad vandens lygis bandinyje kiltų lėtai ir tuštytose nesusidarytų oro burbuliukų. Bandinyje neišvengiamai atsirandančių mažų oro burbuliukų pašalinimui, beoris vanduo turi tam tikrą laiką tekėti per bandinį.

Bandymo metu turi būti parenkamas toks hidraulinis nuolydis, kad atliekant bandymą tekėjimas atitiktų Darsi dėsnį. Norint patikrinti, ar bandymo sąlygos atitinka Darsi dėsnį, hidraulinį nuolydį reikia keisti. Šiuo atveju, parinkti 5 skirtingos, vienodo žingsnio, hidraulinio nuolydžio vertės, tiesinio tekėjimo nustatymui. Esant laidiems ir labai laidiems mineralinių medžiagų mišiniams, vandens paviršių vamzdeliuose lygių skirtumas matuojamas prie vieno iš bandymo cilindro kraštų. Norint išvengti matavimo nuostolių ir trukdžių bandinio galuose, 3–4 mm skersmens pjezometrai įrengiami maždaug 15 mm atstumu nuo viršutinio ir apatinio bandinio paviršių. Matavimo vamzdelių galai prie bandinio įrengiami su smulkiais sietais. Esant mažai laidžiam mišiniui, įtekančio ir ištekančio vandens paviršių lygių skirtumas gali būti prilygintas paviršių lygių skirtumui tarp bandinio galų.

Bandymas atliekamas, esant pastoviai aplinkos temperatūrai. Tokiomis sąlygomis turi būti išlaikoma bandinio ir vandens temperatūros pusiausvyra. Temperatūra išmatuojama ir užrašoma.



3.7 pav. Dvi hidraulinių aukščių skirtumų vertės: a) 4 cm; b) 19 cm

Pralaidumo vandeniui koeficientui K apskaičiuoti numatytais laiko tarpais matuojamas matavimo cilindre surinkto vandens kiekis ir fiksuojama vandens temperatūra. Vandens tekėjimo greitis Q apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad 3.9$$

čia ΔV – vandens, surinkto per pasirinktą laiko tarpą, tūris, m^3 ; Δt – atitinkamas laiko tarpas.

Pralaidumo vandeniui koeficientas k apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot h}, \quad 3.10$$

čia l – filtruojamosios atkarpos ilgis tarp prijungtų matavimo vamzdelių galų, 0,08 m; h – vandens aukščių matavimo vamzdeliuose skirtumas, m. Reikalaujamas pagal IT SBR 07 pralaidumo vandeniui koeficientas k_{10} apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k_{10} = \alpha \cdot k, \quad 3.11$$

čia α – temperatūros pataisos koeficientas, kuriuo pakeičiamos tiriamosios vandens temperatūros klampumo savybės į tas, kurios būtų prie 10 °C temperatūros. Koeficientas α apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\alpha = \frac{1,359}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,00022 \cdot T^2}, \quad 3.11$$

čia T – vandens temperatūra bandymo metu, °C.

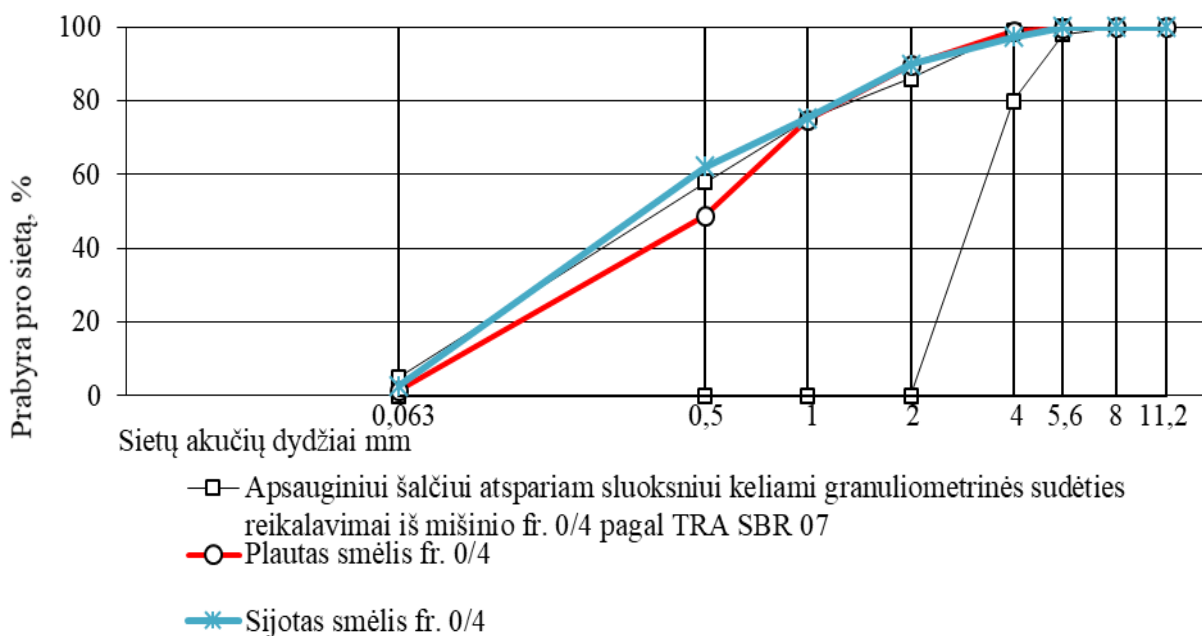
3.2. Tyrimo rezultatų analizė ir vertinimas

Atlikus pirmąjį eksperimentinio laboratorinio tyrimo etapą, nustatyta, kad tiriamųjų plauto ir sijoto mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinė sudėtis tenkina reikalavimus nurodytus techninių reikalavimų apraše TRA SBR 07 AŠAS sluoksniui įrengti. Nustatyta, jog plautas smėlis yra stambesnis: turi 2,0 % mažiau dulkių, t. y. dalelių smulkesnių nei 0,063 mm, ir 3,0 % mažiau prabyrų pro 0,5 mm sietą. Taip pat, plautas smėlis turi 2,0 % daugiau liekanų ant 4,0 mm sieto. Tirtų mineralinių medžiagų mišinių prabyrų pro atskirus sietus vertės ir tinkamumas TRA SBR 07 reikalavimams pateiktas 3.1 lentelėje. Tirtų smėlių granulimetrinės sudėtys tenkina TRA SBR 07 reikalavimus AŠAS sluoksniams fr. 0/4: abu mineralinių medžiagų mišiniai patenka į ribas, pagal kurias yra normuojami fr. 0/4 mišiniai. Tirtų mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinės sudėtys grafiškai pavaizduotos 3.7 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, jo sijotas smėlis yra smulkesnis – turi daugiau dulkių. Prabyros pro 0,5 mm ir 2,0 mm išeina iš ribų, apibrėžiančių AŠAS sluoksnio tinkamumą pagal TRA SBR 07, tačiau tai yra tik teoriniai granulimetrinės sudėties ribų taškai, todėl jie nėra vertinami. Iš to galima teigti, jog

plauti arba gauti kasant iš upių ar ežerų smėliai yra švaresnį už karjeruose sijotus mišinius, kur nepakankamai pašalinamos mineralinės dulkės, t. y. dalelės mažesnės nei 0,063 mm.

3.1 lentelė. Tiriamųjų smėlių išbyrų kiekis masės procentais ir atitikimas TRA SBR 07 reikalavimams AŠAS sluoksniui

Dalelių dydžiai, mm		<0,063	< 0,5	< 1	< 2	< 4	< 5,6	< 8	< 11,2
Kiekis, mišinio masės procentais, %	Reikalavimai pagal TRA SBR 07 fr. 0/4 mišiniams	0–5	-	0–75	-	80–99	98–100	100	100
	Plautas smėlis fr. 0/4	1	49	75	90	99	100	100	100
	Sijotas smėlis fr. 0/4	3	62	75	90	97	100	100	100



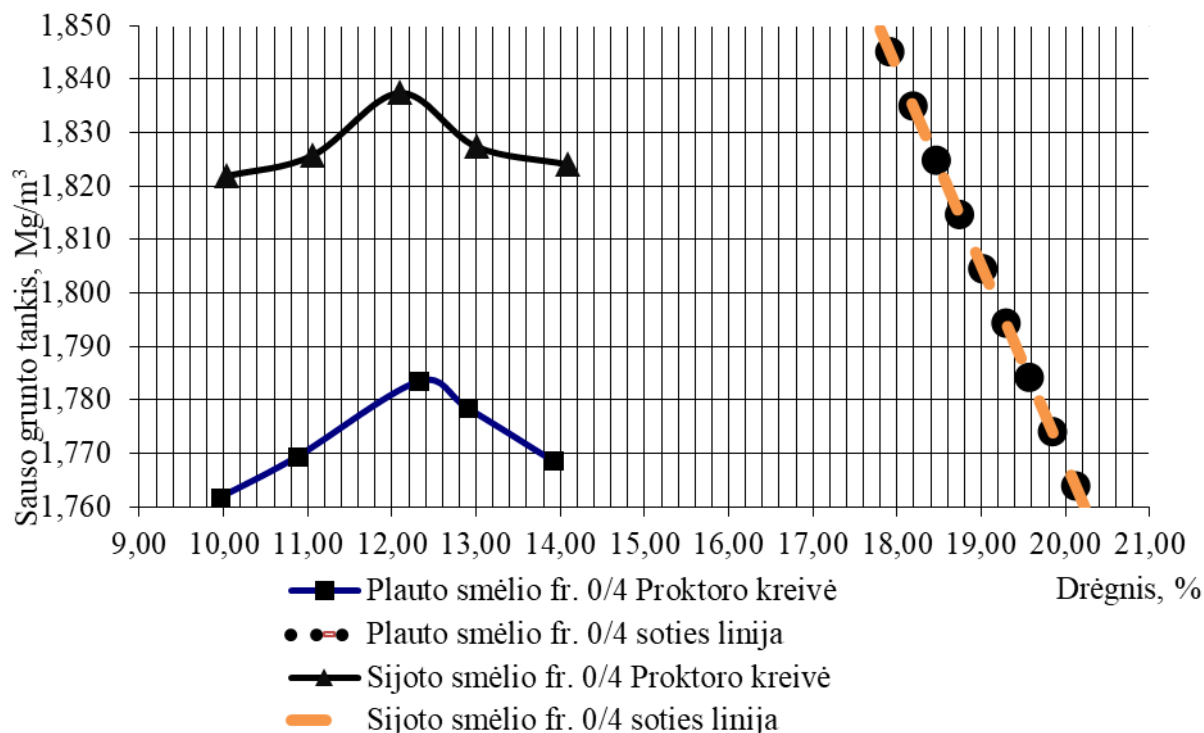
3.8 pav. Tiriamųjų smėlių granuliometrinės sudėtys

Tirtų plautų ir sijotų smėlių dalelių tankių vertės pateiktos 3.2 lentelėje. Iš gautų rezultatų matyti, jog smulkesni mineralinių medžiagų mišiniai turi didesnę dalelių tankį: smulkiosios frakcijos ir mineralinės dulkės prikimba prie didesnių mišinio frakcijų, taip padidindamos dalelių masę.

Atlikus antrąjį eksperimentinio laboratorinio tyrimo etapą, nustatytos tiriamųjų plauto ir sijoto smėlių Proktoro tankių, optimalaus drėgnio, prie kurio sutankinimas tampa didžiausiu, ir oro tuštymų kiekio vertės. Šie rodikliai pavaizduoti 3.2 lentelėje bei 3.8 paveiksle.

3.2 lentelė. Tiriamųjų smėlių dalelių ir Proktoro tankio, optimalaus drėgnio, oro tuštymių bei poringumo koeficiento vertės

Mineralinių medžiagų mišinys	Plautas smėlis fr. 0/4	Sijotas smėlis fr. 0/4
Dalelių tankis, Mg/m^3	2,683	2,749
Proktoro tankis, Mg/m^3	1,79	1,84
Optimalus drėgnis, %	12,4	12,1
Oro tuštymių kiekis, %	33,3	33,1
Poringumo koeficientas e	0,499	0,496

**3.9 pav.** Tiriamųjų smėlių Proktoro ir soties laipsnio kreivės

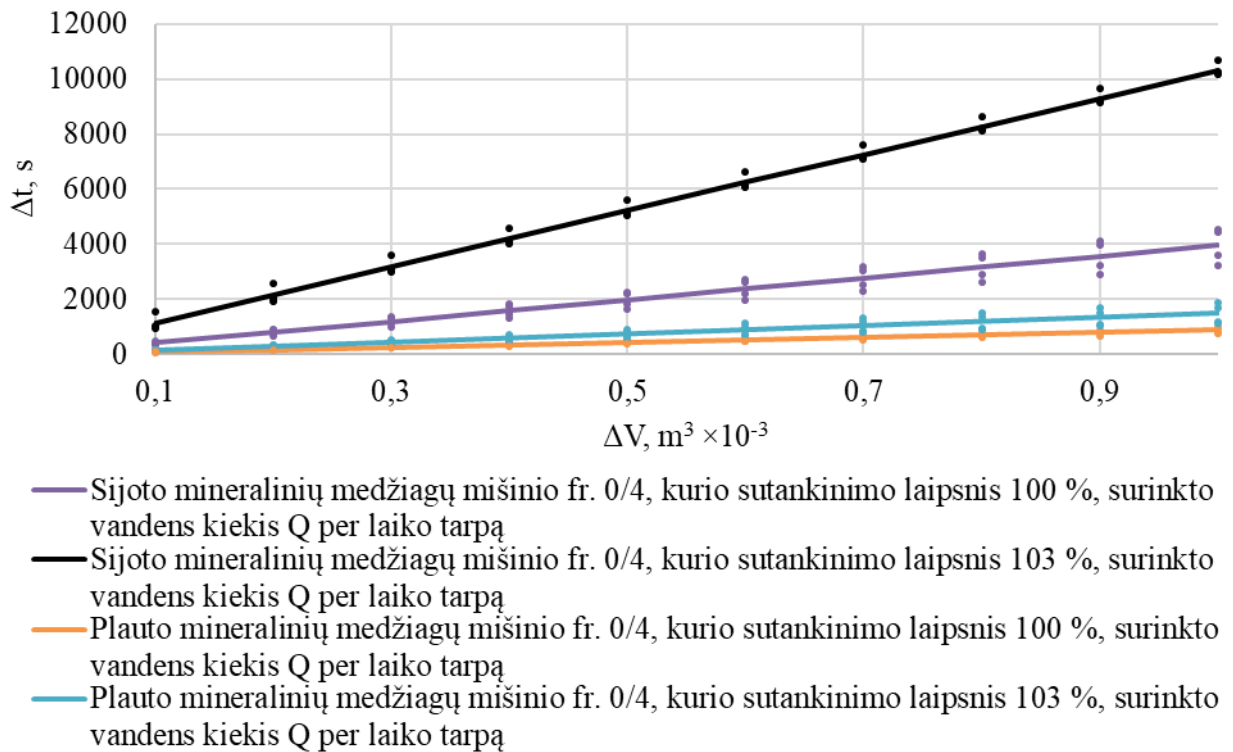
Iš gautų rezultatų matyti, jog plauti smėliai turi apie 50 kg/m^3 mažesnę Proktoro tankį, t. y., reikalaujama mažiau medžiagos tūrio vienetai, jog medžiaga būtų pilnai sutankinta. Iš didžiausio dalelių tankio ir granulometrinės sudėties rezultatų tai buvo galima nuspėti: plauto mišinio dalelės yra lengvesnės ir stambesnės už sijoto mišinio dalelės. Iš to seka, jog nėra pilnai neužpildomos oro tuštymės dulkėmis. Plauto smėlio optimalus drėgnis yra 0,3 % didesnis už sijoto smėlio. Nustatytas oro tuštymių kiekis yra beveik vienodas, todėl galima teigti, jog tuštymės šiuo atveju neturėjo didelės įtakos pralaidumo vandeniui koeficiento vertei. Tokias vertes lemia mineralinių dulkių kiekis, kurios užpildo laisvasias oro tuštymas ir neleidžia vandeniui jų užpildyti vandeniui.

Atlikus trečiąjį eksperimentinio laboratorinio tyrimo etapą, nustatytos tiriamųjų plauto ir sijoto smėlių pralaidumo vandeniui koeficiento vertės. Bandymas buvo atliktas prie

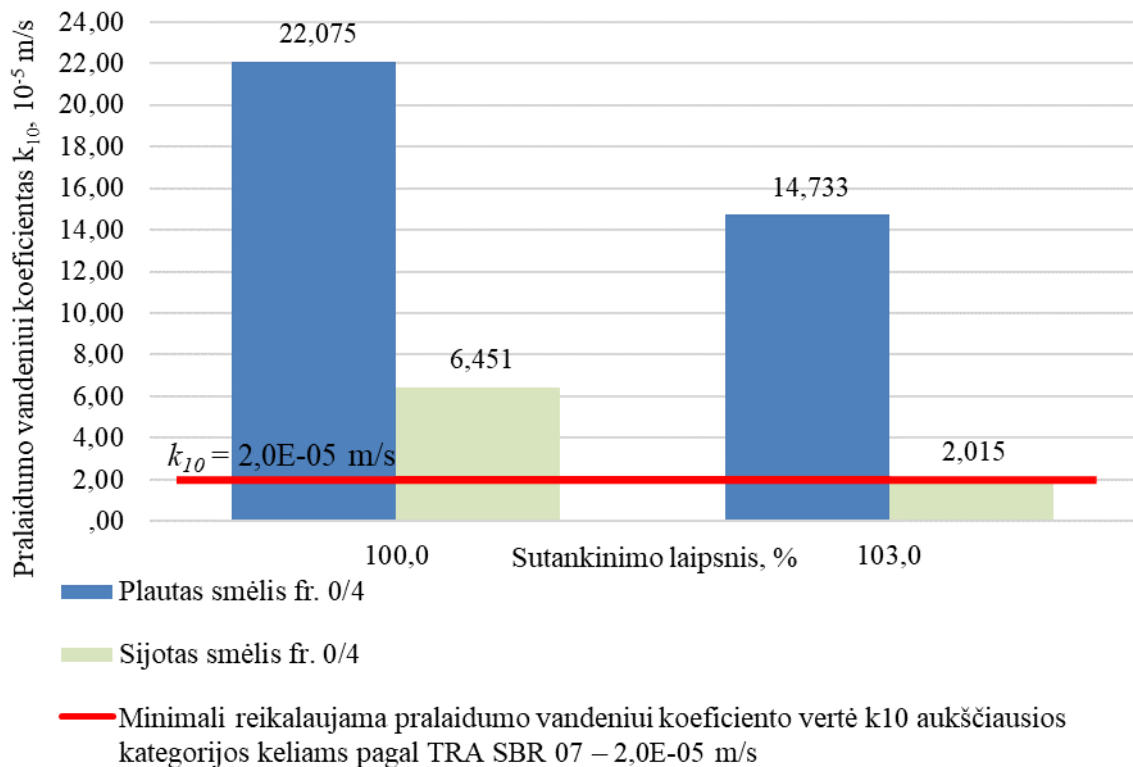
optimalaus, Proktoro tankio ir 103 % sutankinimo. Pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo bandymo metu nustatytos vertės grafiškai pavaizduotos 3.9 ir 3.10 paveiksluose.

Tiriamųjų smėlių pralaidumo vandeniui rezultatai tenkina įrengimo taisyklių IT SBR 07 reikalaujamą vertę AŠAS sluoksniui aukščiausios kategorijoms (AM ir I) keliams: pralaidumo vandeniui koeficientai k_{10} yra didesni už reikalaujamą $2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s vertę. Plauto smėlio vertės yra 3 kartus didesnės už sijoto mineralinių medžiagų mišinio vertę, kai sutankinimo laipsnis yra optimalus; kai sutankinimo laipsnis yra 103 %, plauto smėlio pralaidumo vandeniui koeficiento vertės yra 7 kartus didesnės už sijoto smėlio. Iš gautų rezultatų galima teigti, jog 2 % mineralinių dulkių padidėjimas mišinyje daro didelę įtaką vandens pralaidumui. Smulkiosios dalelės, paveiktos vandens, užpildo laisvas oro tuštymės. Tokiu būdu užkemšamas kelias vandeniui tekėti, o pralaidumo vandeniui koeficientas mažėja.

Atsižvelgiant į sutankinimą, pralaidumo vandens koeficiento vertė, labiau sutankinus sluoksnį, staigiai mažėja. Kai mineralinių medžiagų sluoksnis yra labiau sutankinamas, jis turi mažiau laisvų oro tuštymų vandens tekėjimui. Nustatyta, jog labiau sutankinus plauto smėlio sluoksnį, jo pralaidumo vandeniui vertė krenta iki 33 %. Tuo tarpu, sijoto smėlio sluoksnio pralaidumo vandeniui vertė krenta 60 %. Iš to galima teigti, jog smulkesni smėliai yra labiau jautresni sutankinimui, jei yra kreipiamas dėmesys pralaidumo vandeniui funkcionalumui. Tankinami smulkesni smėliai turi geresnes savybes didesniai susitankinimui dėl smulkių mineralinių medžiagų dalelių galimybės judėti į neužpildytas oro tuštymės. Nors labiau sutankinus tiriamuosius smėlius, jų pralaidumo vandeniui vertės krito, tačiau jos tenkina įrengimo taisyklių IT SBR 07 reikalaujamą vertę AŠAS sluoksniui aukščiausios kategorijoms keliams.



3.10 pav. Tiriamųjų smėlių, esant skirtingam sutankinimui, surinkto vandens kiekio Q priklausomybė nuo laiko t, per kurį pratekėjo vanduo atliekant pralaidumo vandeniui bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus



3.11 pav. Skirtingo tankio tiriamųjų smėlių pralaidumo vandeniui koeficientų vertės

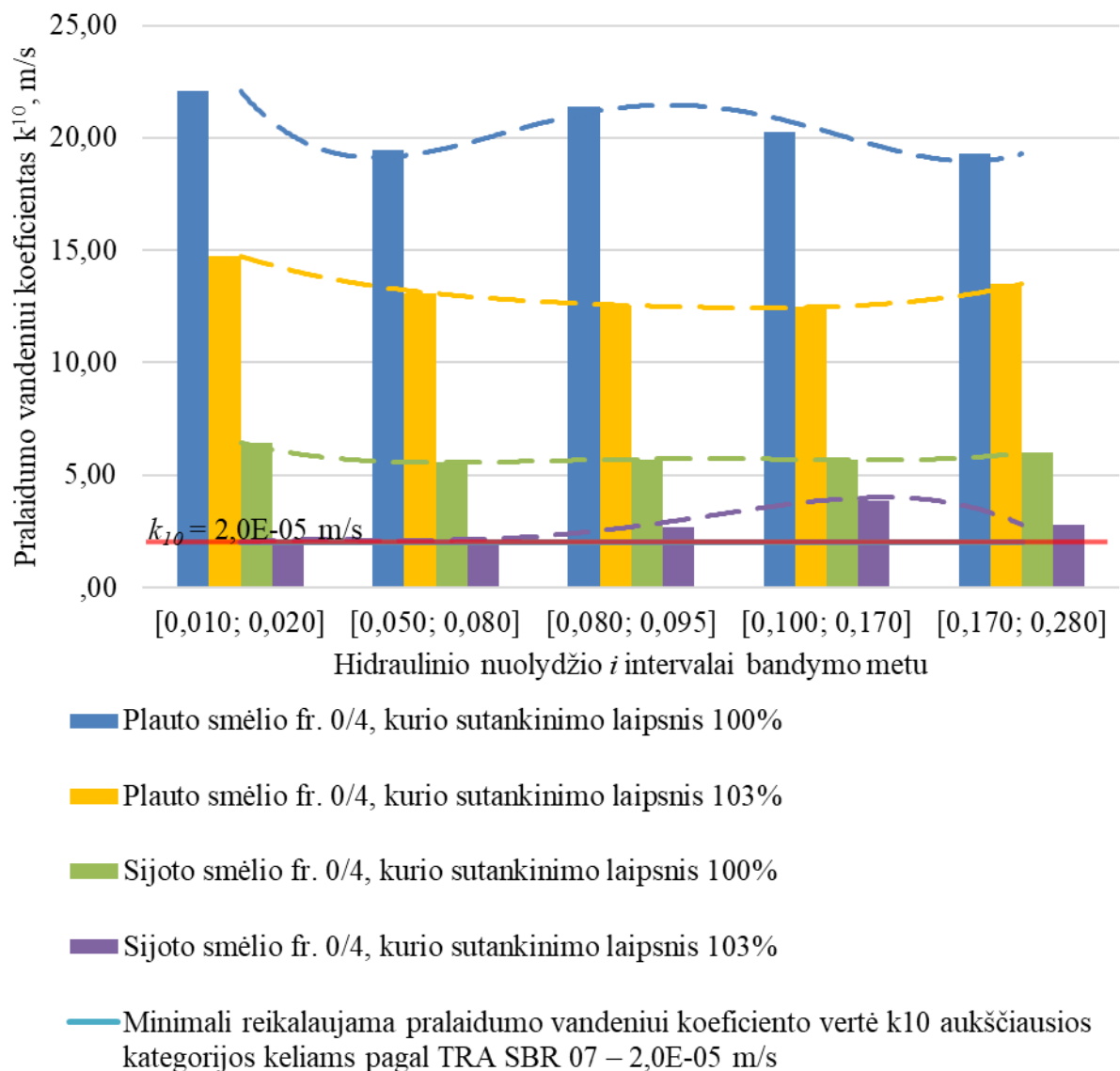
Atliekant pralaidumo vandeniui verčių nustatymą, buvo laikytasi standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymų. Šiuo atveju buvo pasirinktas mažas hidraulinis nuolydis. Nustatant pralaidumo vandeniui verčių priklausomybę nuo pasirinktų hidraulinio nuolydžio verčių buvo pasirinktos 5 skirtingos hidraulinio nuolydžio vertės. Pralaidumo vandeniui koeficiento priklausomybė nuo skirtingų hidraulinio nuolydžių verčių, atliekant bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus, grafiškai pavaizduota 3.11 paveiksle. Iš gautų rezultatų matyti, jog esant identiškoms bandymo sąlygoms bei smėlių sutankinimui, tačiau skirtingiems hidrauliniams nuolydžiams, gaunami skirtingi rezultatai: tos pačio bandinio esant vienodoms sąlygoms rezultatų skirtumas priklausomai nuo hidraulinio nuolydžio gali siekti iki 14,0 %.

Iš 3.11 paveikslo, galima pamatyti, jog pralaidumo vandeniui vertės neturi koreliacijos su hidrauliniu nuolydžiu. Atsižvelgiant į skirtingus mišinius ir skirtingą jų sutankinimą, gaunamos skirtingos priklausomybės: plauto smėlio priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio, kuomet yra optimalus sutankinimo laipsnis, didėjant hidrauliniam nuolydžiui, pralaidumo vandeniui koeficiento vertė mažėja; tuomet esant vidutiniam hidrauliniam nuolydžiui, vertė padidėja, ir esant dideliame hidrauliniame nuolydžiui, vertė sumažėja. Esant 103% sutankinimui, didėjant hidrauliniam nuolydžiui, pralaidumo vandeniui vertė sumažėja, tačiau esant dideliame hidrauliniame nuolydžiui ($\geq 0,10$), ji vėl padidėja. Sijoto smėlio priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio, kuomet yra optimalus sutankinimo laipsnis, yra panaši kaip ir plauto smėlio, tačiau reikšmių skirtumai yra daug mažesni; vertės suapvalinus iki reikalaujamo tikslumo, rezultatai yra beveik identiški. Esant 103 % sutankinimui, sijoto smėlio pralaidumo vandeniui vertės didėja kylant hidrauliniame nuolydžiui; tik esant itin dideliame hidrauliniame nuolydžiui ($\geq 0,17$), šios vertės vėl mažėja.

Atsižvelgiant į pralaidumo vandeniui rezultatų kitimą (žr. į 3.3 lentelę), didžiausias kitimas esant skirtingams hidrauliniams nuolydžiams, pastebėtas, esant labiau sutankintiems mineralinių medžiagų mišiniams: 103 % sutankinto sijoto smėlio pralaidumo vandeniui koeficiento vertės padidėjo dvigubai, kai plauto smėlio, sutankinto 100 %, vertės sumažėjo iki 15 %. Nors rezultatų skirtumai nėra dideli, tačiau negalima vertinti skirtingų hidraulinio nuolydžių verčių, kaip tinkamų pralaidumo vandeniui koeficiento vertinimui.

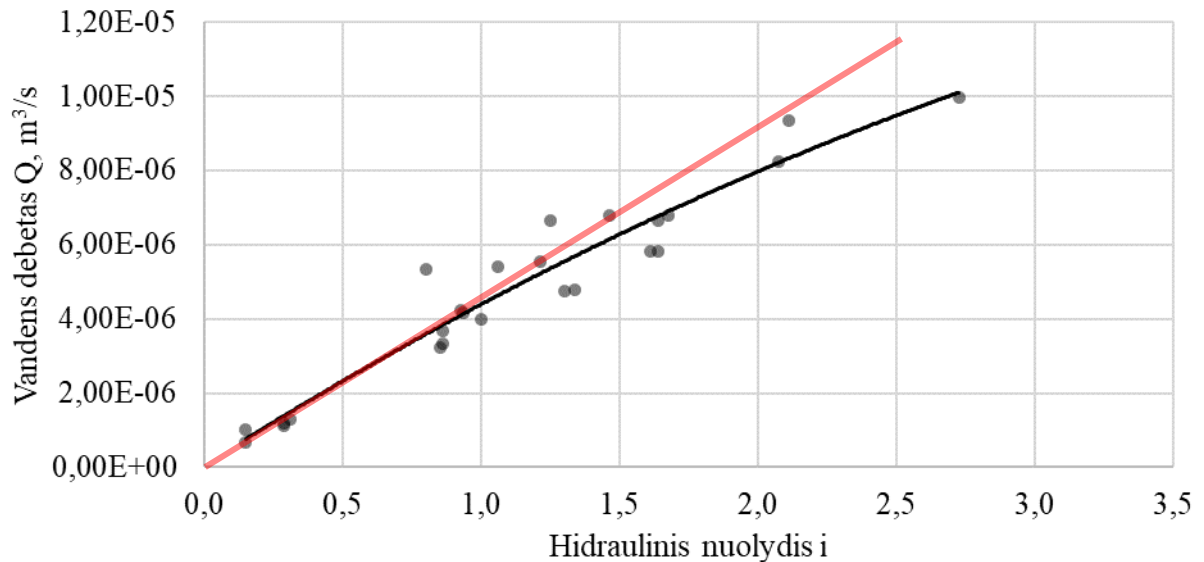
3.3 lentelė. Skirtingų hidraulinių nuolydžių verčių pralaidumo vandeniui koeficiento nuokrypiai nuo tikrosios vertės, atliekant bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus

Mineralinių medžiagų mišinys	Sutankinimo laipsnis, %	Pralaidumo vandeniui koeficiento nuokrypiai nuo tikrosios vertės, kai hidraulinio nuolydžio vertė yra intervaluose, %			
		[0,050; 0,080]	[0,080; 0,095]	[0,100; 0,170]	[0,170; 0,280]
Plautas smėlis fr. 0/4	100	11,93	3,14	8,12	12,54
	103	11,27	14,86	15,25	8,37
Sijotas smėlis fr. 0/4	100	13,81	11,53	11,88	7,22
	103	-4,82	-33,86	-92,83	-39,22

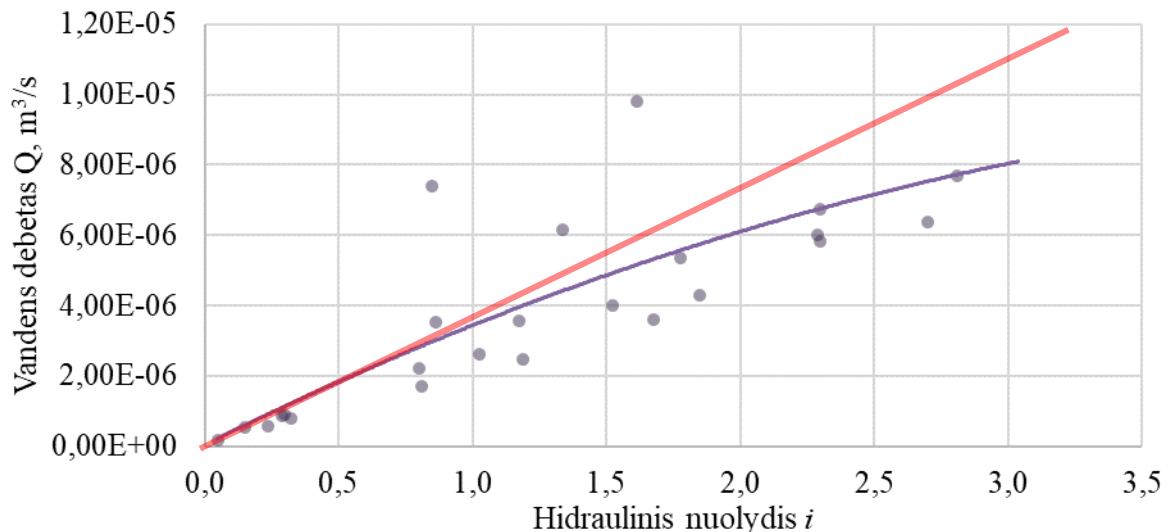
**3.12 pav.** Pralaidumo vandeniui koeficiento priklausomybė nuo skirtingų hidraulinių nuolydžių verčių, atliekant bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus

Atsižvelgiant į gautus rezultatus, nustatyta, jog yra itin svarbu parinkti tinkamas hidraulinio nuolydžio vertes pralaidumo vandeniui bandymui. Svarbu, jog būtų įgyvendinta Darsi dėsnio sąlyga: pratekėjusio vandens debeto vertė turi būti tiesiškai priklausoma hidraulinio

nuolydžio vertės. Ši sąlyga buvo patikrinta, o gauti rezultatai pateikiami 3.12-3.15 paveiksluose. Gauti rezultatai parodo, jog esant dideliame hidrauliniame nuolydžiui, priklausomybė tampa ne tiesinė, o logaritminė – Darsi dėsnis nebegalioja. Pagal plauto smėlio rezultatus, galima teigti, jog Darsi dėsnis galioja iki 1,0 hidraulinio nuolydžio vertės. Ta pati priklausomybė galioja esant skirtingiems sutankinimo laipsniams.

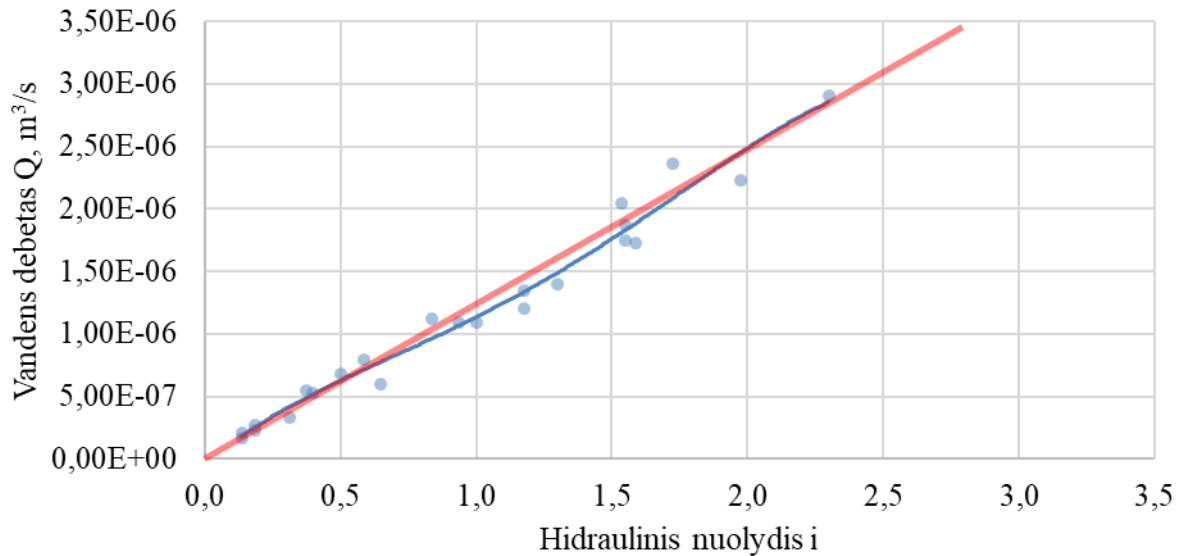


3.13 pav. Pro plautos, optimalaus sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debeto priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio

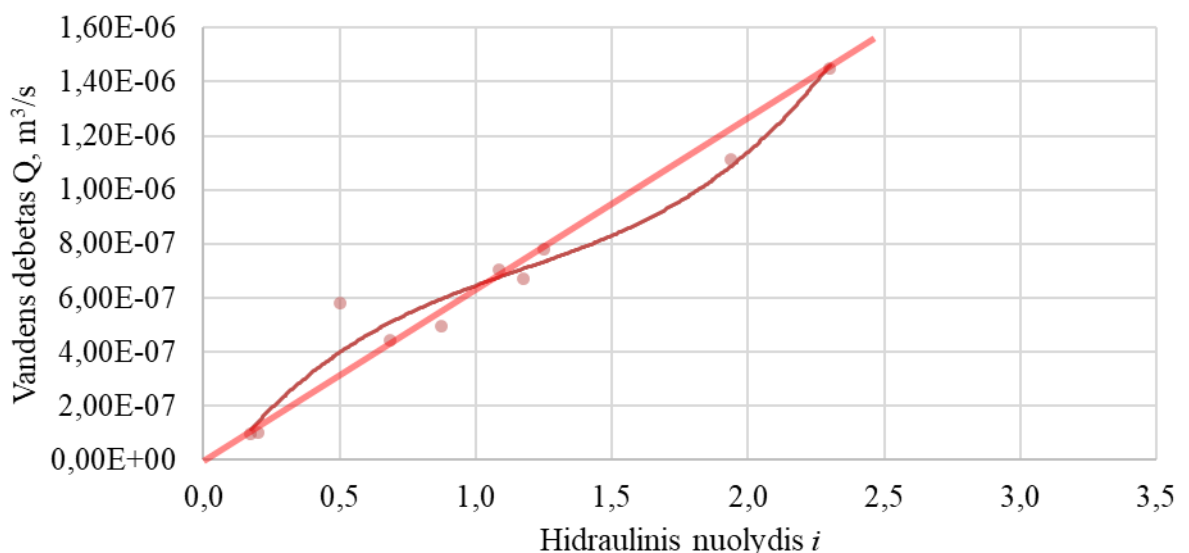


3.14 pav. Pro plautos, 103 % sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debeto priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio

Pagal sijoto smėlio rezultatus, galima teigti, jog Darsi dėsnis galioja beveik viso bandymo metu. Kadangi medžiaga nėra stambiagrūdė, nesusidaro sukūriniai verpetai, kurie trukdo vandens ištekėjimo greičiui.

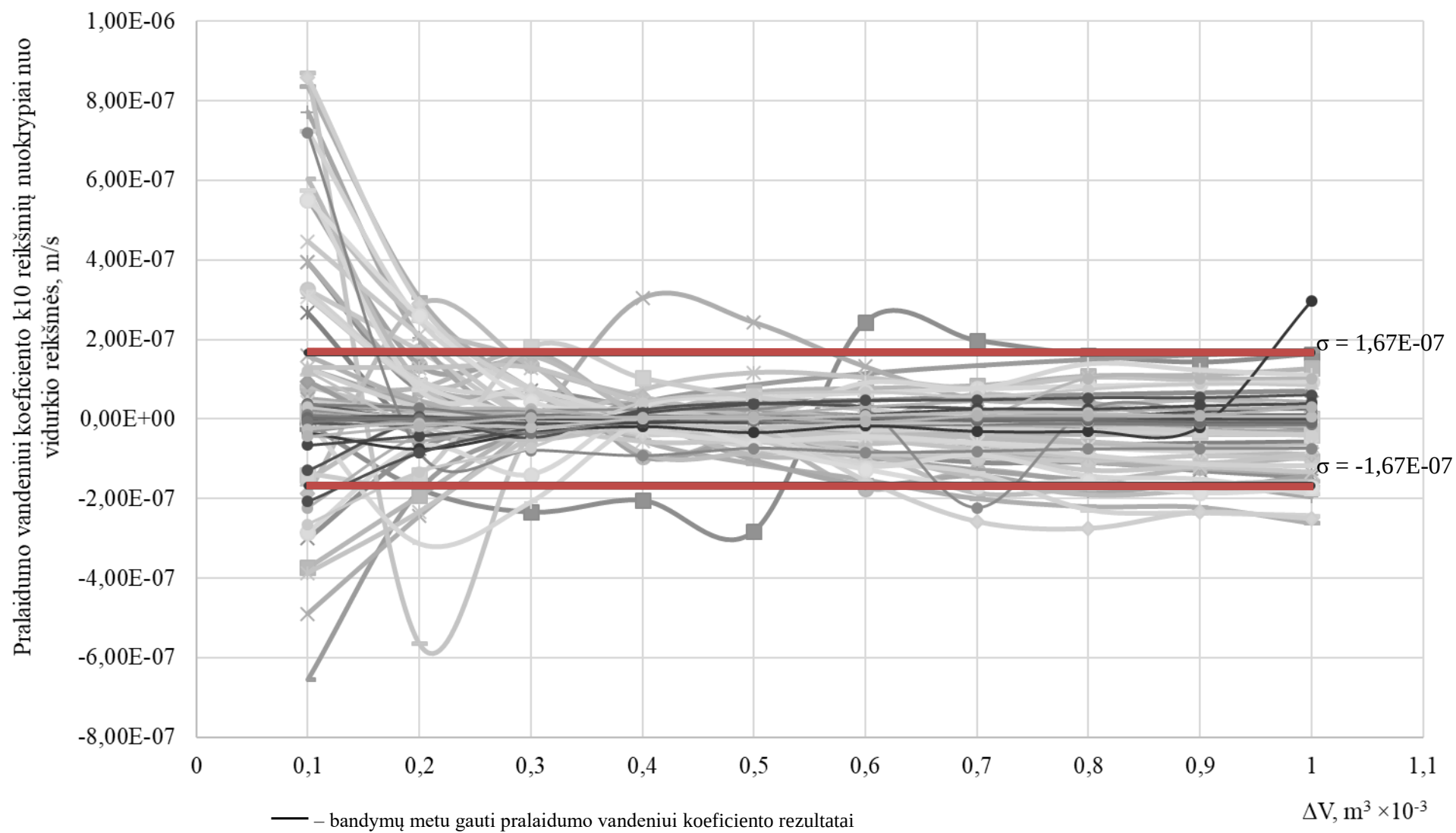


3.15 pav. Pro sijotos, optimalaus sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debito priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio



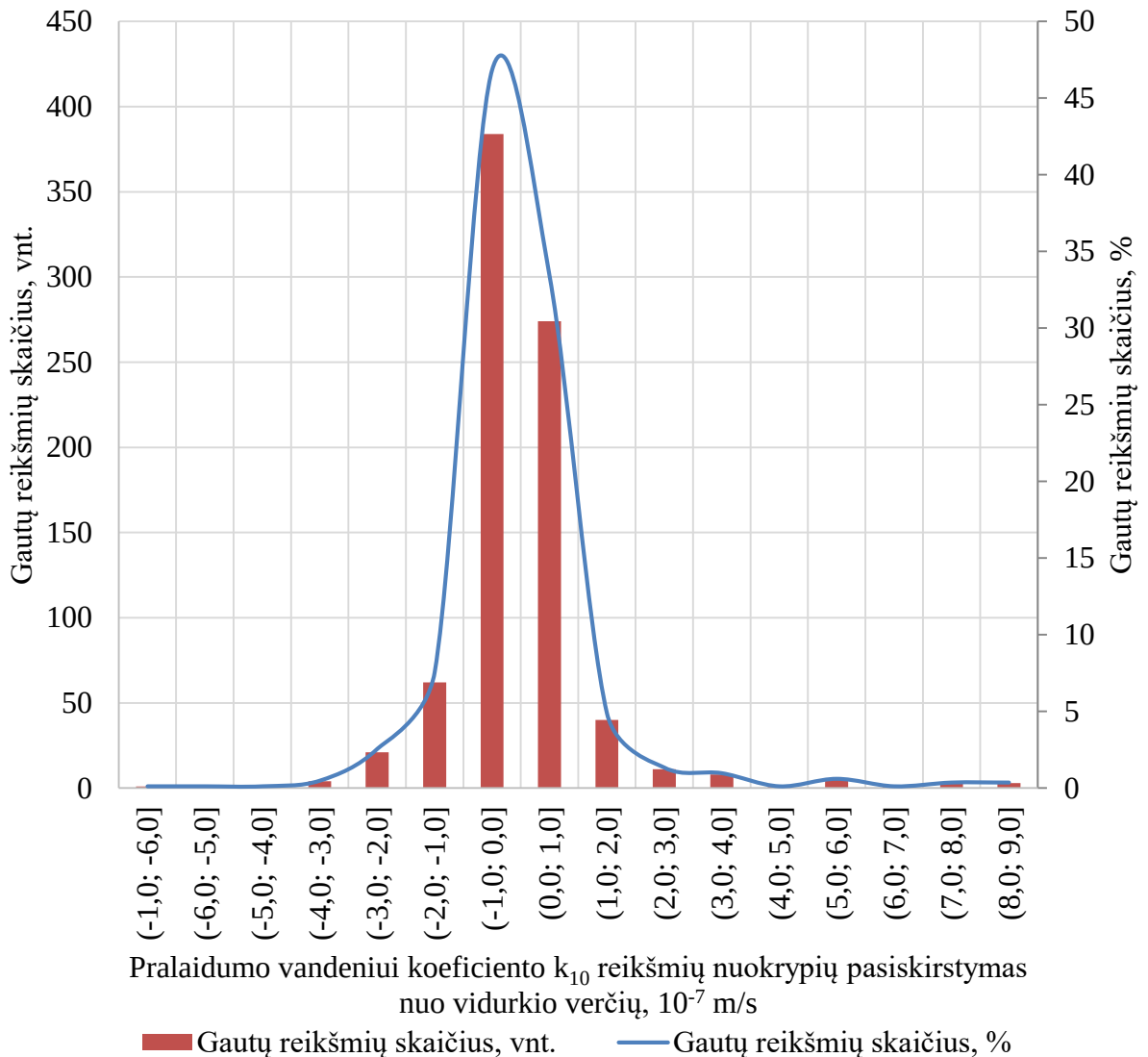
3.16 pav. Pro sijotos, 103 % sutankinimo, mineralinės medžiagos mišinio pratekėjusio vandens debito priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio

Atliekant bandymus, buvo pamatyta, jog matuojant prabėgusio vandens kiekį pro bandinį pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus, gautos skirtingos reikšmės skirtinguose bandymo etapuose. Vandens pralaidumo koeficientų reikšmių išsidėstymas nuo vidurkio verčių, atsižvelgiant į etapą, kuomet buvo fiksuojami duomenys minėto koeficiento skaičiavimui, grafiškai pavaizduoti 3.16 paveiksle.



3.17 pav. Pralaidumo vandeniui koeficiento k_{10} reikšmių nuokrypių nuo vidurkio reikšmių priklausomybė nuo skirtingų bandymo etapų (pratekėjusio per bandinį tūrio)

Iš gautų rezultatų matyti, jog bandymo pradžioje, pirmojo pratekėto vandens laiko matavimo fiksavime atsiranda didžiausias reikšmių nukrypimas nuo vidurkio reikšmių. Apskaičiavus visų nuokrypių nuo vidurkio reikšmių standartinį kvadratinį nuokrypį σ , kuomet rezultatų pasiklovimo intervalas yra 95 %, gaunama reikšmė yra $1,67 \cdot 10^{-7}$ m/s (žr. į 3.17 pav.). Beveik visos į dviejų standartinių nuokrypių intervalą 2σ nepatenkančios reikšmės yra išmatuotos per pirmąjį bandymo etapą: kai matuojamas pirmasis 100 ml vandens ištekejimas. Tai gali atsitikti dėl operatoriaus klaidos ar bandymo įrangos jautrumo.



3.18 pav. Pralaidumo vandeniui koeficiento k_{10} reikšmių nuokrypių nuo vidurkio reikšmių pasiskirstymas

3.3. Trečiojo skyriaus išvados

1. Eksperimentiniam laboratoriniam tyrimui pasirinkti plautas ir sijotas smėlis fr. 0/4, pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymui pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004, 4.3 punkto nurodymus priklausomybės nuo medžiagų rūšies nustatymui. Taip parinkti skirtingi

sutankinimo laipsniai, pralaidumo vandeniui koeficiento priklausomybės nuo skirtingų mineralinių medžiagų sluoksnio savybių nustatymui. Bandymo metodo tinkamumo patikrinimui parinkti skirtingi hidrauliniai nuolydžiai. Eksperimentui taikyti šių medžiagų skirtingi sutankinimo laipsniai, atitinkamai 100 % ir 103 %, bei skirtingi hidrauliniai nuolydžiai (intervalai [0,010; 0,020], [0,050; 0,080], [0,080; 0,095], [0,100; 0,170], [0,170; 0,280])

2. Atlikus pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo bandymus, nustatyta, jog tiriamieji mineralinių medžiagų mišiniai tenkina įrengimo taisyklių IT SBR 07 reikalavimus, net esant skirtingiems sutankinimo laipsniams ir skirtingiems hidrauliniams nuolydžiams.

3. Plauto smėlio, turinčio dalelių mažesnių už 0,063 mm 2,0 % mažiau už sijoto smėlio, pralaidumo vandeniui koeficiento vertės yra 3 kartus didesnės už sijoto smėlio, esant 100 % sutankinimui; esant 103 % sutankinimo laipsniui, plauto mineralinių medžiagų mišinio pralaidumo vandeniui koeficiento vertės yra 7 kartus didesnės už sijoto mišinio.

4. Medžiagos smulkiųjų dalelių (mažesnių už 0,063 mm) kiekis yra ypač reikšmingas veiksnyms pralaidumo vandeniui koeficiento vertei.

5. Atliekant bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus svarbu, Darsi dėsnis galioja iki 1,0 hidraulinio nuolydžio vertės, nepriklausomai nuo sutankinimo laipsnio. Viršijus šią vertę, pralaidumo vandeniui skirtumai, priklausomai nuo mineralinių medžiagų mišinio, kinta nuo 3 % iki 93 %.

6. Atliekant bandymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 4.3 punkto nurodymus, nustatytas didelis rezultatų netikslumas ir netolygumas pirmuose pratekėto vandens laiko matavimo fiksavime, kuris atsiranda dėl operatoriaus klaidų ar sistemos jautrumo.

4. REKOMENDACIJOS TRANSPORTO EISMO ZONŲ DANGOS KONSTRUKCIJŲ PRALAIIDUMO VANDENIUI FUNKCIONALUMUI PADIDINTI

4.1. Rekomendacijos dangos konstrukcijai

Skirtingos reikšmės, ypač aukštos kategorijos, keliuose, kelio dangos konstrukcijos sluoksniams yra keliami didesni reikalavimai laikomajai gebai, kadangi didesnio intensyvumo kelias gauna didesnes apkrovas. Dėl šios priežasties sluoksniai gali būti labiau sutankinami. AŠAS sluoksnio sutankinimo laipsnis yra savybė, kuri daro didelę įtaką vandens pralaidumui. Iš eksperimentinio tyrimo nustatyta, jog labiau sutankinus sluoksnius, mineralinių medžiagų, turinčių mažą smulkiųjų dalelių (mažesnių nei 0,063 mm) kiekį, pralaidumo vertė esamus tenkina reikalavimus. Didėjant smulkiųjų dalelių kiekiui pralaidumo vandeniui vertė mažėja.

Keliant reikalavimus kelio dangos konstrukcijos AŠAS sluoksnio vandens pralaidumo koeficientui, rekomenduojama įvertinti galimybę mažinti pralaidumo vandeniui kontrolę objekte, kai pasiekiamas projektinis sutankinimo laipsnis, kuomet yra mažas smulkiųjų mineralinių medžiagų kiekis AŠAS sluoksnyje. Tam atsiranda būtinybė pratęsti mineralinių medžiagų tyrimus su didesnėmis mineralinių medžiagų frakcijomis.

4.2. Rekomendacijos apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio medžiagoms

Iš eksperimentinio laboratorinio tyrimo nustatyta, jog didėjant mineralinių dulkių kiekiui, nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinio pralaidumo vandeniui koeficiento vertė mažėja. Itin svarbu parinkti tinkamą medžiagą AŠAS sluoksniui. Nuo to priklausys ne tik vandens pralaidumo funkcionalumas, bet ir kelio dangos konstrukcijos laikomosios gebos funkcionalumas.

Esant dideliame mineralinių medžiagų mišinio skeletingumui, t. y. esant netolygiai granuliometrinei sudėčiai ir turint daug stambiosios frakcijos mineralinių medžiagų, tekant vandeniui yra tikimybė atsirasti vandens verpetams.

Rekomenduojama AŠAS naudoti nesurištųjų mažos frakcijos mineralinių medžiagų mišinius, turinčius kuo mažiau smulkiųjų, mažesnių nei 0,063 mm, dalelių. Tačiau ateities tyrimuose būtina įvertinti smulkiausių dalelių (mažesnių nei 0,063 mm) įtaką vandens

pralaidumu didesnės didžiausios dalelės mineralinių medžiagų mišiniuose, pvz.: fr. 0/16 fr. 0/22, fr. 0/32.

4.3. Rekomendacijos bandymo procedūroms

Eksperimentinio laboratorinio tyrimo metu vandens pralaidumo koeficiento bandymas atliktas pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 nurodymus. Šiame standarte nėra tiksliai aprašomos bandymo sąlygos, kurios turi didelę įtaką galutiniam bandymo rezultatui.

Atlikus bandymus, nustatyta, jog Darsi dėsnis galioja tik tuomet, jei hidraulinio nuolydžio vertė neviršija 1,0. Jei yra naudojama bandymo gilzė, kurios atstumas tarp matavimo vamzdelių yra 8 cm, tuomet bandymas gali būti atliekamas, jei aukščių skirtumas tarp viršutinio ir apatinio vandens paviršių neviršija 8 cm.

Tinkamam rezultatų gavimui, siūloma bandymą atlikti prie projektuojamo/įrengto sluoksnio sutankinimo.

Bandymo metu pastebėta, jog pirmojo surinkto vandens kiekio laiko matavimas turi itin didelį nuokrypį nuo likusių bandymo verčių, kas daro įtaką galutiniam bandymo rezultatui. Didesniam bandymo tikslumui, kadangi yra matuojamos daug pralaidumo vandeniui verčių,

Atliekant pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymą pagal standarto CEN ISO/TS 17892-11:2004 nurodymus, tinkamam rezultatų gavimui rekomenduojama neviršyti hidraulinio nuolydžio vertės 1,0. Taip pat rekomenduojama atmesti laiko matavimo vertę pirmajam surinkto vandens tūrio kiekiui. Bandymo tikslumui didinti, siūloma vertinti ne paskutinį tūrio kiekį ir pilną bandymo trukmę, o priimti daugiau nei 5-ių matavimų vidurkį.

4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados

1) Rekomenduojama įvertinti galimybę mažinti pralaidumo vandeniui kontrolę objekte, kai pasiekiamas projektinis sutankinimo laipsnis, kuomet yra mažas smulkiųjų mineralinių medžiagų kiekis AŠAS sluoksnyje.

2) AŠAS sluoksnio medžiagoms siūloma naudoti kuo mažesnio dulkingumo mažos frakcijos nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinį.

3) Rekomenduojama atlikti tyrimus, kuriuose būtų įvertinta smulkesnių dalelių (mažesnių nei 0,063 mm) įtaką vandens pralaidumui mineralinių medžiagų mišiniuose, kurių fr. 0/16 fr. 0/22, fr. 0/32 ir t. t.

4) Atliekant pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymą, rekomenduojama neviršyti hidraulinio nuolydžio vertės 1,0 bei atmesti laiko matavimo vertę pirmajam surinkto vandens tūrio kiekiui, taip didinant rezultatų tikslumą.

5) Tinkamam rezultatų gavimui, siūloma bandymą atlikti prie projektuojamo sluoksnio sutankinimo.

IŠVADOS

1) Nestandžios dangos konstrukcijos pagrindiniai funkcionalumo parametrai (įtempimai ir deformacijos) yra itin priklausomi nuo ŠNS ir AŠAS, žemės sankasos gruntų savybių. Tuo tikslu turi būti užtikrintas gruntinio vandens pažeminimas, pakankamas žemės sankasos paviršiaus skersinis nuolydis ir dangos konstrukcijos nesurištųjų pagrindo sluoksnių pralaidumas vandeniui, kuris sąlygojamas daugelio veiksnių.

2) Pralaidumas vandeniui yra priklausomas nuo veiksnių, tokių kaip:

- mineralinių medžiagų mišinio ir žemės sankasos gruntų granulimetrinės sudėties;
- mineralinių medžiagų struktūros ir tekstūros;
- sluoksnių sutankinimo laipsnio;
- pratekančio vandens temperatūros.

3) Mažo užterštumo smėlio, turinčio 1,0 % dalelių mažesnių už 0,063 mm, pralaidumo vandeniui koeficiento vertės yra 3 kartus didesnės už smėlio, turinčio 3,0 % dalelių mažesnių už 0,063 mm esant 100 % sutankinimui; esant 103 % sutankinimo laipsniui; mažo užterštumo mineralinių medžiagų mišinio pralaidumo vandeniui koeficiento vertės yra 7 kartus didesnės už didesnio užterštumo mišinio.

4) Rekomenduojama įvertinti galimybę mažinti pralaidumo vandeniui kontrolę objekte, kai pasiekiamas projektinis sutankinimo laipsnis, kuomet yra mažas smulkiųjų mineralinių medžiagų kiekis AŠAS sluoksnyje, t. y. išbyrų pro 0,063 mm sietą procentas $\leq 3\%$.

5) Atliekant standartinį pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo bandymą, standarte CEN ISO/TS 17892-11:2004 keli svarbiausi parametrai (bandinio tankis bandymo metu bei hidraulinių aukščių skirtumas) nėra apibrėžiami.

6) Hidraulinio nuolydžio įtaka pralaidumui vandeniui neviršijant 1,0 vertės yra labai nežymi; tokios sąlygos atitinka Bernulio lygtimi grindžiamą Darsi dėsnį. Viršijus šią vertę, pralaidumo vandeniui skirtumai, priklausomai nuo mineralinių medžiagų mišinio, kinta nuo 3 % iki 93 %. Didžiausi skirtumai atsiranda esant labiau sutankintiems mineralinių medžiagų mišiniams; mažiausi – esant 100 % sutankinimo mažo užterštumo smėliuose.

7) AŠAS sluoksnių medžiagoms siūloma naudoti kuo mažesnio dulkingumo mažos frakcijos nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinius, o atliekant pralaidumo vandeniui

koeficiento nustatymą, rekomenduojama neviršyti hidraulinio nuolydžio vertės 1,0 bei atmesti laiko matavimo vertę pirmajam surinkto vandens tūrio kiekiui, taip didinant rezultatų tikslumą.

LITERATŪROS ŠALTINIAI

- AASHTO, 1998, “Guide”, 2, Section 2.0, Fundamental Design Parameters AASHTO, 2004, “Mechanistic Empirical Pavement Design Guide”, Draft Report, Part 2 – Design
- AMADEUS, 2000. “Advanced Models for Analytical Design of European Pavement Structures”, Final Report
- Araya A.A. 2011. *Characterization of Unbound Granular Materials for Pavements*.
- Carrier, W. D., 2003, “Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman”, Am. Soc. Civil Eng., J. Geotech. Geoenviron. Eng., 129(11), Nov., pp. 1054–1056.
- Cedergren, H. R., 1977, “Seepage, drainage and flow nets”, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- Das, B. M., 1997, “Advanced soil mechanics”, 2nd Edn., Taylor & Francis, Washington, D.C.
- Folkesson L. (Swedish N.R. and T.I., Bækken T. (Norwegian I. for W.R., Brenčič M. (Geological S.I. of S., Dawson A. (University of N., François D. (LCPC), Kuřimská P. (Transport R.C.C.R., Leitão T. (National L. of C.E.P., Ličbinský R. (Transport R.C.C.R., Vojtěšek M. 2009. Water in Road Structures. DOI: 10.1007/978-1-4020-8562-8 .
- General Directorate of Public Roads, 1997, “Typical Flexible and Semi-rigid Pavements Structures”, Warsaw; General Directorate of Public Roads, 1995, “Roads Design Guidelines WPD-1, WPD-2 and WPD-3”, Warsaw.
- Hazen, A., 1911, “Discussion of ‘Dams on Sand Foundations’, by A. C. Koenig,” Trans. Am. Soc. Civil Eng., 73, p. 199.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo Ministerijos 2008. *Kelių techninis reglamentas KTR 1.01.2008 „Automobilių keliai“*.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo Ministerijos 2007. *Automobilių kelių mineralinių medžiagų mišinių, naudojamų sluoksniams be rišiklių, techninių reikalavimų aprašas TRA SBR 07*.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo Ministerijos 2008. *Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklių KPT SDK 07*.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo Ministerijos 2012. *Gruntų, Sustiprintų Riškiais, Bandymo Nurodymai BN GSR 12*, 161(V): 1–26.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo Ministerijos 2012. *Gruntų pagerinimo ir sustiprinimo riškiais metodiniai nurodymai MN GPSR 12*, 12.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo Ministerijos 2017. Lietuvos keliai.
- Lietuvos Respublikos Seimas 2016. *Lietuvos Respublikos kelių įstatymas*.

- Lietuvos statistiko departamentas. *Automobilių kelių ilgis metų pabaigoje*, Automobilių kelių ilgis metų pabaigoje. Prieiga per internetą: <http://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?id=2034&status=A>.
- Loizos A., Roberts, J. & S. Crank, S., 2002, “*Asphalt Pavement Deterioration Models for Mild Climatic Conditions*”, 9th Int. Conf, Asphalt Pavements, II, Copenhagen, Paper 3: 3–4.
- LST CEN ISO/TS 17892-11:2005 *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 11 dalis. Pralaidumo vardeniui nustatymas esant pastoviam ir kintančiam spūdziumi*. 2004. 20 p.
- LST EN 1097-6:2013 *Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 6 dalis. Dalelių tankio ir įmirkio nustatymas*. 2013. 49 p.
- LST EN 13286-2:2010/AC:2013 *Nesurištieji ir hidrauliškai surišti mišiniai. 2 dalis. Bandymo metodai laboratoriniam atskaitos tankiui ir vandens kiekiui nustatyti. Proktoro tankinimas*. 2013. 49 p.
- LST EN 933-1:2012 *Bandymai užpildų geometrinėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Granuliometrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas*. 2012. 18 p.
- Midgley L. 2009. *Ingredients of an Unbound Granular Pavement for a Successful Sprayed Seal* by, (June).
- Pavements R., Drainage F.O.R. *Reservoir Pavements For Drainage Attenuation*, 4(February 2018).
- Respublikos L., Skirsnis P., Nuostatos B. 2016. Suvestinė redakcija nuo 2016 -08-01, 3016(61): 1–51.
- Sršen, M., Kovačić, M., & Kaučić, D., 2004, “*Determining soil freezing depth under the pavement structure*” (orig. in Croatian), J. Croatian Assoc. Civil Engineers, 56, pp. 145–154.
- Thompson M.R., Tutumluer E., Bejarano M. 1998. *Granular material and soil moduli review of the literature*.
- Vägarverket, 2005, “*PMS Objekt – a windows-based tool for the analysis and design of pavement constructions*” (in Swedish: PMS Object är ett windowsbaserat verktyg för analys och design av vägaröverbyggnader), Borlänge.
- Vaitkus, A. et al., 2014, „*Design solutions for pavements structure affected by static and impact load*“ The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 9(4): 269–275.
- VAS „*Latvijas Valsts ceļi*“ 2017. *Ceļu specifikācijas 2017*. Prieiga per internetą: https://lvceļi.lv/wp-content/uploads/2015/06/Celu_specifikācijas_2017.pdf.