VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

28-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija
Proceedings of the 28th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2025 m. balandžio 24 d., Vilnius, Lietuva
24 April 2025, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-390-8
https://doi.org/10.3846/da.2025.023

Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

KELIO DANGOS KONSTRUKCIJOS NESURIŠTOJO PAGRINDO SLUOKSNIO PRALAIDUMO VANDENIUI BANDYMŲ METODO ANALIZĖ

Irma DONAUSKIENĖ*, Viktoras VOROBJOVAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Kelių katedra, Vilnius, Lietuva

**El. paštas irma.donauskiene@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2025 m. vasario 24 d.; priimta 2025 m. kovo 17 d.

Santrauka. Šiame straipsnyje analizuojama kelio dangos konstrukcijos nesurištojo pagrindo sluoksnio vandens pralaidumo ir filtracijos koeficiento sąsaja. Įrengus apsauginį šalčiui atsparų sluoksnį vienas atliekamų kontrolės bandymų yra pralaidumo vandeniui koeficiento k_{10} nustatymas. Šiuo metu šis bandymas atliekamas laboratorijoje bandiniui paimtam objekte. Paprastai šis bandymas trunka apie 1–3 darbo dienas, priklausomai nuo duomenų apimties, reikalingos tinkamumo bandymui atlikti, kiti kontrolės bandymai trunka trumpiau. Siekiant paspartinti darbų priėmimą, sluoksnio pralaidumas vandeniui lauko sąlygomis gali būti nustatomas vertikaliuoju vamzdiniu infiltrometru. Straipsnyje nagrinėjamas kelio dangos konstrukcijos pagrindo sluoksnio pralaidumo vandeniui matavimas infiltrometru. Analizuojami sluoksnio iš nesurištojo mišinio filtracijos koeficiento ir pralaidumo vandeniui koeficiento matavimų, atliktų skirtinguose objektuose su skirtinga medžiaga, rezultatai. Įvertinta priklausomybė tarp nesurištojo mišinio filtracijos ir pralaidumo vandeniui koeficientų.

Reikšminiai žodžiai: filtracijos koeficientas, granuliometrinė sudėtis, įmirkis, nesurištasis mišinys, pralaidumas vandeniui , Proktoro tankis.

1. Įvadas

Lietuva priklauso šalims, kurios jaučia didelę klimato sąlygų įtaką kelių projektavimui, tiesimui, taisymui ir priežiūrai. Automobilių kelius, be transporto priemonių apkrovų, nuolat veikia daugybė klimato veiksnių. Vanduo dangos konstrukcijoje, ypač nesurištojo pagrindo sluoksniuose, veikia jų standumą – tamprumo modulį, o kartu ir atsparumą apkrovoms (Juknevičiūtė-Žilinskienė, 2009).

Šalčiui atsparus pagrindo sluoksnis yra privalomas įrengiant kelio dangos ir kelio pagrindo sluoksnius iš vandeniui laidžių medžiagų, kai sankasos gruntas nuolat arba periodiškai veikiamas hidroterminio režimo (Konrad, 2008).

Šalčiui atsparios dangos konstrukcijos storis turi užtikrinti pakankamą dangos konstrukcijos atsparumą šalčiui ir ją apsaugoti nuo galimų pažaidų dėl pasikartojančių užšalimo ir atšilimo ciklų poveikio (KPT SDK 19). Dėl šių ciklų dangoje formuojasi išdaužos ir duobės, o dėl blogo vandens pralaidumo keliuose susidaro šalčio iškylų ir plyšių. Siekiant išvengti ar bent sumažinti dangos paviršiaus deformacijas, būtina užtikrinti pakankamą konstrukcijos sluoksnių pralaidumą vandeniui ir gruntinio vandens lygio kontrolę.

Vykdant kelių ir kitų eismo zonų statybos darbus atliekami kontrolės bandymai, kuriais nustatoma, ar nesurištieji mišiniai ir iš jų įrengti sluoksniai atitinka projekto (sutarties) reikalavimus. Šių bandymų rezultatai yra darbų priėmimo pagrindas. Kol neatlikti šie priėmimo darbai, negalima įrenginėti kito kelio dangos konstrukcijos sluoksnio. Įrengus apsauginį šalčiui atsparų sluoksnį vienas atliekamų kontrolės bandymų yra pralaidumo vandeniui koeficiento k_{10} nustatymas. Šiuo metu šis bandymas atliekamas laboratorijoje bandiniui, paimtam objekte. Paprastai šis bandymas trunka apie 1–3 darbo dienas, priklausomai nuo duomenų apimties, reikalingos tinkamumo bandymui atlikti, kiti kontrolės bandymai trunka trumpiau. Todėl siekiant paspartinti apsauginio šalčiui atsparaus arba šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio įrengimo darbų priėmimą, reikalingi greitesni metodai nesurištųjų mišinių ir gruntų pralaidumui vandeniui nustatyti.

© 2025 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

Atliekant inžinerinės geologijos tyrimus dažnai naudojami infiltrometrai grunto nuogulų filtracinėms savybėms tirti objekte. Šis tyrimo metodas nėra sudėtingas, atliekamas lauko sąlygomis (objekte) per vieną darbo dieną. Grunto nuogulų filtracijos koeficientas paprastai yra mažesnis nei 0,1 m/parą, o pralaidumo vandeniui koeficientas – mažesnis nei $1{,}0\times10^{-6}$ m/s. Kadangi automobilių kelių šalčiui atsparaus sluoksnio pralaidumo vandeniui koeficientas turi būti ne mažesnis kaip $1{,}0\times10^{-5}$ m/s, todėl keliama hipotezė, kad kelio dangos apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio filtracijos koeficientas, nustatytas lauko sąlygomis, turi sąryšį su šį sluoksnį sudarančio nesurištojo mišinio pralaidumo vandeniui koeficientu, padarius atitinkamas prielaidas.

2. Veiksniai, turintys įtakos pagrindo sluoksnių pralaidumui vandeniui

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

Vandens pralaidumas yra medžiagos savybė, leidžianti vandeniui tekėti per atviras poras. Vandens pralaidumas, be kitų veiksnių, priklauso nuo porų skaičiaus ir geometrijos, vandens slėgio, vandens temperatūros ir nuo prisotinimo laipsnio. Šie įtaką darantys veiksniai gali kisti, todėl medžiagos vandens pralaidumas nėra pastovi savybė. Vandens pralaidumui apibūdinti naudojamas filtracijos koeficientas k_{10}.

Filtracijos koeficientas k_{10} yra greičio, kuriuo vanduo vertikaliai patenka į sluoksnį, parametras. Jis matuojamas infiltracijos bandymu, kai pro vertikalų cilindrinį vamzdį, sumontuotą bandinių paviršiuje ar objekte matuojamo sluoksnio paviršiuje, vanduo sunkiasi į sluoksnį, esant pastoviam soties laipsniui. Matavimo metu bandinys arba sluoksnis turi būti kuo arčiau visiško prisotinimo vandeniu. Nustatytas filtracijos koeficientas perskaičiuojamas 10 °C vandens temperatūros atitikmeniui.

Pralaidumo koeficientas k yra greičio, kuriuo vandens tūris teka per nustatytą medžiagos plotą tam tikru hidrauliniu gradientu, parametras. Jis nustatomas laboratorijoje bandiniams, kurių įsotinimo laipsnis $S \approx 1$ (atitinka 100 % prisotinimą, S_{max}). Reikšmingas skirtumas nuo filtracijos koeficiento k_{10} yra nesurištojo mišinio arba grunto įsotinimo laipsnis, kuriam esant atliekamas bandymas. Filtracijos koeficientas k_{10} paprastai nustatomas iš dalies prisotintiems bandiniams ir paprastai yra mažesnis už pralaidumo koeficientą k. (Road and Transportation Research Association, 2012a, b).

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

Pralaidumas vandeniui yra priklausomas nuo šių veiksnių:

- granuliometrinės sudėties;
- oro tuštymių kiekio;
- grunto ar nesurištojo mišinio struktūros ir tekstūros;
- grunto ar nesurištojo mišinio tankio;
- vandens temperatūros (Cedergren, 1997).

Dėl šios priežasties praeityje buvo pasiūlytos kelios empirinės lygtys pralaidumui vandeniui nustatyti. Į šias lygtis įtraukti parametrai, kurie tiesiogiai susiję su medžiagos granuliometrinės sudėties kreive ar jos oro tuštymių kiekiu (Filotenkovas ir Vaitkus, 2018).

3. Tyrimo metodika

Medžiagos hidraulinio pralaidumo vandeniui tyrimai yra paremti Darsi teorija. Pralaidumas vandeniui yra slėgių pokytis per tam tikro ilgio kūną:

$$v = -K\frac{h}{L} \tag{1}$$

arba atsižvelgiant į mažus elementus:

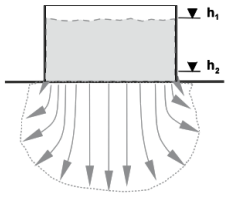
$$v = -K\frac{dh}{dL} = -Ki\,, \tag{2}$$

čia dh yra be galo mažų elementų slėgių pokytis per be galo mažą atstumą dL, o i yra tekėjimo hidraulinis spūdis tekėjimo kryptimi. Ši lygybė apibrėžia gruntų ir nesurištųjų mišinių pralaidumą vandeniui (Filotenkovas ir Vaitkus, 2018).

Atliekant nesurištojo mišinio pralaidumo vandeniui tyrimą su vertikaliuoju vamzdiniu infiltrometru, matuojamas laikas, per kurį nustatytas vandens tūris iš cilindro (vertikalaus vamzdžio) išteka į nesurištojo mišinio sluoksnį.

Matavimo sritis ribojama cilindru (žiedu), kuris užsandarinamas ant sluoksnio paviršiaus, kad vanduo negalėtų pratekėti aplink. Pagal šį bandymo principą matavimo aplinka nėra drėkinama (1 paveikslas), todėl sluoksnio viduje vyksta šoninis vandens tekėjimas. Pusrutulio, kurio spindulys atitinka bandymo

plotą, paviršius gali būti pakankamai tiksliai laikomas skerspjūviu, per kurį teka vandens srautas.

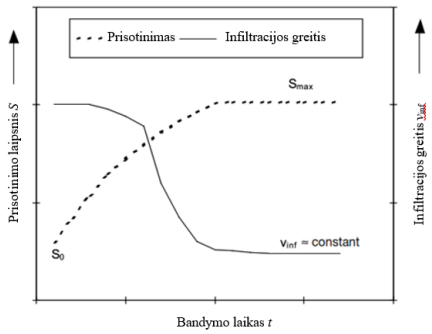


1 paveikslas. Infiltracijos principas nelaistant matavimo aplinkos ir su mažėjančiu hidrauliniu nuolydžiu

Dėl didesnio vandens slėgio bandymo pradžioje ir jo kitimo bandymo metu (mažėjant slėgiui) reikia atsižvelgti į hidraulinį nuolydį ir slėgio pokytį.

Infiltruojančio vandens tūris konkrečiu laiko momentu *t*, be kitų veiksnių, priklauso nuo bandomojo sluoksnio prisotinimo laipsnio *S*.

Atliekant infiltracijos bandymą vietoje (*in situ*), oras tiriamoje medžiagoje (sluoksnyje) negali būti visiškai išstumtas. Todėl infiltracijos bandymas gali būti pagrįstas tik daliniu prisotinimu ($S < 1$). Įsotinimo proceso metu infiltracijos greitis paprastai mažėja. Tik tada, kai medžiagos (sluoksnio) prisotinimas yra didžiausias (S_{max}), infiltracijos greitis yra pastovus (2 paveikslas). Tuo metu vanduo teka per sluoksnį pastoviu greičiu.



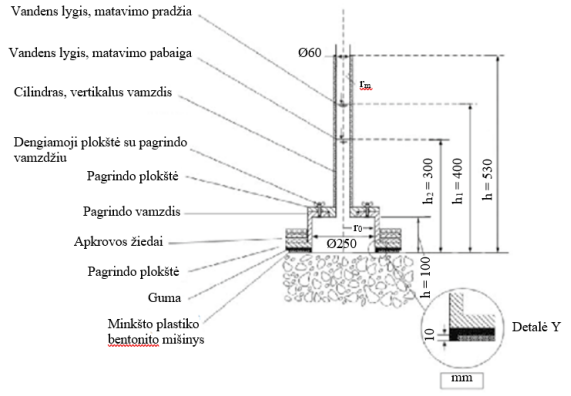
2 paveikslas. Ryšys tarp prisotinimo būsenos ir infiltracijos greičio, priklausomai nuo bandymo trukmės (kokybinis)

Šio infiltracijos metodo tikslas yra nustatyti infiltracijos greitį konkrečiu metu. Taip pat gali būti naudinga išmatuoti ir infiltracijos eigą prisotinimo fazės metu. Priklausomai nuo pradinio soties laipsnio S_0 ir sluoksnio pralaidumo vandeniui, reikia atsižvelgti į laikotarpį nuo maždaug 10 min ($k_{i(10)} \approx 10^{-5}$ m/s) iki > 45 min ($k_{i(10)} \approx 10^{-7}$ m/s) prisotinimo procesui. Kadangi vietos sąlygomis sluoksnis visiškai neprisotinamas vandens, infiltracijos bandymo rezultatas negali būti tiesiogiai lyginamas su vandens pralaidumo koeficientu.

Vandens srauto greitis priklauso nuo jo kinematinės klampos, kuri savo ruožtu priklauso nuo jo temperatūros. Siekiant užtikrinti rezultatų palyginamumą, infiltracijos koeficientas, nustatytas esant išmatuotai vandens temperatūrai, turi būti konvertuojamas į etaloninę 10 °C temperatūrą.

Infiltracijos koeficientui išmatuoti naudojama įranga:

– vertikalus vamzdinis infiltrometras (3 paveikslas);
– sandarinimo medžiagos;
– apsauga nuo erozijos;
– apkrovos žiedai;
– vanduo, chronometras, termometras, pagalbinės priemonės.



3 paveikslas. Modifikuoto vertikalaus vamzdelio infiltrometro schema

Bandymas atliekamas, infiltrometro vertikalųjį vamzdį pripildant vandens iki kelių centimetrų virš viršutinės matavimo žymos. Laikas matuojamas chronometru, kol vandens lygis nukrenta nuo 400 mm iki 300 mm matavimo žymės, ir užrašomas vienos sekundės tikslumu. Tada vertikalusis vamzdis iš naujo pripildomas ir matavimas kartojamas. Pagal Austrijos standartą ÖNORM B 4422-2, infiltracijos koeficientas k_{10} apskaičiuojamas taikant formulę:

$$k_{i(10)} = \alpha \times \frac{r_m^2}{0{,}88 \times r_0 \times \Delta t} \times \ln \frac{h_1}{h_2}, \quad (3)$$

čia $k_{i(10)}$ – infiltracijos koeficientas m/s, perskaičiuotas į 10 °C vandens temperatūrą; $r_m{}^2$– vertikalaus vamzdžio spindulys m (0,03 m); r_0 – ištekėjimo paviršiaus spindulys m (0,125 m); h_1, h_2 – hidraulinis aukštis metrais momentu t_1, t_2 (h_1 = 0,4 m, h_2 = 0,3 m), vidutinis hidraulinis nuolydis: 1,75; Δt – laiko intervalas t_2–t_1 (s); α– temperatūros korekcija pagal Poiseuille:

$$\alpha = \frac{1{,}359}{1 + 0{,}0337 \times T_i + 0{,}00022 \times T_i^2}, \quad (4)$$

čia T_i – vandens temperatūra atliekant infiltracijos bandymą °C.

Kai vertikalaus vamzdinio infiltrometro matmenys atitinka nurodytus 3 paveiksle, infiltracijos koeficiento skaičiavimo formulė supaprastinama:

$$k_{i(10)} = \alpha \times \frac{2{,}35 \times 10^{-3}}{\Delta t}. \quad (5)$$

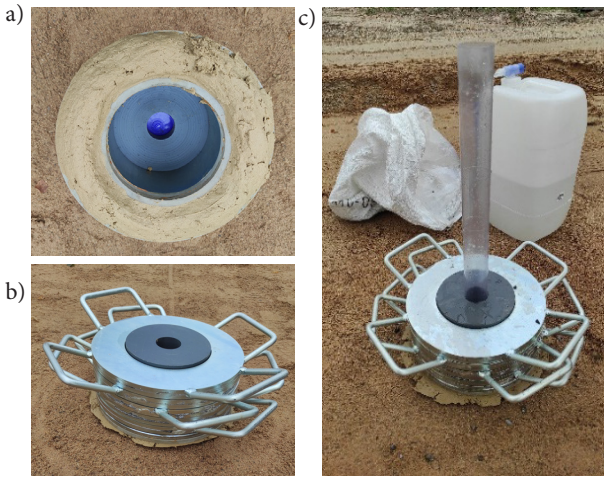
Objekte atlikus infiltracijos koeficiento matavimus, paimtas ėminys, kuriam laboratorijoje nustatytos šios savybės:

- nesurištojo mišinio granuliometrinė sudėtis LST EN 933-1:2012;
- nesurištojo mišinio sausasis tankis ir vandens kiekis pagal LST EN 13286-2:2010;
- sutankinto sluoksnio sausasis tankis ρ_d pagal LST 1360-6:2020;
- pralaidumo vandeniui koeficientas k_{10} pagal LST EN ISO 17892-11:2019 esant reikalaujamam mažiausiam sutankinimo rodikliui D_{Pr}.

5. Tyrimo objektas

Kelio dangos konstrukcijos laikomoji geba ir ilgaamžiškumas priklauso nuo projektinio sprendinio, apkrovos sąlygų, aplinkos veiksnių, panaudotų medžiagų ir įrengimo kokybės. Kelio dangos konstrukcijos eksploataciniams parametrams tiesiogiai įtakos turi ne tik apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio charakteristikos, tačiau ir medžiagos, naudojamos pagrindo sluoksniams įrengti.

Panaudotos medžiagos ir jų tinkamumas yra vienas svarbiausių veiksnių, nulemiančių sluoksnio funkcionavimą. Remiantis normatyviniame dokumente TRA SBR 19 pateiktais reikalavimais, apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio įrengimui gali būti naudojami užpildai (frakcija 0/2, 0/4 ir 0/5), nesurištieji mišiniai (frakcijos nuo 0/5 iki 0/63) ir gruntai, kurie, pagal Lietuvos standartą LST 1331, priskiriami blogos, geros ir periodinės sanklodos žvyrui ir smėliui.



4 paveikslas. *In situ* bandymas: a) pagrindo plokštė padengta bentonito sluoksniu; b) apkrovos žiedai; c) infiltrometras, vanduo ir plautas stambusis užpildas

Infiltracijos koeficiento ir pralaidumo vandeniui koeficiento tyrimai, esant skirtingam medžiagos sutankinimui ir soties laipsniui, atlikti šiuose objektuose:

- rajoniniame kelyje Nr. 4727 Trakai–Lentvaris–Mūrinė Vokė (rugpjūčio mėnesį);
- krašto kelyje Nr. 176 Pirčiupiai–Jašiūnai (lapkričio mėnesį).

Tiriamuosiuose objektuose apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio apatinė dalis įrengta naudojant nesurištąjį mišinį 0/5, o sluoksnis sutankintas ne mažesniu kaip 100 % sutankinimo laipsniu.

Tyrimo pradžioje pagrindo plokštė padengiama apie 2 cm storio minkštu bentonito sluoksniu (4 paveikslas a). Pasirinkus bandymo vietą, ant pagrindo plokštės uždedami apkrovos žiedai (4 paveikslas, b). Ant bandymo zonos paviršiaus dedamas plautas stambusis užpildas, kad apsaugotų pagrindo sluoksnį nuo erozijos. Būtina užtikrinti, kad bentonito kraštai tolygiai liestųsi su sutankintu sluoksniu ir įtekantis vanduo nepažeistų bentonito sandariklio. Infiltrometro vertikalus vamzdis sandariai sujungiamas su pagrindo plokšte ir cilindras pripildomas vandens (4 paveikslas, c). Laikas matuojamas chronometru, kol vandens lygis nukrenta nuo 400 mm iki 300 mm matavimo žymės, ir užrašomas vienos sekundės tikslumu. Tada vertikalusis vamzdis iš naujo pripildomas ir matavimas kartojamas.

6. Rezultatai ir analizė

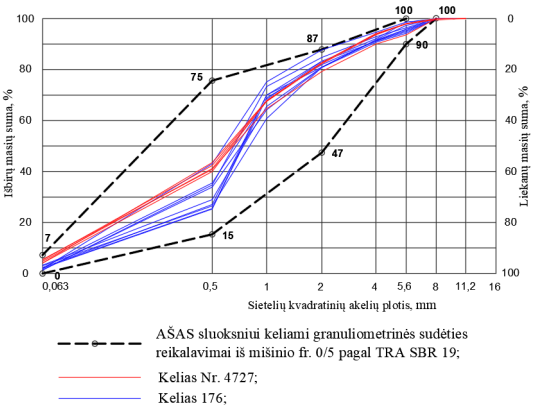
Nustatyta sluoksnį sudarančios medžiagos granuliometrinė sudėtis pateikta 5 paveiksle. Nustatytos granuliometrinės sudėtys palygintos su techninių reikalavimų apraše TRA SBR 19 nurodytais reikalavimais nesurištųjų mišinių, naudojamų AŠAS, sluoksniams, granuliometrinės sudėties ribomis. Nustatyta, kad tirtų mišinių sudėtis atitinka techninių reikalavimų apraše nurodytus reikalavimus.

5 paveiksle matyti, kad nesurištasis mišinys, naudojamas kelyje Nr. 4727, yra smulkesnis: atitinkamai pro 0,063 mm ir 0,5 mm sietus prabyra daugiau dalelių nei medžiagos, naudojamos kelyje Nr. 176.

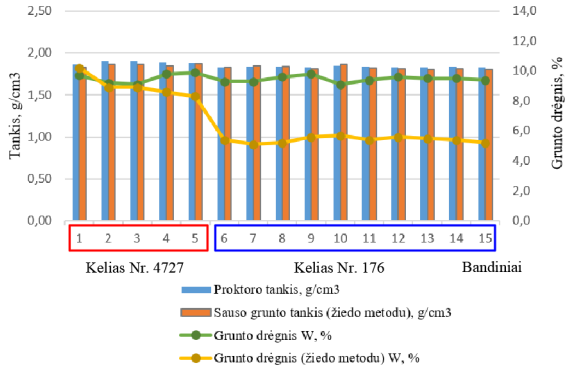
Atlikus tyrimą laboratorijoje nustatytos nesurištųjų mišinių sausojo tankio bei drėgnio, kuriam esant sutankinimas tampa didžiausias, vertės (6 paveikslas). Nesurištasis mišinys kelyje Nr. 176 turi mažesnį Proktoro tankį ir drėgnį. Nustatyta, kad stambesnio mišinio Proktoro tankis mažėja dėl didėjančio oro tuštymių kiekio, kurių nepripildo smulkiosios nesurištojo mišinio dalelės.

Laboratorijoje nustatytas nesurištųjų mišinių pralaidumo vandeniui koeficientas, esant optimaliam drėgniui bei 100 % sutankinimui. Taip pat atliktas tyrimas pasirinktuose kelių ruožuose lauko sąlygomis pagal anksčiau pateiktą metodiką. Nustatytas apsauginio šalčiui

atsparaus sluoksnio filtracijos koeficientas. Lauko tyrimas pradėtas nuo sluoksnio prisotinimo vandens, nes natūralus medžiagos drėgnis yra mažesnis už sotį. Po prisotinimo atliktas filtracijos matavimas ir nustatytas bei perskaičiuotas filtracijos koeficientas esant 10 °C temperatūrai.



5 paveikslas. Tiriamuosiuose objektuose naudoto nesurištojo mišinio fr.0/5 granuliometrinės sudėtys

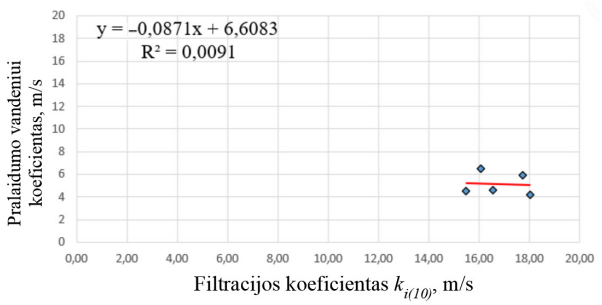


6 paveikslas. Mišinio tankio ir drėgnio vertės

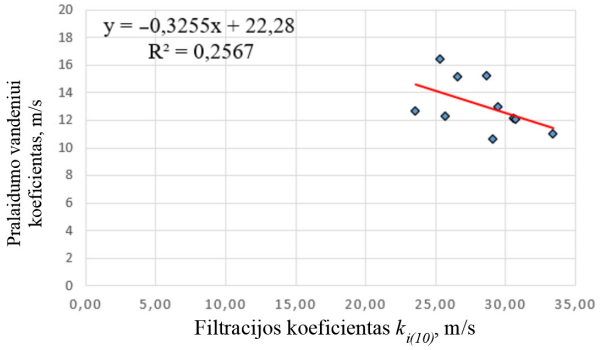
Kelio Nr. 4727 filtracijos koeficientas $k_{i(10)}$ svyravo nuo 15,48×10^{-5} m/s iki 18,03×10^{-5} m/s, o kelio Nr. 176 – nuo 23,55×10^{-5} m/s iki 33,40×10^{-5} m/s.

Nustačius nesurištųjų mišinių pralaidumo vandeniui ir filtracijos koeficiento vertes, vertinamas šių dviejų charakteristikų tarpusavio ryšys. Iš pateikiamų grafikų (7 ir 8 paveikslai) matyti, kad didėjant filtracijos koeficientui mažėja pralaidumo vandeniui koeficientas. Taip pat nustatyta, kad smulkesnė medžiaga turi mažesnį laidumą ir iš jos sudaryto sluoksnio filtracijos koeficientas yra mažesnis.

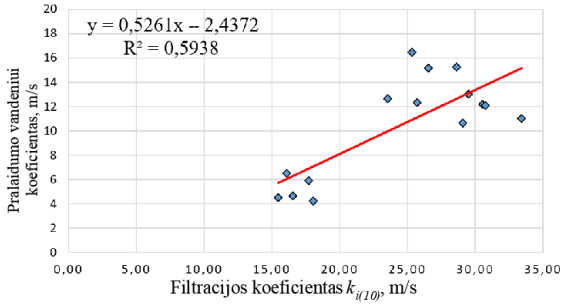
Tyrimo metu palyginti du skirtingos granuliometrinės sudėties nesurištieji mišiniai, naudoti skirtinguose keliuose. Nustatyta vidutinė koreliacija tarp šių nesurištųjų mišinių pralaidumo vandeniui koeficiento ir filtracijos koeficiento (9 paveikslas). Koreliacijos koeficientas R = 0,59. Vertinant rezultatus ir priklausomybę kartu,



7 paveikslas. Kelio Nr. 4727 pralaidumo vandeniui koeficiento ir filtracijos koeficiento priklausomybės grafikas



8 paveikslas. Kelio Nr. 176 pralaidumo vandeniui koeficiento ir filtracijos koeficiento priklausomybės grafikas



9 paveikslas. Laidumo ir filtracijos koeficiento priklausomybės grafikas

nustatyta, kad didėjant filtracijos koeficientui didėja pralaidumo vandeniui koeficientas.

7. Išvados

Kelio dangos konstrukcijos atsparumas šalčiui užtikrinamas įrengiant pakankamo (≥1,0×10^{-5} m/s) pralaidumo vandeniui pagrindo sluoksnį.

Paprastai nesurištojo mišinio filtracinės savybės nustatomos matuojant pralaidumo vandeniui koeficientą, kuris nustatomas tik laboratorijoje. Filtracinių savybių tyrimams objekte atlikti taikytinas greitesnis metodas, matavimus atliekant infiltrometru. Nustatant sluoksnių iš nesurištojo mišinio filtracijos koeficientą infiltrometru

svarbu visiškai prisotinti medžiagą vandens, kad matavimo metu prisotinimas nekistų.

Tyrimais nustatyta, kad medžiagos, kurioje daugiau dalelių prabyra pro 0,063 mm ir 0,5 mm sietus, filtracijos koeficientas ir pralaidumo vandeniui koeficientas yra vidutiniškai du kartus mažesnis.

Vertinant filtracijos koeficiento ir pralaidumo vandeniui koeficiento priklausomybę visuose tyrimo objektuose kartu, nustatyta, kad, didėjant filtracijos koeficientui, didėja pralaidumo vandeniui koeficientas. Tačiau, vertinant kiekvieną tiriamąjį objektą atskirai, matyti priešinga tendencija, kuri prieštarauja Darsi dėsniui. Todėl reikia atlikti papildomus bandymus, esant mažesniam (nuo $1{,}0\times10^{-5}$ m/s iki $3{,}0\times10^{-5}$ m/s) pralaidumo vandeniui koeficientui.

Literatūra

Araya, A. A. (2011). Characterization of Unbound Granular Materials for Pavements [Doctoral Thesis, Delft University of Technology]. https://resolver.tudelft.nl/1d964e6f-e7e5-4d2a-834b-db9b3504745f

Austrijos kelių, geležinkelių, eismo tyrimų draugija. (2000). *Kelių sistemų gairės ir taisyklės: pagrindai, bandymo metodai, mineralinės medžiagos: pagrindinės sluoksnio medžiagos pralaidumo nustatymas atliekant tinkamumo bandymą laboratorijoje* (RVS 11.062, 16 dalis).

Austrijos standartų institutas. (2022). *Žemės ir pamatų inžinerija – gruntų tyrimas – vandens pralaidumo nustatymas – lauko metodai sluoksniams arti paviršiaus* (ÖNORM B 4422-2).

Cedergren, H. R. (1997). *Seepage, drainage, and flow nets* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Filotenkovas, V. ir Vaitkus, A. (2018). Transporto eismo zonų dangos konstrukcijos nesurištojo pagrindo sluoksnio pralaidumą vandeniui lemiančių veiksnių įvertinimas. Iš *Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“* (p. 1–6). https://doi.org/10.3846/mla.2018.3254

Juknevičiūtė–Žilinskienė, L. (2009) *Lietuvos klimato įtakos kelių tiesybai vertinimo metodika ir klimatinis rajonavimas* [Daktaro disertacija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas]. https://www.lvb.lt/permalink/370LABT_NETWORK/1m6ui06/alma9912937325908451

Konrad, J. M. (2008). Freezing-induced Water Migration in Compacted Base-course Materials. *Canadian Geotechnical Journal*, *45*(7): 895–909. https://doi.org/10.1139/T08-024

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2010). *Nesurištieji ir hidrauliškai surišti mišiniai. 2 dalis. Bandymo metodai laboratoriniam atskaitos tankiui ir vandens kiekiui nustatyti. Proktoro tankinimas* (LST EN 13286-2:2010).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2012). *Bandymai užpildų geometrinėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Granuliometrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas* (LST EN 933-1:2012).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019). *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 11 dalis. Pralaidumo vandeniui bandymai* (LST EN ISO 17892-11:2019).

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. (2019). *Automobilių kelių nesurištųjų mišinių ir gruntų, naudojamų sluoksniams be rišiklių, techninių reikalavimų aprašas* (TRA SBR 19).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2020). *Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Grunto tankio nustatymas vietovėje* (LST 1360-6:2020).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2022). *Gruntai, skirti kelių ir kelių statinių statybai. Klasifikacija* (LST 1331:2022).

Road and Transportation Research Association. (2012a). *Technical testing regulations for aggregates in road construction. Determination of the infiltration coefficient by the modified vertical tube infiltrometer – Laboratory method* (TP Gestein-StB Part 8.3.1). https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/610_8_3_1_E.v.pdf

Road and Transportation Research Association. (2012b). *Technical testing regulations for aggregates in road construction. Determination of the infiltration coefficient by the modified vertical tube infiltrometer – In situ method* (TP Gestein-StB Part 8.3.2). https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/610_8_3_2_E.v.pdf

RESEARCH OF THE WATER PERMEABILITY OF THE BASE LAYER OF THE ROAD PAVEMENT STRUCTURE FROM UNBOUND MIXTURE, USING A VERTICAL TUBULAR INFILTROMETER

I. DONAUSKIENĖ, V. VOROBJOVAS

Abstract. This article analyzes the relationship between the water permeability and filtration coefficient of the unbound base layer of a road pavement structure. After installing a protective frost-resistant layer, one of the control tests performed is the determination of the water permeability coefficient k_{10}. Currently, this test is performed in the laboratory on a sampled object. Usually, this test lasts about 1–3 working days, depending on the volume of data required for the suitability test. While other control tests last shorter. In order to accelerate the acceptance of works, the water permeability of the layer under outdoor conditions can be determined using a vertical tubular infiltrometer. The article analyzes the measurement of the water permeability of the base layer of a road pavement structure using an infiltrometer. The results of measurements of the filtration coefficient and water permeability coefficient of a layer from an unbound mixture, carried out in different objects with different materials, are analyzed. The dependence between the filtration and water permeability coefficients of the unbound mixture is evaluated.

Keywords: absorption, filtration coefficient, granulometric composition, Proctor density, unbound mixture, and water permeability.