

## Environmental engineering Aplinkos inžinerija

# TRANSPORTO EISMO ZONŲ DANGOS KONSTRUKCIJOS NESURIŠTOJO PAGRINDO SLUOKSNIO PRAL AidUMĄ VANDENIUI LEMIANČIŲ VEIKSNIŲ ĮVERTINIMAS

Vilius FILOTENKOVAS\*, Audrius VAITKUS

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2018 m. kovo 19 d.; priimta 2018 m. balandžio 2 d.

**Santrauka.** Šiame straipsnyje analizuojama šalčiui nejautrių, atsparių sluoksnių bei žemės sankasos gruntų 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 granulimetrinė sudėtis, jų užterštumas, soties laipsnis ir oro tuštymų kiekis sluoksniuose, sluoksnių tankiai. Pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo bandymas remiasi Darsi (angl. *Darcy*) dėsniumi, kuris teigia, jog pralaidumas vandeniui (taip pat žinomas kaip hidraulinis pralaidumas) yra lygus slėgių pokyčiui per tam tikro ilgio kūną. Tradiciškai geotechninėje inžinerijoje gruntų ir mineralinių medžiagų išotintos medžiagos pralaidumas vandeniui nustatomas naudojant pastovaus spūdzio pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo įrangą. Bandymo metu nustatomas pratekėjusio vandens kiekis per tam tikrą laiko tarpą. Siekiant įvertinti rezultatų tinkamumą, būtina atsižvelgti į bandomojo objekto frakciją ir atlikti bandymą esant skirtingiems hidrauliniams nuolydžiams. Sudarytas eksperimentinio laboratorinio tyrimo planas.

**Reikšminiai žodžiai:** apsauginis, šalčiui atsparus sluoksnis, dangos konstrukcija, granulimetrinė sudėtis, hidraulinis nuolydis, pralaidumas vandeniui, pralaidumo vandeniui koeficientas, sutankinimo rodiklis, oro tuštymės.

### Įvadas

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

Nestandžiosios dangos konstrukcijos pagrindiniai funkcionalumo parametrai (įtempiai 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 nulemtos 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, kurį lemia daugelis aplinkybių (Thompson, Tutumluer ir Bejarano, 1998).

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

Nesurištųjų pagrindo sluoksnių, išskirtinai apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnių, funkcionalumas priklauso nuo šių dedamųjų: medžiagos rūšies ir tipo (granulimetrinė sudėtis), įrengti panaudoto sluoksnių, medžiagos padermės, užterštumo (smulkesnių kaip 0,063 mm dalelių kiekis), sutankinimo laipsnio, sluoksnių storio, hidraulinio nuolydžio, susidarančio šiame sluoksnyje.

Šiame straipsnyje kaip tik analizuojama pagrindinių šių dedamųjų įtaka apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnių

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [vilius.filotenkovas@stud.vgtu.lt](mailto:vilius.filotenkovas@stud.vgtu.lt)

funkcionalumui, įvertinant kitų šalių mokslininkų sukaupą patirtį, išanalizuojant ir susisteminant pralaidumo vandeniui bandymo metodus, parengiant pralaidumo vandeniui eksperimento planą.

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

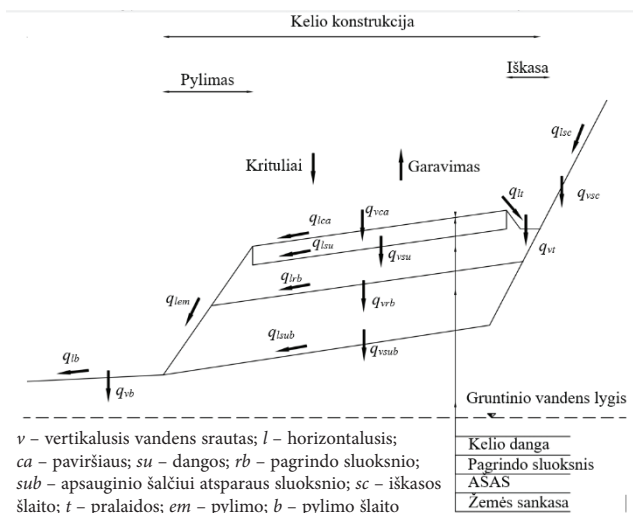
Itin svarbus rodiklis – medžiagos sotes laipsnis, kuris apibūdina bendrą sutankinimo ir vandens kiekio poveikį sluoksniui. Laikomoji sluoksnio geba stipriai koreliuoja su šiuo rodikliu: didėjant sotes laipsnio vertei, mažėja laikomosios gebos rodiklis. Taigi esant dideliame vandens kiekiui sluoksnyje 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 vanduo gali judėti per griovius, įtrūkius kelio dangos sluoksniuose. Daugelyje kelių grioviai yra labai nuožulnūs arba drenavimo sistemos nėra suprojektuotos dideliame vandens kiekiui drenuoti, todėl per intensyvias liūtis vandens lygis grioviuose gali pakilti ir išsiskverbti 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 paveiksle.

Anot Thompson, Tutumluer ir Bejarano (1998) atliktų tyrimų, nustatyta, jog esamo vandens kiekio poveikis skirtingiems gruntams turi ir skirtingą poveikį tamprumo modulio sumažėjimui, pvz., 1,0 % vandens kiekio padidėjimas moliniuose grunto tamprumo modulį sumažina iki 0,7 %, o 1,0 % vandens kiekio padidėjimas molinguose smėliuose grunto tamprumo modulį sumažina iki 2,1 %. Remiantis tuo 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 poliariškumo dalelių. Tai leidžia vandens dalelėms prisijungti prie mineralinių medžiagų paviršiaus. Taip pat vanduo migruoja į sluoksnių oro tuštymes dėl kapiliarinės traukos, jei poros yra gana mažos. Tai priklauso nuo mineralinės medžiagos granulometrinės sudėties bei smulkiųjų frakcijų kiekio. Hidrauliškai nesurištiems sluoksniams mažas vandens kiekis gali sustiprinti sluoksnį: vandens plėvelė ant atskirų mineralinių medžiagų grūnelių daro įtaką atsparumui šlyčiai (Werkmeister, 2003). Pasiėkus sluoksnio iš mineralinių medžiagų mišinio sotes laipsnį, pasikartojančios apkrovos gali sukelti teigiamą vandens slėgio poveikį tuštymėse. Vis dėlto per didelis vandens kiekis mineralinių medžiagų mi-



1 paveikslas. Detalusis vandens balanso modelis kiekvienam kelio konstrukcijos komponentui su vandens srautais  
 Figure 1. Detailed water balance model for each road construction component with water flow

šinių tuštymėse sukelia per didelį slėgį į mišinio granules: tai sumažina bendrąją medžiagos atsparumą ilgalaikėms deformacijoms. 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 pripildo oro tuštymes, neleidžia jų pripildyti vandens bei mažina pralaidumą vandeniui, tai gali sukelti oro tuštymėse esančio vandens perteklines apkrovas granulėms. Tačiau smulkiųjų frakcijų poveikis laikomajai gebai, didėjant vandens kiekiui, neturi didelės įtakos. Vis dėlto rekomenduojama parinkti mineralinių medžiagų granulometrinę sudėtį taip, jog būtų kuo arčiau reikalaujamų apatinių ribų, t. y. medžiaga būtų stambesnė bei turėtų geresnes laidumo vandeniui savybes.

Didžiausias vandens poveikis tamprumo savybėms pasireiškia smulkiagrūdėms mineralinėms medžiagoms, kurioms būdingas didelis smulkiųjų frakcijų kiekis. Anot Araya (2011), vandens poveikis daro mažą įtaką įvairiagrūdžių ir stambiagrūdžių mineralinių medžiagų tamprumo savybėms: šių mineralinių medžiagų tamprumo savybės didžiausią įtaką daro medžiagos skeletas sluoksnyje.

Nustatyta, kad vandens slėgis turi tendenciją atskirti mineralinių medžiagų daleles vieną nuo kitos, sukeldami slydimą (Saevarsdottir ir Erlingsson, 2013). Tarp medžiagos dalelių tai lemia deformaciją, kuri gali sukelti papildomų įtempimų tarp medžiagos komponentų. Jei medžiaga nėra visiškai išotinta, vanduo turi tendenciją kauptis ties dalelių lietimosi taškais, o vandens paviršiaus įtempimo jėga padidina adhezinės dalelių tarpusavio savybes. Net nesant išorinių apkrovų, dalelės yra veikiamos vandens sukiamo kapiliarinio slėgio, kuris sukelia šlyties įtempimus. Ši sąveika, kuri dažnai vadinama sukibimo geba, pradingsta, kai medžiaga tampa išotinta, o porose esančio

vandens slėgis tampa teigiamas, t. y. pradeda sąveikauti su medžiagos komponentais iš vidaus, slėgiant porų sienelės ir suteikiant papildomus įtempius. 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, kai medžiaga netenka kietosios agregatinės būsenos medžiagos savybių, vadinama takumo riba, kai neigiamas vandens poveikis sumažina medžiagos dalelių tarpusavio sąveiką.

Taikant projektavimo modelius, užsibrėžiama, jog medžiagos sluoksnio skeleto, kurio poros pripildytos vandens, 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 adheazines savybes: 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, tai sumažintų konstrukcijos laikomąją gebą atsiradus tarp sluoksnių įtrūkių.

Kita deformacijų atsiradimo kelio konstrukcijoje priežastis yra sezoniškas vandens užšalimas. Ledo linzių sukeltų plyšių 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 šildančiųjų klimato veiksnių. Tačiau apatiniuose sluoksniuose esantis ledas nepraleidžia viršuje ištirpusio ledo vandens, todėl nesidrenuojantis vanduo gali stipriai pakenkti kelio konstrukcijos stipriui.

## 2. Visuotinai nustatyti principai, tiriant dangos konstrukcijų pralaidumą vandeniui

Kinetinės ir potencinės energijos turintis vanduo teka per poringuosiuos 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.

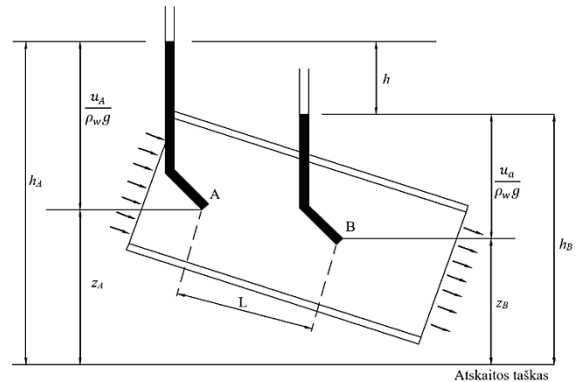
Iš eksperimentinio bandymo, kurio schema pavaizduota 2 paveiksle, išreiškiama Bernulio energijos pusiausvyros lygtis tarp A ir B taškų ((1) formulė):

$$\frac{u_A}{\rho_w g} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A = \frac{u_B}{\rho_w g} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + \Delta h, \quad (1)$$

čia  $u$  ir  $v$  atitinkamai yra skysčio slėgis ir greitis;  $z$  yra atstumas nuo nulinės padėties linijos ir  $\Delta h$  – 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 (2) 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 paveikslas. Vandens, tekančio per poringąjį kūną, slėgio pokyčio schema

Figure 2. Chart of water pressure change through the porous body

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

$$v = -K \frac{h}{L} \quad (3)$$

arba atsižvelgiant į be galo mažų elementų mastą:

$$v = -K \frac{dh}{dL} = -Ki, \quad (4)$$

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 yra žinoma kaip Darsi dėsnis ir apibrėžia gruntų ir mineralinių medžiagų pralaidumą vandeniui.

Atsižvelgus į (2) formulę matyti, jog geresnės pralaidumo vandeniui savybės yra tuomet, kai:

- padidinamas skerspjūvio plotas, per kurį teka vanduo: taip padidinamas porų skaičius;
- padidinamas hidraulinis spūdis: pralaidose ar drenavimo sistemose įrengiant gilesnes drenas;
- padidinamas pralaidumo vandeniui koeficientas, t. y. pasirenkama stambesnė medžiaga, sukurianti sluoksnyje daugiau porų, vandeniui pralaidžiam sluoksniui.

Tačiau Darsi dėsnis taikomas tik laminariniam, neracionaliam vandens tekėjimui porėtuose kūnuose. Įsotintuose sluoksniuose laidumo vandeniui koeficientą galima laikyti konstanta visame sluoksnio skelete, atmetant minimalių vandens verpetų susidarymą. 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:

- granulimetrinės sudėties;
- oro tuštymių kiekio;
- grunto ar mineralinės medžiagos struktūros ir tekstūros;
- grunto ar mineralinės medžiagos tankio;
- vandens temperatūros (Cedergren, 1977).

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

### 3. Pralaidumo vandeniui nustatymo bandymas

Tradiciškai geotechninėje inžinerijoje stambiagrūdžių ir įvairiagrūdžių gruntų bei mineralinių medžiagų išotintos medžiagos pralaidumas vandeniui nustatomas naudojant pastovaus spūdžio pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo įrangą, o smulkiagrūdžių gruntų – kintančio spūdžio. Atlikus odometrinių bandymą taip pat gali būti pateiktos išotintų smulkiagrūdžių gruntų pralaidumo vandeniui vertės. Esamose kelio konstrukcijose galima iširti vietas medžiagų pralaidumo vandeniui savybes atliekant „siurbiamo šulinio“ arba įleidimo bandymus.

Pastovaus spūdžio pralaidumo vandeniui bandymas dažniausiai atliekamas stambiagrūdžiams ir įvairiagrūdžiams gruntams bei mineralinėms medžiagoms. Bandinys yra įdedamas į indą, kuris turi pralaidžius vandeniui filtrus, tačiau nepakeičia mineralinės medžiagos ar grunto skeleto (3 paveikslas). Tuomet į šį indą yra leidžiamas pastovaus spūdžio vandens srautas, kuris prateka per visą bandinio tūrį. Bandymo metu nustatomas pratekėjusio vandens kiekis per tam tikrą laiko tarpą.

Pertvarkius ir pakeitus vietomis tam tikrus rodiklius (5) formulėje, gaunama pralaidumo vandeniui rodiklio vertė lygi:

$$q = k \frac{Q \Delta h}{A \Delta L}, \quad (5)$$

čia  $A$  yra indo skerspjūvio plotas, per kurį pereina skystis per laiko tarpą, esant hidrauliniams nuolydžiams  $\Delta h / \Delta L$ , kur hidraulinis nuolydis – hidraulinių slėgių skirtumas  $\Delta h$  per atstumą  $\Delta L$ , o  $k$  – konstanta, kuri nurodo hidraulinį pralaidumą ir priklauso nuo tiriamos medžiagos tipo, jos poringumo bei filtruojamo skysčio savybių, ypač nuo jo klampos.

Tačiau nustatant pralaidumą vandeniui standartiniu pralaidumo vandeniui koeficiento nustatymo indu, tiriamajai medžiagai yra keliami tam tikri reikalavimai. Pagrindo ar vandeniui laidūs sluoksniai dažniausiai turi dalelių, kurių didžiausias nominalusis dydis yra tarp 20 mm ir 56 mm. Norint gauti patikimą pralaidumo vandeniui rezultatą, siūloma šį bandymą atlikti pasirenkant bandymo indo skersmens ir maksimalaus nominaliojo dalelės dydžio santykio vertę tarp 8 ir 12. Tačiau standartiniai pralaidumo vandeniui indai yra per maži ar per daug tra-

pūs, jog būtų galima iširti visą visiškai sutankintą bandomosios dalies ėminį, nesumažinus ėminio frakcijos.

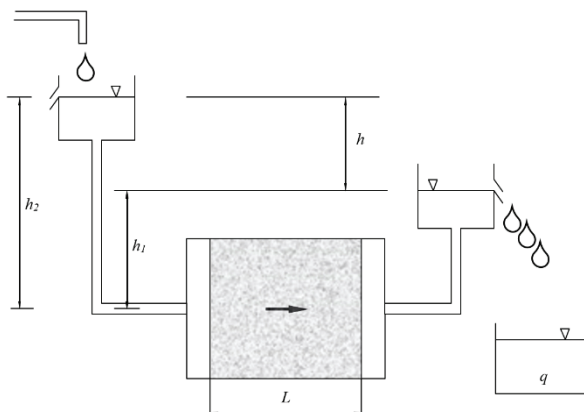
Įprastai, taikant Darsi tekėjimo dėsnį, įvertinamas vandens pralaidumo režimas grunto ar mineralinių medžiagų sluoksniuose, kai vanduo prasisunkia ribiniais greičiais ir nesukuriami sukūriniai verpetai, kai teka iš mažų į didesnio tūrio oro tuštymes. Tai reiškia, jog energijos nuostolių atsiranda tik 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 įranga, pavaizduota 3 paveiksle, turi būti užtikrinta, jog Darsi dėsnio sąlygos yra tenkinamos.

Atliekant bandymus, pasirenkamos standartinės sūartinės sąlygos, iš kurių viena yra hidraulinis spūdis. Ši sąlyga yra pasirenkama daug didesnės vertės, negu galimi variantai, esantys gamtoje, keliuose kritinėms sąlygoms išsiaiškinti. Jei tokio dydžio hidrauliniai nuolydžiai yra suteikiami medžiagoms, turinčioms dideles oro tuštymes, sukūriniai verpetai gali susidaryti tuštymėse, todėl bus prarandama daugiau energijos, nei numato Darsi dėsnio sąlygos (4 paveikslas). 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 bei mineralinėms medžiagoms. Tam, kad būtų įgyvendintos Darsi dėsnio sąlygos, reikalaujamas hidraulinis spūdis gali būti mažesnis už 0,1 (Dawson, 2008).

### 4. Tyrimo objektas ir metodika

Remiantis praktika, atsparaus šalčiui apsauginiam 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.



3 paveikslas. Pastovaus spūdžio pralaidumo vandeniui bandymo nustatymo schema  
Figure 3. Scheme for determination of the constant stress permeability test for water

Siekiant tinkamai nustatyti apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio pralaidumo vandeniui savybes, pradžioje nustatytos šių nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių savybės ir įvertinta jų atitiktis techninių dokumentų reikalavimams.

Ekspirimentinį laboratorinį tyrimą sudaro šie etapai:

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

Nesurištųjų mineralinių medžiagų mišiniam nustatytos šios savybės:

- granulimetrinė sudėtis (LST EN 933-1:2012);
- dalelių tankis (LST EN 1097-6:2013).

Nesurištųjų mineralinių medžiagų mišiniam, kaip apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui, nustatytos šios savybės:

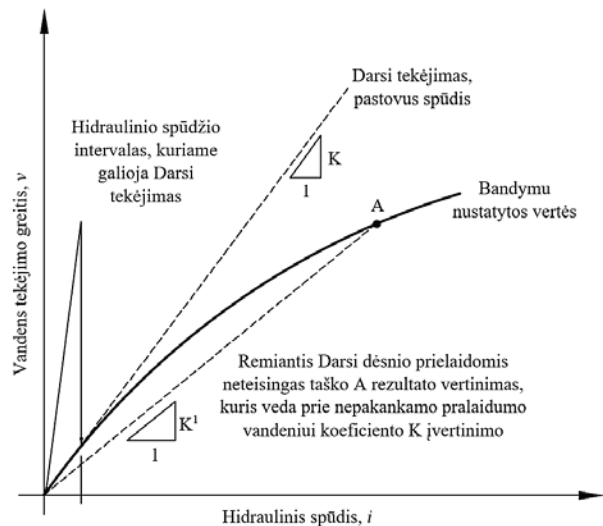
- Proktoro tankis (LST EN 13 286-2:2010);
- optimalus vandens kiekis (LST EN 13 286-2:2010);
- oro tuštymės (LST EN 13 286-2:2010).

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

- standartinėms sąlygoms (LST CEN ISO/TS 17 892-11:2005/AC:2006);
- skirtingiems sutankinimo laipsniams (100 %; 103 %);
- skirtingam vandens hidrauliniam spūdžiui.

## Išvados

1. 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 pažeminimas, pakankamas žemės sankasos paviršiaus skersinis nuolydis ir dangos konstrukcijos nesurištųjų pagrindo sluoksnių pralaidumas vandeniui, kuris lemiamas daugelio rodiklių.
2. Pralaidumas vandeniui yra priklausomas nuo tokių rodiklių:
  - mineralinių medžiagų mišinio ir žemės sankasos gruntų granulimetrinės sudėties;
  - oro tuštymių kiekio sluoksnyje;
  - mineralinių medžiagų struktūros ir tekstūros;
  - grunto ir mineralinių medžiagų tankio;
  - pratekančio vandens temperatūros.
3. Pastovaus spūdžio pralaidumo vandeniui bandymo metu tiriamasis bandinys yra įdedamas į indą, kuris turi pralaidžius vandeniui filtrus, tačiau nepakeičia mineralinės medžiagos ar grunto skeleto. Siekiant gauti tinkamus rezultatus, siūloma mažinti bandinio frakciją, jei naudojamoje įrangoje netelpa stambiosios frakcijos mineralinės medžiagos, ir atlikti bandymą esant skirtingiems hidrauliniams nuolydžiams.
4. Siekiant tinkamai nustatyti apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio pralaidumo vandeniui savybes turi būti nustatytos šių nesurištųjų mineralinių medžiagų mišinių sa-



4 paveikslas. Darsi dėsnio sąlygų tinkamumas priklausomai nuo vandens tekėjimo greičio ir hidraulinio spūdžio priklausomybės

Figure 4. The suitability of Darcy law conditions, depending on the flow rate of the water and the hydraulic pressure

vybės ir įvertinta jų atitiktis techninių dokumentų reikalavimams. Numatytą atlikti eksperimentinį laboratorinį tyrimą sudarys mineralinių medžiagų mišinių savybių nustatymas bei pralaidumo vandeniui, priklausomai nuo mišinio sudėties, tankio ir hidraulinio spūdžio, nustatymo tyrimas ir analizė.

## Literatūra

- Araya, A. A. (2011). *Characterization of unbound granular materials for pavements* (Doctoral dissertation). IHE/TU Delft, Netherlands.
- Cedergren, H. R. (1974). *Drainage of highway and airfield pavements*. John Wiley & Sons.
- Cedergren, H. R. (1997). *Seepage, drainage, and flow nets* (Vol. 16). John Wiley & Sons.
- Dawson, A. (Ed.). (2008). *Water in road structures: movement, drainage and effects* (Vol. 5). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8562-8>
- LST CEN ISO/TS 17 892-11:2005/AC:2006. *Geotechniniai tyrimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 11 dalis. Pralaidumo vandeniui nustatymas veikiant pastoviam ir krintančiam spūdžiui*.
- LST EN 933-1:2012. *Bandymai užpildų geometrinėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas. Sijavimo metodas*.
- LST EN 1097-6:2013. *Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 6 dalis. Dalelių tankio ir įmirškio nustatymas*.
- LST EN 13 286-2:2010. *Nesurištieji ir hidrauliškai surišti mišiniai. 2 dalis. Bandymo metodai laboratoriniam atskaitos tankiui ir vandens kiekiui nustatyti. Proktoro tankinimas*.
- Saevarsdottir, T., & Erlingsson, S. (2013). Effect of moisture content on pavement behaviour in a heavy vehicle simulator test. *Road Materials and Pavement Design*, 14(1), 274-286. <https://doi.org/10.1080/14680629.2013.774762>

- Thompson, M. R., Tutumluer, E., & Bejarano, M. (1998). *Granular material and soil moduli: review of the literature*. Final report, Center of Excellence for Airport Pavement Research COE Report No. 1. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Werkmeister, S. (2003). *Permanent deformation behaviour of unbound granular materials in pavement constructions* (Doctoral dissertation). Technical University of Dresden in Germany.

#### ASSESSMENT OF FACTORS DETERMINING WATER PERMEABILITY OF BASE LAYERS IN PAVEMENT STRUCTURE ON TRAFFIC ZONES

V. Filotenkovas, A. Vaitkus

Abstract

This article analyses the influence of properties of frost-susceptible layers on water permeability functionality. It is necessary to ensure adequate water permeability of the structural layers and

control of groundwater level to prevent or at least reduce the deformation of the road surface. Particularly important factors for proper water permeability are: the particle size distribution, composition of the mineral aggregates mixtures or used soil, their contamination, the 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 headwater permeability apparatus. It is necessary to take into account the fraction of the test object and perform the test at different hydraulic ramps to assess the suitability of the results. An experimental laboratory test plan was developed.

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