



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GEOTECHNIKOS KATEDRA

Paulius Navickas

GRUNTO SĄVEIKOS SU IŠVALYTU NUOTEKŲ VANDENIU TYRIMAS
INVESTIGATION OF SOIL INTERACTION WITH CLEARING WASTE
WATER

Baigiamasis magistro darbas

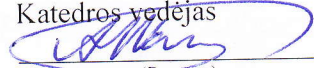
Geotechnikos studijų programa, valstybinis kodas 621H25001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GEOTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas


(Parašas)

prof. A. Norckus
(Vardas, pavardė)

2013 06 10
(Data)

Paulius Navickas

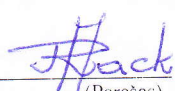
GRUNTO SĄVEIKOS SU IŠVALYTU NUOTEKŲ VANDENIU TYRIMAS
INVESTIGATION OF SOIL INTERACTION WITH CLEARING WASTE
WATER

Baigiamasis magistro darbas

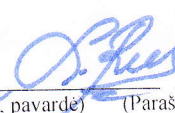
Geotechnikos studijų programa, valstybinis kodas 621H25001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

Doc. dr. R. Mackevičius  2013. 5. 9.
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

Mkt. Rina Gutkūnė  2013-06-07
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2013

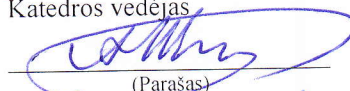
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GEOTECHNIKOS KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Geotechnikos studijų programa, valstybinis kodas 621H25001

TVIRTINU

Katedros vedėjas



(Parašas)

prof. A. Norkus

(Vardas, pavardė)

2011. 10. 18.

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2011.10.17 Nr. GM-1104

Vilnius

Studentui (ei) Pauliui Navickui.

Baigiamojo darbo tema: Grunto sąveikos su išvalytu nuotekų vandeniu tyrimas.

patvirtinta 2012 m. spalio 23 d. dekanų potvarkiu Nr. 511st.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2013 m. birželio 7 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti grunto sąveikos su išvalytu nuotekų vandeniu tyrimą. Pagaminti ir laboratorijoje ištirti gruntbetonio bandinius, kuriuose būtų panaudotas išvalytas nuotekų vanduo ir, palyginimui, kiti vandenys. Ištirti stiprumo kitimą laike.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

lektorė Lina Rutkienė

(lietuvių kalbos konsultantė)

Vadovas

Back.

(Paraša)

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

docentas

akademinis

Rimantas

Mackevičius

Užduotį gavau



(Parašas)

P. Navickas

(Vardas, pavardė)

2011. 10. 18.

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Geotechnikos katedra

ISBN
Egz. sk. 1...
Data 2013-06-07 ISSN

Antrosios pakopos studijų **Geotechnikos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Grunto sąveikos su išvalytų nuotekų vandeniu tyrimas**

Autorius **Paulius Navickas**

Vadovas **doc. dr. Rimantas Mackevičius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame baigiamajame magistro darbe nagrinėjama grunto sąveika su išvalytais skirtingais vandens bandiniais. Analizuota grunto filtracijos koeficiento ir skysčio klampumo priklausomybė. Baigiamojo darbo vandens infiltracijos į gruntą dalyje nustatomas skirtingo klampumo skysčių laidumo koeficientas. Gruntbetonio gniuždymo stiprio dalyje nustatoma tiriamo grunto granulometrinė sudėtis. Atliekamas gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio bandymas. Išanalizuota skirtingų vandens bandinių bendroji cheminė analizė. Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, apžvalginė dalis, vandens infiltracijos į gruntą dalis, gruntbetonio stiprumo gniuždant tyrimas, rezultatų analizė, išvados ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 70 p. teksto be priedų, 58 paveikslėliai, 23 lentelės, 17 bibliografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai: didelio slėgio injekcija, gruntbetonis, vianaašis gniuždymo stipris, filtracijos koeficientas, vandens cheminė analizė.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Geotechnical Engineering

ISBN ISSN
Copies No. 1....
Date 2013-06-07

Master Degree Studies **Geotechnics** study programme Final Work

Title **Investigation of soil interaction with clearing waste water**

Author **Paulius Navickas**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Rimantas Mackevičius**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

This thesis examines the interaction of soil with different purified water samples. Analyzed soil filtration coefficient and fluid viscosity dependence. Final work of water infiltration into the soil shall be determined for different viscosity fluid conductivity. In tabby compressive part is determined soil texture. Carried out tabby compressive strength test. The impact of different water samples' general chemical analysis. The work consists of six parts: introduction, literature review, water infiltration into the soil part, tabby compressive strength test, analysis of results, conclusions and references.

Thesis consist of: 70 p. text without appendixes, 58 images, 23 tables, 17 references.

Keywords: jet grouting, tabby, the unconfined compressive strength, filtration coefficient, chemical analysis of water.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų, sesijų
ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo
tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Paulius Navickas, 20076476

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Geotechnika, Gfm-11

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2013 m. birželio 10 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Grunto sąveikos su išvalytų nuotekų vandeniu tyrimas“ patvirtintas 2012 m. spalio 23 d. dekanų potvarkiu Nr. 511st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Lina Rutkienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Rimantas Mackevičius.

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

(Parašas)

Paulius Navickas

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	11
ĮVADAS	12
1. APŽVALGINIS SKYRIUS.....	13
2. VANDENS INFILTRACIJA Į GRUNTĄ	16
2.1. Fizikinės gruntų ir skysčių savybės	17
2.2. Gruntų filtracinės savybės	18
2.3. Skysčių klampumo įtaką grunto laidumo koeficientui	19
2.4. Grunto laidumo koeficiento nustatymas pastovaus spūdžio metodu.....	22
2.5. Grunto laidumo skirtingam vandeniui bandymas.....	24
2.6. Skirtingo klampumo skysčių laidumo koeficientų nustatymas	28
2.7. Rezultatų apibendrinimas	35
3. GRUNTBETONIO STIPRUMO GNIUŽDANT TYRIMAS	36
3.1. Tiriamojo grunto pavadinimo nustatymas pagal jo granulimetrinę sudėtį	37
3.1.1. Bandymo prietaisai	38
3.1.2. Bandymo eiga	39
3.1.3. Bandymo duomenų apdorojimas	42
3.2. Rezultatų apibendrinimas	43
3.3. Gruntbetonio bandinių paruošimas ir gniuždymas	43
3.3.1. Bandinio išėmimo iš formos būdai	44
3.3.2. Vandens santykio nustatymas.....	46
3.3.3. Bandymo aprašymas.....	47
3.3.4. Bandinių gniuždymas triašio slėgio aparatu.....	49
3.4. Vandens bendroji cheminė analizė	55
4. REZULTATŲ ANALIZĖ	59
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	69
LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI	71
A priedas. Grunto granulimetrinė sudėties kreivė	72
B priedas. Vandens bendrosios cheminės analizės rezultatai.....	74

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Valymo įrenginių veikimo principinė schema	15
1.2 pav. Naftos atskirtuvo (gaudyklės) principinė schema	15
2.1 pav. Vandens nudažyto maistiniais dažais filtracija į gruntą	21
2.2 pav. Vandens klampumo korekcijos koeficiento priklausomybė nuo temperatūros.....	23
2.3 pav. Pastovaus spūdžio bandymo prietaiso schema.....	25
2.4 pav. Pastovaus spūdžio bandymo prietaisas	25
2.5 pav. Vandentiekio vanduo.....	29
2.6 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (1 bandymas).....	30
2.7 pav. Dumblinas vanduo.....	31
2.8 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (2 bandymas).....	32
2.9 pav. Dyzelio ir vandens mišinys	33
2.10 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (3 bandymas).....	34
2.11 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (visi bandymai).....	35
3.1 pav. Pamatų rekonstrukcija naudojant didelio slėgio injekciją.....	36
3.2 pav. Gruntų granulometrinės sudėties kreivė.....	38
3.3 pav. Sietas su tiramu gruntu	39
3.4 pav. Sijojimo eiga	40
3.5 pav. Grunto granulometrinės sudėties nustatymas.....	40
3.5 pav. Gruntbetonio bandinių formos	44
3.6 pav. Gruntbetonio bandinių formos su įklota polietileno plėvele	44
3.7 pav. Formos su smėlio, vandens ir cemento mišiniu	45
3.8 pav. Išimtas bandinys su smėlio, vandens ir cemento mišiniu (viduje įklota polietilėninė plėvelė) 45	
3.9 pav. Išimtas bandinys su smėlio, vandens ir cemento mišiniu (vidus išteptas aliejumi)	46
3.10 pav. Svarstyklėmis pasveriamas reikiamas vandens kiekis	46
3.11 pav. Paruoštas vandens, cemento ir smėlio mišinys	47
3.12 pav. Paruošti bandiniai	48
3.13 pav. Bandinio išėmimas	48

3.14 pav. Išimti bandiniai po 7 ir 28 parų laikymo	48
3.15 pav. Triašio slėgio aparatas	49
3.16 pav. Gniuždomas bandinys	49
3.17 pav. Apkrovos kitimo grafikas, Neries upės vanduo (1:0,8).....	50
3.18 pav. Apkrovos kitimo grafikas, Neries upės vanduo (1:1).....	50
3.19 pav. Apkrovos kitimo grafikas, Neries upės vanduo (0,8:1).....	50
3.20 pav. Apkrovos kitimo grafikas, vandentiekio vanduo (1:0,8).....	51
3.21 pav. Apkrovos kitimo grafikas, vandentiekio vanduo (1:1).....	51
3.22 pav. Apkrovos kitimo grafikas, vandentiekio vanduo (0,8:1).....	51
3.23 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais) (1:0,8)..	52
3.24 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais) (1:1).....	52
3.25 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais) (0,8:1)..	52
3.26 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis) (1:0,8)	53
3.27 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis) (1:1)	53
3.28 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis) (0,8:1)	53
3.29 pav. Sugniuždytas bandinys	54
3.30 pav. Vandens bandiniui cheminei analizei.....	56
4.1 pav. Ištirpusių mineralinių medžiagų sumos (mg/l) grafinis palyginimas.....	59
4.2 pav. Sausos liekanos grafinis palyginimas.....	60
4.3 pav. Vandens pH grafinis palyginimas	60
4.4 pav. Vandens CO ₂ (pusiausvyrinio) grafinis palyginimas	61
4.5 pav. Vandens CO ₂ (agresyvaus) grafinis palyginimas.....	61
4.6 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant vandentiekio vandenį, palyginimas	62
4.7 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant Neries upės vandenį, palyginimas..	63
4.8 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas naftos produktais), palyginimas.....	63

4.9 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis), palyginimas.....	64
4.10 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 1:0,8, palyginimas	65
4.11 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 1:1, palyginimas	66
4.12 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 0,8:1, palyginimas	66
4.13 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 7 parų palyginimas.....	67
4.14 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 28 parų palyginimas.....	68

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Bandinys NR. 1, vandentiekio vanduo, bandinio aukštis ~270 mm	29
2.2 lentelė. Bandinys NR. 2, valytas (dumblinas) vanduo, bandinio aukštis ~270 mm	31
2.3 lentelė. Bandinys NR. 3, dyzelio ir vandens mišinys, santykis 1:20, bandinio aukštis ~270 mm.....	33
3.1 lentelė. Mažiausia grunto bandinio masė, reikalinga gruntų granulometrinei sudėčiai nustatyti.....	41
3.2 lentelė. Didžiausia ant sietų galinti likti grunto masė	42
3.3 lentelė. Bandymo rezultatai.....	43
3.3 lentelė. Vandens ir cemento santykiai.....	47
3.4 lentelė. Bandymo gniuždant rezultatai (bandinių po 7 parų išlaikymo)	54
3.5 lentelė. Bandymo gniuždant rezultatai (bandinių po 28 parų išlaikymo)	55
3.6 lentelė. Vandens bandinių ištirpusių mineralų medžiagų kiekis.....	56
3.7 lentelė. Vandens bandinių sausos liekanos kiekis.....	56
3.8 lentelė. Vandens bandinių pH	57
3.9 lentelė. Vandens bandinių CO ₂ (pusiausvyrinis) kiekis.....	57
3.10 lentelė. Vandens bandinių CO ₂ (agresyvusis) kiekis	57
4.1 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant vandentiekio vandenį, rezultatai	62
4.2 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant Neris upės vandenį, rezultatai .	62
4.3 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas naftos produktais), rezultatai	63
4.4 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis), rezultatai	64
4.5 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant V/C santikį 1:0,8, rezultatai	65
4.6 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant V/C santikį 1:1, rezultatai	65
4.7 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant V/C santikį 0,8:1, rezultatai	66
4.8 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 7 parų rezultatai.....	67
4.9 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 28 parų rezultatai.....	68

IVADAS

Didelio slėgio srautinė injekcija (vok. *die Hochdruckinjektion*, angl. *Jet-Grouting*) yra puikus būdas pagrindų ir pamatų stiprinimui. Cemento suspensija švirkščiamą į gruntą. Grunto ir cemento suspensijos mišinys tampa tvirtu gruntbetoniui. Šiam metodui naudojamas didelis kiekis vandens. Iki šiol buvo naudojamas tik švarus vandentiekio vanduo. Tačiau vis labiau populiarėjant ekologijos idėjai, reikšmingas procesas būtų išvalyto vandens nuo buitinių nuotekų, naftos produktų ir pan. panaudojimas statybos procese – didelio slėgio srautinei injekcijai. Tačiau pirmiausia reikia ištirti gruntbetonio stiprumą gniuždant, kai jo sudarymui naudojami skirtingi vandens bandiniai.

Viena iš daugelio inžinerinių problemų kylančių projektuojant nuotekų valymo sistemas yra grunto filtracijos ploto nustatymas, per kurį pašalinamas iš bioreaktoriaus išleistas išvalytas vanduo. Todėl svarbu ištirti skirtingo klampumo skysčių, grunto filtracijos koeficiento ir laiko priklausomybę.

Darbo objektas – gruntbetonio gniuždymo stipris ir skirtingo klampumo skysčių laidumo koeficientas.

Darbo tikslas – ištirti grunto sąveiką su išvalytais skirtingais vandens bandiniais. Išanalizuoti grunto filtracijos koeficiento ir skysčio klampumo priklausomybę.

Siekiant įgyvendinti tikslą, iškeliama tokie **uždaviniai**:

1. Atlikti bandymus skirtingo klampumo skysčių laidumo koeficiento nustatymui.
2. Nustatyti tiriamo grunto granuliometrinę sudėtį.
3. Nustatyti gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprį.
4. Nustatyti vandens bendrąją cheminę analizę.
5. Atlikti gautų rezultatų palyginimą ir pateikti išvadas.

1. APŽVALGINIS SKYRIUS

Srautinės injekcijos

Srautinės injekcijas išrado japonų mokslininkas XX a. 70-tųjų metų pradžioje ir pirmieji Europoje šią technologiją išbandė italai. Firma „Keller“ įsigijo licenziją ir nuo to laiko šis metodas vadinamas „soilcrete“ pavadinimu. Tai įranga gruntbetoniniams luitams gaminti. Įrenginys susideda iš darbo stoties ir gręžiklio (Ground improvement...2013).

Gręžimas. 10 cm skersmens grąžtas įgilinamas į gruntą. Gręžimas palaikomas cemento suspensijos srautu. Ji praeina pro grąžto galvutės skylutę ir aplink ją palaiko tuščią erdvę, pro kurią cementavimo metu pašalinama nereikalinga medžiaga.

Cementavimas. Vienu metu suardomas gruntas ir išvirkščiamas aukšto slėgio cemento skiedinys. Suspensija susimaišo su likusiomis grunto dalelėmis. Mišinio tankumas siekia nuo 1,4 g/cm³ iki 1,9 g/cm³.

Luitų formavimas. Gruntbetonio formų įvairovė gaunama atitinkamais injektoriaus judesiais.

Srautinės injekcijos metodas plačiai taikomas silpno pagrindo objektų pamatų remontui, šlaitų stabilumui, gręžinių ir perėjų tuneliuose sutvirtinimui, pamatų stiprinimui ir t.t. Pastatų pamatų stiprinimas atliekamas formuojant gruntbetonio luitus po pamatais. Tai labai efektyvus pamato stiprinimo būdas. Metodas plačiai taikomas pamatų rekonstrukcijai. Srautinė injekcija puikiai panaudojama statant naujų objektų pamatus šalia esančių. Išorinis tunelių sutvirtinimas srautinės injekcijos metodu taikomas neuoliniuose gruntuose. Gruntbetonio poliai gręžiami horizontaliai, kad susiliestų tarpusavyje.

Didelio slėgio injekcijos (*jet grouting*) privalumai:

- Galimybė įrengti įvairios formos gruntbetonius luitus reikalingame gylyje;
- Galima apskaičiuoti gruntbetonio laikomąją galią;
- Galima optimalizuoti mišinio sudėtį;
- Pamatų sutvirtinimai tvirti ir nesudėtinga juos įrengti;
- Sujungia sutrukinėjusias mūrines ar akmenines konstrukcijas;
- Nepažeidžiami inžineriniai tinklai po žeme;
- Injektavimas galimas iš žemės paviršiaus.

Nuotekų valymo sistemos

Nuotekų valymo įrenginių tipai:

- individualūs – tai yra, naudojami tik to objekto, kuriam buvo suprojektuoti,

- gravitaciniai – tai yra naudojamas skysčio takumo principas, nors kartais gali būti naudojami ir siurbliai,
- biologiniai mechaniniai – veikiantys suderinant biologines ir mechanines savybes,
- ūkiniai buitiniai – valantys tik namų ūkio nutekamuosius vandenį.

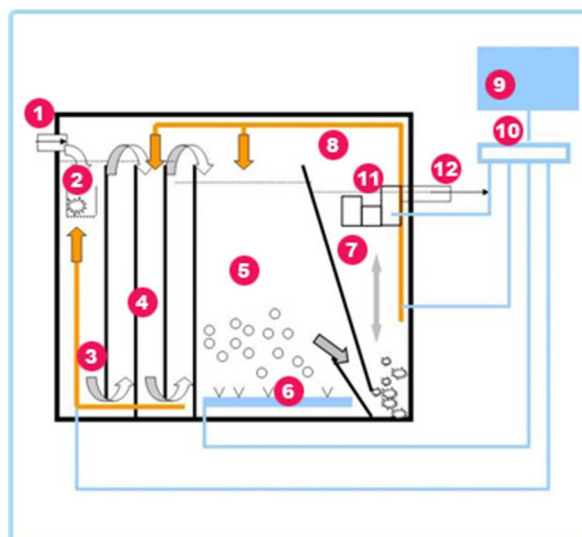
Nutekamieji namų ūkio vandenys skirstomi į pilkuosius ir juoduosius (Nuotekų valymo...2011):

- Pilkasis vanduo – vanduo, naudotas maudymuisi, skalbimui, plovimui,
- Juodasis – vanduo iš tualetų.

Juodieji nutekamieji vandenys sudaro apie 30 % bendrų nutekamųjų vandenų, tačiau juose būna susikaupę 50 % fosforo (bendros masės), 90 % azoto ir gausybė fekalinių bakterijų. Visa tai reikia nukenksminti ir išvalyti. Į tokius įrenginius negalima nukreipti lietaus ar drenažinio vandens, nes gali sutrikti jų veikla.

Valymo įrenginių veikimo principas (1.1 pav.):

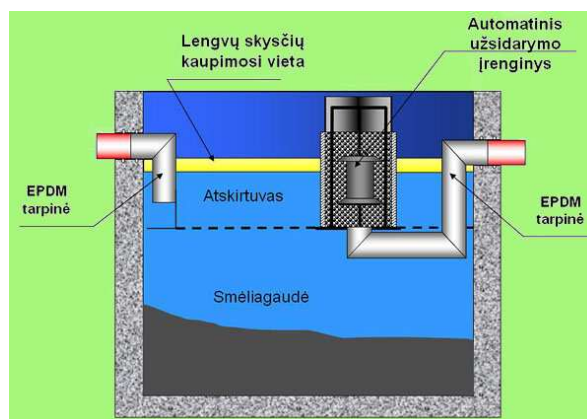
- Įtekėjimas;
- Mechaninis valymas;
- Anaerobinės fermentacijos zona;
- Denitrifikacijos zona;
- Aeracijos zona;
- Aeracijos difuzorius;
- Antrinio nusodintuvo zona;
- Oro paskirstymo sistema;
- Orapūtė;
- Oro pakirstymo sistema;
- Vandens srauto paskirstymas;
- Ištekėjimas.



1.1 pav. Valymo įrenginių veikimo principinė schema
(Valymo...2011)

Naftos atskirtuvai (gaudyklės)

Naftos atskirtuvai (gaudyklės) veikia gravitaciniu principu, atskirdami sunkesnę vandenį nuo lengvesnių naftos produktų. Kiekvienoje degalinėje, automobilių plovykloje, stovėjimo aikštelėje ar kitoje vietoje, kurioje galimas naftos produktų nutekėjimas, privalo būti sumontuota naftos gaudyklė. Jos principinė schema pavaizduota 1.2 paveiksle.



1.2 pav. Naftos atskirtuvo (gaudyklės) principinė schema
(Naftos atskirtuvai...2011)

Pagal Lietuvos institucijų reikalavimus teršalų kiekis ištekančiame iš gaudyklės vandenyje (po išvalymo) neturi viršyti 5 mg/l (taip vadinama pirma išvalymo klasė). Naftos produktų atskirtuvai-gaudyklės ANG. Įrenginiai skirti atskirti ir/arba sugauti iš paviršinio (lietaus) nutekamojo vandens ir gamybinio nutekamojo vandens naftos produktus. Atskirtuvai-gaudyklės

naudojami degalinėse, naftos terminaluose, stovėjimo aikštelėse, autoservisuose, automobilių plovyklose, pramonės įmonėse ir kt. Naftos produktų koncentracija įtekamajame vandenyje gali siekti 2300 mg/l, prieš sorbuojantį filtrą 50 mg/l. Užterštas nutekamasis vanduo išvalomas iki 1 mg/l naftos produktų, jam pratekant per nusodintuvą, koalescencinį filtrą ir sorbuojantį filtrą su sorbento užpildu (NKS) arba koalescencinį ir sorbuojantį filtrą (KS), o iki 5 mg/l naftos produktų - per nusodintuvą ir koalescencinį filtrą (NK). Žymėjimas. Skaičius po naftos produktų atskirtumo-gaudyklės tipu reiškia įrenginio pajėgumą l/s. Pvz. ANG-3 (tipas ANG ir 3 litrų per sekundę pajėgumo). Papildomai gali būti nurodyta su sorbuojančiu filtru NKS ar tik su koalescenciniu filtru NK t.y. ANG-3 NKS arba ANG-3 NK.

Nutekamojo vandens valymas eiga:

- Pirmiausia vandens srautas nuraminamas ir nusodinamas smėlis ir kitos sunkios dalelės;
- Antra koalescencinis filtras sulaiko dumblą ir atskiria naftos produktus nuo vandens;
- Trečia vyksta užteršto vandens išvalymas filtruojant per sorbuojantį filtrą su sorbentu.

Įrenginių korpusas gaminamas iš polietileno arba gelžbetonio. Korpusui suteikiama 10 metų, vidaus įrangai 2 metų o sorbuojančiam elementui 6 mėnesių garantija. Mažiausias įrenginio našumas 1 l/s, didžiausias - 50 l/s ir kartojant iki pasiekiamas norimas našumas. Našumas automobilių plovyklose perskaičiuojamas pridedant +1 l/s kiekvienam plovimo įrenginiui. ANG įrenginio tipo pagrindu rekonstruojami seni paviršinių ir gamybinių nuotekų valymo įrenginiai. Papildomai galima montuoti lygio signalizaciją, naftos produktų nupylimą į atskirą talpą automatinio ar rankinio būdu, debito matavimo šulinį ir prietaisus, apsauginę sklendę bei mėginio paėmimo šulinėlį.

2. VANDENS INFILTRACIJA Į GRUNTĄ

Tyrimų analizei buvo naudojamas suardytos sandaros rūpus smėlis. Tyrimai atlikti Vilniaus Gedimino technikos universiteto laboratorijoje, pastovaus slėgio filtracijos aparatu. Bandomasis smėlis iš pradžių buvo ištirtas nesijojus (Pasvertas, išmatuotas tūris, tankis). Tada padalinus smėlį į kelias dalis, jo filtracinės savybės buvo tirtos naudojant skirtingus skysčius: vandenį, dyzeliną, vandenį iš valymo įrenginių.

Tyrimų analizės tikslas - patikrinti ar yra priklausomybė tarp skirtingo klampumo skysčių ir grunto filtracinių savybių.

Tyrimų uždaviniai: nustatyti ir palyginti vienodos frakcijos smėlio laidumo įvairiems skysčiams koeficientą. Susisteminti teorinę informaciją, kaip įvertinti klampumo įtaką filtracijos koeficientui teoriškai.

2.1. Fizikinės gruntų ir skysčių savybės

Pagal laboratorinių darbų metodikoje (Amšiejus *et al.* 2006) pateiktą medžiagą, fizinėmis savybėmis apibūdinama gruntų, kaip pagrindą sudarančios medžiagos, sudėtis ir būvis. Jos tiriamos laboratorijoje. Ištyrus randami šių savybių rodikliai. Pagal daugumą jų gruntai klasifikuojami, kai kurie iš jų naudojami skaičiuojant pagrindus. Jie taip pat reikalingi gruntui, kaip pastatų pagrindui, apytiksliai vertinti. Tyrimo metodai nesudėtingi, standartiniai. Laboratoriniai prietaisai fizinėms savybėms tirti yra paprasti, tyrimai atliekami greitai.

Nagrinėjant grunto savybes, visas tūris suskirstomas į dvi dalis – kietųjų dalelių ir porų tūris:

$$V = V_s + V_n; \quad (2.1)$$

čia V - visas grunto tūris;

V_s - kietųjų dalelių tūris;

V_n - porų tūris.

Grunto masę sudaro kietųjų dalelių ir porose esančio vandens masės (į grunto porose esančio oro masę neatsižvelgiama):

$$m = m_s + m_w; \quad (2.2)$$

čia m - visas grunto masė,

m_s - kietųjų dalelių masė,

m_w - porų vandens masė.

Mechaninės gruntų savybės rodo, kaip pagrindas deformuojasi, koks jo stiprumas bei pastovumas. Į jų rodiklius atsižvelgiama skaičiuojant pagrindo deformacijas ir laikomąją galią, taip pat šlaitų pastovumą, grunto slėgį į atraminius paviršius.

Mechaninės savybės yra dvi: *suspaudžiamumas* ir *stiprumas kerpančiam*. Pagrindo, apkrauto nedidele apkrova, kuri nesukelia negęstančių šlyties deformacijų, gruntas tankėja, jo tūris mažėja. Šioje fazėje svarbiausios gruntų savybės yra deformacijų modulis E ir skersinės deformacijos

koeficientas v . Pagrindo, apkrauto didele apkrova, kai grunte vyksta negęstančios šlyties deformacijos, stiprumas yra ribinis. Šioje fazėje svarbiausia gruntų savybė yra stiprumas kerpan, kurį rodo sankabumas c ir vidinės trinties kampas φ° .

Mechaninių savybių rodikliai nustatomi ištyrus gruntus laboratorijoje ar lauke natūraliomis slūgsojimo sąlygomis. Daugelio tyrimų metodika ir aparatūra standartinė.

Laboratorijoje tiriami nesuardytos sandaros monolitiniai grunto bandiniai, paimti iš gręžinių ar kasinių. Imant, vežant į laboratoriją ir dedant bandinius į aparatų žiedus, natūrali grunto sandara daugiau ar mažiau suardoma, dėl to laboratorijoje nustatyti mechaninių savybių rodikliai ne visai tikri. Be to, šie bandiniai maži, dėl to negalima įvertinti struktūros ir tekstūros ypatumų įtakos mechaninėms savybėms. Lauko metodais natūraliomis slūgsojimo sąlygomis kasinyje ar gręžinyje tiriamas didelis grunto tūris, todėl taip nustatyti mechaninių savybių rodikliai patikimesni.

Mechaninių savybių tyrimas trunka ilgai, keletą ar keliolika parų, laboratorijoje naudojami specialūs aparatai, o lauko tyrimams sudėtingi ir sunkūs įrenginiai. Dėl to mechaninės savybės laboratorijoje tiriamos tik nedaugelio būdingų bandinių, parinktų atsižvelgiant į fizinių savybių tyrimo duomenis, o natūraliomis sąlygomis - tik specialiais atvejais. Pritaikius naujus efektyvius lauko tyrimų metodus, mechaninės grunto savybės iširiamos sparčiau ir lengviau.

2.2. Gruntų filtracinės savybės

Skystis grunte filtruojasi esant hidrauliniam nuolydžiui, kuris susidaro natūraliai arba apkrovus gruntą. Pastaruoju atveju grunte susidaro dideli hidrauliniai nuolydžiai, dėl to skystis filtruojasi ne tik smėliuose, bet ir moliniuose gruntuose, kurie, esant mažiems hidrauliniams nuolydžiams, yra praktiškai skysčiams nelaidūs.

Smėlių skysčio filtracijos greitis išreiškiamas tiesiniu filtracijos – Darsi – dėsnium:

$$v = kI; \quad (2.3)$$

čia k -filtracijos koeficientas,

I -hidraulinis nuolydis.

Moliniuose gruntuose vanduo yra sujungtas, adsorbuotas mineralinių dalelių traukos jėgomis. Šis vanduo tuo klampesnis, kuo plonesnė hidratinė plėvelė, todėl pradeda filtruotis tik esant gana dideliu hidrauliniu nuolydžiu. Įžineriniams skaičiavimams molinių gruntų filtracijos greičio priklausomybė nuo hidraulinio nuolydžio laikoma tiesine:

$$v = k(I - I_0); \quad (2.4)$$

čia I_0 - pradinis hidraulinis nuolydis;

$I_0 = 1 \dots 10$, kai kurių molių ir didesnis.

Filtracinės gruntų savybės tiriamos įvairiais metodais. Smėlių filtracijos koeficientas nustatomas laboratorijoje filtruojant skystį per gruntą, kai hidrauliniai nuolydžiai maži, taip pat siurbiant vandenį iš gręžinių. Molinių gruntų filtracijos koeficientas nustatomas laboratorijoje filtruojant skystį per gruntą kompresiniuose – filtraciniuose aparatuose, kai hidrauliniai nuolydžiai dideli ir neleidžiama gruntui brinkti. Galima molinių gruntų filtracijos koeficientą apskaičiuoti pagal grunto deformacijų stabilizacijos greitį, naudojant naudojantis konsolidacijos teorijos sprendiniais.

Filtracijos koeficientas priklauso nuo grunto granulometrinės ir mineralinės sudėties, tankumo, struktūros ir tekstūros, taip pat nuo gruntinio vandens cheminės sudėties ir temperatūros. Jo kitimo diapazonas platus. Apytikslės filtracijos koeficiento reikšmės: smėlių - $r \cdot 10^{-1} \dots r \cdot 10^{-4}$, priemolių - $r \cdot 10^{-3} \dots r \cdot 10^{-6}$, molinių - $r \cdot 10^{-5} \dots r \cdot 10^{-8}$, molių - $r \cdot 10^{-7} \dots r \cdot 10^{-10}$ cm/s (čia r - bet kuris skaičius 1...9).

2.3. Skysčių klampumo įtaką grunto laidumo koeficientui

Grunto gebėjimas greitai absorbuoti skystį priklauso nuo kelių savybių: nuo skysčio tankio bei klampumo, taip pat labai svarbus parametras – grunto paviršiaus reljefas, poringumo koeficientas, tankis. Iš principo visa tai susiveda į 2 parametrus: grunto filtracijos koeficientą bei skysčio klampumą. Kartu šie parametrai formuoja taip vadinamą specifinį laidumą (Simmons 2005). Norint nustatyti specifinį laidumą, nėra būtinybės, atlikti grunto užpylimą skysčiu, tereikia atlikti grunto filtracijos tyrimą bei nustatyti parametrus reikalingus pritaikyti *Green-Ampt* modelį (Water resources Engineering...) *Green – Ampt* modelis būtų toks:

$$\phi \left(\frac{d}{dt} z \right) = K \left(\frac{h + h_f + z}{z} \right); \quad (2.5)$$

čia skysčio laidumas yra

$$K = \left(\frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu} \right); \quad (2.6)$$

čia k – filtracijos koeficientas (cm/sek),

ρ - skysčio tankis (g/cm³),

μ - skysčio dinaminis klampumas ($Pa \cdot s$),

g – laisvojo kritimo pagreitis (m/s^2),

ϕ - poringumas,

z – fronto gylis, (cm),

h_f – fronto pagrindas arba kapiliarinė trauka (cm).

Esant reikalui galima įvertinti mastelio faktorių, kaip tai atliekama konsolidacijos koeficiento perskaičiavimo atveju, formulė panaši:

$$h_f = h'_f \cdot \frac{\sigma}{\sigma'} \cdot \frac{\rho'}{\rho}; \quad (2.7)$$

čia σ - skysčio paviršiaus tempimo jėga (N/m).

Štrichai prie simbolių žymi, kad reikšmės yra vandens parametrai (pvz; ρ' - vandens tankis).

Esant dviem skysčiams, vienas iš kurių biologinės kilmės (vanduo su naftos produktais). Filtracinių savybių nustatymas labai apsunkėja. Todėl norint teoriškai apskaičiuoti tokį variantą, būtina laikytis sąlygos, kad vandens kiekis būtų kuo minimalesnis (natūralaus džiūvimo drėgnio gruntas) Literatūroje pateikiamos tokios formulės, kurios leidžia pritaikyti *Green – Ampt* metodą:

Efektyvusis poringumas:

$$\phi_a = \phi - \theta_w; \quad (2.8)$$

čia

$$\theta = \frac{\rho_{bulk}}{\rho_w} \cdot \frac{w}{1 + w}; \quad (2.9)$$

čia ρ_{bulk} - Sauso grunto tankis (g/cm^3).

Tada sauso grunto tankis su vandens ir kito skysčio priemaišomis

$$\rho_{bulk} = \rho_s (1 - \phi) + \rho_w \cdot \theta_w + \rho_o \theta_o; \quad (2.10)$$

čia „s“ – reiškia kieto grunto parametrus,

„w“ – vandens parametrus,

o – kito skysčio parametrus.

Iš gruntų mechanikos žinoma, kad:

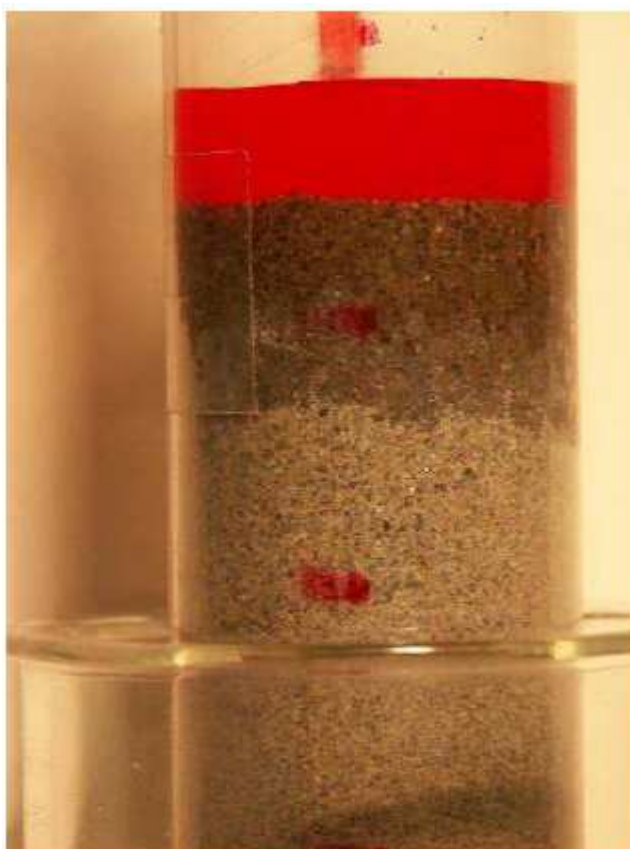
$$\rho_w \cdot \theta = w \cdot \rho_s (1 - \phi); \quad (2.11)$$

$$\rho_{bulk} = \rho_s (1 - \phi)(1 - w). \quad (2.12)$$

Jei skysčio tūris V yra infiltruojamas į drėgną gruntą per plotą A . Tada gylis, kurį pasiekia infiltruotas gruntas gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\frac{V}{A} = \phi_a \cdot z. \quad (2.13)$$

Įvairūs *Green-Ampt* modelio variantai bus toliau nagrinėjami magistriniame darbe, apsiribojant tik teorinėmis prielaidomis bei galimu skaičiavimo algoritmu. Kai kuriose situacijose, klampumas gali būti iš pradžių nežinomas, arba jo vertė yra abejotina, ypač tai galioja kai skystis yra maišantis su vandeniu. Eksperimentiniuose bandymuose gali būti taikomi įvairūs skysčių filtravimo variantai: pilamas tam tikras skysčio tūris, laikomas pastovus skysčio slėgis (pastovus pjezometrinis aukštis). Vandens nudažyto maistiniais dažais filtracija į gruntą pavaizduota 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Vandens nudažyto maistiniais dažais filtracija į gruntą

Gali būti matuojami įvairūs rezultatai: filtracijos koeficiento priklausomybė nuo nevandeninio skysčio kiekio, skysčio filtracijos fronto gylis bėgant laikui, skysčio filtracijos fronto pagrindas bėgant laikui ir t.t.

2.4. Grunto laidumo koeficiento nustatymas pastovaus spūdžio metodu

Bandymo tikslas: nustatyti suardytos struktūros grunto laidumą vandeniui, esant pastoviam vandens spūdžiui, kai vanduo bandiniu teka laminarine srove. Bandymo metu išmatuojamas vandens kiekis, pratekėjęs pro bandinį per tam tikrą laiką. Bandymas atliekamas su suardytos struktūros gruntais, kurių filtracijos koeficientas nuo 10^{-2} iki 10^{-5} m/s. Nesuardytos struktūros bandinių laidumas gali būti nustatomas triašio slėgio arba konsolidacijos bandymų prietaisais. Bandymas atliekamas su suardytos struktūros gruntais.

Teorinės prielaidos ir pagrindinės formulės

Vandeniui tekant pilnai prisotintu gruntu viena kryptimi vandens debitas q ir vandens tekėjimo greitis v pagal Darsi dėsnį, aprašomas šiomis formulėmis:

$$q = A \cdot k \cdot i; \quad (2.14)$$

$$v = k \cdot i, \quad (2.15)$$

čia A – grunto skerspjūvio, kuriuo teka vandens plotas;

k – laidumas (filtracijos koeficientas);

i – hidraulinis nuolydis.

Grunto laidumas vandeniui priklauso nuo vidutinio gruntų porų dydžio, kuriam turi reikšmės grunto dalelių dydis, forma ir skirtingo dydžio dalelių santykis. Bendruoju atveju kuo smulkesnės dalelės, tuo mažesnis grunto laidumas vandeniui.

Gruntų laidumas yra savybė tarp kietųjų grunto dalelių esančiomis poromis praleisti vandenį. Laidumas nustatomas matuojant vandens tekėjimo greitį vandeniui prisotinto grunto bandinyje, esant tam tikram hidrauliniam gradientui. Grunto laidumas vandeniui (filtracijos koeficientas) išreiškiamas kaip vandens tekėjimo greitis grunte ir paskaičiuojamas pagal formulę:

$$k = \left(\frac{q}{i} \right) \left(\frac{R_t}{A} \right), \quad (2.15)$$

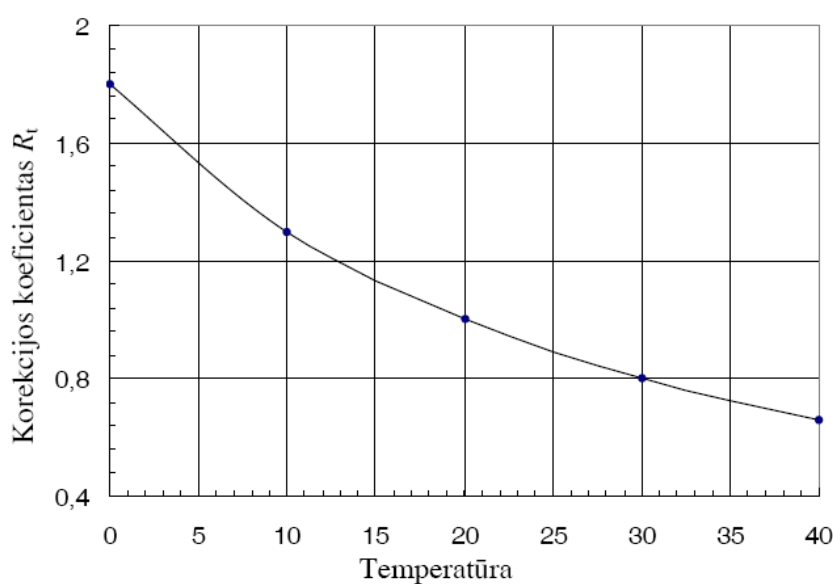
čia q – vandens debitas;

i – hidraulinis gradientas;

A - bandinio skerspjūvio plotas;

R_t - temperatūrinis koeficientas vandens klampumui koreguoti, parenkamas pagal grafiką (2.2 pav.).

Vandens klampumas privedamas iki standartinio, nustatomo esant 20°C temperatūrai. Skaičiuojant laidumą, esant kitai vandens temperatūrai, įvertinami vandens klampumo pokyčiai.



2.2 pav. Vandens klampumo korekcijos koeficiento priklausomybė nuo temperatūros (Amšiejus *et al.* 2006)

Vandens tekėjimo debitą q_i kiekviename bandymo etape, randame pagal formulę:

$$q_i = \frac{Q_i}{t}; \quad (2.16)$$

čia Q_i - vandens kiekis, pribėgęs į matavimo stiklinę per laiką t .

Bandomojo grunto kiekis turi būti pakankamas bandymui atlikti. Iš bandinio grunto pašalinamus stambiąsias daleles, nustatomas bandinio dalelių tankis ρ_s . Pastovaus vandens spūdzio metodas gruntų vandens laidumui nustatyti tinka gruntams, kuriuose mažesnių kaip 0,06 mm. dalelių yra ne daugiau kaip 10 %.

2.5. Grunto laidumo skirtingam vandeniui bandymas

Bandymo prietaisas sudarytas iš nepermatomo metalinio korpuso, atsparaus korozijai ir metalinio dangtelio. Cilindro vidaus skersmuo turi būti ne mažiau kaip 12 kartų didesnis už didžiausią bandomojo grunto dalelės dydį.

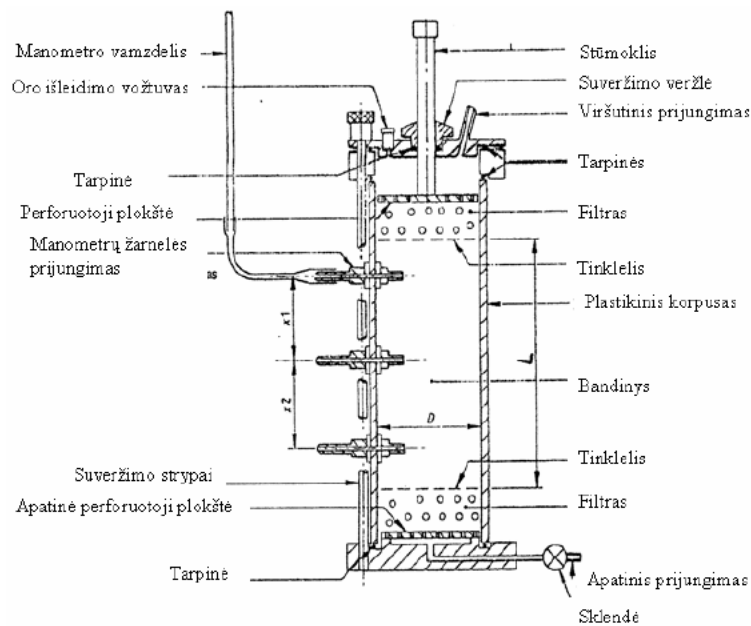
Pagrindinės prietaiso dalys ir esminiai reikalavimai:

- Viršutinis ir apatinis dangtelis bei cilindras, sudarantys vandeniui nelaidžią talpą;
- Stūmoklis, einantis pro viršutinio dangtelio centrą, fiksuojamas bet kurioje vertikalioje padėtyje suveržimo veržle;
- Prie stūmoklio tvirtinama drenažo plokštelė, sugręžtiota taip, kad neturėtų įtakos vandens laidumui;
- Panaši plokštelė tvirtinama cilindro apačioje;
- Vanduo įleidžiamas ir išleidžiamas per vamzdelius, esančius viršutiniame ir apatiniame dangteliuose;
- Vamzdelis apačioje turi sklendę, reguliuojančią vandens ištekėjimą. Sklendė įtaisoma taip, kad būtų galima reguliuoti vandens ištekėjimo greitį. Bet kokie bandinyje susidarę oro burbulai turi būti pašalinami;
- Cilindro korpuse įvairiame aukštyje įtaisomi trys ar daugiau manometrų prijungimo vamzdelių.

Iš bakelio vanduo teka į cilindrą. Parenkant reikiamą hidraulinį nuolydį, bakelio padėtį vertikalėje galima keisti. Stendą su manometrais sudaro to paties skersmens stikliniai arba plastikiniai vamzdeliai. Manometrų vamzdeliai turi būti sumontuoti taip, kad jų apačia būtų ties cilindro viršumi, o viršus – ties bakelyje esančio vandens lygiu, esant bakeliui aukščiausioje padėtyje. Kiekvienas manometras lanksčia žarnele sujungiamas su vamzdeliu, išeinančiu iš cilindro šono. Ant kiekvienos lanksčios žarnelės įtaisomas gnybtas vandens tekėjimui sustabdyti, kai bandinys užpildomas vandeniu. Bandymo metu turi būti užtikrintas švaraus vandens, iš kurio turi būti pašalintas oras, pritekėjimas į bakelį. Šis vanduo gali būti pakeistas paprastuoju, tik būtina, kad vandenyje ir bandinyje neliktų oro burbulų. Oro burbulai geriau pašalinami sumažinant vandens pritekėjimo greitį, užpildant bandinį ir bakelį vandeniu.

Ruošiant bandinį reikalingos šios papildomos priemonės: matavimo indai: 100ml, 500ml ir 1000ml talpos stiklainiai; plastikinis piltuvėlis; semtuvas gruntui supilti į cilindrą; mažas semtuvėlis telpantis į cilindrą; plokštelė su strypu gruntui cilindre sutankinti; kalibruotas termometras, kurio padalos reikšmė 0,5°C; chronometras; vieno gramo tikslumo svarstyklės; metalinė liniuotė, padalyta

kas vieną milimetrą, vandens lygiams manometruose matuoti; slankmatis. Principinė pastovaus spūdžio bandymo prietaiso schema pateikta 2.3 ir 2.4 paveiksluose.



2.3 pav. Pastovaus spūdžio bandymo prietaiso schema
(Amšiejus *et al.* 2006)



2.4 pav. Pastovaus spūdžio bandymo prietaisas

Bandymo eiga

Bandinio parinkimas ir paruošimas. Iš bandomojo grunto pašalinamos didesnės kaip 1/12 cilindro skersmens dalelės. Bandomasis gruntas neturi būti išdžiovinamas. Paruošto bandymui

atlikti grunto tūris turi būti maždaug du kartus didesnis nei cilindro tūris. Atliekma du ar daugiau bandymų su to paties grunto bandiniais, kiekviename bandyme nustatant paruošto bandinio drėgnį W ir tankį ρ . Paruošto bandymui grunto masė m_1 išmatuojama 1g tikslumu. Jeigu bandymai atliekami, esant skirtingiems bandinių tankiams, tada būtina nustatyti sąryšį tarp laidumo ir poringumo koeficientų.

Pirmasis etapas – pradinis prietaiso paruošimas. Keliose vietose išmatuojamas cilindro vidinis skersmuo D tam, kad 1mm tikslumu nustatytume vidutinį skersmenį. 1 mm tikslumu išmatuojas atstumas tarp manometrų prijungimo vamzdelių – x_1 , ir cilindro vidinis skersmuo D (laboratorijoje naudojamo prietaiso cilindro vidinis skersmuo $D = 150$ mm, $x_1 = 80$ mm. Įsitikiname, ar tinkleliai, drenažo plokštės ir vamzdeliai yra neužakę ir švarūs. Uždedame cilindrą ant apatinės bazės, susidedančios iš apatinės ir drenažo plokščių. Bandomąjį gruntą sudedame taip, kad būtų užtikrintas grunto vienodumas ir reikiamas tankis ar poringumas. Bandinio aukščio L (mm) ir skersmens D (mm) santykis turi būti ne mažesnis kaip 2:1. Gruntas bandymui įdedamas ir tankinamas šiuo būdu: sausas gruntas sudedamas į metalinį cilindrą ir tankinamas pasluoksniui (ne mažiau kaip 4 pusės cilindro skersmens storio sluoksniais). Pilant gruntą, reikia stengtis išvengti dalelių susisluoksniavimo pagal dydį. Kiekvieną sluoksnį tankina vienodas smūgių skaičius ar jėga. Prieš pilant kitą sluoksnį, tankintojo sluoksnio paviršius išlyginamas švelniai spaudžiant grūstuvu. Sudėję gruntą užbaigiame prietaiso surinkimą šia tvarka:

1. Viršutinį dangtį su filtru uždedame ant bandinio viršaus;
2. Viršutinį dangtį užfiksuojuame varžtais.

Nustatomas bandinio vidutinis aukštis L_1 išmatuojant bandinį tarp tinkelių trijose vietose 1 mm tikslumu. Pasveriamo 1 g tikslumu likusio grunto masė m_2 , kad nustatytume sudėto į prietaisą grunto kiekį.

Antrasis etapas – bandinio prisotinimas vandeniu:

1. Apatinę bandinio žarnelę prijungiame prie vandens tiekimo įrenginio. Atidarome viršutinę vandens tiekimo angą ir oro vožtuvą, kad leidžiant vandenį iš bandinio galėtų laisvai pasišalinti oras. Užspaudžiame manometrų prijungimo žarneles;
2. Leisdami vandenį nuo bandinio apačios lėtai užpildome cilindrą. Kai vanduo pradeda bėgti pro oro vožtuvą, jis uždaromas leidžiant vandeniui kilti viršutine žarnele. Vanduo bandiniu turi kilti lėtai, kad nesuardytų bandinio;
3. Vandenį leidžiame tol, kol jo lygis pakyla iki indo viršaus;
4. 1 mm tikslumu išmatuojame bandinio aukštį L , kaip nurodyta skyriaus pradžioje;
5. Uždarome apatinę sklendę. Prijungiame viršutinę žarnelę prie vandens tiekimo bakelio, o apatinę žarnelę panardiname į susirinkimo inde esantį vandenį;

6. Nustatome tokią viršutinio bakelio padėtį, kad vandens lygis jame būtų šiek tiek aukščiau cilindro viršaus. Atidarome tiekimo sklendę. Vieną po kito atidarome manometrų vamzdelių žarnelių spaustukus įsitikindami, kad vamzdeliuose neliktų oro burbulų, trukdančių vandeniui patekti į manometrų vamzdelius. Vandens lygis visuose manometrų vamzdeliuose turi pasiekti viršutinio bakelio lygį;

7. Dabar cilindras paruoštas atlikti bandymą, kai vanduo teka žemyn.

Trečiasis etapas – vandens laidumo matavimai:

1. Įtaisome užpildymo rezervuarą reikiamame lygyje, sudarydami bandinyje tam tikrą hidraulinį nuolydį;

2. Atidarome apatinę kontrolinę sklendę, leisdami tekėti vandeniui bandiniu. Manometrų vamzdeliuose leidžiame nusistovėti nekintamam vandens lygiui;

3. Pastatome matavimo stiklinę prie apatinio rezervuaro įdiegimo angos ir pasiruošiame matuoti laiką;

4. Išmatuojame cilindru tekančio vandens kiekį per laiko vienetą;

5. Registruojame vandens lygį manometruose. Jeigu dvejuose lygių yra didelis hidraulinio nuolydžio netiesiškumas, bandymas daromas iš naujo. Hidraulinis nuolydis nustatomas pagal manometrų duomenis. Hidraulinį nuolydį tarp aukštesniojo ir žemesniojo manometrų išėjimo vamzdelių apskaičiuojame pagal formulę:

$$i = \frac{h}{y}; \quad (2.17)$$

čia h – skirtumas tarp manometrų lygių;

y – atstumas tarp kraštinių manometrų vamzdelių.

Tarpinis manometras skirtas patikrinti hidraulinio nuolydžio tiesinę priklausomybę tarp taškų. Jeigu yra trys išėjimo vamzdeliai: $y = x_1 + x_2$.

6. Matuojame išbėgančio vandens temperatūrą;

Procedūros kartojamos mažiausiai keturis kartus esant tam pačiam hidrauliniui nuolydžiui. Hidraulinis nuolydis gali būti keičiamas reguliuojant vandens tekėjimą apatine sklende arba keičiant tiekimo bakelio padėtį. Hidraulinis nuolydis turi būti toks, kad išliktų laminarinis vandens tekėjimas. Laminarinis tekėjimas išlieka, kai sąryšis tarp vandens tekėjimo greičio ir hidraulinio nuolydžio yra tiesinis.

2.6. Skirtingo klampumo skysčių laidumo koeficientų nustatymas

Paskaičiuojame vandens tekėjimo debitą q_i , (l./s) kiekviename bandymo etape, pagal formulę (2.16), esant pastoviam hidrauliniam gradientui i , paskaičiuotam pagal formulę (2.17). Randame vidutinį tekėjimo debitą q_{vid} , esant vienodam hidrauliniam gradientui. Paskaičiuojame laidumą k (m/s), esant vienodam hidrauliniam gradientui. Kada turime priklausomybę, esant skirtingiems gradientams, laidumas gali būti nustatytas pagal lygtį:

$$k = \left(\frac{\Delta q}{\Delta i} \right) \left(\frac{R_t}{A} \right). \quad (2.18)$$

Apskaičiuojame prietaise esančią sausojo grunto masę m_3 pagal formulę:

$$m_3 = \frac{m_1 - m_2}{1 + 0,01W}, \quad (2.19)$$

čia m_1 – pradinė paruošto bandymui grunto masė, g;

m_2 – likusio grunto masė, g;

W – pradinis bandinio drėgnis.

Sausojo grunto tankis ρ_d prietaise apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_d = \frac{4000 \cdot m_3}{\pi D^2 \cdot L}, \quad (2.20)$$

čia m_3 – sausojo grunto masė, g;

D – bandinio skersmuo, mm;

L – bandinio ilgis, mm.

Apskaičiuojame poringumo koeficientą:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1, \quad (2.21)$$

čia ρ_s – dalelių tankis, g/cm³.

Bandymo rezultatų apdorojimas

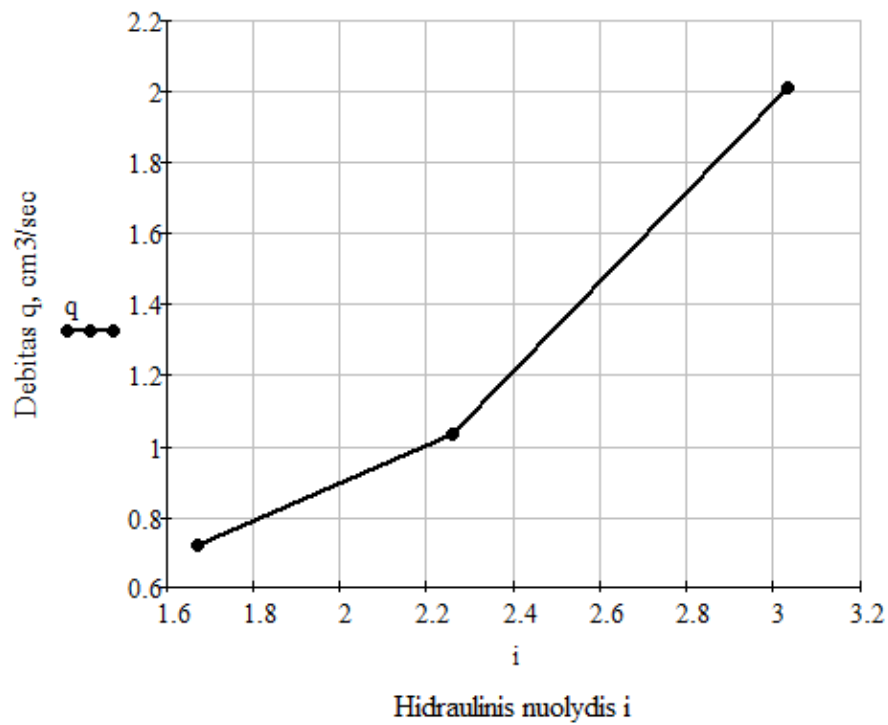
Buvo atlikti trys bandymai su skirtingais vandens bandiniais. Pirmojo bandymo metu naudojamas vandentiekio vanduo (2.5 pav.). Pirmojo bandymo rezultatai pateikti 2.1 lentelėje, o debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (1 bandymas) pateiktas 2.6 paveiksle.



2.5 pav. Vandentiekio vanduo

2.1 lentelė. Bandinys NR. 1, vandentiekio vanduo, bandinio aukštis ~270 mm

Eil. Nr.	Laikas, t (sek.)	Vandens kiekis Q, cm ³	Skirtumas tarp monometrų lygių, mm	Ištekėjusio vandens temperatūra T, C°	Debitas q, cm ³ /sek	Hidraulinis nuolydis, i	Koreliacijos koeficientas, R _t	Laidumas k, m/parą
1.	49	100	300	22	2,04	3,03	0,94	13,06
2.	100	200	300	22	2,00	3,03	0,94	12,80
3.	151	300	300	22	1,99	3,03	0,94	12,72
4.	199	400	300	22	2,01	3,03	0,94	12,87
5.	248	500	300	22	2,02	3,03	0,94	12,91
Vid.			300	22	2,01	3,03	0,94	12,87
1.	98	100	224	21	1,02	2,26	0,97	9,03
2.	193	200	224	21	1,04	2,26	0,97	9,17
3.	289	300	224	21	1,04	2,26	0,97	9,18
4.	389	400	224	21	1,03	2,26	0,97	9,10
5.	486	500	224	21	1,03	2,26	0,97	9,10
Vid.			224	21	1,03	2,26	0,97	9,11
1.	138	100	165	21	0,72	1,67	0,97	8,7
2.	275	200	165	21	0,73	1,67	0,97	8,73
3.	416	300	165	21	0,73	1,67	0,97	8,66
4.	564	400	165	21	0,71	1,67	0,97	8,52
5.	708	500	165	21	0,71	1,67	0,97	8,48
Vid.			165	21	0,72	1,67	0,97	8,62



2.6 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (1 bandymas)

Skaičiuojamas vidutinis laidumo koeficientas metrais per parą:

$$k_{vid} = \left(\frac{1,03}{2,26} \right) \cdot \left(\frac{0,97}{4184} \right) \cdot 3600 \cdot 24 = 9,11 m / parą .$$

Apskaičiuojame prietaise esančią sausojo grunto masę m_3 pagal formulę:

$$m_3 = \frac{m_1 - m_2}{1 + 0,01W} = \frac{2,153 - 0}{1 + 0,01 \cdot 2,0} = 2,111 kg .$$

Sausojo grunto tankis ρ_d prietaise apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_d = \frac{4000 \cdot m_3}{\pi \cdot D^2 \cdot L} = \frac{4000 \cdot 2,111}{3,14 \cdot 73^2 \cdot 270} = 1,87 g / cm^3 .$$

Apskaičiuojame poringumo koeficientą:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,68}{1,80} - 1 = 0,490 ,$$

čia ρ_s - dalelių tankis, g/cm³. ($\rho_s = 2,68 g / cm^3$)

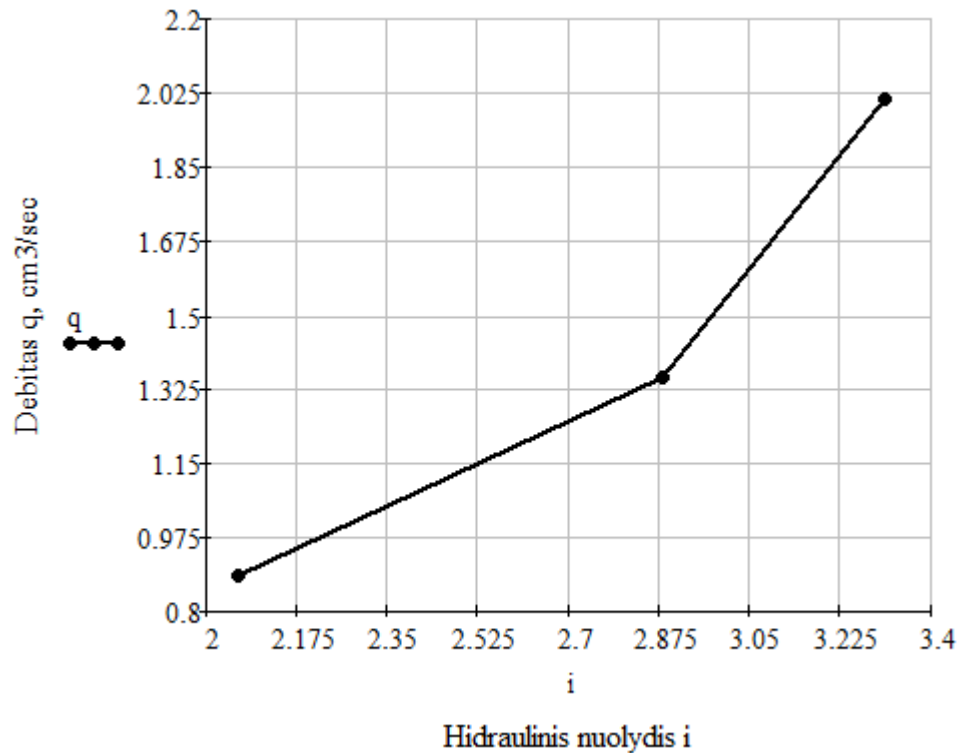
Antrojo bandymo metu naudojamas dumblinas vanduo (2.7 pav.). Antrojo bandymo rezultatai pateikti 2.2 lentelėje, o debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (2 bandymas) pateiktas 2.8 paveiksle.



2.7 pav. Dumblinas vanduo

2.2 lentelė. Bandinys NR. 2, valytas (dumblinas) vanduo, bandinio aukštis ~270 mm

Eil. Nr.	Laikas, t (sek.)	Vandens kiekis Q, cm ³	Skirtumas tarp monometrų lygių, mm	Ištekėjusio vandens temperatūra T, C°	Debitas q, cm ³ /sek	Hidraulinis nuolydis, i	Koreliacijos koeficientas, R _t	Laidumas k, m/parą
1	52	100	328	23	1,923	3,31	1,00	11,988
2	98	200	328	23	2,041	3,31	1,00	12,722
3	147	300	328	23	2,041	3,31	1,00	12,722
4	196	400	328	23	2,041	3,31	1,00	12,722
5	248	500	328	23	2,016	3,31	1,00	12,568
Vid			328	23	2,012	3,31	1,00	12,545
1	76	100	285	23	1,316	2,88	1,00	9,440
2	145	200	285	23	1,379	2,88	1,00	9,896
3	219	300	285	23	1,370	2,88	1,00	9,828
4	295	400	285	23	1,356	2,88	1,00	9,728
5	369	500	285	23	1,355	2,88	1,00	9,721
Vid			285	23	1,355	2,88	1,00	9,723
1	113	100	204	23	0,885	2,06	1,00	8,870
2	221	200	204	23	0,905	2,06	1,00	9,071
3	342	300	204	23	0,877	2,06	1,00	8,792
4	456	400	204	23	0,877	2,06	1,00	8,792
5	572	500	204	23	0,874	2,06	1,00	8,761
Vid			204	23	0,884	2,06	1,00	8,857



2.8 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (2 bandymas)

Skaičiuojamas vidutinis laidumo koeficientas:

$$k_{vid} = \left(\frac{1,355}{2,88} \right) \cdot \left(\frac{1,00}{4184} \right) = 9,723 \frac{m}{parq}.$$

Apskaičiuojame prietaise esančią sausojo grunto masę m_3 pagal formulę:

$$m_3 = \frac{m_1 - m_2}{1 + 0,01W} = \frac{1,950 - 0}{1 + 0,01 \cdot 0} = 1,950 kg.$$

Sausojo grunto tankis ρ_d prietaise apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_d = \frac{4000 \cdot m_3}{\pi \cdot D^2 \cdot L} = \frac{4000 \cdot 1950}{3,14 \cdot 73^2 \cdot 270} = 1,726 g / cm^3.$$

Apskaičiuojame poringumo koeficientą:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,66}{1,726} - 1 = 0,5411,$$

čia ρ_s - dalelių tankis, g/cm³. ($\rho_s = 2,64 g / cm^3$)

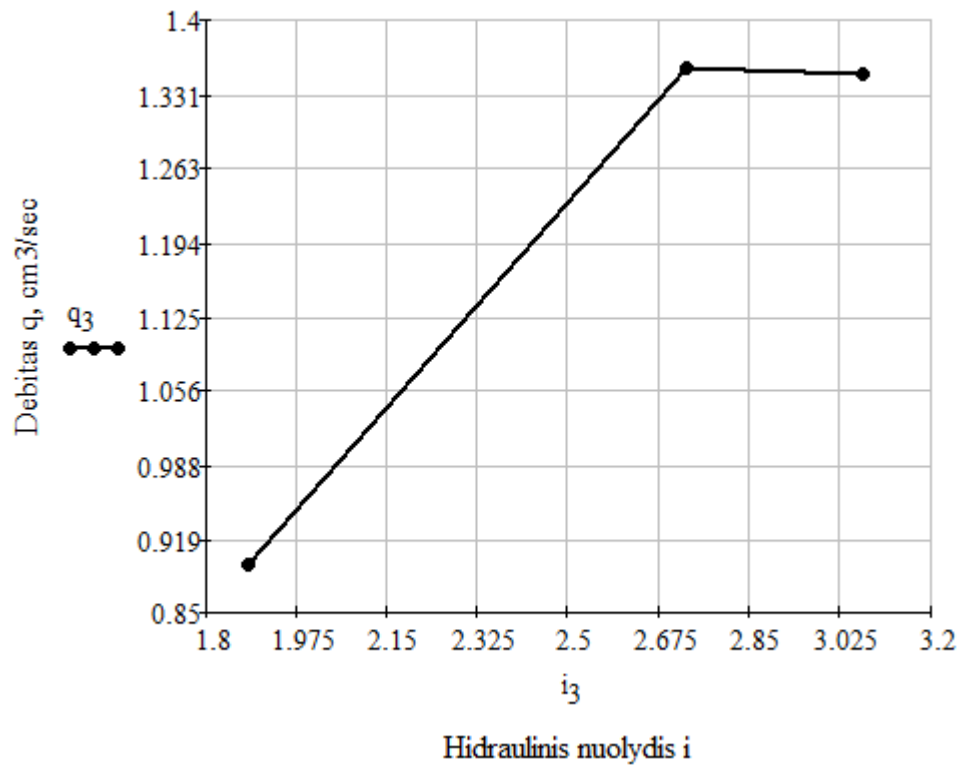
Trečiojo bandymo metu naudojamas dyzelio ir vandens mišinys (2.9 pav.). Trečiojo bandymo rezultatai pateikti 2.3 lentelėje, o debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (3 bandymas) pateiktas 2.10 paveiksle.



2.9 pav. Dyzelio ir vandens mišinys

2.3 lentelė. Bandinys NR. 3, dyzelio ir vandens mišinys, santykis 1:20, bandinio aukštis ~270 mm

Eil. Nr.	Laikas, t (sek.)	Vandens kiekis Q, cm ³	Skirtumas tarp manometrų lygių, mm	Ištekėjusio vandens temperatūra T, C°	Debitas q, cm ³ /sek	Hidraulinis nuolydis, i	Koreliacijos koeficientas, R _t	Laidumas k, m/parą
1	84	100	304	18	1.349	3.07	1.15	9.208
2	169	200	304	18	1.344	3.07	1.15	9.154
3	251	300	304	18	1.356	3.07	1.15	9.245
4	334	400	304	18	1.370	3.07	1.15	9.263
5	417	500	304	18	1.280	3.07	1.15	9.275
Vid			304	18	1.350	3.07	1.15	9.229
1	73	100	270	18	1.370	2.73	1.15	11.930
2	147	200	270	18	1.361	2.73	1.15	11.849
3	220	300	270	18	1.364	2.73	1.15	11.876
4	304	400	270	18	1.316	2.73	1.15	11.459
5	365	500	270	18	1.370	2.73	1.15	11.930
Vid			270	18	1.356	2.73	1.15	11.809
1	113	100	186	18	0.885	1.88	1.15	11.188
2	221	200	186	18	0.905	1.88	1.15	11.441
3	333	300	186	18	0.901	1.88	1.15	11.389
4	446	400	186	18	0.897	1.88	1.15	11.338
5	562	500	186	18	0.890	1.88	1.15	11.247
Vid			186	18	0.895	1.88	1.15	11.321



2.10 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (3 bandymas)

Skaičiuojamas vidutinis laidumo koeficientas:

$$k_{vid} = \left(\frac{1,356}{2,73} \right) \cdot \left(\frac{1,15}{4184} \right) = 11,81 \text{ m/parq}.$$

Apskaičiuojame prietaise esančią sausojo grunto masę m_3 pagal formulę:

$$m_3 = \frac{m_1 - m_2}{1 + 0,01W} = \frac{2057 - 0}{1 + 0,01 \cdot 3,5} = 1,987 \text{ kg}.$$

Sausojo grunto tankis ρ_d prietaise apskaičiuojamas pagal formulę:

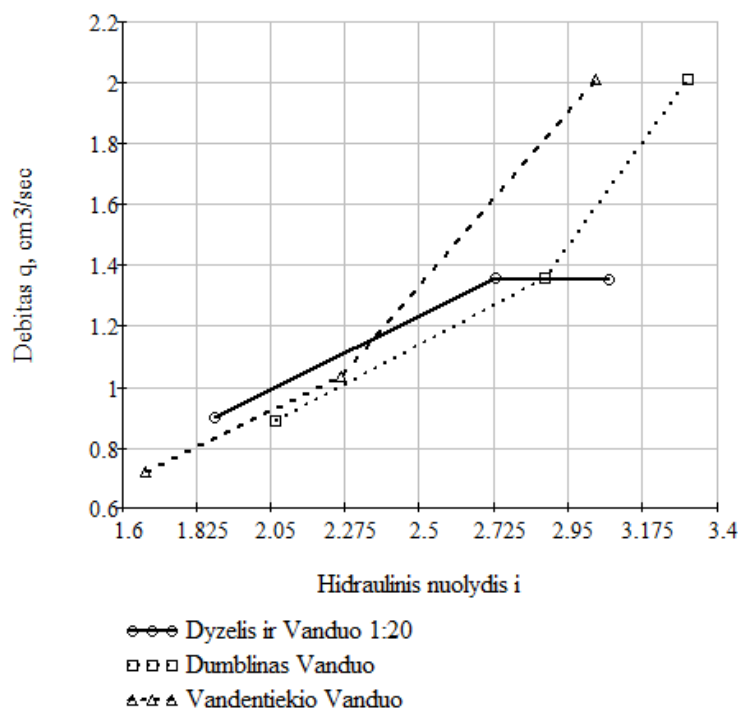
$$\rho_d = \frac{4000 \cdot m_3}{\pi \cdot D^2 \cdot L} = \frac{4000 \cdot 1,987}{3,14 \cdot 73^2 \cdot 270} = 1,75 \text{ g/cm}^3.$$

Apskaičiuojame poringumo koeficientą:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,66}{1,75} - 1 = 0,52,$$

čia ρ_s - dalelių tankis, g/cm³. ($\rho_s = 2,66 \text{ g/cm}^3$)

Visų bandymų hidraulinių nuolydžių priklausomybės nuo debito pavaizduotos 2.11 paveiksle.



2.11 pav. Debito ir hidraulinio nuolydžio priklausomybės grafikas (visi bandymai)

2.7. Rezultatų apibendrinimas

Atlikus visus bandymus su suardytos sandaros smėliu buvo nustatyta, kad smėlio laidumo vandeniui koeficientas labai priklauso nuo granulometrinės sudėties, kuo dalelės didesnės, tuo filtracijos koeficientas didesnis, tuo didesnę vandens debitą gauname skaičiuojant. Kuo dalelės mažesnės, tuo koeficientas yra mažesnis, taip pat ir debitas mažesnis. Taip pat didelę įtaką filtracijos koeficientui turi hidraulinis vandens tekėjimo nuolydis: kuo nuolydis didesnis, tuo filtracijos koeficientas yra didesnis. Pagal atliktus bandymo rezultatus gauname, jog trijų skirtingų skysčių, filtracijos koeficientai praktiškai nesiskiria, skaičiai yra tos pačios eilės:

$$k_{\text{vandentiekio}} = 12,87 \text{ m / parq}$$

$$k_{\text{dumblino}} = 12,545 \text{ m / parq}$$

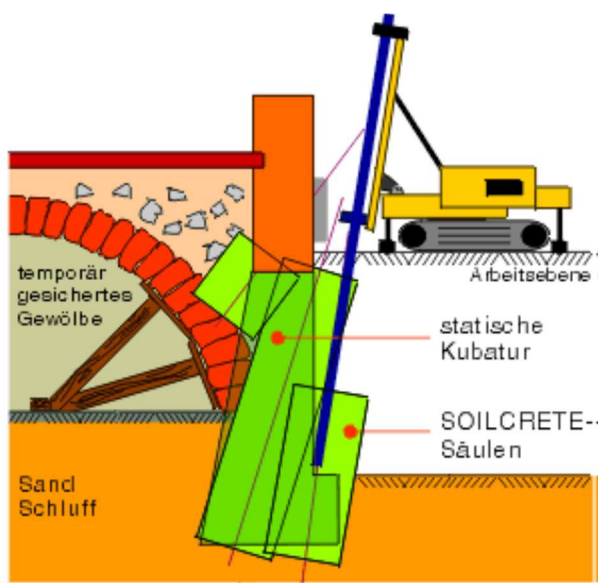
$$k_{\text{dyzelio}} = 9,23 \text{ m / parq}$$

Nežymus skirtumas matomas dyzelio bei vandens (1:20) mišinyje. Nors šie ir nesimaišo tarpusavyje, tačiau filtracijos koeficientas sumažėjo 29 %. Didinant hidraulinį gradientą dyzelio ir vandens mišinyje, debitas išlieka pastovus bei pradeda šiek tiek mažėti. Tai gali sukelti didesnis mišinio klampumas.

3. GRUNTBETONIO STIPRUMO GNIUŽDANT TYRIMAS

Naudojama didelio slėgio injekcijai cemento suspensija yra visiškai švari. Gaunamas po didelio slėgio injekcijos gruntbetonis yra stiprus bei ilgaamžis (3.1 pav.). Jis gali būti gaunamas beveik visuose gruntuose.

Naudojant didelio slėgio injekciją, gruntas susilpninamas toje pagrindo dalyje, kurioje atliekama injekcija: čiurkšlė suardo esamus struktūrinius grunto ryšius, o vėliau, veikiant cemento suspensijai, susidaro nauji – čiurkšlės suardytas gruntas susicementuoja, pavirsdamas gruntbetoniui.



3.1 pav. Pamatų rekonstrukcija naudojant didelio slėgio injekciją
(Mackevičius 2009)

Didelio slėgio injekciją sudaro 3 etapai:

1. gręžimas iki projekcinio gylio;
2. perjungimas injekcijai;
3. grunto pjovimas didelio slėgio čiurkšle, sukant ir keliant į viršų injektorių.

Didelio slėgio injekcija gali būti pritaikoma bet kokiems dispersiniams gruntams stiprinti. Aišku, smėliniuose gruntuose srautinė injekcija vyksta lengviau ir paprasčiau nei moliniuose arba durpinguose.

Didelio slėgio injekcija ardo esamą grunto struktūrą ir vėliau paverčia cemento skiedinio ir grunto mišinį tvirtu grunto betonu. Naudojant didelio slėgio injekciją, gruntas susilpninamas toje pagrindo dalyje, kurioje atliekama injekcija: čiurkšlė suardo esamus struktūrinius grunto ryšius, o

vėliau, veikiant cemento suspensijai, susidaro nauji – čiurkšlės suardytas gruntas susicementuoja, pavirsdamas gruntbetoniui.

Didelio slėgio injekcija gali būti trejopa:

1. vienfazė (per vieną vamzdį paduodama cemento suspensija; į gruntą purškiama tik cemento suspensija). Cemento suspensijos srauto slėgis 20 MPa – 40 MPa;

2. dvifazė (per du vamzdžius vienas kitame tiekama cemento suspensija ir oras; į gruntą purškiama oro apsupta cemento suspensija). Cemento suspensijos srauto slėgis 20 MPa – 40 MPa, oro srovės srauto slėgis 50 MPa – 60 MPa;

3. trifazė (per tris vamzdžius vienas kitame tiekiamas vanduo, oras ir cemento suspensija; į gruntą pro viršutinį purkštuką purškiamas oro apsuptas vanduo, o pro apatinį purkštuką – cemento suspensija).

Vienfazė ir dvifazė technologijos taikytinos smėliams, o trifazė sukurta specialiai moliniams ir durpingiems gruntams. Dvifazė injekcija leidžia gauti beveik dvigubai didesnę gruntbetonio kolonos skersmenį, lyginant su vienfaze (atitinkamai 0,7–1,0 m ir 1,5–2,0 m). Srautinės injekcijos slėgis būna apie 400 bar (40 MPa), bet techninės galimybės leidžia jį prireikus padidinti iki 800 bar.

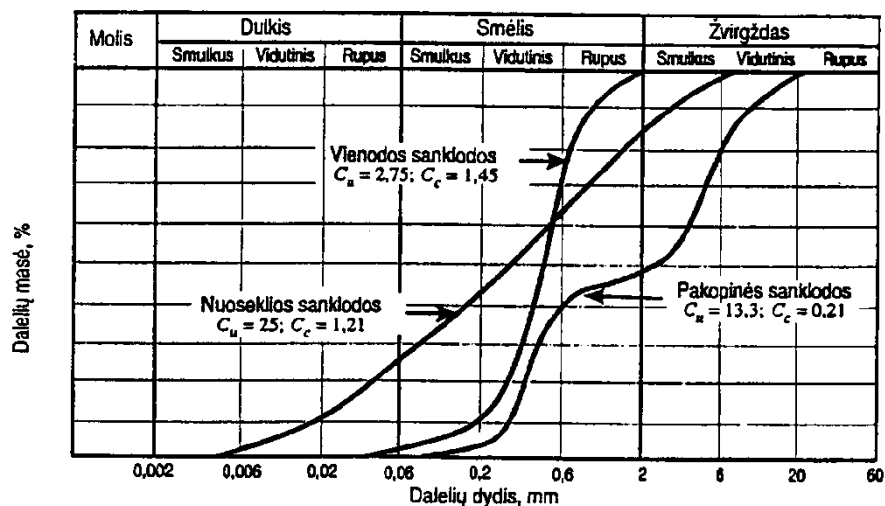
3.1. Tiriamojo grunto pavadinimo nustatymas pagal jo granuliometrinę sudėtį

Šio bandymo tikslas – nustatyti grunto pavadinimą pagal jo granuliometrinę sudėtį. Granuliometrinės sudėties nustatymas atliekamas siojimo (sietinės analizės) metodu. Gruntai klasifikuojami pagal granuliometrinę sudėtį. Grunto dalelių dydis – vienas iš svarbiausių jo fizinių rodiklių. Gruntų geotechninės ir geohidrologinės savybės priklauso nuo jų dalelių dydžio procentinio pasiskirstymo.

Siojimas – tai procesas, kurio metu gruntas yra sugrupuojamas į skirtingo dydžio dalelių grupes.

Teorinės prielaidos ir pagrindinės formulės

Atlikus grunto granuliometrinės sudėties bandymą yra sudaroma jo granuliometrinės sudėties kreivė (3.2 pav.). Pagal šią kreivę yra paskaičiuojami grunto rūšiutumo rodiklis C_u ir grunto sanklodos (frakcionuotumo) rodiklis C_c .



3.2 pav. Gruntų granuliometrinės sudėties kreivė

Rūšiutumo rodiklis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}. \quad (3.1)$$

Sanklodos rodiklis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C_u = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}, \quad (3.2)$$

čia d_{10} , d_{30} ir d_{60} – skersmenys sieto akučių, per kurias iškrinta 10 %, 30 % ir 60 % dalelių.

Naudojantis metodiniais nurodymais (Amšiejus *et al.* 2006) yra nustatomas grunto pavadinimas bei jo klasifikacija pagal sanklodą.

3.1.1. Bandymo prietaisai

Svarstyklės– svarstyklių tikslumas turi būti 0,3 % nuo sauso bandinio masės, o atskaitymo tikslumas 0,1 % nuo sauso bandinio masės.

Džiovinimo spinta – turi turėti galimybę palaikyti temperatūras $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ir $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Džiovinimo indas – turi būti porcelianinis arba iš nerūdijančio metalo ir turi būti ne mažesnis kaip 100 ml talpos.

Sietai – jie turi būti pagaminti iš metalinio tinklelio arba iš perforuotos metalinės drenažo plokštės pagal ISO 565:1990 reikalavimus. Jie privalo turėti gaudyklę. Sietų akučių skersmenys turi atitikti bandomojo grunto dalelių dydį, kadangi tiriamas gruntas yra smėlis, kuris pagal teoriją yra

nuo 2,00 mm. iki 0,063 mm. dalelių dydžio, todėl naudojami sietai tokie, kurie patenka į šį intervalą. Prieš naudojant sietus reikia juos gerai apžiūrėti. Sietai su gruntu pavaizduoti 3.3 paveiksle.



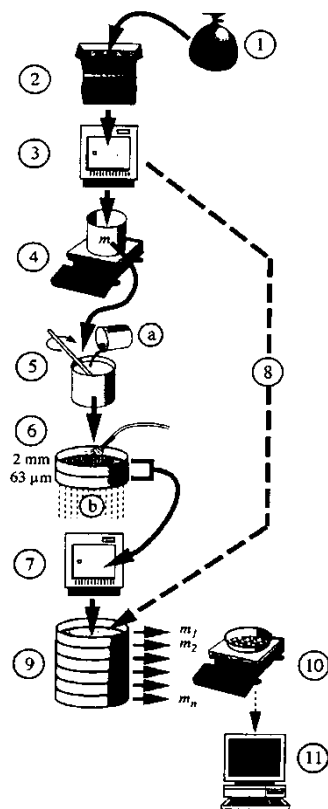
3.3 pav. Sietas su tiramu gruntu

Kiti prietaisai: ketvirčiavimo dėžė, nerūdijantys padėklai, didelis nerūdijančio metalo arba plastikinis padėklas (indas), mentelė, metaliniai šepetėliai, guminė žarnelė, 800 ml arba didesnės talpos stiklinė menzūra, mechaninis kratytuvas, vienas papildomas 60 µm (arba artimo skerspjūvio) sietas, gali būti sustiprintas, kad būtų galima kartu su gaudykle naudoti kaip praplovimo sietą. Reikalingas ir kitas papildomas 2 mm sietas.

3.1.2. Bandymo eiga

Sietai turi būti periodiškai tikrinami pagal ISO standartų reikalavimus:
ISO 1310–1:1990 (E). Sietai iš metalinio tinklelio;
ISO 1310–2:1990(E). Sietai iš perforuotos plokštės.

Sijojimo bandymo eiga pavaizduota 3.4 ir 3.5 paveiksluose.



3.4 pav. Sijojimo eiga:

1. Bandinys, 2. Ketvirčiavimas, 3. Džiovinimas, 4. Svėrimas, 5. Maišymas, 6. Plovimas,
 7. Džiovinimas, 8. Tik sijojant sausai, 9. Sijojimas, 10. Svėrimas, 11. Skaiciavimai
- (Amšiejus *et al.* 2006)



3.5 pav. Grunto granulometrinės sudėties nustatymas

Gruntai, išskyrus jautrius temperatūrai, turi būti džiovinami 105°C, o jautrūs gruntai - 50°C temperatūroje. *Pastaba:* Jautrūs temperatūrai gruntai - tai organiniai gruntai, gipsas bei lateritai.

3.1 lentelė. Mažiausia grunto bandinio masė, reikalinga gruntų granulimetrinei sudėčiai nustatyti (Amšiejus *et al.* 2006)

Dalelių skersmuo d_{90} , mm	Minimali bandinio masė, g
0,5	50
1,0	100
4,0	150
6,0	350
8,0	600
16,0	2500
22,4	5000
31,5	10000
45,0	20000
63,0	40000
75,0	56000

Šlapiasis sijojimo būdas. *Pastaba.* Sijojant gruntus sausu būdu, kuriuose yra daugiau negu 10 % smulkmės, gaunamos reikšmingos paklaidos. Grunto bandinys ruošiamas prieš tai jį sumaišant, ketvirčiuojant ir išdžiovinant. Minimalioji išdžiovinto bandinio masė, kuri yra reikalinga bandymui atlikti, pateikta 3.1 lentelėje. Jeigu turimas mažesnės masės bandinys, tai būti nurodyta ataskaitoje. Sausasis grunto bandinys paveriamas 0,1 % sausojo grunto masės m tikslumu. Pavyzdys dedamas į indą ir užpilamas skysčiu. Nuolat maišomas gruntas išlaikomas vandenyje ne trumpiau kaip 1 val.

Pastabos. Gruntuose būtina atskirti didesnes negu 5 mm daleles ir sijoti jas atskirai. Norint atskirti prikibusias molio daleles, į bandinį galima pridėti dispergavimą greitinančių priedų.

Bandinys plaunamas naudojant 2 mm ir 60 μ m sietus tol, kol ištekančias vanduo tampa skaidrus. Reikia įsitikinti, kad sietai neperkrauti gruntu. Ištekantį vandenį kartu su išplautu gruntu reikia išsaugoti. Grunto liekanos ant 2 mm ir 63 μ m skersmens sietų išdžiovinamos ir pasveriamos 0,1 % tikslumu nuo sausosios bandinio masės.

Išdžiovinama medžiaga sijojama per sietus, naudojant mažiausią 60 μ m sietą, paskui pasveriamos liekanos ant kiekvieno sieto bei grunto kiekis, prasijotas per 60 μ m sietą. Ant atskirų sietų liekanti grunto masė neturi viršyti 3.2 lentelėje pateiktų dydžių. Kai sijojama mechaniniu kratytuvu, sijojimo trukmė turi būti ne trumpesnė kaip 10 min.

Pastabos. Jeigu gruntas sijojamas rankiniu būdu, tai sietai turi būti kratomi ne trumpiau kaip 2 min. arba tol, kol sijojasi gruntas. Kai grunto masė yra didesnė negu pateikta 2 lentelėje, gruntas

turi būti sijojamas dalimis. Likęs ant sietų gruntas, kurio masė viršija nurodyta 2 lentelėje, yra padalijamas į dalis ir paskui kiekviena iš jų sijojama. Visa grunto masė yra paskaičiuojama sudėjus jo liekanas ant atskirų sietų.

Pasvėrus grunto liekanas ant kiekvieno sieto bei grunto masę, prasijotą per mažiausią sietą, bendroji jų masė turi skirtis ne daugiau kaip 1 % nuo prieš sijojimą nustatytos sausosios bandinio masės. Jeigu šis skirtumas didesnis, sijojimą reikia pakartoti.

3.2 lentelė. Didžiausia ant sietų galinti likti grunto masė (Amšiejus *et al.* 2006)

Akučių skersmuo, mm	Didžiausia ant skirtingo skersmens sietų esanti masė, kg		Tinklo akučių dydis, mm	Didžiausia ant 200 mm skersmens sieto esanti masė, g
	450 mm	300 mm		
5,0	1,0	0,50	0,038	20
5,6	1,0	0,50	0,063	25
6,3	1,5	0,75	0,125	35
8,0	1,7	0,9	0,150	40
10,0	2,0	1,0	0,212	50
11,2	2,2	1,2	0,250	50
14,0	3,0	1,5	0,300	50
16,0	3,5	1,7	0,355	60
20,0	4,0	2,0	0,425	75
22,4	4,5	2,2	0,500	70
28,0	6,0	2,5	0,600	75
31,5	6,5	3,0	0,710	80
45,0	9,0	4,0	1,4	125
50,0	10,0	4,5	2,0	200
63,0	11,0	5,0	3,35	300
			4,0	300

3.1.3. Bandymo duomenų apdorojimas

Per sietą persijotų dalelių masė išreiikiama procentais ir skaičiuojama taip:

$$f_n = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{m} \cdot 100 \%, \quad (3.3)$$

čia f_n – persijotos per sietą dalelės, %;

m_1 – per mažiausią sietą persijotų dalelių masė, g;

$m_2 \dots m_n$ – per didesnius sietus persijotų dalelių masė, g;

m – sausojo grunto bandinio masė, g.

Bandymo rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Bandymo rezultatai

Pradinė sauso grunto masė, m_1	1604 g			
Sietai	Liekana, g			
	faktinė	pataisyta m	liekana, %	iš viso perėjo dalelių, %
2.0 mm	266,2	266,2	16,60	83,40
1.0 mm	430,0	430,0	26,81	73,19
500 μ m	396,9	396,9	24,74	75,26
63 μ m	414,9	414,9	25,87	74,13
Praėjo 63 μ m	96	96	5,99	94,01
Viso:	1604	1604	100	

Pagal gautus rezultatus yra sudaroma granuliometrinės sudėties kreivė ir pagal (3.1) formulę apskaičiuojamas grunto rūšiuotumo rodiklis C_u bei grunto sanklodos (frakcionuotumo) rodiklis C_c pagal (3.2) formulę:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1,05}{0,22} = 4,77,$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} = \frac{0,5^2}{0,22 \cdot 1,05} = 1,08.$$

3.2. Rezultatų apibendrinimas

Naudojantis standartu LST EN ISO 14688-2:2004 yra nustatomas grunto pavadinimas bei jo klasifikacija pagal sanklodą:

Gruntas yra vienodos sanklodos.

$$C_u = 4,77; C_c = 1,08.$$

Grunto pavadinimas - smėlis (Sa).

3.3. Gruntbetonio bandinių paruošimas ir gniuždymas

Bandymui naudojami skirtingi vandens bandiniai: vandentiekio vanduo, Neris upės vanduo, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais), išvalytas vanduo (buvo užterštas

buitinėmis nuotekomis). Pasirinkti skirtingi vandens ir cemento santykiai V/C: 1:0,8, 1:1, 0,8:1. Gruntbetonio bandiniams buvo paruoštos formos. Po keturis bandinius kiekvienam naudojamam vandeniui ir kiekvienam santykiui V/C. Bandyniams naudojamas sijotas smėlis. Bandiniai laikomi stingti 7 ir 28 paras.

3.3.1. Bandinio išėmimo iš formos būdai

Bandinių formos yra 7 cm aukščio, išorinis diametras 40 mm, vidinis 35 mm (3.5 pav.).



3.5 pav. Gruntbetonio bandinių formos

Pirmiausia buvo bandoma į formų vidų įkloti polietileno plėvelę (3.6 pav.).



3.6 pav. Gruntbetonio bandinių formos su įklota polietileno plėvele

Į formų vidų įpilamas vanduo sumaišytas su cementu. Po to į formų vidų gramzdinamas smėlis (3.7 pav.). Tačiau po dviejų parų išėmus bandinius matosi, kad smėlis viduryje nesusirišo ir paviršiuje dideli nelygumai dėl polietileninės plėvelės (3.8 pav.).



3.7 pav. Formos su smėlio, vandens ir cemento mišiniu



3.8 pav. Išimtas bandinys su smėlio, vandens ir cemento mišiniu (viduje įklota polietileninė plėvelė)

Bandiniams nepavykus, formų vidus buvo išteptas aliejumi. Paruošti cemento, vandens ir smėlio bandiniai. Po dviejų parų laikymo išimti bandiniai buvo tinkamai paruošti, pakankamai lygaus paviršiaus (3.9 pav.).



3.9 pav. Išimtas bandinys su smėlio, vandens ir cemento mišiniu (vidus išteptas aliejumi)

Atlikus bandomuosius eksperimentus, buvo pasirinktas aliejus formų vidui padengti.

3.3.2. Vandens santykio nustatymas

Nustatomas vandens ir cemento santykis (3.10 pav.).



3.10 pav. Svarstyklėmis pasveriamas reikiamas vandens kiekis

3.3 lentelėje pateikti visi santykiai, prie kurių buvo paruošti bandiniai.

3.3 lentelė. Vandens ir cemento santykiai

V/C	Vandentiekio, Neries upės ir išvalytas vanduo (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis), g	Cementas, g	
1:0,8	100	80	
1:1	100	100	
0,8:1	80	100	
V/C	Išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais), g	Cementas, g	Tepalas, g
1:0,8	90	80	10
1:1	90	100	10
0,8:1	0,72	100	0,08

3.3.3. Bandymo aprašymas

Inde paruošiama masė formų užpildymui. Sumaišomas pagal V/C santykį vandens, cemento ir smėlio mišinys (3.11 pav.)



3.11 pav. Paruoštas vandens, cemento ir smėlio mišinys

Formos užpildomos mišiniu ir bandiniai paliekami stovėti 7 ir 28 paras (3.12 pav.).



3.12 pav. Paruošti bandiniai

Vieni bandiniai po 7 parų, kiti po 28 parų išimami iš formų. Bandiniai išimami plieniniu vamzdeliu stumiant 35 mm diametro medinę plokštelę (3.13 pav.). Po 7 ir 28 parų laikymo bandiniai yra tinkami gniuždymo stiprio nustatymui (3.14 pav.).



3.13 pav. Bandinio išėmimas



3.14 pav. Išimti bandiniai po 7 ir 28 parų laikymo

3.3.4. Bandinių gniuždymas triašio slėgio aparatu

Paruošti bandiniai griunždomi triašio slėgio aparatu. Bandymas atliktas kaip vienašiai gniuždymui (3.15 pav.).



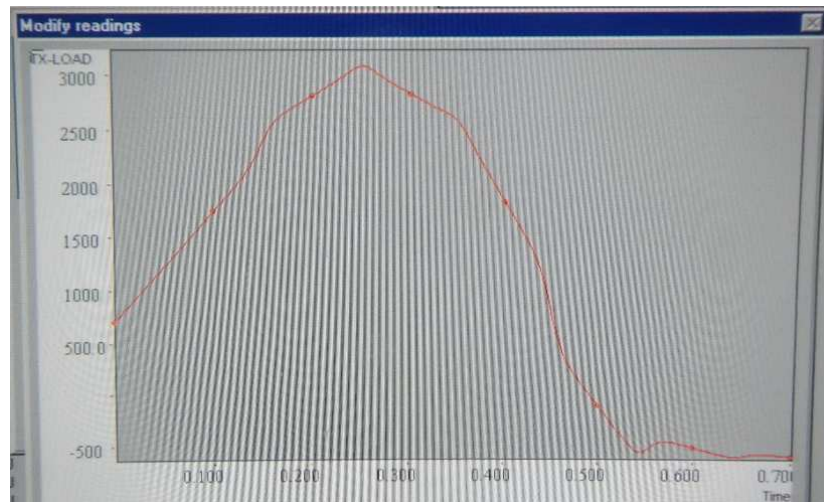
3.15 pav. Triašio slėgio aparatas

3.16 paveiksle matomas bandinys triašio slėgio aparate.

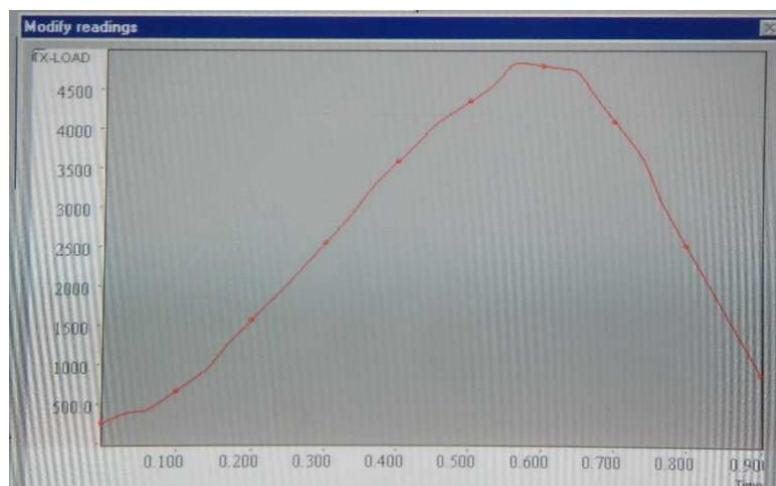


3.16 pav. Gniuždomas bandinys

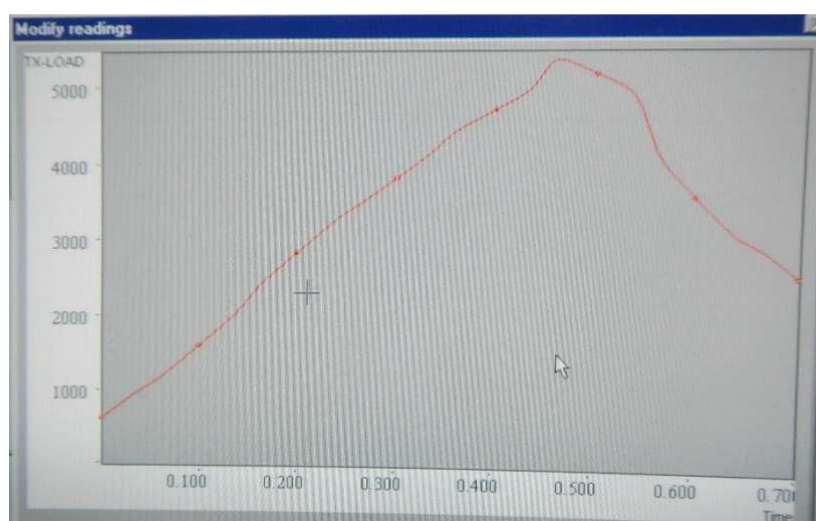
Bandinio pado plotas $9,6 \text{ cm}^2$. Bandymas atliekamas $0,6 \text{ mm/min}$ greičiu. Bandinys apkraunamas jėga tol, kol pradeda irti, pasiekama maksimali gniuždymo jėga. Apkrova fiksuojama kas 6 s. Gaunami bandinių apkrovimo ir nukrovimo grafikai (3.17 pav.-3.28 pav.).



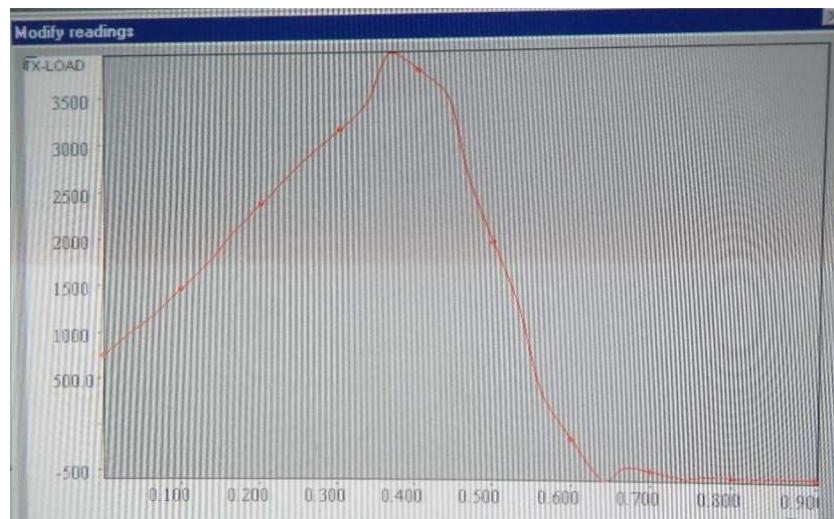
3.17 pav. Apkrovos kitimo grafikas, Neries upės vanduo (1:0,8)



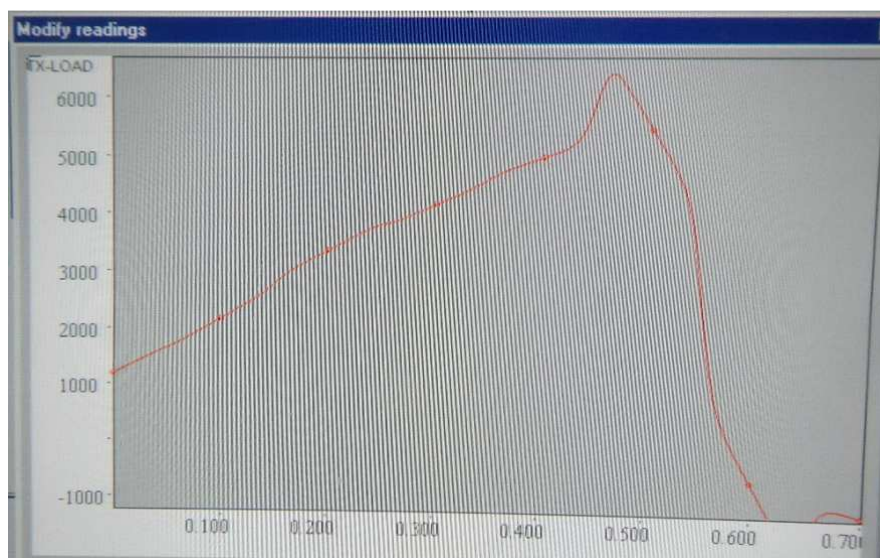
3.18 pav. Apkrovos kitimo grafikas, Neries upės vanduo (1:1)



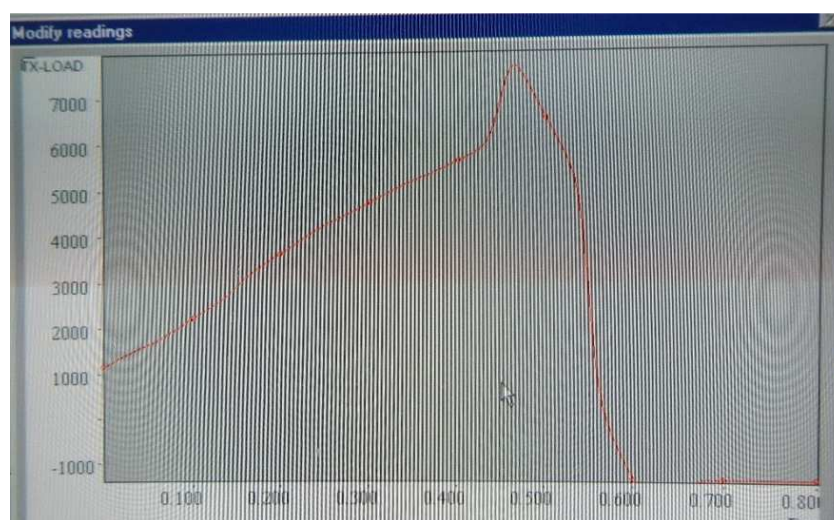
3.19 pav. Apkrovos kitimo grafikas, Neries upės vanduo (0,8:1)



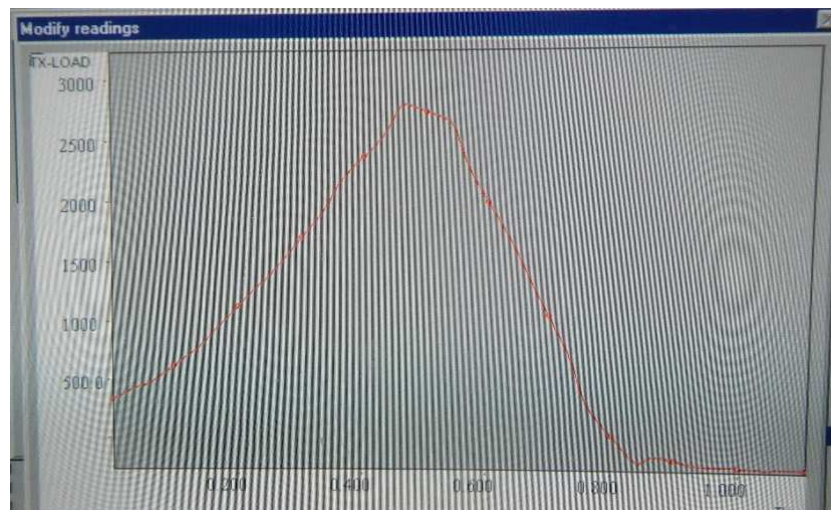
3.20 pav. Apkrovos kitimo grafikas, vandentiekio vanduo (1:0,8)



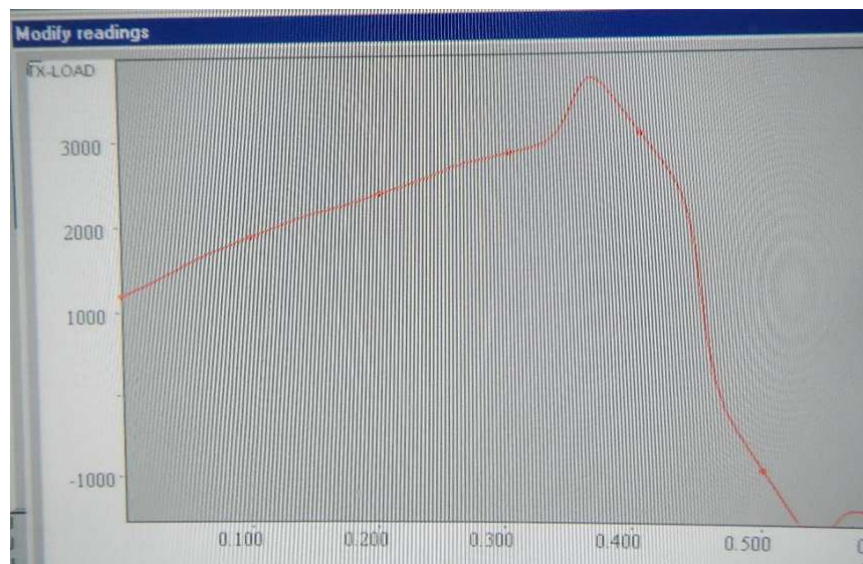
3.21 pav. Apkrovos kitimo grafikas, vandentiekio vanduo (1:1)



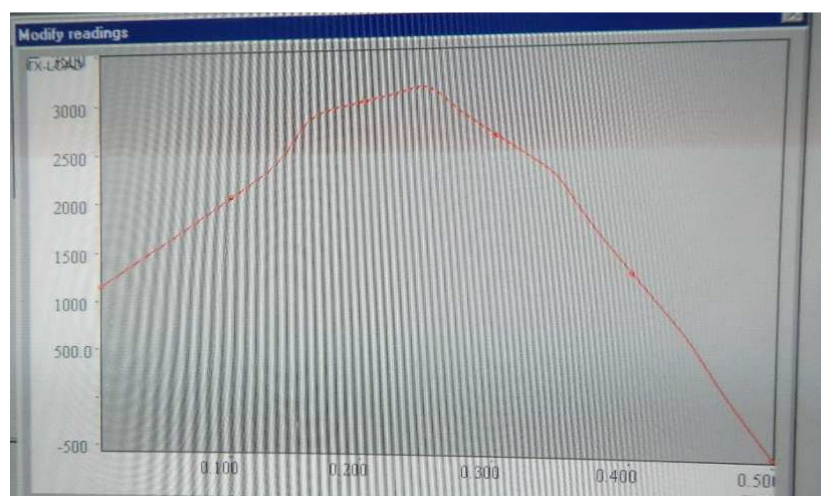
3.22 pav. Apkrovos kitimo grafikas, vandentiekio vanduo (0,8:1)



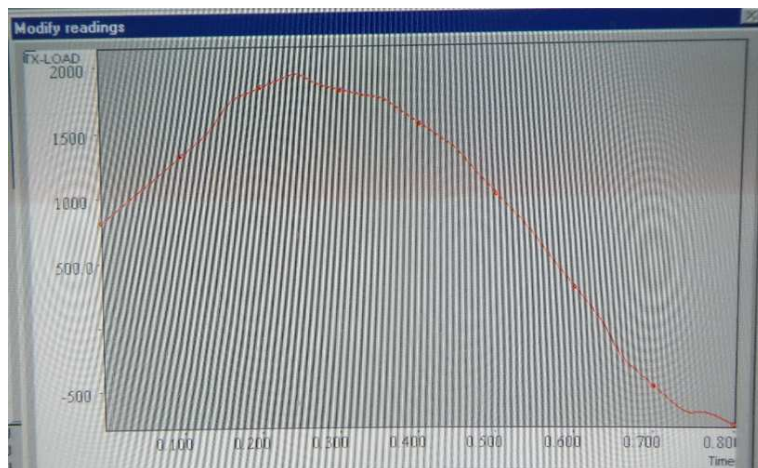
3.23 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais) (1:0,8)



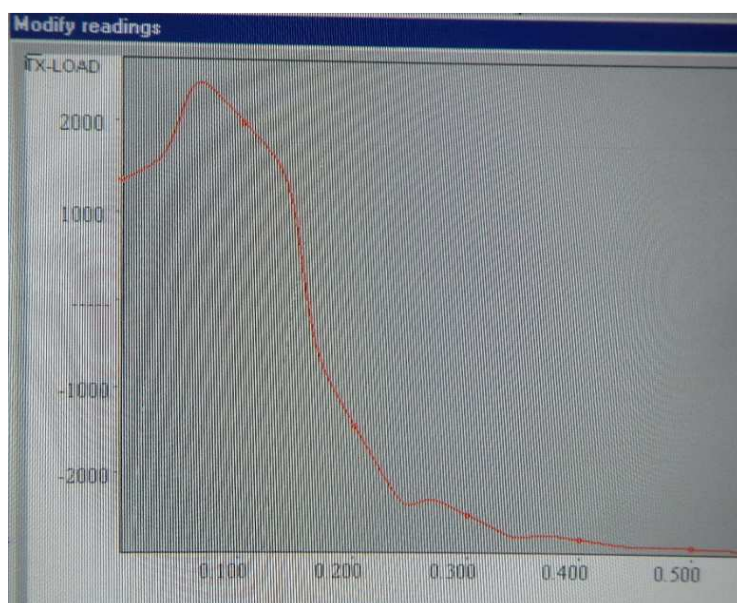
3.24 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais) (1:1)



3.25 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais) (0,8:1)



3.26 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas buitiniėmis nuotekomis) (1:0,8)



3.27 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas buitiniėmis nuotekomis) (1:1)



3.28 pav. Apkrovos kitimo grafikas, išvalytas vanduo (buvo užterštas buitiniėmis nuotekomis) (0,8:1)



3.29 pav. Sugniuždytas bandinys

Sugniuždyto bandinio vaizdas pateiktas 3.29 paveiksle. Gniuždymo bandymo rezultatai bandinių po 7 parų laikymo pateikti 3.4 lentelėje. O po 28 parų laikymo 3.5 lentelėje.

3.4 lentelė. Bandymo gniuždant rezultatai (bandinių po 7 parų išlaikymo)

V/C	Vandentiekio vanduo	Neries upės vanduo	Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	Vidurkis
1 : 0,8	1959	1160	1111	950	
	1821	1214	1303	1348	
	2077	928	1343	1252	
	2003	1436	1338	942	
	1965	1185	1274	1123	1387
1 : 1	2618	1554	2424	2310	
	2326	2014	2127	1707	
	4313	1942	1544	1703	
	4534	1313	1435	1811	
	3448	1705	1883	1883	2230
0,8 : 1	3580	2994	2368	4148	
	2100	1313	2724	4141	
	3855	1796	2003	4356	
	3913	2779	2617	4707	
	3362	2220	2428	4338	3087
	2925	1703	1861	2448	

3.5 lentelė. Bandymo gniuždant rezultatai (bandinių po 28 parų išlaikymo)

V/C	Vandentiekio vanduo	Neries upės vanduo	Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	Vidurkis
1 : 0,8	3546	2319	2835	1298	
	3904	3348	3017	1598	
	4023	3133	2830	2010	
	1735	2948	2432	1909	
	3302	2937	2779	1704	2680
1 : 1	5688	4560	4428	1727	
	7050	4986	3174	2024	
	3879	5316	2928	3630	
	6457	4899	2926	2066	
	5768	4940	3364	2362	4109
0,8 : 1	6816	5484	4324	4435	
	2192	5366	3799	6049	
	6847	4920	3138	4665	
	5474	3881	2888	5494	
	5332	4913	3537	5161	4736
Vidurkis	4801	4263	3227	3075	

3.4. Vandens bendroji cheminė analizė

Gruntbetonio bandinių paruošimui nagrinėto vandens (vandentiekio vanduo, Neries upės vanduo, išvalytas vanduo (buvo užterštas naftos produktais), išvalytas vanduo (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis)) bendroji cheminė analizė buvo atlikta UAB „Vandens tyrimai“. Ši analizė buvo atlikta norint nustatyti vandens savybes, dėl kurių gali kisti gruntbetonio stiprumas.

Tiriamos vandens pavyzdžiai buvo paruošti cheminei analizei (3.30 pav.).



3.30 pav. Vandens bandiniui cheminei analizei

Vandens bendrosios cheminės analizės metu buvo nustatinėjami anijonų ir katijonų kiekiai. Nustatytas vandens bandinių ištirpusių mineralų medžiagų kiekis, rezultatai pateikti 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Vandens bandinių ištirpusių mineralų medžiagų kiekis

Vanduo	Ištirpusių mineralinių medžiagų suma, mg/l
Vandentiekio vanduo	470
Neries upės vanduo	407
Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	429
Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	715

Nustatytas vandens bandinių sausos liekanos kiekis, rezultatai pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Vandens bandinių sausos liekanos kiekis

Vanduo	Sausa liekana 180°C, mg/l
Vandentiekio vanduo	332
Neries upės vanduo	275
Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	295
Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	537

Nustatytas vandens bandinių pH, rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

3.8 lentelė. Vandens bandinių pH

Vanduo	pH, (pH vienetai)
Vandentiekio vanduo	8,16
Neries upės vanduo	8,09
Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	7,77
Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	7,38

Nustatytas vandens bandinių CO₂ (pusiausvyrinis) kiekis, rezultatai pateikti 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Vandens bandinių CO₂ (pusiausvyrinis) kiekis

Vanduo	CO ₂ (pusiausvyrinis), mg/l
Vandentiekio vanduo	3,46
Neries upės vanduo	3,90
Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	8,27
Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	27,00

Nustatytas vandens bandinių CO₂ (agresyvusis) kiekis, rezultatai pateikti 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Vandens bandinių CO₂ (agresyvusis) kiekis

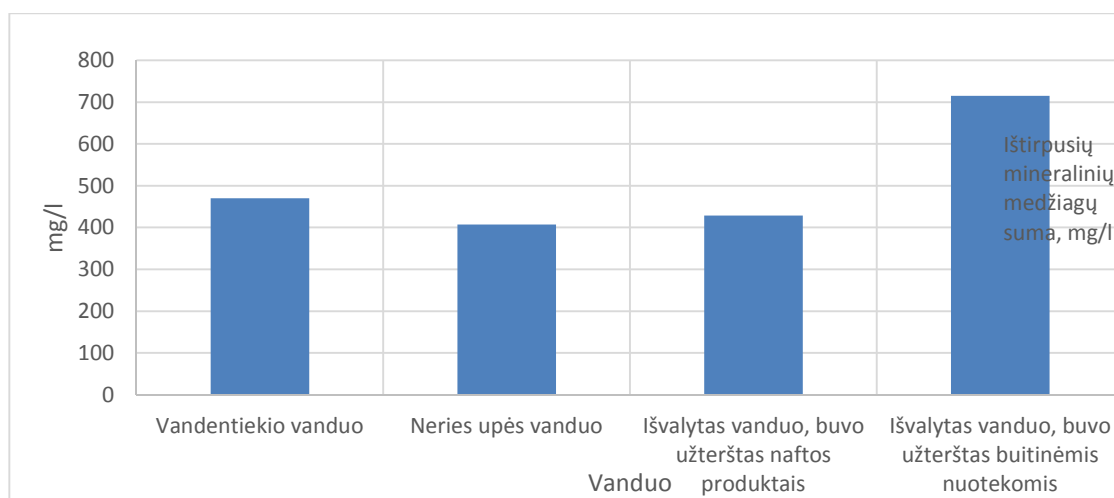
Vanduo	CO ₂ (agresyvus), mg/l
Vandentiekio vanduo	1,00
Neries upės vanduo	1,00
Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	36,30
Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	22,40

Didžiausią įtaką gruntbetonio stiprumui turi CO₂ kiekis. Jis susidaro šiuose vandenyse iš vandenyje esančios organikos. Jis rūgština vandenį ir griaužia betoną. Pagal tyrimo rezultatus didžiausią kiekį CO₂ (agresyvusis) turi vanduo išvalytas nuo naftos produktų. Tokiame vandenyje yra 36,3 mg/l CO₂. Mažiausią kiekį CO₂ (agresyvusis) turi vandentiekio ir Neries upės vanduo.

4. REZULTATŲ ANALIZĖ

Buvo nustatyti trijų vandens bandinių vidutiniai laidumo koeficientai prie trijų skirtingų nuolydžių. Vandentiekio vandens vidutinis laidumo koeficientas gautas 12,87 m/parą, išvalyto vandens (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis) 12,54 m/parą, o išvalyto vandens (buvo užterštas naftos produktais) 9,23 m/parą.

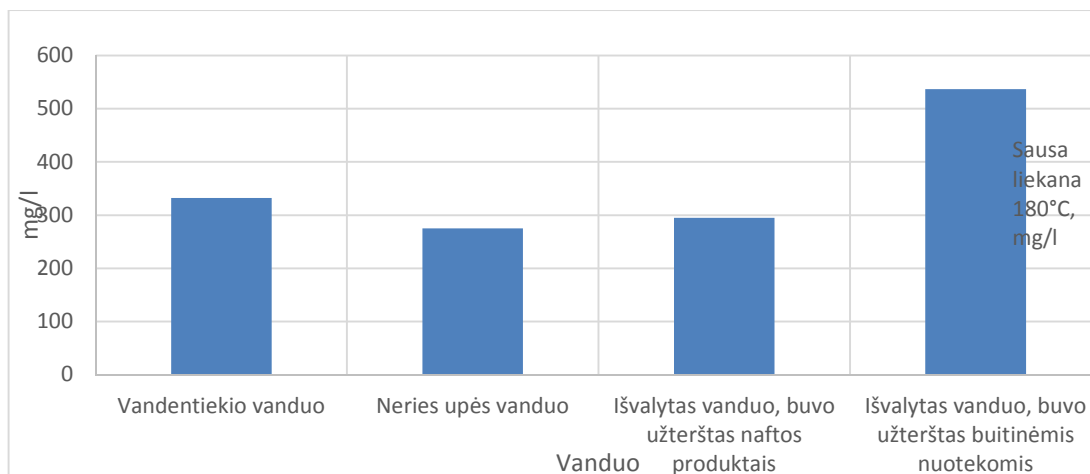
Vandens bendrosios cheminės analizės metu buvo nustatinėjamas ištirpusių mineralinių medžiagų kiekis. Grafiškai rezultatai pavaizduoti 4.1 paveiksle.



4.1 pav. Ištirpusių mineralinių medžiagų sumos (mg/l) grafinis palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias ištirpusių mineralinių medžiagų kiekis yra išvalytame vandenyje, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Jų suma siekia 715 mg/l. Mažiausiai mineralinių ištirpusių medžiagų yra Neries upės vandenyje.

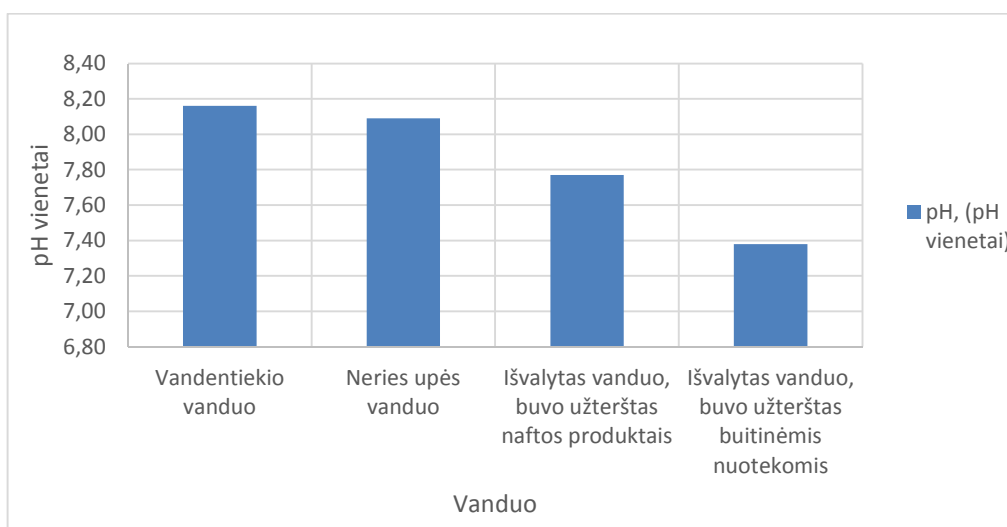
Nustatytos sausos liekanos rezultatai pavaizduoti 4.2 paveiksle.



4.2 pav. Sausos liekanos grafinis palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausia sausa liekana yra išvalytame vandenyje, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Ji yra 537 mg/l. Mažiausia sausa liekana yra Neries upės vandenyje.

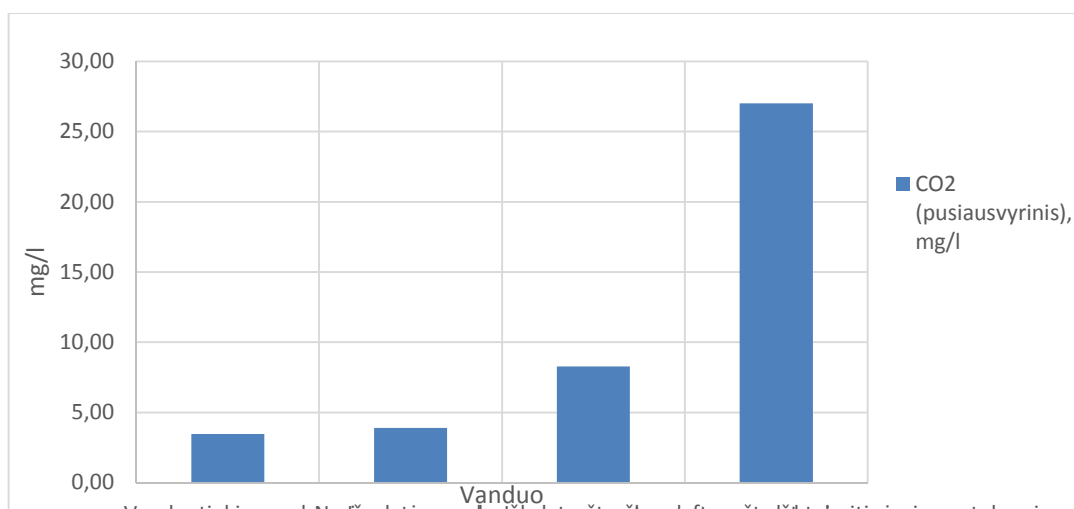
Nustatyto vandens pH rezultatai pavaizduoti 4.3 paveiksle.



4.3 pav. Vandens pH grafinis palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias vandens pH yra vandentiekio vandenyje. Jis yra 8,16 pH vienetų. Mažiausias pH yra išvalytame vandenyje, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Jis yra 7,38 pH vienetų.

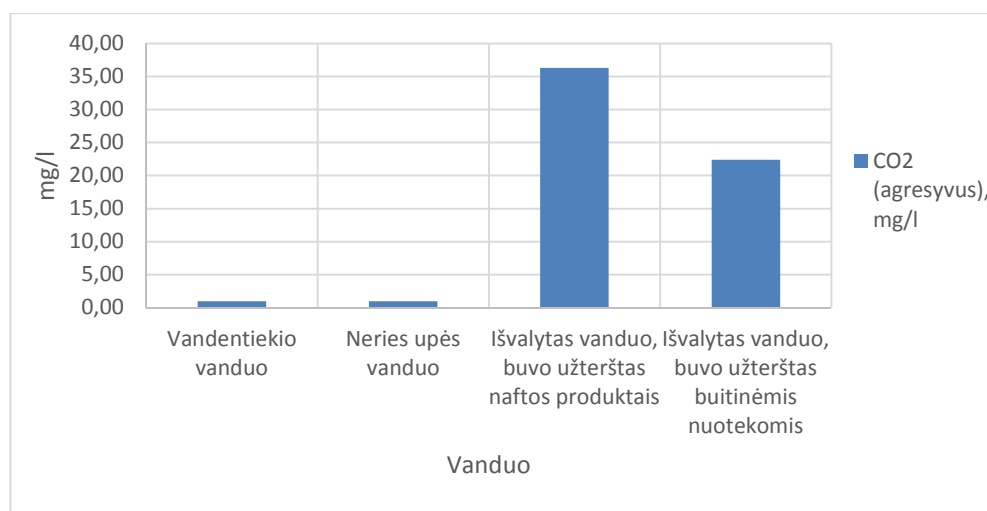
Nustatyto vandens CO₂ (pusiausvyrinio) rezultatai pavaizduoti 4.4 paveiksle.



4.4 pav. Vandens CO₂ (pusiausvyrinio) grafinis palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias vandens CO₂ (pusiausvyrinis) yra vandenyje, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Jis yra 27 mg/l. Mažiausias CO₂ (pusiausvyrinis) yra vandentiekio vandenyje. Jis yra 3,4 mg/l, o Neris upės vandens 3,9 mg/l.

Nustatyto vandens CO₂ (agresyvaus) rezultatai pavaizduoti 4.5 paveiksle.



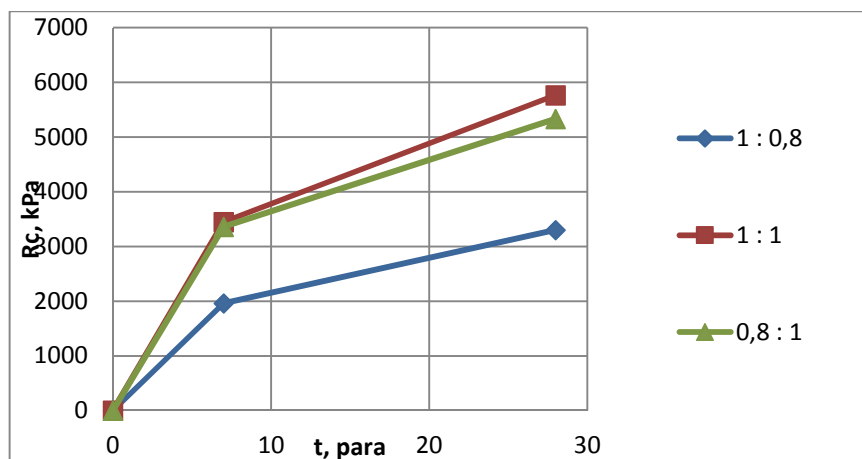
4.5 pav. Vandens CO₂ (agresyvaus) grafinis palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias vandens CO₂ (agresyvus) yra vandenyje, kuris buvo užterštas naftos produktais. Jis yra 36,3 mg/l. Mažiausias CO₂ (agresyvus) yra vandentiekio ir Neris upės vandenyje. Jis yra 1 mg/l.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio naudojant vandentiekio vandenį, rezultatai pateikti 4.1 lentelėje. Grafiškai jie atsispindi 4.6 paveiksle.

4.1 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant vandentiekio vandenį, rezultatai

Laikas, paros	1 : 0,8	1 : 1	0,8 : 1
0	0	0	0
7	1965	3448	3362
28	3302	5768	5332



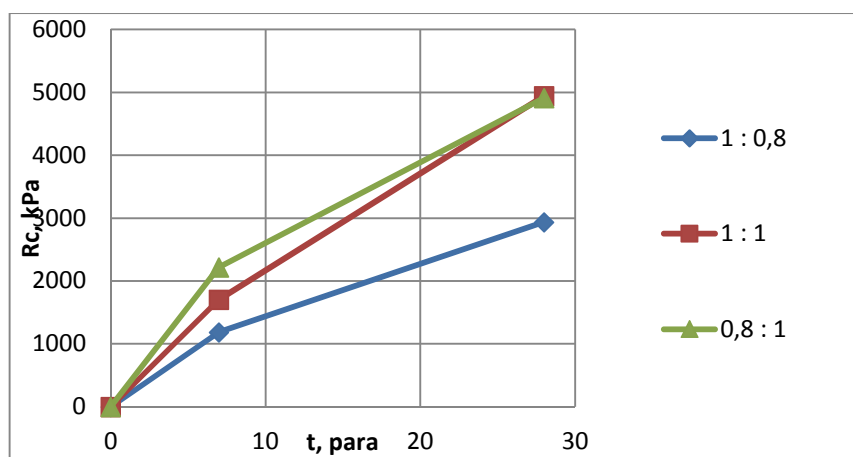
4.6 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant vandentiekio vandenį, palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris yra esant vandens ir betono santykiui 1:1, o mažiausias 1:0,8.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio naudojant Neries upės vandenį, rezultatai pateikti 4.2 lentelėje. Grafiškai jie atsispindi 4.7 paveiksle.

4.2 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant Neries upės vandenį, rezultatai

Laikas, paros	1 : 0,8	1 : 1	0,8 : 1
0	0	0	0
7	1185	1705	2220
28	2937	4940	4913



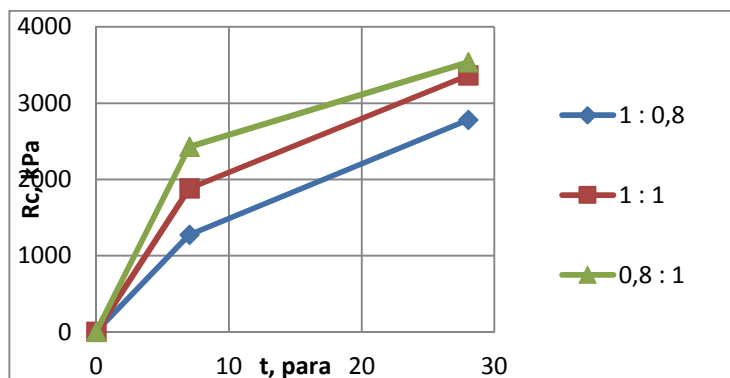
4.7 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant Neries upės vandenį, palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris yra esant vandens ir betono santykiui 0,8:1, o mažiausias 1:0,8.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas naftos produktais), rezultatai pateikti 4.3 lentelėje. Grafiškai jie atsispindi 4.8 paveiksle.

4.3 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas naftos produktais), rezultatai

Laikas, paros	1 : 0,8	1 : 1	0,8 : 1
0	0	0	0
7	1274	1883	2428
28	2779	3364	3537



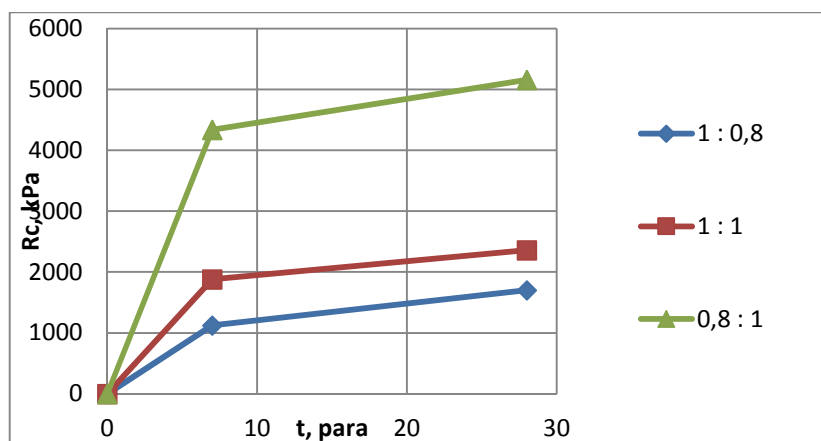
4.8 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas naftos produktais), palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris yra esant vandens ir betono santykiui 0,8:1, o mažiausias 1:0,8.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis), rezultatai pateikti 4.4 lentelėje. Grafiškai jie atspindi 4.9 paveiksle.

4.4 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis), rezultatai

Laikas, paros	1 : 0,8	1 : 1	0,8 : 1
0	0	0	0
7	1123	1883	4338
28	1704	2362	5161



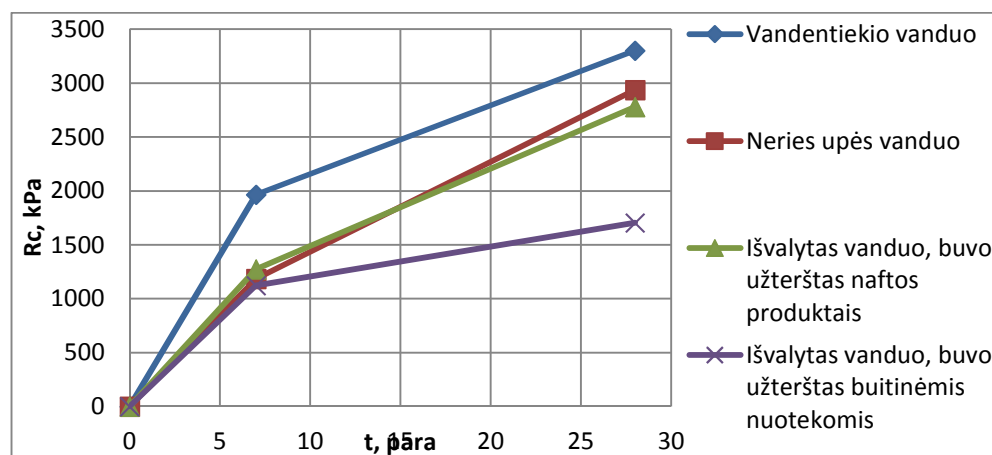
4.9 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, naudojant išvalytą vandenį (buvo užterštas buitinėmis nuotekomis), palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris yra esant vandens ir betono santykiui 0,8:1, o mažiausias 1:0,8.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio naudojant V/C santikį 1:0,8, rezultatai pateikti 4.5 lentelėje. Grafiškai jie atspindi 4.10 paveiksle.

4.5 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 1:0,8, rezultatai

Laikas, paros	Vandentiekio vanduo	Neries upės vanduo	Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis
0	0	0	0	0
7	1965	1185	1274	1123
28	3302	2937	2779	1704



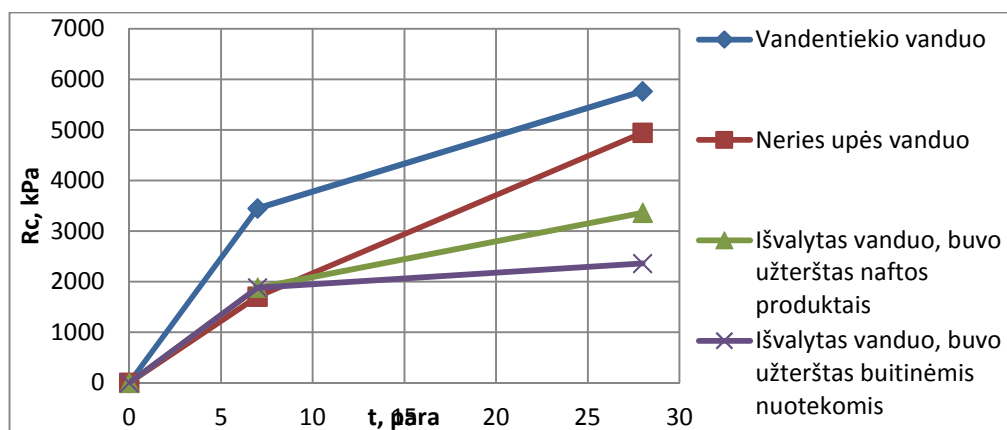
4.10 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 1:0,8, palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris, kai V/C santykis 1:0,8, yra vandentiekio vandens, o mažiausias išvalyto vandens, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio naudojant V/C santikį 1:1, rezultatai pateikti 4.6 lentelėje. Grafiškai jie atsispindi 4.11 paveiksle.

4.6 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 1:1, rezultatai

Laikas, paros	Vandentiekio vanduo	Neries upės vanduo	Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis
0	0	0	0	0
7	3448	1705	1883	1883
28	5768	4940	3364	2362



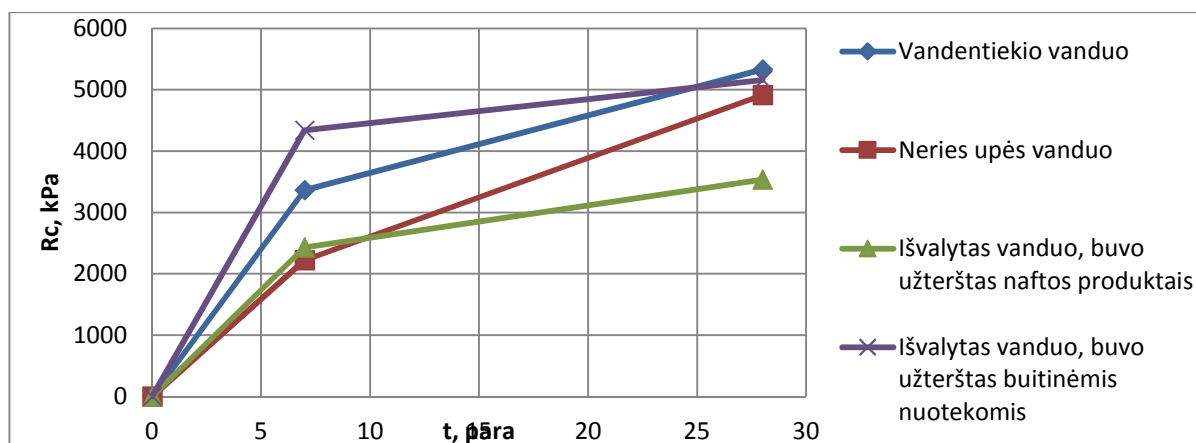
4.11 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 1:1, palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris, kai V/C santykis 1:1, yra vandentiekio vandens, o mažiausias išvalyto vandens, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 0,8:1, rezultatai pateikti 4.7 lentelėje. Grafiškai jie atsispindi 4.12 paveiksle.

4.7 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 0,8:1, rezultatai

Laikas, paros	Vandentiekio vanduo	Neries upės vanduo	Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis
0	0	0	0	0
7	3362	2220	2428	4338
28	5332	4913	3537	5161



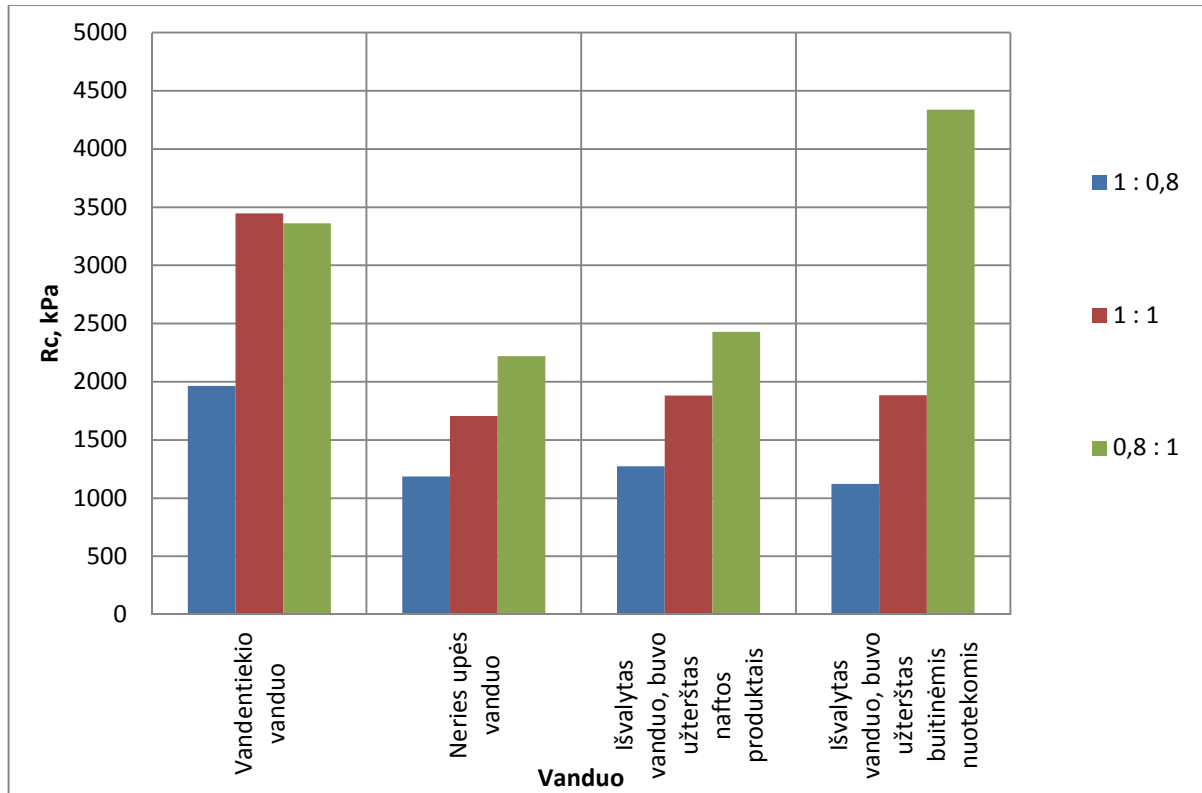
4.12 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio, kai V/C santykis 0,8:1, palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris, kai V/C santykis 0,8:1, yra po 7 parų vandens, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis, po 28 parų vandentiekio vandens. Mažiausias išvalyto vandens, kuris buvo užterštas naftos produktais.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 7 parų, rezultatai pateikti 4.8 lentelėje. Grafiškai jie atspindi 4.13 paveiksle.

4.8 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 7 parų rezultatai

Vanduo	1 : 0,8	1 : 1	0,8 : 1
Vandentiekio vanduo	1965	3448	3362
Neries upės vanduo	1185	1705	2220
Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	1274	1883	2428
Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	1123	1883	4338



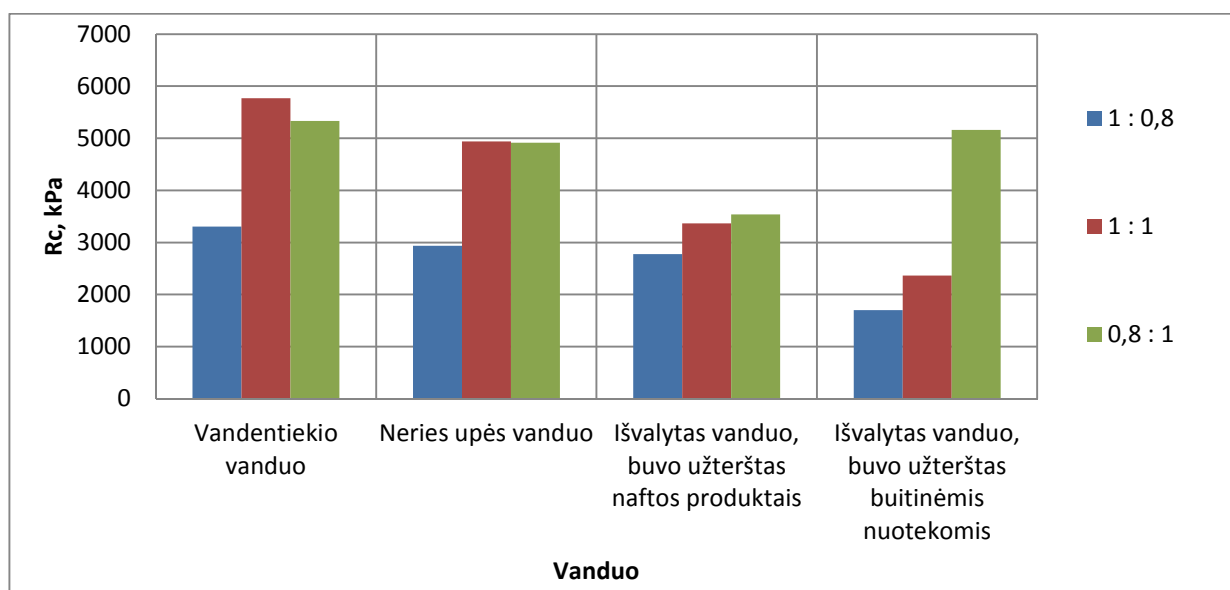
4.13 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 7 parų palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris po 7 parų ir esant V/C 1:0,8 ir 1:1 yra vandentiekio vandens, o esant 0,8:1 išvalyto vandens, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Mažiausias gniuždymo stipris esant V/C 1:0,8 išvalyto vandens, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis, esant V/C 1:1 ir 0,8:1 Neries vandens.

Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 28 parų, rezultatai pateikti 4.9 lentelėje. Grafiškai jie atsispindi 4.14 paveiksle.

4.9 lentelė. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 28 parų rezultatai

Vanduo	1 : 0,8	1 : 1	0,8 : 1
Vandentiekio vanduo	3302	5768	5332
Neries upės vanduo	2937	4940	4913
Išvalytas vanduo, buvo užterštas naftos produktais	2779	3364	3537
Išvalytas vanduo, buvo užterštas buitinėmis nuotekomis	1704	2362	5161



4.14 pav. Gruntbetonio bandinių gniuždymo stiprio po 28 parų palyginimas

Iš rezultatų matyti, kad didžiausias gniuždymo stipris po 28 parų ir esant V/C 1:0,8, 1:1 ir 0,8:1 yra vandentiekio vandens. Mažiausias gniuždymo stipris esant V/C 1:0,8 ir 1:1 išvalyto vandens, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis, esant V/C 0,8:1 išvalyto vandens, kuris buvo užterštas naftos produktais.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Atlikus vandens bendrąją cheminę analizę, buvo nustatyti skirtingų vandens bandinių ištirpusių mineralinių medžiagų kiekiai, sausa liekana, vandens pH, CO₂ (pusiausvyrinio) bei CO₂ (agresyvaus) kiekiai. Pagal tyrimo rezultatus didžiausią kiekį CO₂ (agresyvusis) turi išvalytas vanduo, kuris buvo užterštas naftos produktais. Tokiame vandenyje yra 36,3 mg/l CO₂. Dėl to toks vanduo mažiausiai tinkamas gruntbetonio gamybai. Mažiausią kiekį CO₂ (agresyvusis) turi vandentiekio ir Neries upės vanduo, jis lygus 1 mg/l, todėl toks vanduo tinkamiausias gruntbetonio gamybai.

2. Atlikus gruntbetonio gniuždymo stiprio bandymą, nustatyta, kad po 7 parų išlaikymo, kai V/C santykis 1:0,8, didžiausias gniuždymo stipris yra naudojant vandentiekio vandenį, o mažiausias išvalytą vandenį, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Gniuždymo stipris skiriasi 4 %. Kai V/C santykis 1:1, didžiausias gniuždymo stipris yra naudojant vandentiekio vandenį, o mažiausias Neries upės vandenį. Gniuždymo stipris skiriasi 51 %. Kai V/C santykis 0,8:1, didžiausias gniuždymo stipris yra naudojant išvalytą vandenį, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis, o mažiausias – Neries upės vandenį. Gniuždymo stipris skiriasi 49 %. Po 28 parų išlaikymo, kai V/C santykis 1:0,8, didžiausias gniuždymo stipris yra naudojant vandentiekio vandenį, o mažiausias – išvalytą vandenį, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Gniuždymo stipris skiriasi 48 %. Kai V/C santykis 1:1, didžiausias gniuždymo stipris yra naudojant vandentiekio vandenį, o – mažiausias išvalytą vandenį, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis. Gniuždymo stipris skiriasi 59 %. Kai V/C santykis 0,8:1, didžiausias gniuždymo stipris yra naudojant vandentiekio vandenį, o mažiausias – išvalytą vandenį, kuris buvo užterštas naftos produktais. Gniuždymo stipris skiriasi 34 %. Palyginus visus rezultatus galima daryti išvadą, kad gruntbetonio gamybai galima naudoti išvalytą vandenį, kuris buvo užterštas buitinėmis nuotekomis, kai V/C santykis 1:0,8 ir bandinys išlaikomas 7 paras. Kitais atvejais gniuždymo stipris labai smarkiai skiriasi nuo to, kai naudojamas vandentiekio vanduo.

3. Atlikus tris bandymus su suardytos sandaros smėliu buvo nustatyta, kad smėlio laidumo vandeniui koeficientas labai priklauso nuo granulometrinės sudėties. Kuo dalelės didesnės, tuo filtracijos koeficientas didesnis, tuo didesnę vandens debitą gauname skaičiuojant. Kuo dalelės mažesnės, tuo koeficientas yra mažesnis, taip pat ir debitas mažesnis. Taip pat didelę įtaką filtracijos koeficientui turi hidraulinis vandens tekėjimo nuolydis: kuo nuolydis didesnis, tuo filtracijos koeficientas yra didesnis. Pagal atliktus bandymo rezultatus gauname, kad trijų skirtingų skysčių filtracijos koeficientai praktiškai nesiskiria. Vandentiekio filtracijos koeficientas yra 12,87 m/parą, dumbolino vandens 12,545 m/parą, o dyzelino 9,23 m/parą. Nežymus skirtumas matomas dyzelio bei vandens (1:20) mišinyje. Nors šie ir nesimaišo tarpusavyje, tačiau filtracijos koeficientas

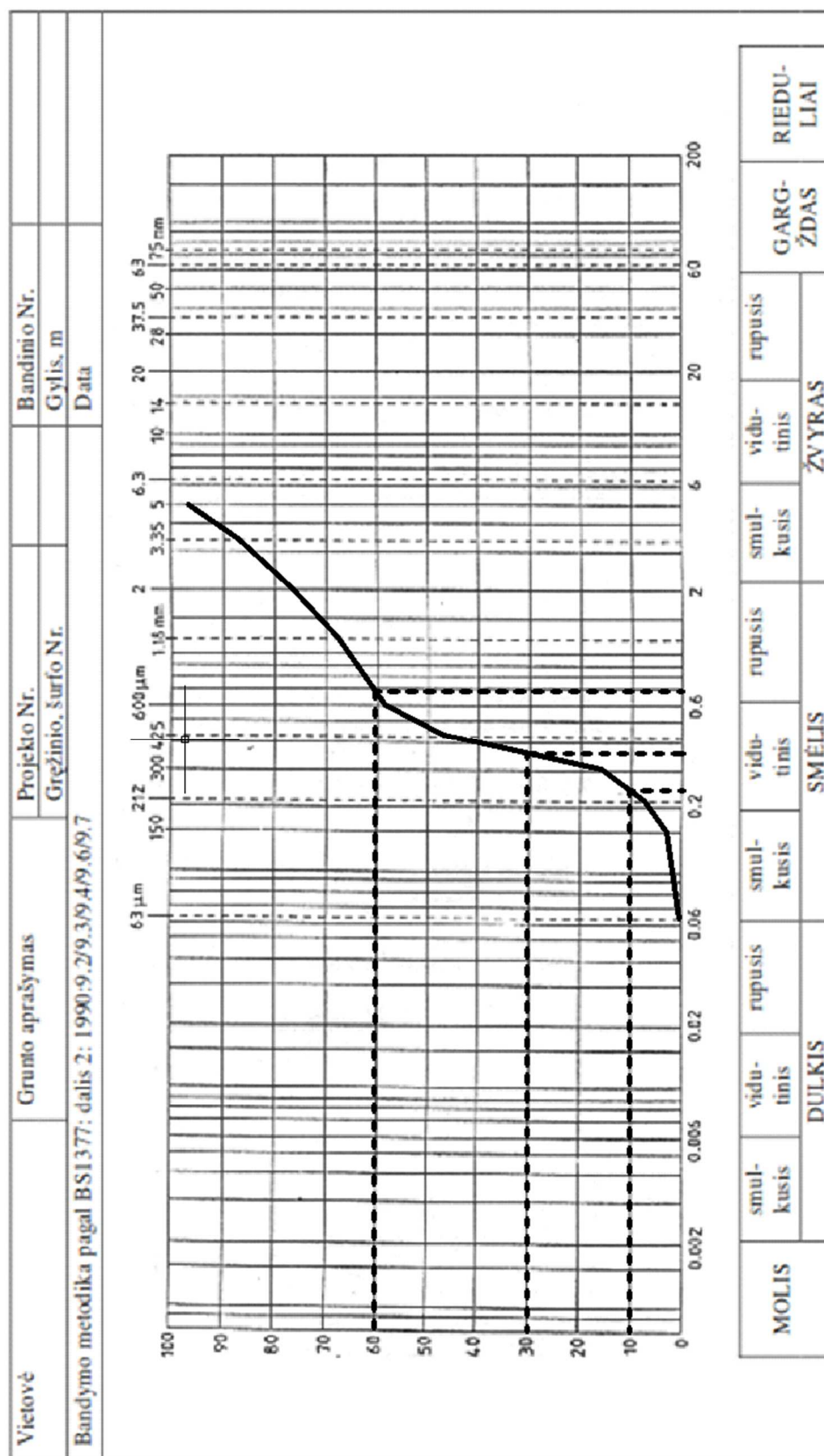
sumažėjo 29 %. Didinant hidraulinį gradientą dyzelio ir vandens mišinyje, debitas išlieka pastovus bei pradeda šiek tiek mažėti. Tai gali sukelti didesnis mišinio klampumas.

4. Pagrindiniai darbo teiginiai buvo pristatyti Jaunųjų mokslininkų konferencijoje, Geotechnikos sekcijos posėdyje.

LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI

- Amšiejus J.; Mackevičius R.; Medzvieckas J.; Sližytė D.; Stragys V. *Gruntų fizinės ir mechaninės savybės. Laboratoriniai darbai*. 2006. Vilnius: Technika. 164 p.
- Craig, R.F. *Craigs Soil Mechanics. Spon Press*. 1998. 458 p.
- EN ISO 14688-2. Geotechnical investigation and testing – Identification and Clasifficationof soil. Part-3. Priciples of classification. 38 p.
- LST EN 12390-3:2009 Betono bandymas. 3 dalis. Bandinių stipris gniuždant. Vilnius, 2009.
- LST EN 12716 Specialieji geotechnikos darbai. Srautinės injekcijos. Vilnius, 2003.
- LST EN 1997-2:2007 Eurokodas 7. 2 dalis. Pagrindo tyrinėjimai ir bandymai. Vilnius, 2007. 188 p.
- LST EN 933-1:2002 Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai: 1 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas. Vilnius, 2002.
- Mackevičius R. *Geotechnikos naujosios technologijos*. 2009. Vilnius: Technika. 93 p.
- Simmons C. S. *Liquid spills on permeable surfaces: Experimental Confirmations*. 2005. Pacific Northwest National Laboratory, 78 p.
- Sližytė D.; Medzvieckas J.; Mackevičius R. *Pamatai ir pagrindai*. 2012. Vilnius: Technika. 240 p.
- Smith, G. N. *Smith's Soil Mechanics*. 1995. Blackwell Science, 509 p.
- Šimkus J. *Gruntų mechanika, pagrindai ir pamatai*. 1984. Vilnius: Mokslas. 271 p.
- Rybak Cz, Borys R, Noga L. 2003. *Iniekcja strumieniowa – nowoczesna technologia wzmacniania podłoża posadowien budowli*. Warszawa: Inżynieria morska i geotechnika.
- Ground improvevent. 2013. Keller [žiūrėta 2013-03-03]. Prieiga per internetą: www.keller.co.uk
- Naftos atskirtuvai grunte. 2011. UAB ACO NORDIC [žiūrėta 2011-11-15]. Prieiga per internetą: www.aco.lt
- Nuotekų valymo įrenginiai. 2011. UAB Bionuotekos [žiūrėta 2011-12-10]. Prieiga per internetą: www.bionuotekos.lt
- Valymo įrenginiai. 2011. UAB Švarus vanduo [žiūrėta 2011-11-15]. Prieiga per internetą: www.svarusvanduo.lt

Grunto granulimetrinės sudėties kreivė



1 pav. Grunto granulimetrinės sudėties kreivė

Vandens bendrosios chemijos analizės rezultatai



UŽSAKOVAS: Paulius Navickas

Vandens bendrosios cheminės analizės rezultatai

Objektas
Krano vanduo

Gręžinys (punktas)

Paėmimo data
2013 04 30

Analitė	mg/l	mg-ekv./l	ekv. %	Analizės metodas
Anijonai				
Cl ⁻	27.0	0.761	12.0	LST EN ISO 10304
SO ₄ ²⁻	50.3	1.05	16.5	LST EN ISO 10304
HCO ₃ ⁻	275	4.50	71.1	LST ISO 9963-1
CO ₃ ²⁻	0.64	0.021	0.335	Apskaičiuojama
NO ₂ ⁻	<0.010			LST EN ISO 10304
NO ₃ ⁻	<0.050			LST EN ISO 10304
Katijonai				
Na ⁺	16.4	0.713	11.3	LST EN ISO 14911
K ⁺	1.7	0.043	0.688	LST EN ISO 14911
Ca ²⁺	79.4	3.96	62.7	LST EN ISO 14911
Mg ²⁺	19.5	1.60	25.4	LST EN ISO 14911
NH ₄ ⁺	<0.010			LST EN ISO 14911
Kitos analitės				
pH	8.16 (pH vienetai)			LST EN ISO 10523
Perm. skaičius	2.59 mg O/l			LST EN ISO 8467
Sav. elektr. laidis	555 μS/cm 25°C			LST EN 27888
Skedindžio medž.	18.0 mg/l			LST EN 872

Anijonų = 6.332

Katijonų = 6.322

Balansas = -0.01 (mg-ekv./l)

B.kietumas = 5.57

Karb.kiet. = 4.50

Nekarb.kiet. = 1.06 (mg-ekv./l)

Ištirpusių min. medž. suma = 470 mg/l

Sausa liekana 180°C = 332 mg/l

CO₂ (pusiausvyrinis) = 3.46 mg/lCO₂ (agresyvus) <1.0 mg/l

Chemikė analitikė



Virginija Jakubauskienė

UŽSAKOVAS: Paulius Navickas

Vandens bendrosios cheminės analizės rezultatai

Objektas
Neris

Gręžinys (punktas)

Paėmimo data
2013 04 30

Analitė	mg/l	mg-ekv./l	ekv.%	Analizės metodas
Anijonai				
Cl ⁻	15.7	0.443	8.37	LST EN ISO 10304
SO ₄ ²⁻	18.4	0.383	7.24	LST EN ISO 10304
HCO ₃ ⁻	264	4.33	81.8	LST ISO 9963-1
CO ₃ ²⁻	0.52	0.017	0.328	Apskaičiuojama
NO ₂ ⁻	<0.010			LST EN ISO 10304
NO ₃ ⁻	7.39	0.119	2.26	LST EN ISO 10304
Katijonai				
Na ⁺	9.3	0.404	7.37	LST EN ISO 14911
K ⁺	2.2	0.056	1.03	LST EN ISO 14911
Ca ²⁺	72.2	3.60	65.7	LST EN ISO 14911
Mg ²⁺	17.3	1.42	25.9	LST EN ISO 14911
NH ₄ ⁺	<0.010			LST EN ISO 14911
Kitos analitės				
pH	8.09 (pH vienetai)			LST EN ISO 10523
Perm. skaičius	7.43 mg O/l			LST EN ISO 8467
Sav. elektr. laidis	444 μS/cm 25°C			LST EN 27888
Skedindios medž.	20.0 mg/l			LST EN 872

Anijonų = 5.288

Katijonų = 5.486

Balansas = +0.198

(mg-ekv./l)

B.kietumas = 5.03

Karb.kiet. = 4.33

Nekarb.kiet. = 0.70

(mg-ekv./l)

Ištirpusių min. medž. suma = 407 mg/l

Sausa liekana 180°C = 275 mg/l

CO₂ (pusiausvyrinis) = 3.90 mg/l

CO₂ (agresyvus) <1.0 mg/l

Chemikė analitikė



Virginija Jakubauskienė

UŽSAKOVAS: Paulius Navickas

Vandens bendrosios cheminės analizės rezultatai

Objektas
Vanduo su nafta

Gręžinys (punktas)

Paėmimo data
2013 04 30

Analitė	mg/l	mg-ekv./l	ekv. %	Analizės metodas
Anijonai				
Cl ⁻	21.1	0.595	10.1	LST EN ISO 10304
SO ₄ ²⁻	40.0	0.833	14.1	LST EN ISO 10304
HCO ₃ ⁻	269	4.41	74.6	LST ISO 9963-1
CO ₃ ²⁻	0.25	0.008	0.143	Apskaičiuojama
NO ₂ ⁻	<0.010			LST EN ISO 10304
NO ₃ ⁻	3.81	0.061	1.04	LST EN ISO 10304
Katijonai				
Na ⁺	13.4	0.583	11.4	LST EN ISO 14911
K ⁺	1.6	0.041	0.799	LST EN ISO 14911
Ca ²⁺	64.8	3.23	63.1	LST EN ISO 14911
Mg ²⁺	15.4	1.27	24.7	LST EN ISO 14911
NH ₄ ⁺	<0.010			LST EN ISO 14911
Kitos analitės				
pH	7.77 (pH vienetai)			LST EN ISO 10523
Perm. skaičius	74.3 mg O/l			LST EN ISO 8467
Sav. elektr. laidis	556 μS/cm 25°C			LST EN 27888
Skedindčios medž.	1 130 mg/l			LST EN 872

Anijonų = 5.907
B.kietumas = 4.50

Katijonų = 5.124
Karb.kiet. = 4.41

Balansas = -0.783 (mg-ekv./l)
Nekarb.kiet. = 0.09 (mg-ekv./l)

Ištirpusių min. medž. suma = 429 mg/l
CO₂ (pusiausvyrinis) = 8.27 mg/l

Sausa liekana 180°C = 295 mg/l
CO₂ (agresyvus) = 36.3 mg/l

Chemikė analitikė




Virginija Jakubauskienė

UŽSAKOVAS: Paulius Navickas

Vandens bendrosios cheminės analizės rezultatai

Objektas
Valytos nuotekos

Gręžinys (punktas)

Paėmimo data
2013 04 30

Analitė	mg/l	mg-ekv./l	ekv. %	Analizės metodas
Anijonai				
Cl ⁻	58.2	1.64	17.1	LST EN ISO 10304
SO ₄ ²⁻	76.3	1.59	16.6	LST EN ISO 10304
HCO ₃ ⁻	357	5.85	61.0	LST ISO 9963-1
CO ₃ ²⁻	0.14	0.005	0.048	Apskaičiuojama
NO ₂ ⁻	13.5	0.294	3.06	LST EN ISO 10304
NO ₃ ⁻	13.6	0.219	2.28	LST EN ISO 10304
Katijonai				
Na ⁺	57.3	2.49	26.0	LST EN ISO 14911
K ⁺	23.7	0.606	6.33	LST EN ISO 14911
Ca ²⁺	82.8	4.13	43.1	LST EN ISO 14911
Mg ²⁺	20.0	1.64	17.2	LST EN ISO 14911
NH ₄ ⁺	12.7	0.706	7.37	LST EN ISO 14911
Kitos analitės				
pH	7.38 (pH vienetai)			LST EN ISO 10523
Perm. skaičius	38.0 mg O/l			LST EN ISO 8467
Sav. elektr. laidis	860 μS/cm 25°C			LST EN 27888
Skedindčios medž.	19.0 mg/l			LST EN 872

Anijonų = 9.598
B.kietumas = 5.78

Katijonų = 9.580
Karb.kiet. = 5.78

Balansas = -0.019 (mg-ekv./l)
Nekarb.kiet. = 0.00 (mg-ekv./l)

Ištirpusių min. medž. suma = 715 mg/l
CO₂ (pusiausvyrinis) = 27.0 mg/l

Sausa liekana 180°C = 537 mg/l
CO₂ (agresyvus) = 22.4 mg/l

Chemikė analitikė


 Virginija Jakubauskienė