



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

GEOTECHNIKOS KATEDRA

Artur Žabelovič

LAKIŲJŲ PELENŲ PANAUDOJIMO GRUNTBETONYJE TYRIMAS
INVESTIGATION OF FLY - ASH APPLICATION FOR SOIL GROUTING

BAIGIAMASIS MAGISTRO DARBAS

Geotechnikos studijų programa, valstybinis kodas 621H25001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

GEOTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vadėjas

(Parašas)

prof. A. Norkus

(Vardas, pavardė)

2017 05 26

(Data)

Artur Žabelovič

LAKIŲJŲ PELENŲ PANAUDOJIMO GRUNTBETONYJE TYRIMAS

INVESTIGATION OF FLY - ASH APPLICATION FOR SOIL GROUTING

BAIGIAMASIS MAGISTRO DARBAS

Geotechnikos studijų programa, valstybinis kodas 621H25001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. R. Mackevičius

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

(Parašas)

(Data)

2017. 5. 26.

Lietuvių kalbos konsultantas

Al. Anis Gielkin.

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

(Parašas)

(Data)

2017-05-29

Vilnius, 2017

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Statybos fakultetas Geotechnikos katedra		ISBN ISSN Egz. sk. Data*.....*.....
Antrosios pakopos studijų Geotechnikos programos magistro baigiamasis darbas Pavadinimas Lakiųjų pelenų panaudojimo gruntbetonyje tyrimas. Autorius Artur Žabelovič Vadovas Rimantas Mackevičius		
Kalba: lietuvių		
Anotacija Šiame baigiamajame magistro darbe nagrinėjama lakiųjų pelenų, kaip atliekos panaudojimo galimybė gruntbetonyje. Atlikta pagrindų ir pamatų stiprinimo injekcijomis literatūros analizė, išnagrinėtos mokslinėje literatūroje esančios bendros žinios apie lakiuosius pelenus ir jų savybes bei panaudojimo sritys. Teorinėje dalyje pateikiamos lakiųjų pelenų, kaip atliekos apžvalga, utilizavimo problema ir panaudojimo galimybės. Taip pat pamatų ir pagrindų stiprinimo injekcijomis ypatumai, technologijos bei medžiagos. Eksperimentinėje dalyje pateikti žaliavų ir gruntbetonio bandinių tyrimo rezultatai. Nagrinėjamos trys gruntbetonio sudėtys. Darbe ištirta lakiųjų pelenų įtaka gruntbetonio gniuždomajam stipriui, kai bandiniai laikomi oro ir vandens terpėje. Gauti atliktų tyrimų rezultatai yra pateikti grafiškai ir susisteminti lentelėse. Darbo pabaigoje pateikiamos išvados. Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, eksperimentiniai tyrimai, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis – 71 puslapiai, 37 paveikslėliai, 24 lentelės, 33 bibliografiniai šaltiniai ir 1 priedas.		
Prasmniniai žodžiai: gruntbetonis, lakieji pelenai, gniuždomasis stipris, išlaikymo sąlygos, srautinė injekcija, pagrindų stiprinimas, gruntbetonio priemonės, cemento pakaitalas		

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

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

Master Degree Studies **Geotechnics** study programme Master Graduation Thesis

Title **Investigation of fly - ash application for soil grouting.**
Author **Artur Žabelovič**
Academic supervisor **Rimantas Mackevičius**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This Master work investigates the use of wasted fly ash in soilcrete. The work was carried out in literary analysis of foundations, ground strengthened injections, common knowledge about fly ash, its features and areas of use.

Abstract part provides overview of waste, utilization problem and areas of use of fly ash. Also features of foundations and ground strengthened injections, technologies and substance. Experimental - research part provides results of raw materials and soilcrete research samples. Investigation includes three consists of soilcrete. Examines fly ash influence on the compressive strength of soilcrete when the samples are in water or air conditions.

Results of research are presented graphically and systematized in tables. At the end of Master work, there are the main conclusions.

The work consists of five parts: introduction, literature review, experimental studies, conclusion and published articles.

Thesis consist of: 71 pages, 37 pictures, 24 tables, 1 appendix and 33 bibliographical entries.

Keywords: soilcrete, fly ash, the compressive strength, maintenance conditions, jet-grouting, soilcrete impurities, cement substitute

TURINYS

ĮVADAS	11
1 GRUNTO STIPRINIMAS INJEKCIJOMIS. LAKIŲJŲ PELENŲ PANAUDOJIMAS	12
1.1 Pagrindo stiprinimas injekcijomis. Injektavimo istorija	12
1.2 Mažo slėgio injekcijos	14
1.3 Srautinės injekcijos	15
1.3.1 Srautinių injekcijų technologija	16
1.3.2 Srautinių injekcijų taikymo galimybės	19
1.3.3 Pagrindo stiprinimo srautinėmis injekcijomis privalumai	22
1.4 Pelenai. Lakieji pelenai	22
1.4.1 Pelenų klasifikavimas	24
1.4.2 Pelenų utilizavimo problema Lietuvoje	25
1.4.3 Miško kuro pelenų cheminė sudėtis	25
1.4.4 Pelenų poveikis ekosistemai	27
1.4.5 Pelenų panaudojimas betono gaminiuose	28
1.4.6 Pelenų panaudojimas kelių statyboje	29
1.4.7 Pelenų panaudojimas žemės ir miškų ūkyje	30
2 LAKIŲJŲ PELENŲ PANAUDOJIMO GRUNTBETONIUI TYRIMAS	32
2.1 Tikslai ir uždaviniai	32
2.2 Tyrimo metodai	32
2.3 Nagrinėjamas gruntas	34
2.4 Naudojamas cementas	35
2.5 Nagrinėjami lakieji pelenai	36
2.6 Gruntbetonio formų ir bandinių ruošimas	36
2.7 Gruntbetonio bandinių gniuždomojo stiprio nustatymas	38
2.8 Sugniuždytų bandinių suardytos struktūros mikroskopinės nuotraukos	40

2.9	Gruntbetonio bandinių bandymai po 7 parų kietėjimo	43
2.9.1	Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius oro terpėje	43
2.9.2	Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius vandens terpėje	46
2.9.3	Rezultatų gautų po 7 parų kietėjimo palyginimas	48
2.10	Gruntbetonio bandinių bandymai po 28 parų kietėjimo.....	49
2.10.1	Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius oro terpėje	50
2.10.2	Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius vandens terpėje	53
2.10.3	Rezultatų gautų po 28 parų kietėjimo palyginimas	55
2.11	Gruntbetonio bandinių bandymai po 90 parų kietėjimo.....	56
2.11.1	Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius oro terpėje	57
2.11.2	Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius vandens terpėje	60
2.11.3	Rezultatų gautų po 90 parų kietėjimo palyginimas	62
2.12	Rezultatų analizė	63
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI		67
LITERATŪRA		68
PRIEDAS		70

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Srautinės iniekcijos procesas: a) skerspjūvis (Wanik ir Modoni, 2012), b) srautinės iniekcijos tipai (Heng, 2008)	17
1.2 pav. Įrenginių schema, skirta gruntbetoninių luitų gamybai srautinės iniekcijos metodu (Keller 2015).....	17
1.3 pav. Pasiektas didelio slėgio iniekcijos Lenkijos rekordas – 5,0 m skersmens gruntbetonio kolona (Keller Polska 2015)	18
1.4 pav. Srautinės iniekcijos technologijos eiliškumas: 1 – gręžimas; 2 – grunto suardymo pradžia; 3– iniektoriaus ištraukimas sukant; 4 – formuojama sienelė (Gepnet 2016)	18
1.5 pav. Kompaktiška vikšrinė technika iniekcijoms daryti (Keller 2015).....	19
1.6 pav. Pamatų stiprinimas (Geoservice 2005)	19
1.7 pav. Nelaidžios vandeniui sienelės (Geoservice 2005).....	20
1.8 pav. Sandari atitvara (Geoservice 2005)	20
1.9 pav. Gilieji pamatai (Geoservice 2005)	21
1.10 pav. Užtvankų sandarinimas (Geoservice 2005).....	21
1.11 pav. Išorinis tunelio sutvirtinimas (Geoservice 2005)	21
1.12 pav. Horizontalios sienelės (Geoservice 2005).....	22
1.13 pav. Lakieji pelenai	23
2.1 pav. Tiriamojo darbo atlikimo schema.....	33
2.2 pav. Pagaminti bandiniai PVC vamzdžiuose	33
2.3 pav. Granuliometrinės sudėties kreivė	35
2.4 pav. Elektroninės svarstyklės	37
2.5 pav. Bandinių ruošimas	38
2.6 pav. Bandinio matmenys	38
2.7 pav. Sugniuždytas bandinys be lakiųjų pelenų po 7 parų laikant bandinį orinėje terpėje	39
2.8 pav. Sugniuždytas bandinys be lakiųjų pelenų po 7 parų laikant bandinį vandenyje	40
2.9 pav. Skenuojantis elektroninis mikroskopas	40
2.10 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį oro terpėje: a) be pelenų; b) pakeitus 10 % cemento lakiisiais pelenais	41
2.11 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį oro terpėje: a) pakeitus 20 % cemento lakiisiais pelenais; b) pakeitus 30 % cemento lakiisiais pelenais	41

2.12 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį vandens terpėje: a) be pelenų; b) pakeitus 10 % cemento lakiaisiais pelenais.....	42
2.13 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį vandens terpėje: a) pakeitus 20 % cemento lakiaisiais pelenais; b) pakeitus 30 % cemento lakiaisiais pelenais	42
2.14 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	45
2.15 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 7 parų kietėjimo laikant bandinius vandens terpėje.....	48
2.16 pav. Rezultatų palyginimas po 7 parų kietėjimo	49
2.17 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	52
2.18 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 28 parų kietėjimo laikant bandinius vandens terpėje.....	55
2.19 pav. Rezultatų palyginimas po 28 parų kietėjimo.....	56
2.20 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	59
2.21 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 90 parų kietėjimo laikant bandinius vandens terpėje.....	62
2.22 pav. Rezultatų palyginimas po 90 parų kietėjimo.....	63
2.23 pav. Gruntbetonio stiprumo kitimas laikant bandinius oro terpėje priklausomai nuo kietėjimo laiko	64
2.24 pav. Gruntbetonio stiprumo kitimas laikant bandinius vandens terpėje priklausomai nuo kietėjimo laiko	65

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Dulkių ir aerozolių klasifikavimas pagal dispersiškumą (Baltrėnas 1996)	24
1.2 lentelė. Pageidaujami miško kuro pelenų kokybės rodikliai.....	26
2.1 lentelė. Cemento savybės	36
2.2 lentelė. Gruntbetonio receptūra priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio smėliniam grunte ..	37
2.3 lentelė. Vienašio gniuždymo bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	43
2.4 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje....	44
2.5 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	44
2.6 lentelė. Vienašio gniuždymo bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius vandens terpėje	46
2.7 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje....	47
2.8 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	47
2.9 lentelė. Vienašio gniuždymo bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	50
2.10 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	51
2.11 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	51
2.12 lentelė. Vienašio gniuždymo bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius vandens terpėje	53
2.13 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	54
2.14 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	54
2.15 lentelė. Vienašio gniuždymo bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	57
2.16 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	58
2.17 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	58
2.18 lentelė. Vienašio gniuždymo bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius vandens terpėje	60
2.19 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	61

2.20 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje	61
2.21 lentelė. Gruntbetonio su lakiųjų pelenų priemaišomis gniuždymo stiprio didėjimas priklausomai nuo išlaikymo laikotarpio (stiprį po 28 parų priimu kaip 100 %) laikant bandinius ore	65
2.22 lentelė. Gruntbetonio su lakiųjų pelenų priemaišomis gniuždymo stiprio didėjimas priklausomai nuo išlaikymo laikotarpio (stiprį po 28 parų priimu kaip 100 %) laikant bandinius vandenyje.....	66

IVADAS

Šiuolaikinėje visuomenėje vis labiau aptariamos, žaliavų ir biomasės antrinio panaudojimo temos. Jau dabar keliamas tikslas naudoti kuo mažiau iškastinių žaliavų bei pereiti iš linijinės į žiedinę ekonomiką, kai visi produktai bus naudojami dar kartą, kad atliekų liktų kiek įmanoma mažiau.

Vienas aktualiausių geotechnikos klausimų yra pamatų ir pagrindų stiprinimas, kai yra tiesiami tuneliai, statomos užtvankos, atraminės sienelės, renovuojami pastatai, panaikinami dideli pastatų ant silpno grunto nuosedžiai. Dažnai šiems darbams atlikti yra taikomas didelio slėgio srautinės injekcijos metodas. Vienas iš šios technologijos trūkumų yra tas, kad naudojama labai daug cemento. Kyla klausimas: kuo galime pakeisti bent dalį cemento, kad kuo mažiau reikėtų gaminti klinkerio cemento pramonėje? Vienas iš variantų galėtų būti lakieji pelenai. Skirtingi gruntai ir lakiųjų pelenų priemaišos turi įtaką gruntbetonio stipriui, todėl pakeičiant dalį cemento pelenais, būtina atlikti gniuždomojo stiprio tyrimus.

Baigiamojo darbo pagrindiniai **tikslai** yra ištirti gruntbetoninių bandinių stiprumo rodiklius, kai juose bus lakiųjų pelenų, bei eksperimentiniu būdu nustatyti bandinių vidutinės stiprumo reikšmes, gniuždant pagamintus bandinius su atitinkamu kiekiu pelenų, laikant juos skirtingose terpėse.

Numatyti uždaviniai:

1. Srautinių injekcijų atlikimo galimybių tyrimas. Lakiųjų pelenų, kaip atliekos panaudojimo ir utilizavimo problemos apžvalga.
2. Eksperimentinis gruntbetonio bandinių gniuždomojo stiprio tyrimas, kuriame naudojami lakieji pelenai, kaip dalinis cemento pakaitalas, laikant bandinius oro terpėje.
3. Eksperimentinis gruntbetonio bandinių gniuždomojo stiprio tyrimas, kuriame naudojami lakieji pelenai, kaip dalinis cemento pakaitalas, laikant bandinius vandens terpėje.

Lakieji pelenai turi reikšmingą poveikį gruntbetonio savybėms. Tyrimai atlikti vadovaujantis nustatytais bandymų metodų standartais.

1 GRUNTO STIPRINIMAS INJEKCIJOMIS. LAKIŲJŲ PELENŲ PANAUDOJIMAS

1.1 Pagrindo stiprinimas injekcijomis. Injektavimo istorija

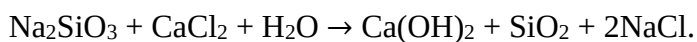
Injekcijos esmė – injekcinis gruntų stabilizavimas: pagrindo savybių pakeitimas, paveikus dispersinį gruntą adhesiniu (klijavimo) savybių turinčiomis medžiagomis ir pavertus jį dirbtine uoliena, tvirta ir nelaidžia vandeniui (Mackevičius 2012).

Grunto stiprinimas injekcinėmis priemonėmis gali būti dviejų rūšių: kai grunto struktūra yra suardama ir kai grunto struktūra nesuardoma. Dažniausiai struktūra suardoma naudojant aukštą slėgį (>10 MPa) arba maišymo ir injektavimo priemones. Plačiai naudojamos injekcinės priemonės: injekciniai inkarai, gilusis grunto maišymas, cheminės injekcijos, žemo slėgio injekcijos ir aukšto slėgio injekcijos. Šios priemonės dažniausiai pasirenkamos, kai reikia sustiprinti gruntą šalia esančių pastatų ar po jais, kai jie rekonstruojami. Tai pat šios priemonės naudojamos esant poreikiui pažeminti gruntinio vandens lygį ar atitverti nuo statinių. Lietuvoje pagrindams ir pamatams stiprinti taikomi du injektavimo metodai: žemo slėgio injekcija ir srautinė aukšto slėgio injekcija. Kiekviena iš jų turi savo privalumų ir trūkumų. Labiausiai paplitusi – srautinė injekcija, kuri yra išrasta japonų ir naudojama plačiai visame pasaulyje.

Injektavimo istorija

Stabilizuojamoji medžiaga į gruntą pirmą kartą injektuota Prancūzijoje dar Napoleono valdymo laikais – 1802 m. Siekdamas izoliuoti trukdžiusio dirbti rekonstruojant Djepo uosto šliuzą vandeningojo žvyro tarpsluoksnį, inžinierius Charles Berigny (1771–1842) išrado gruntų injekcijos metodą ir cemento skiediniu sutvirtino žvyrą. Jis pirmasis pavartojo sąvoką „*procédé d'injection*“ (išvertus iš prancūzų į lietuvių kalbą – injekcijos procedūra). 1810 m. Ch. Berigny panaudojo injekciją tilto per Senos upę Sevro mieste netoli Paryžiaus atramos pagrindui stiprinti (Baker 1982).

1886 m. Vokietijoje P. Jeziorsky užpatentavo laidžių vandeniui uolienu stiprinimo metodą, pagal kurį į rupų (stambų) arba vidutinio rupumo (stambumo) smėlinį gruntą paeiliui injektuojami natrio silikato (skystojo stiklo) ir kalcio chlorido tirpalai. Sąveikaudami grunto porose, šie tirpalai sudaro silicio rūgšties gelį, kuris suteikia smėliui stiprumo ir nelaidumo vandeniui:



1909 m. prancūzai Ž. Lemaire ir R. Dumaunt užpatentavo metodą, pagal kurį natrio silikatas sumaišomas su rūgštimi, o gautas mišinys injektuojamas į gruntą ir ten virsta silpnu, nelaidžiu vandeniui geliu. Šį metodą tobulino A. Geyrard, D. Rodio ir kiti. 1926 m. H. J. Joosten

patobulino P. Jeziorskio pasiūlytą būdą, kuris nuo tol pasauliui žinomas kaip Josteno metodas (retkarčiais vadinamas Jeziorski-Joosten metodu). Injektuojamo grunto apimtys ypač padidėjo XX a. trečiajame dešimtmetyje, kai pasaulio didmiesčiuose (Paryžiuje, Londone, Berlyne, Hamburge) intensyviai buvo tiesiami metro tuneliai ir dėl to teko stiprinti gretimų pastatų pagrindus, o kartais – ir paties tunelio skliautą. Greta cemento suspensijos, kuri tiko injektuoti tik į žvyrą, nes į smulkesnius gruntuos negalėjo prasiskverbti, pradėti naudoti tirpalai neorganinių bei organinių daugiamolekulinių junginių pagrindu. Iš neorganinių cheminių medžiagų gruntams injektuoti daugiausia naudoti ir naudojami tirpalai natrio silikato pagrindu (Josteno, Rodijo ir kiti metodai), o iš organinių polimerų sėkmingai pritaikytos kai kurios sintetinės dervos (furaninės, karbamidinės, akrilinės, uretaninės). Polimerinės dervos leidžia sustiprinti įvairios granulometrinės ir mineralinės sudėties smėlį (net ir smulkųjį, kurio filtracijos koeficientas – apie 1 m/parą), padaro jį stabilų, nelaidų vandeniui (Gomes, Valente 2009).

Organinių polimerų tirpalais sėkmingai stiprinami ne tik pastatų, bet ir tiltų pagrindai, stabilizuojami tuneliai, tvirtinamos supleišėjusios uolienos. Kai po Antrojo pasaulinio karo pradėta pagrindams stiprinti naudoti sintetinės dervos, džiaugtasi jų suteikiamomis gruntui geromis fizinėmis bei mechaninėmis savybėmis (nelaidumu vandeniui, dideliu stiprumu gniuždant, ilgaamžiškumu) ir kurį laiką beveik nekreipta dėmesio į šių polimerinių tirpalų poveikį aplinkai. Vis svarbesnis tas faktas, kad XX a. penktąjį–aštuntąjį dešimtmečius pagrindams stabilizuoti naudotos polimerinės dervos turėjo toksiškų komponentų, kurie galėjo neigiamai paveikti aplinką. Ši problema buvo iškelta 1977 m. Tokijuje vykusioje IX tarptautinėje Gruntų mechanikos ir pamatų inžinerijos draugijos konferencijoje, kurioje japonai S. Ando ir M. Makita pateikė pranešimą apie šeimą, gėrusią vandenį iš šulinio greta statybos aikštelės, kurioje gruntai buvo stabilizuojami akrilamidinė „Sumisoil“ derva. Dėl to visa šeima patyrė sveikatos sutrikimų ir buvo gydyta ligoninėje. Susirūpinimas gamtos apsauga privertė kai kurių polimerinių dervų (furaninių, rezorcino formaldehidinių) iš viso atsisakyti, o kitos (karmamidinės, akrilinės) buvo modifikuojamos, siekiant jas padaryti priimtinas ekologiniu požiūriu. Buvo sukurtos naujos akrilinės dervos AV–100 ir AC–400, nedarančios, kaip teigia jų gamintojai, neigiamo poveikio aplinkai. 1927 m. Vokietijoje porų injekcijos metodu sėkmingai sutvirtintas po polių padais tarp vandensparų (nelaidžių vandeniui grunto sluoksnių) buvęs vandens prisotintas smulkus smėlis. Josteno metodas bemat pradėtas taikyti smėliniams gruntams stiprinti Vokietijoje, Anglijoje, Prancūzijoje, Čekoslovakijoje, Lenkijoje. Jis buvo taikytas tiesiant metro tunelius Hamburge, Paryžiuje, Londone. Kai kuriose šalyse (pavyzdžiui, Anglijoje) Josteno metodas ilgai buvo pagrindinis gruntams stiprinti. Šiuo ekologiškai švari būdu tvirtinami silpni pagrindai ir mūsų

dienomis (1.1 pav.). Greta Josteno metodo ketvirtajame dešimtmetyje ekonomiškai išsivysčiusiose šalyse buvo taikomi ir kiti injekciniai pagrindų stiprinimo būdai: Fransua (Francois) metodas (naudojamas natrio silikato ir aliuminio sulfato mišinys), Rodijo (Rodio, skystasis stiklas su kalkių pienu) ir kiti. 1932 m. Sovietų Sąjungoje inžinierius B. Ržanicynas, bendradarbiaudamas su žymiais to laikotarpio sovietų mokslininkais chemikais, sukūrė gruntų silikatizacijos dviem tirpalais metodą, labai panašų į Josteno pasiūlytąjį. Šiuo metodu Maskvoje buvo stiprinami pastatų smėliniai pagrindai, kad po jais kasant metro tunelius būtų išvengta per didelių deformacijų. 1939 m. rusų mokslininkas V. Sokolovičius smėliams, kurių filtracijos koeficientas mažesnis kaip 2 m/parą ir todėl silikatizacija dviem tirpalais netinka, pasiūlė silikatizacijos vienu tirpalu metodą. Esminis skirtumas tarp silikatizacijos dviem tirpalais ir silikatizacijos vienu tirpalu yra tas, kad pirmuoju atveju reakcijoje dalyvausiantys tirpalai į gruntą injektuojami paeiliui (reakcija prasideda grunte), o antruoju atveju tirpalai sumaišomi dar prieš injektuojant (gelio susidarymo reakcija prasideda žemės paviršiuje stovinčioje maišyklėje, vyksta ir baigiasi grunte). Penktajame dešimtmetyje greta pirmosios injekcinio pagrindų stiprinimo plėtotės krypties, paremtos daugiamolekulinių neorganinių junginių (t.y. polimerų, kurių molekulės turi neorganines pagrindines grandines ir neturi organinės kilmės šoninių radikalų) taikymu, atsirado antroji. Ji buvo paremta organinių polimerų (sintetinių dervų) naudojimu (Mackevičius 2012).

1.2 Mažo slėgio injekcijos

Injekcinis gruntų stiprinimas – vienas racionalių būdų pastatų pagrindams pagerinti. Injektuojant mažu slėgiu (iki 1,0 MPa) į pagrindą mažo klampumo (artimo vandens klampumui) tirpalą, kietėjantį grunte ir sudarantį tarp dispersinių dalelių kristalinius ryšius, gaunama tvirta, nelaidi vandeniui dirbtinė uoliena. Panašiai gamtoje birusis smėlis gali virsti sucementuotu natūraliais cementais smiltainiu. Stabilizuojamojo tirpalo stengiamasi nesuardyti grunto struktūros. Injektuojamas kuo mažesniu slėgiu tirpalas užpildo poras ir atlieka savo darbą – stiprina gruntą. Šis metodas galimas gruntuose, kurių poros gana didelės ir į jas galima įšvirkšti koloidinius rišamųjų medžiagų tirpalus. Tokie gruntai yra smėliai, kurių filtracijos koeficientas didesnis kaip 1,0 m/parą. Molinių gruntų poros visai mažos, pilnos sujungtojo vandens, todėl tie gruntai galėtų būti stiprinami tik elektrocheminiu būdu (Sližytė ir kt. 2012).

Visų cheminio gruntų stiprinimo metodų technologija vienoda. Į gruntą kalamas injektorius – plieninis storasienis 38–42 mm skersmens vamzdis su uždaru smaigaliu. Apatinis 1–1,5 m ilgio vamzdžio galas perforuotas (9.12 pav.). Injektorių galima įkalti iki 15 m gylio. Jeigu reikia gruntus stiprinti giliau, gręžiamas gręžinys ir injektorius kalamas gręžinyje. Per injektorių į

gruntą su slėgiu įšvirksčiamas rišamosios medžiagos tirpalas. Slėgis priklauso nuo injektoriaus įkalimo gylio, būna 0,5–3 MPa, o gali būti iki 3–5 kartų didesnis negu įtempimas tame gylyje nuo viršutinių grunto sluoksnių svorio. Sustiprinto grunto aplink injektorių spindulys priklauso nuo grunto poringumo ir rišamosios medžiagos tirpalo klampumo. Jis būna lygus 0,3–1,0 m.

Į vienalytį gruntą skiedinys įšvirksčiamas palaipsniui gilinant injektorių ruožais, lygiais jo perforuotos dalies ilgiui. Sluoksniuotuose gruntuose stiprinti pradedama nuo vandeniui labiausiai laidaus sluoksnio. Viršutinis 1–1,5 m storio sluoksnis žemės paviršiuje lieka nesustiprintas. Cementavimu stiprinami gruntai, kurių laidumo vandeniui koeficientas $k > 50 \text{ m/parą}$ – tai žvyrai, žvyringieji smėliai. Cementuojami ir supleišęję uoliniai gruntai. Šis būdas dažnai taikomas ir kaip priešfiltracinė priemonė. Injektuojamas portlandcemenčio skiedinys, panaudojant aukštų klasių cementą. Skiedinio konsistencija parenkama pagal porų didumą, vandens ir cemento santykis būna 0,4 iki 10. Kai poros didelės, į skiedinį pridedama smulkaus smėlio. Sustiprinto grunto spindulys apie injektorių yra $r = 0,5\text{--}1 \text{ m}$ ir priklauso nuo granulometrinės smėlio sudėties. Sustiprinto grunto stipris yra iki 2–3,5 MPa (Sližytė ir kt. 2012).

Galimas panaudojimas:

- pagrindų stiprinimas po jau pastatytais statiniais;
- pagrindų stiprinimas kur silpnai sutankintas arba piltinis gruntas;
- kasinių ir šlaitų stabilizavimas;
- požeminių objektų sandarinimas, tokių kaip tuneliai, užtvankos, metro ir kt.

1.3 Srautinės injekcijos

Srautinė injekcija (angl. Jet-grouting) naudojama stiprinti įvairios granulometrijos gruntus. Žinoma, smėlinguose gruntuose srautinė injekcija vyksta paprasčiau nei molinguose ir durpinguose

Srautiniam injektavimui naudojama cemento suspensija yra ekologiniu požiūriu visiškai švari. Į gruntą injektuojant dideliu slėgiu cemento suspensiją, gaunamas cemento ir grunto mišinys, kuris sustingęs virsta gruntbetonu – stipria ir ilgaamžė medžiaga. Gruntbetonį galima suformuoti beveik iš visų gruntų. (Sližytė ir kt. 2012).

Skirtingai nei klasikinėse injekcijose, kurių pasekoje grunto struktūra ir granulometrinė sudėtis lieka nepakitusios, naudojant srautines injekcijas veikiant energetiniam skiedinio srautui visiškai sunaikinama natūrali grunto struktūra, įvyksta jo atskyrimas ir dalinis pakeitimas, o po to suformuoto grunto ir cemento luito rišimas. Srautinės injekcijos metu grunto savybės tampa

vienodos, o susidaręs grunto ir cemento mišinys pasižymi mažu pralaidumu ir padidėjusiu stiprumu.

Priklausomai nuo naudojamo slėgio, injekcijos trukmės, karties strypo slankaus judėjimo ir jos apsisukimo greičio grunte formuojami įvairių pjūvių ir skersmenų elementai: kolonos, sienos, plokštės, luitai arba kitos sudėtingos struktūros. Formuojamų elementų matmenys priklauso nuo technologinių naudojamo injekcinio rinkinio galimybių bei grunto sąlygų ir paprastai siekia nuo 0.4 m iki daugiau kaip 3 m. Įmontavus į formuojamąjį elementą armatūrą (dažniausiai tai profiliuotis) galima suformuotą elementą naudoti kaip polį arba gręžtinių polių sieną (Injekcinės kolonos...).

Neigiama srautinės injekcijos savybė yra ta, kad buna daug purvo kai atliekama injekcija, dėl didelio slėgio, o išsiveržusi suspensija su gruntu dažniausiai išvežama į sąvartyną.

1.3.1 Srautinių injekcijų technologija.

Priklausomai nuo reikalingo skersmens bei grunto tipo naudojami yra sekančios srautinių injekcijų rūšys (Wanik ir Bzówka, 2012) (pav. 1.1):

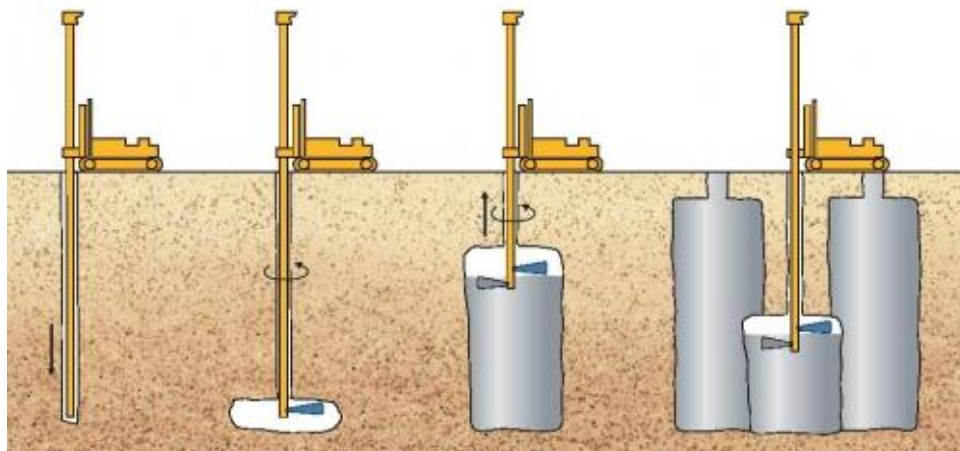
- vieno vamzdžio sistema (ang. single fluid system) – suspensija išvirkščinama į gruntą, slėgis yra 30-50 MPa;
- dviejų vamzdžių sistema (ang. double fluid system) – suspensija išvirkščinama į gruntą kartu su suspaustu oru arba vandeniu; pirmu atveju slėgis išvirkščiamos suspensijos yra 30-50 MPa, o suspausto oro – nuo 0.5 iki 1.7 MPa; antru atveju vanduo yra išvirkščiamas 30-50 MPa slėgiu, o suspensija nuo 2 iki 10 MPa slėgiu;
- trijų vamzdžių sistema (ang. triple fluid system) – išvirkščinama suspensija, vanduo bei suspaustas oras. Inekcijos slėgis buna nuo 2 iki 10 MPa, vandens įleidimo slėgis 30-50 MPa, suspausto oro – 0.5-1.7 MPa.

Kiekviena iš šių srautinių injekcijų sistemų turi savo taikymo ir naudojimo sąlygas. Injekcinių kolonų matmenys naudojant pirmą sistemą nėra tokie dideli, palyginus su antra ir trečia, bet pirmas variantas yra pats paprasčiausias bei plačiausiai naudojamas (Croce ir Flora, 2000).

Vienfazė ir dvifazė technologijos taikomos smėliams, o trifazė sukurta specialiai moliams ir durpingiems gruntams. Srautinės injekcijos slėgis būna apie 400 bar (40 MPa), bet techninės galimybės leidžia jį prireikus padidinti iki 800 bar. Atliekamų darbų eiga pateikta 1.4 pav.



1.3 pav. Pasiektas didelio slėgio injekcijos Lenkijos rekordas – 5,0 m skersmens gruntbetonio kolona (Keller Polska 2015)



1.4 pav. Srautinės injekcijos technologijos eiliškumas: 1 – gręžimas; 2 – grunto suardymo pradžia; 3–injektoriaus ištraukimas sukanč; 4 – formuojama sienelė (Gepnet 2016)

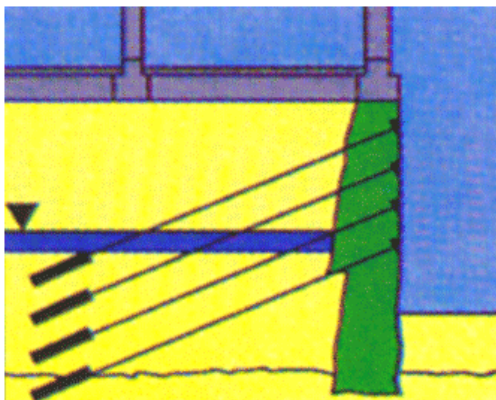
Esant poreikiui injektuoti iš rūšio arba kai mažai vietos aplinkui yra sukurta speciali kompaktiška vikšrinė technika (1.5 pav.), kuri gali įvažiuoti į 1 m pločio ir 2 m aukščio angą.



1.5 pav. Kompaktiška vikšrinė technika injekcijoms daryti (Keller 2015)

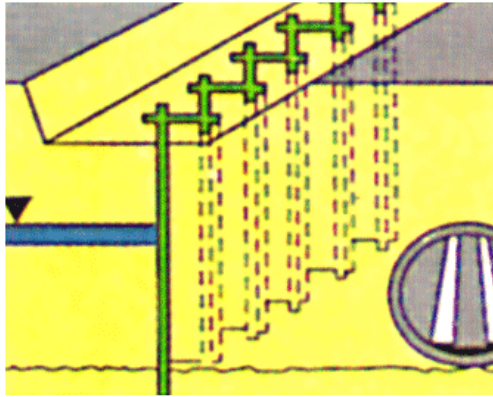
1.3.2 Srautinių injekcijų taikymo galimybės

- Pamatų sustiprinimas (1.6 pav.) – leidžia sumažinti statinių poslinkius; gali būti atliekami masyvių formų bei kaip atraminės sienelė, net kai aplinkui mažai vietos.



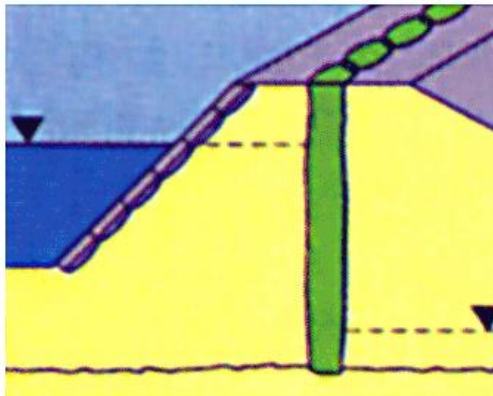
1.6 pav. Pamatų stiprinimas (Geoservice 2005)

- Nelaidžios vandeniui sienelės (1.7 pav.) – vienos, dvejų ar trejų eilių sienutės apsaugo nuo gruntinio vandens antplūdžio. Naudojami kelių statyboje, nuo potvynių bei kietųjų ir skystųjų teršalų patikrinimui



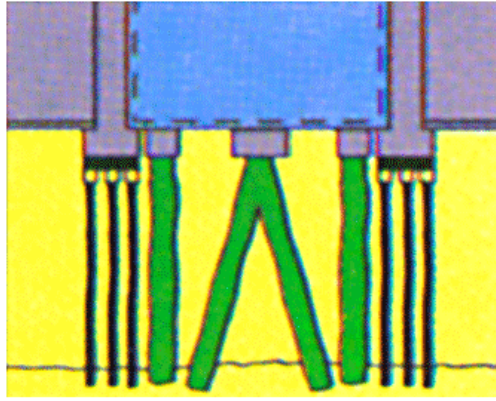
1.7 pav. Nelaidžios vandeniui sienelės (Geoservice 2005)

- Sandari atitvara (1.8 pav.) – naudojama, kai yra reikalavimas didesniai mechaniniam atsparumui atitvarams.



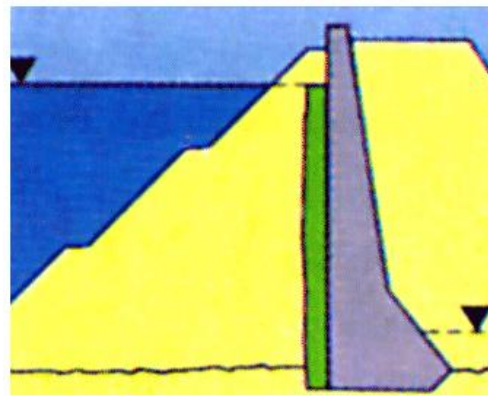
1.8 pav. Sandari atitvara (Geoservice 2005)

- Gilieji pamatai (1.9 pav.) – naudojama, kai statomi nauji objektai, kai šalia yra kiti statiniai, pvz.: seni istoriniai pastatai.



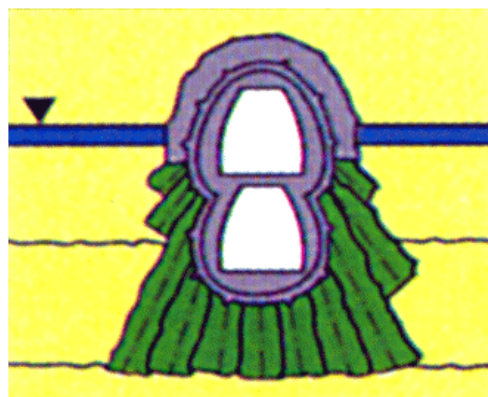
1.9 pav. Gilieji pamatai (Geoservice 2005)

- Užtvankų sandarinimas (1.10 pav.) – naudojama pažeistoms vandens užtvankoms sustiprinti, sandarinti.



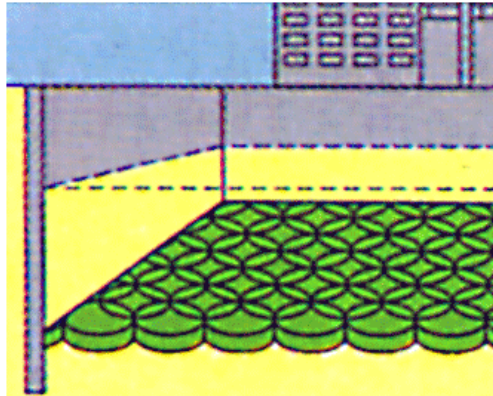
1.10 pav. Užtvankų sandarinimas (Geoservice 2005)

- Išorinis tunelio sutvirtinimas (1.11 pav.) - šis sutvirtinimas skirtas statomiems statiniams apsaugoti nuo tunelių neigiamo poveikio, taip pat nuo vandens poveikio.



1.11 pav. Išorinis tunelio sutvirtinimas (Geoservice 2005)

- Horizontalios sienelės (1.12 pav.) – jos įrengiamos žemiau projektinių iškasų ir gruntinio vandens lygio, kuris garantuoja, kad sienelės nebus išstumtos.



1.12 pav. Horizontalios sienelės (Geoservice 2005)

1.3.3 Pagrindo stiprinimo srautinėmis injekcijomis privalumai

Žemiau pateikiami srautinių injekcijų privalumas:

- universalus – gali būti naudojamas beveik visomis sąlygomis ir visuose gruntuose;
- galima įrengti įvairios geometrinės formos gruntbetoninius luitus reikalingame gylyje po žeme;
- galima atlikti laikomosios galios skaičiavimus dėl tikslios gruntbetoninių luitų formos;
- galimybė atlikti darbus patalpoje;
- priklausomai nuo reikalaujamų luito savybių rodyklių galima optimizuoti mišinio sudėtį;
- nėra sudėtinga juos įrengti po pastatu, tam kad sutvirtinti pamatą;
- inžineriniai tinklai, esantys po žeme, nepažeidžiami ir sandariai apsupami cementu;
- reikalui esant pamatai gali būti gręžiami panaudojant tą patį grąžtą su specialiais antgaliais;
- darbo stotis gali būti įrengiama toliau nuo gręžimo vietos;
- darbas gali būti kontroliuojamas valdant elektroniniu būdu;
- gerai suderinamas su kitomis technologijomis ir atliekamais darbais.

1.4 Pelenai. Lakieji pelenai

Šiuo metu Lietuvoje turime per 160 stambesnių ir smulkesnių katilinių, kūrenamų medienos atliekomis. Iš jų per metus susidaro daugiau kaip 30 tūkst. tonų medienos pelenų, tačiau tikėtina, kad ateityje šis skaičius sieks ir 100 tūkst. tonų. Kyla klausimas, kur tuos pelenus

panaudoti, kad jie nekeliautų į sąvartynus. Pelenai gali būti panaudojami statybinių medžiagų pramonėje – t. y. betono gamybai.

Yra dviejų tipų pelenai – tie, kurie nusėda degimo proceso metu, ir tie kurie eina per kamino išmetamąją angą bei nusėda kamino filtruose. Betono pramonei žymiai vertingesni yra lakieji pelenai (1.13 pav.), t. y. tie, kurie susikaupia kaminų filtruose, nes juose yra aktyvaus elemento – silicio dioksido, kuris reikalingas betono kietėjimui. Dumblo, anglies ar medienos pelenai taip pat turi dar vieną gerą savybę - leidžia išvengti šarminės betono korozijos (cheminės reakcijos, kai betonas pradeda deformuotis).

Jeigu dalį betono rišamosios medžiagos galima pakeisti pelenais, mažiname aplinkos taršą – CO₂ išskyrimą į aplinką. Kuo mažiau gaminsime klinkerio (akmens, pagaminto iš molio, išdegto aukštoje temperatūroje) cemento pramonėje ir jį pakeistime pelenais, tuo mažiau CO₂ išsiskirs (Ivanauskas, Levickaitė 2014).

Lakieji pelenai gali būti svarbia paprasto betono ir naujos generacijos betono sudedamąja. Naudojant lakiuosius pelenus cemento i betono produkcijoje, reikia atidžiai atsižvelgti į jų cheminę sudėtį, ypač į nesudegusios anglies liekanas, dalelių dydį bei įtaką sukietėjusio betono savybėms.



1.13 pav. Lakieji pelenai

Reikalavimai miško kuro pelenams Lietuvoje yra aprašyti Lietuvos respublikos sveikatos apsaugos ministro įsakyme 2016 m. rugsėjo 22 d. Nr. V-841 dėl „Medienos kuro pelenų, užterštų 137Cs radionuklidu, naudojimo...”.

1.4.1 Pelenų klasifikavimas

Pelenai pagal tam tikras frakcijas suskirstomi oro valymo įrenginiais.

Esant didelei dulkių koncentracijai ir įvairiam dulkių dispersiškumui taikomi dviejų laipsnių oro valymo įrenginiai. Pradžioje sėdinimo kameros ar ciklonai surenka stambiadisperses dulkes (grubus valymas), po to filtrai ir elektrostatiniai filtrai surenka smulkiadisperses dulkes (smulkus valymas) (Čyras 2014).

Pirminio oro valymo įrenginių klasei priskiriami sausieji oro valymo įrenginiai: gravitacinės kameros, inerciniai (įvairių tipų ciklonai) ir šlapieji: tuščiaviduriai, su įkrova, išcentriniai, skruberiai. O švariojo valymo įrenginiai elektrostatiniai filtrai, įvairūs pluoštiniai (rankoviniai), akytieji, grūdėtieji filtrai, ventūrio skruberiai ir t.t (Baltrėnas 1996).

Suomijoje ir Švedijoje medienos pelenų panaudojimą tręšimui apsprendžia sunkiųjų metalų koncentracija pelenuose, o ypač Kadmio koncentracija. Kadmio koncentracija medžio apdirbimo pramonėje varijuoja nuo 3 iki 30 mg/kg. Leidžiamas kiekis tręšiant žemės ūkio laukus yra 3 mg/kg. Viena galimybė sumažinti sunkiųjų metalų koncentraciją pelenuose yra jų klasifikavimas. Nuo degimo sąlygų, kuro charakteristikų priklauso pelenų kokybė ir jų kiekis, kuris įtakoja pelenų utilizavimo galimybes. Pelenų klasifikavime svarbu žinoti, kaip sunkieji metalai pasiskirstę skirtingo dydžio dalelėse. Atlikus tyrimus su elektrostatiu oro valymo įrenginiu nustatyta, kad sunkiųjų metalų daugiausia yra mažose dalelėse, kurios valomo oro srautu nunešamos į paskutines oro valymo įrenginio sekcijas ir ten nusėda (Vesterinen 2003).

Todėl galime teigti, kad pelenų klasifikavimas yra labai svarbus, kad į aplinką nepatektų didelė sunkiųjų metalų koncentraciją esanti tam tikros frakcijos pelenuose. 1 lentelėje pateikiamas dulkių ir aerozolių klasifikavimas pagal dispersiškumą.

1.1 lentelė. Dulkių ir aerozolių klasifikavimas pagal dispersiškumą (Baltrėnas 1996)

<i>Dalelės</i>	<i>Pavadinimas</i>	<i>Dalelių dydis</i>
Labai stambios	Kopų smėlis	Virš 40 µm
Stambios	Formavimo smėlis metalų liejimo pramonėje	Nuo 20 µm iki 40 µm
Vidutinės	Portlancementas	Nuo 10 µm iki 20 µm
Smulkios	Atmosferos dulkės	Nuo 5 µm iki 10 µm
Labai smulkios	Aerozoliai	Iki 5 µm

1.4.2 Pelenų utilizavimo problema Lietuvoje

Lietuvoje turime daugiau nei 160 stambesnių ar smulkesnių katilinių, kūrenamų medienos atliekomis. Jų bendras galingumas viršija 500 MW. Tokiam kiekiui energijos pagaminti sunaudojama daugiau nei 1,2 mln. kub. metrų medienos (malkinės medienos, medienos pramonės ir miško kirtimo atliekų). Kiek medienos sunaudojama privačiame sektoriuje, nėra žinoma, nes tokia apskaita neatliekama. Ekspertų vertinimu, Lietuvoje gyventojai kasmet sukūrena po 2,2-2,5 mln. ktm malkų ir medienos pramonės atliekų. Taigi, kasmet Lietuvoje per kaminą „praleidžiama“ apie 3,5-4 mln. kub. metrų medienos. Prognozuojama, kad Lietuvoje ateityje per metus galima paruošti apie 5 mln. kub. metrų miško kuro. Jį sudeginus, kasmet turėtų susikaupti apie 25-30 tūkst. tonų pelenų. O tai sukurtų jų deponavimo, panaudojimo ir utilizavimo problemas (Gedminas, Ozolinčius).

Dažniausiai energetikos įmonės miško kuro pelenus šalina vietiniuose sąvartynuose. Pažymima, kad nuo biomasės stambiųjų pelenų reikia atskirti smulkiąją frakciją, kurioje yra sunkiųjų metalų. Kaip trąšas galima naudoti tik stambiuosius pelenus, tačiau tai priklauso nuo maistingųjų medžiagų kiekio ir dirvožemio savybių. Tačiau pelenų panaudojimas miškuose ir žemės ūkyje dabartinėmis sąlygomis neišspręstų pelenų panaudojimo problemos ateityje. Šios problemos sprendimui reikalinga sudaryti teisinę bazę, priemones, bei pelenų panaudojimo miškų ir žemės ūkyje naudojamų technologijų įdiegimą. Medienos pelenai gali būti panaudoti įvairiose pramonės srityse ir kitose veiklose. Gali būti panaudoti ir smulkieji (lakieji) medienos pelenai susidarę oro valymo įrenginiuose ir dugno pelenai įvairiuose pramonės srityse, jeigu tenkina cheminius ar fizinius sudėties reikalavimus, keliamus toje pramonės ar ūkio srityje, kurioje yra naudojami (Valuntienė ir kt. 2007).

1.4.3 Miško kuro pelenų cheminė sudėtis

Katilinėse miško kuro deginimo temperatūra siekia 650-1100°C temperatūrą, juose, palyginus su laužo ar kaimiškų krosnių pelenais, yra žymiai mažiau likę anglies (C). Kai katilinėse degimo sistema veikia efektyviai, C gali būti tik 1%, jeigu neefektyviai – daugiau kaip 10% ir gali viršyti 50% koncentraciją. Be C miško kuro pelenuose yra visos svarbiausios augalams maisto medžiagos (Ca, K, Mg, P ir S), išskyrus azotą (N), kuris deginant miško kurą azoto oksidų pavidalu patenka į aplinkos orą.

Miško pelenų sudėtyje yra ne tik maisto medžiagų, bet įvairių mikroelementų. Dalis jų (B, Cu, Zn) yra būtini augalų maisto medžiagų apytakai, kiti (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, V) – toksiški sunkieji

metalai, kurie gali užteršti dirvožemį, augalus, vandens telkinius ar net gruntinius vandenius (Gedminas, Ozolinčius).

Atsižvelgiant į kitų šalių patirtį, rekomendacijose pasiūlyti miško kuro pelenų kokybės rodikliai ir jų nustatymo metodai pateikiami 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Pageidaujami miško kuro pelenų kokybės rodikliai

Cheminiai parametrai	Rekomenduojami maksimalūs moško kuro pelenų sudėtinių cheminių elementų ir medžiagų koncentracijos	Taikomi Suomijoje maksimalūs miško kuro pelenų sunkiųjų metalų koncentracijoms reikalavimai (Vesterinen, 2003)
	Miško tręšimui	Žemės ūkyje
Org. anglis, %	10-15 (maksimaliai)	
Fosforas, g kg ⁻¹	10 (minimalus)	
Kalis, g kg ⁻¹	30 (minimalus)	
Kalcis, g kg ⁻¹	125 (minimalus)	
Magnis, g kg ⁻¹	20 (minimalus)	
Boras, mg kg ⁻¹	500 (maksimalus)	
Vanadis, mg kg ⁻¹	70 (maksimalus)	
Nikelis, mg kg ⁻¹	70 (maksimalus)	100 (maksimalus)
Chromas, mg kg ⁻¹	100 (maksimalus)	
Kadmis, mg kg ⁻¹	30 (maksimalus)	3 (maksimalus)
Švinas, mg kg ⁻¹	300 (maksimalus)	150 (maksimalus)
Varis, mg kg ⁻¹	400 (maksimalus)	600 (maksimalus)
Cinkas, mg kg ⁻¹	7000 (maksimalus)	1500 (maksimalus)
Arsenas, mg kg ⁻¹	30 (maksimalus)	50 (maksimalus)
Gyvsidabris, mg kg ⁻¹	3 (maksimalus)	2 (maksimalus)
Cezis, kBq kg ⁻¹	5 (maksimalus)	
Benz(a)pirenas, µg kg ⁻¹	2 (maksimalus)	

Cheminei analizei miško kuro pelenų ėminiai iš pelenų krūvos ar konteinerio imami iš įvairaus gylio, ir ne mažiau kaip iš 15 – os atskirų vietų (kiekvieno ėmimo dydis apie 1 litras). Iš jų homogenizuojamas vienas jungtinis 1 litro ėminės (Rekomendacijos 2006).

1.4.4 Pelenų poveikis ekosistemai

Kompensuojamojo tręšimo miško kuro pelenais rekomendacijose (2006) aprašomas miško kuro pelenų poveikis ekosistemai:

- dirvožemiai pašarmėja ir praturtėja visomis, išskyrus azotą, augalams reikalingomis medžiagomis (kalciu, magniu, kaliu, fosforu); praturtėja organine anglimi;
- miško paklotėje padidėja ir kai kurių sunkiųjų metalų koncentracijos, tačiau jos neviršija maksimalių leistinų koncentracijų;
- pašarindami dirvožemį, miško kuro pelenai durpžemiuose suintensyvina mikroorganizmų aktyvumą: celiuliozės ardymą, durpės mineralizaciją, nitrifikacijos procesą ir pan.;
- padidėja mielių ir bakterijų kiekis;
- teigiamai į pelenus reaguoja anaerobinė atmosferinio azoto jungėja;
- pakinta ir dirvožemio faunos rūšinis pasiskirstymas: pušynuose sumažėja žieduotųjų kirmėlių, pagausėja sliekų;
- pašarmėjus dirvožemiui, mikroorganizmai suintensyvina organikos skaidymą, dėl to dirvožemio tirpale padidėja tirpios org. C kiekiai. Be to, ir pelenuose esanti org. C suaktyvina juose esančių mineralinių elementų judrumą;
- miško kuro pelenų išbarstymas suintensyvina organinio azoto mineralizaciją, ypač durpiniuose dirvožemiuose. Dėl to padidėja nitratų (NO_3^-) išplovimas, tai gali skatinti ir kitų jonų migraciją į gilesnius dirvožemio horizontus, kartu ir į gruntinius vandenius;
- miško pelenų stabilizavimas (granuliavimas) sumažina tikimybę užteršti gilesnius dirvožemio horizontus;
- cheminių elementų išplovimas iš pelenų daugiausia priklauso nuo dirvožemio pH. Šarmiški dirvožemiai sulaiko kai kurių pelenuose esančių elementų, ypač sunkiųjų metalų, patekimą į augalus ar gruntinius vandenius;

- pakitusi dirvožemio cheminė sudėtis bei pH gali turėti įtakos dirvožemio gyvosios dangos būklei. Išbarsčius miško kuro pelenus brukniniuose pušynuose, samanų padengimas šiek tiek sumažėjo tik išbarsčius didžiausią pelenų dozę (5 t ha⁻¹);
- tiriant tręšimo pelenais įtaką beržų ir karklų želdiniams, nustatyta, kad per 14 metų pelenais patręštuose plotuose medienos biomasė priaugo vidutiniškai 1,6 karto daugiau.;
- brukniniuose pušynuose medžių prieaugis ir jų biomasė, praėjus 3 metams po pelenų išbarstymo, nepakito (tyrimai Lietuvoje);
- mineraliniuose dirvožemiuose medynų produktyvumas padidėja, kai miško kuro pelenai išbarstomi su azotinėmis trąšomis.

Apibendrinant galima teigti:

- Išbarsčius miško kuro pelenus miške, dirvožemiai pašarmėja ir gali praturtėti visomis, išskyrus azotą, augalams reikalingomis svarbiausiomis maisto medžiagomis (Kaliu, Magniu, Kalciu, Fosforu) bei organine Anglimi;
- Didelės miško kuro pelenų koncentracijos gali turėti neigiamos įtakos miško augalijai, o kai kurie cheminiai elementai, ypač sunkieji metalai, gali užteršti gruntinius vandenius;
- Miškų tręšimui tinkamiausi sukietėję (stabilizuoti) pelenai, nes sulėtėja cheminių medžiagų išsiplovimas ir nesuardoma natūrali maisto medžiagų apytaka (aktyvios pelenų medžiagos į ją „įsilieja“ palaipsniui); (Rekomendacijos 2006)

1.4.5 Pelenų panaudojimas betono gaminiuose

Lakiųjų pelenų naudojimas betone turi teigiamų savybių susijusių su pelenų dalelių dydžiu bei forma. Lakiųjų pelenų priedas (priklausomai nuo jo savybių), suteikia betonui:

- tvirtumą;
- patvarumą;
- atsparumą šalčiui;
- didina atsparumą cheminėms medžiagoms;
- pagreitintą karbonizavimą.

Švedijoje galiojantys standartai pelenų panaudojimui cemento ir betono gaminimas gaminti yra pritaikyti pelenams, kuriuose gausu anglies ir silicio. Pelenai susidarantys deginant biokurą

netenkina šių standartų. Todėl medienos pelenai buvo tyrinėjami, kaip priedas gaminant betoną. Švedijoje betono gamyboje neleidžiama pelenų panaudoti dideliais kiekiais ir pelenams keliama aukšti reikalavimai. Tačiau aukšta cemento kaina skatina ją mažinti, pavyzdžiui kaip rišančiąją medžiagą betone naudojant lakiuosius pelenus.

Švedijoje atlikti bandymai panaudojant popieriaus pramonėje susidarančius medienos pelenus, parodė, jog medienos pelenai yra geras priedas, kuris stabilizuoja, sutvirtina betoną. Betono paviršius visais lygiais ir be ertmių (porų) (Nordstrom, Thorsell, 2003).

Pelenų panaudojimas betono gamyboje suteikia tokių savybių kaip tvirtumas, patrauklumas, atsparumas šalčiui. Gaminiai, kuriuose yra lakiųjų pelenų arba kurie yra statybinių konstrukcijų pagrindas, turi mažesnę pralaidumą drėgmei, vandeniui. Daugelyje įvairių statinių, kurie yra eksploatuojami praktikoje, tarkime, užtvankos, rezervuarai, kur betonas turi būti nepralaidus vandeniui, panaudojus antrinį produktą (pelenus) reikiamas savybes pasieksime greičiau ir pigiau. Pagal esamas technologijas betono gamyboje būtų galima panaudoti iki 30 proc. pelenų nuo visos cemento masės (Ivanauskas 2014).

1.4.6 Pelenų panaudojimas kelių statyboje

Šiame skyriuje apžvelgiama Švedijos patirtis miško kuro pelenus panaudojant kelių statybai. Kiekvienais metais apie 1 milijoną tonų pelenų yra pagaminama Švedijos įmonių (energetikos įmonės, popieriaus gamybos pramonė, medžio apdirbimo pramonė) degimo procese. Didelė ir potenciali rinka šiems produktams yra konstrukcijos, kurioms pagaminti kasmet sunaudojama apie 100 milijonų tonų įvairių žaliavų. Tiesioginis pelenų panaudojimas yra vykdomas kelių statyboje, sąvartynų rekultivavime ar gaminant betono gaminius (Summary of the program... 2002-2005).

Švedijoje daugiausia yra naudojami lakieji pelenai (lakieji pelenai yra pelenai nusėdę oro valymo įrenginiuose), todėl kad Švedijoje šių pelenų kiekiai yra žymiai didesni, negu dugno pelenų kiekiai, susidarę ardyne (Vesterinen 2003).

Praktikoje pelenai buvo naudojami mažais kiekiais asfaltu nepadengtuose keliuose. Suomija turi patirties naudojant smulkiuosius (lakiuosius) pelenus statant šalčiui atsparių konstrukcijų kelius. Pritaikant Suomijos patirtį ir eksperimentus atliktus Švedijoje, buvo sukurtas „Vadovas“, kuriame pateikti reikalavimai kelių be asfaltinės dangos statybai naudojant pelenus (Summary of the program... 2002-2005).

Lakieji pelenai, susidarantys deginant biokurą ar anglį, daugiausia gali būti naudojami dvejopai, vienas būdas naudojant pelenus kaip atskirą vientisą sluoksnį, o kitas pelenus permaišant kartu su žvyru. Pelenų naudojimas suteikia tokių funkcinių savybių kaip tvirtumas, patvarumas ir atsparumas šalčiui. Taigi gaminiai, kuriuose yra lakiųjų pelenų arba kurie yra statybinių konstrukcijų pagrindas turės mažesnę pralaidumą, didesnę atsparumą šalčiui, ilgaamžiškumą. Šios savybės priklauso nuo lakiųjų pelenų kokybės, tikimasi, kad konstrukcijos naudojant pelenus gali būti geresnės už tradicines konstrukcijas, kaip yra naudojamas smėlis ar žvyras. Statant tokias kelių konstrukcijas, kai planuojama naudoti lakiuosius pelenus, visada siūloma kreiptis vietos valdžios leidimo, nes poveikis į aplinką turi būti apribotas ar labai minimalus. Konstrukcijų, kurių sudėtyje yra lakiųjų medžiagų, dulkėtumas ir senėjimo efektas priklauso nuo lietaus, tradicinėms konstrukcijoms šie efektai yra kitokie

Naudojant medienos pelenus kelių konstrukcijose reikalinga labiau sutankinti, sulyginti ir suspausti kelio dangą. Į konstrukcijas patekęs vanduo paskatina šarminimo procesą, tankumo sumažinimą bei sumažina atsparumą šalčiui. Kelių, kuriuose panaudoti lakieji pelenai, kokybiškas nusausinimas, kokybiškas sutankinimas, yra esminiai dalykai nuo kurių priklauso aplinkosauginis efektas. Lakiųjų pelenų panaudojimas žvyro sutvirtinimas, sustangrinimui yra efektyvesnis naudojant nedidelius lakiųjų pelenų kiekius (Macsik 2006).

1.4.7 Pelenų panaudojimas žemės ir miškų ūkyje

Jau XX amžiaus pradžioje medžio pelenai kaip trąša buvo panaudoti ir miškuose. Švedijoje medžio pelenai pirmą kartą buvo išbarstyti 1918 m. miškų durpžemiuose, siekiant šiuos dirvožemius praturtinti P, K, Ca, Mg ir mikroelementais. Pelenai gali būti naudojami kartu ir su kitomis mineralinėmis maisto medžiagomis arba iš kitų kuro rūšių gautais pelenais. Teigiama, kad vykdant tokį tręšimą papildomai tikslinga tręšti azotu, kurio pelenuose yra labai mažai.

Miško kuro pelenus tikslingiausia naudoti taip vadinamam kompensuojamajam miškų tręšimui, t.y. tręšti tuos medynus, kuriuose buvo ruošiamas miško kuras. Tai atitiktų darnios miškininkystės principus. Pelenai būtų ne tik utilizuojami, bet ir miško ekosistemoms kompensuojami maisto medžiagų nuostoliai dėl medienos ir kirtimų atliekų paėmimo (Ozolinčius 2011).

Medžio pelenai gali būti panaudoti žemės ūkyje. Kaip ir kada juos naudoti, rekomendacijų Lietuvoje nėra. Medžio pelenuose gausu kalcio, todėl juos galima prilyginti kalkinei trąšai. Gausiausia maisto medžiagų turi beržinių malkų pelenai, mažiau vertingesni pušų malkų pelenai ir dar mažiau vertingesni eglių malkų pelenai. Pelenuose cheminės medžiagos chloro yra labai mažai, todėl jie ir tinka visiems augalams ypač chloro nemėgstantiems – grikiams, bulvėms, lubinams.

2003-2004 m. Lietuvoje buvo daryti bandymai vidutinio sunkumo priemolio balkšvažemyje. Iš šių tyrimų paaiškėjo, kad pelenai teigiamai veikė ne tik vasarinių miežių ir valgomųjų bulvių derlių, bet turėjo įtakos ir po jų auginiems vasariniams rapsams. Rapsų derlius padidėjo po visomis medžio pelenų normomis tręštų miežių ir bulvių. Taip pat medžio pelenai gerino dirvožemio agrochemines savybes. Pelenų normos priklauso nuo jų kokybės, dirvožemio agrocheminių savybių bei auginamų augalų (Butkuvienė 2007).

2 LAKIŲJŲ PELENŲ PANAUDOJIMO GRUNTBETONIUI TYRIMAS

2.1 Tikslai ir uždaviniai

- Susipažinti su gruntbetoninių bandinių stiprumo rodikliais, kai savo sudėtyje turi lakiųjų pelenų priemaišų.
- Eksperimentiniu būdu nustatyti gruntbetoninių bandinių vidutinės stiprumo reikšmes, bandant pagamintus bandinius su atitinkamu kiekiu lakiųjų pelenų priemaišų, laikant bandinius oro terpėje.
- Eksperimentiniu būdu nustatyti gruntbetoninių bandinių vidutinės stiprumo reikšmes, bandant pagamintus bandinius su atitinkamu kiekiu lakiųjų pelenų priemaišų, laikant bandinius vandens terpėje.

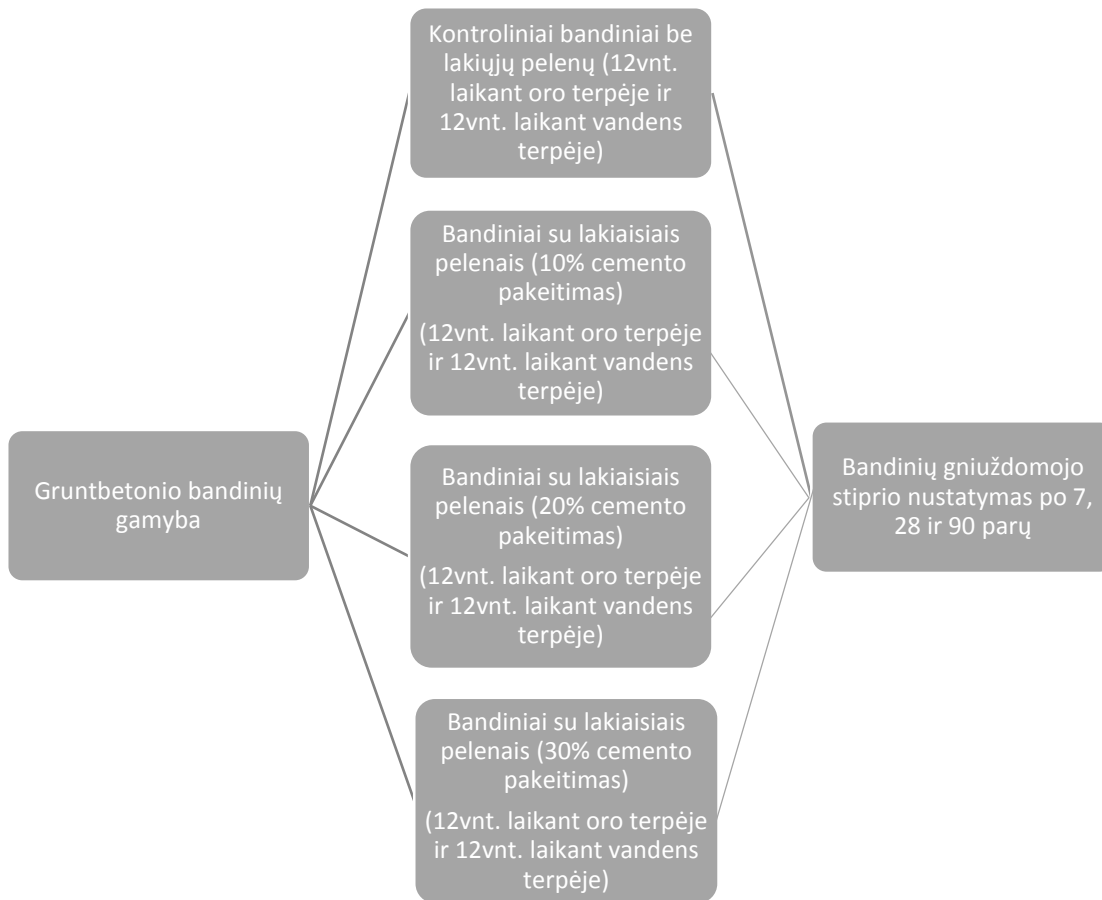
2.2 Tyrimo metodai

Tyrimams naudotų medžiagų, bandinių ir gaminių sudėties, savybių ir technologijų procesų tyrimams buvo taikyti standartiniai metodai. Tyrimai buvo atliekami vadovaujantis žemiau pateiktais standartais:

- LST EN 13369:2004. „Gaminio matmenys“
- LST EN 933-1:2002. „Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai: 1 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas“
- LST EN 12715:2003. „Specialieji geotechnikos darbai. Injekcijos“
- LST EN 12716:2003. „Specialieji geotechnikos darbai. Srautinės injekcijos“

Pagrindinis tiriamojo darbo tikslas yra eksperimentiniu būdu nustatyti gruntbetoninių bandinių gniuždomo stiprumo vidutinės reikšmes, bandant gruntbetoninius bandinius su atitinkamu kiekiu lakiųjų pelenų, laikant bandinius skirtingose terpėse, t.y.: oro ir vandens. Gruntbetonis – tai yra medžiaga, gauta sumaišius rišamąją medžiagą, smulkiuosius ir stambiuosius užpildus, priemašas bei vandenį. Gruntbetonio reikiamos savybės susiformuoja, kai jis sukietėja.

Šiame darbe gruntbetonio bandiniai buvo bandomi po 4 vienetus kiekvienos receptūros. Bandiniai buvo laikomi orinėje ir vandens terpėje, sandariame inde. Gniuždomasis stipris buvo nustatomas po 7, 28 bei 90 parų. Tiriamojo darbo atlikimo schema pateikta 2.1 pav.



2.1 pav. Tiriamojo darbo atlikimo schema

Gruntbetoniniai bandiniai buvo gaminami cilindro formos: skersmuo – 30 mm, aukštis – 60 mm. Bandiniai pavaizduoti 2.2 pav. Formos šiems bandiniams buvo pagamintos naudojant PVC vamzdžius 30mm skersmens.



2.2 pav. Pagaminti bandiniai PVC vamzdžiuose

2.3 Nagrinėjamas gruntas

Nagrinėjamas gruntas yra atvežtas iš Palangos paplūdimio.

Grunto granuliometrinės sudėties nustatymas

Granuliometrinė sudėtis yra užpildo dalelių pasiskirstymas pagal stambumą, išreikštą išbirų per nustatytą sietų skaičių masės procentais. Smėlio granuliometrinė sudėtis nustatoma sijojant smėlį. Smėlio granuliometrinė sudėtis nustatoma vadovaujantis LST EN 933-1:2002 reikalavimais.

Dalinė liekana - ant sieto liekančių grūdelių masės ir užpildo bandinio masės santykis.

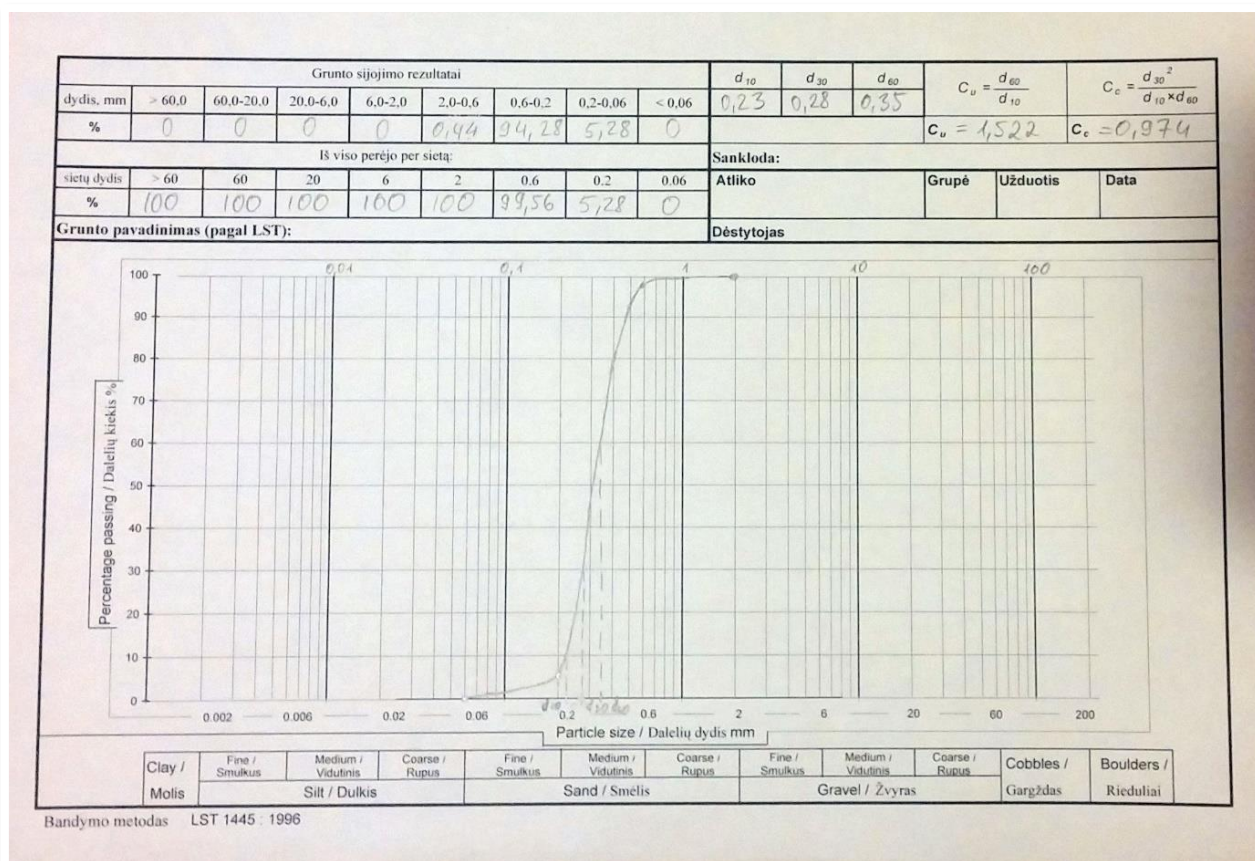
Suminė liekana - dalinių liekanų ant skaičiuojamojo sieto ir viršutinių (stambesniųjų) sietų suma.

Smėlio stambumo modulis yra suminis likučių ant kiekvieno sieto suma, padalyta iš šimto.

Darbo tikslas: nustatyti smėlio granuliometrinę sudėtį pagal liekanas ant sietų, sijojant sausą smėlį pro standartinių sietų rinkinį.

Naudojama įranga: džiovyklė, svarstyklės, sietai.

Bandymo eiga: smėlio bandinys išdžiovinamas ir atsveriamas 1000g smėlio. Atsvertas smėlis rankiniu sijotuvu sijojamas pro standartinių sietų koloną. Sijoti baigiama, kai per 1 mm pro kiekvieną sietą persijojama ne daugiau kaip 0,1 % bandinio masės. Gauti tyrimo ir pagal juos braižoma smėlio granuliometrinės sudėties kreivė (2.3 pav.).



2.3 pav. Granulimetrinės sudėties kreivė

Gruntui naudojamam bandiniams gaminti nustatyta granulimetrinė sudėtis (2.3 pav.), pagal kreivę nustatyta, kad tai vienodos sanklodos vidutinis smėlis. Tai orasausis gruntas, kurio drėgnis $w \approx 0 \%$.

2.4 Naudojamas cementas

Tiriamajame darbe naudojamas portlandcementis EN 197-1-CEM II/A-LL 42,5 N. Gamintojo numatyta statybos produkto naudojimo paskirtis ar paskirtys pagal taikomą darniąją techninę specifikaciją: betono, skiedinių, injekcinių skiedinių ir kitų statybinių mišinių ruošimas bei statybos produktų gamyba. Deklaruojamos eksploatacinės savybės pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Cemento savybės

Esminės charakteristikos	Eksplotacinės savybės	Darnioji techninė specifikacija
Įprastiniai cementai	CEM II/A-LL 42,5 N	EN 197-1:2011
Gniuždymo stipris, MPa:		
Ankstyvasis stipris	$\geq 10,0$	
Standartinis stipris	$\geq 42,5 \leq 62,5$	
Rišimosi pradžia, min	≥ 60	
Tūrio pastovumas, mm	≤ 10	
Kaitmenys, %	NPD	
Netirpmenys, %	NPD	
Sulfatų kiekis, %	$\leq 3,5$	
Chloridų kiekis, %	$\leq 0,10$	
Šarmų kiekis, sk Na ₂ O ekv., %	$\leq 0,8$	LR teisės aktų reikalavimas

2.5 Nagrinėjami lakieji pelenai

Tiriamajame darbe naudojami lakieji pelenai, paimti iš „Axis Industries“ biokatilinės, esančios Druskininkuose. Šie pelenai susidarė kūrenant miško medienos atliekas – šakas, spyglius bei kelmus. Jie išgaunami paskutiniame degimo procese: šie pelenai nusėda kamino filtruose patenkant per kamino išmetamąją angą.

2.6 Gruntbetonio formų ir bandinių ruošimas

Bandiniams paruošti naudojamas vandens ir cemento santykis $V/C = 0.71$, smėlio bei cemento santykis $S/C = 2.4$, stambus užpildas nenaudojamas. Lakiųjų pelenų priemaišų kiekis gruntbetonio mišiniuose atitinkamai yra 10 %, 20 % bei 30%. Eksperimentui atlikti gaminami bandiniai serijomis, po 4 vienetus su skirtingu priemaišų kiekiu. Gruntbetonio bandinių receptūros pateiktos 2.2 lentelėje. Bandinių sudedamosios dalys sveriamos elektroninėmis svarstyklėmis (2.4 pav.).



2.4 pav. Elektroninės svarstyklės

2.2 lentelė. Gruntbetonio receptūra priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio smėliniam grunte

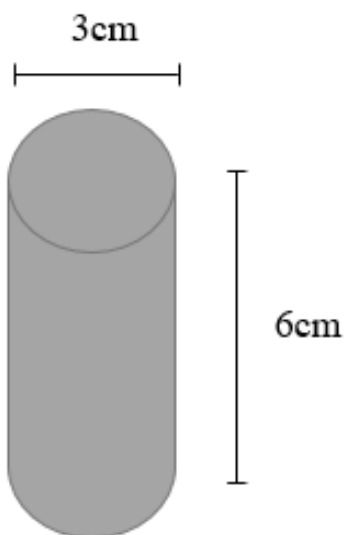
Cemento dalis pakeista lakiesiais pelenais	0%	10%	20%	30%
Lakieji pelenai, (%)	0	2.4	4.8	7.2
Vanduo, (%)	17	17	17	17
Cementas, (%)	24	21.6	19.2	16.8
Smėlis, (%)	59	59	59	59

Bandinių formų gamyba

Pagamintas reikiamos konsistencijos gruntbetonio mišinys supilamas į PVC vamzdžio formas (2.5 pav.). Kiekvienos receptūros bandiniai pagaminami po 4 vienetus kiekvienam bandymui. Forma pildoma sluoksniais, kiekvieną sluoksnį tankinant 10 medinio strypo paspaudimų. Perteklius nužeriamas lygiai ties formos kraštais. Po paros bandiniai išimami iš PVC formų ir patalpinami į sandarą indą kur yra laikomi orinėje terpėje bei kita dalis į indą kur yra laikomi vandens terpėje. Gruntbetonio bandiniai yra cilindro formos, 30 mm skersmens ir 60 mm aukščio (2.6 pav.).



2.5 pav. Bandinių ruošimas



2.6 pav. Bandinio matmenys

2.7 Gruntbetonio bandinių gniuždomojo stiprio nustatymas

Prieš nustatant gniuždomąjį stiprį, bandiniai išimami iš laikymo vietos. Pagrindinė gruntbetonio mechaninė savybė yra stipris, nusakomas gniuždomuoju stipriu. Bandinių vienašis gniuždomasis stipris nustatomas skaitmeniniu triašio bandymo presu TRIAX 50 (Modelis: 28 –

T0401). Gniuždomasis stipris nustatomas vadovaujantis standartu LST EN 12390-3:2009 „Betono gniuždomasis stipris“.

Darbo tikslas – eksperimentiniu būdu nustatyti gruntbetoninių bandinių gniuždomojo stiprio vidutinės reikšmės, bandant pagamintus skirtingus bandinius su atitinkamu kiekiu lakiųjų pelenų.

Naudojama įranga ir priemonės: slankmatis, elektroninės svarstyklės, skaitmeninis triašio bandymo presas TRIAX 50.

Bandymo eiga: Gruntbetoniniai bandiniai yra bandomi serijomis. Slankmačiu su 0,1 mm tikslumu nustatomi bandinių skepspjūvio matmenys. Taip pat išmatuojamas bandinio aukštis. Išmatavus bandinius nustatoma skerspjūvio ploto vidutinė reikšmė A_{net} ir tūris V . Atlikus skaičiavimus nuvalomi cilindro atraminiai paviršiai, kad nebūtų nelygumų. Bandinys yra pastatomas ties preso centru ir sureguliuojamas aparato aukštis, taip kad liestųsi prie plokštelės. Tada pradedamas gniuždymas. Apkrovimo greitis – 1.0 mm/min. Nustatoma kiekvieno bandinio suirimo apkrova (ribinė jėga). Sugniuždyti bandiniai pavaizduoti 2.13 pav.–2.16 pav. Gniuždomasis stipris apskaičiuojamas pagal (2.1) formulę (LST EN 12390-3:2009):

$$f_c = \frac{F_c}{A_c}, kg/cm^2; \quad (2.1)$$

čia F_c – suardymo gniuždančioji jėga, A_c – cilindro skerspjūvio plotas.



2.7 pav. Sugniuždytas bandinys be lakiųjų pelenų po 7 parų laikant bandinį orinėje terpėje



2.8 pav. Sugniuždytas bandinys be lakiųjų pelenų po 7 parų laikant bandinį vandenyje

2.8 Sugniuždytų bandinių suardytos struktūros mikroskopinės nuotraukos

Sugniuždytų bandinių mikrostruktūra buvo tiriama skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) (2.9 pav), priklausančiu VGTU Civilinės inžinerijos mokslo centrui.

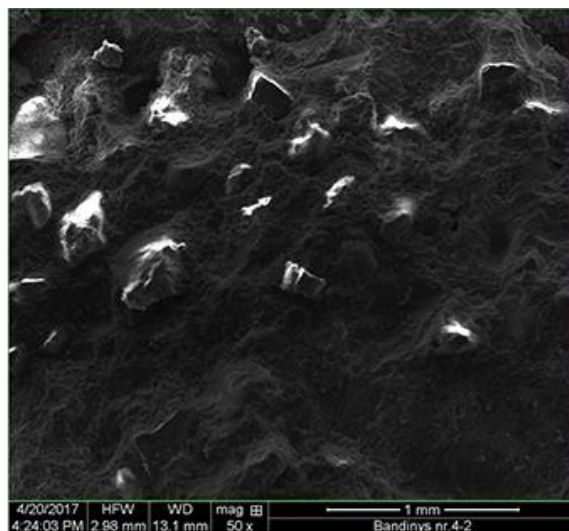


2.9 pav. Skenuojantis elektroninis mikroskopas

Toliau pateikiamos mikroskopinės struktūros nuotraukos (2.10 - 2.13 pav.). Vaizdas buvo padidintas 50 kartų.

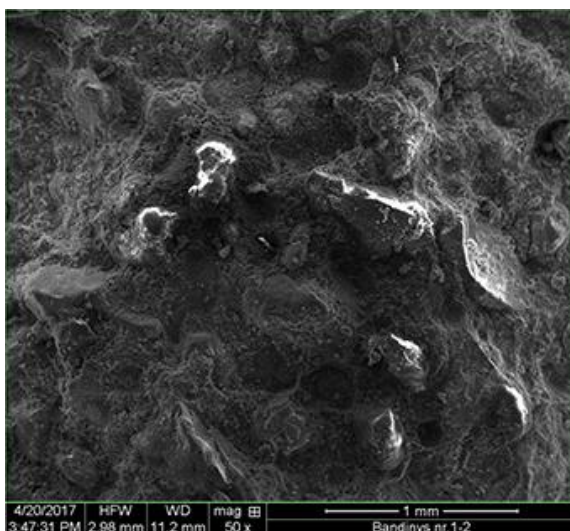


a)



b)

2.10 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį oro terpėje: a) be pelenų; b) pakeitus 10 % cemento lakiisiais pelenais

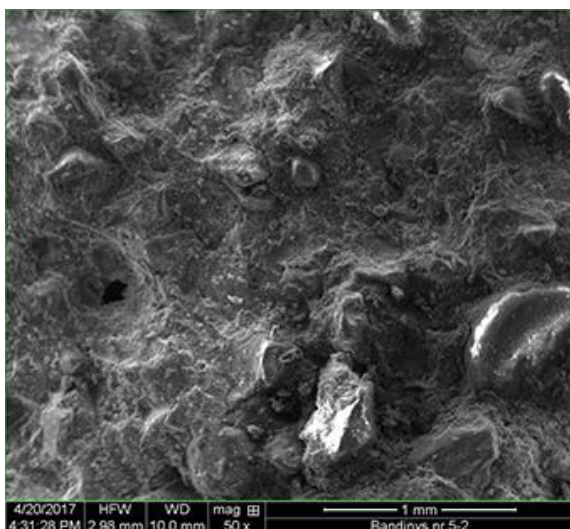


a)

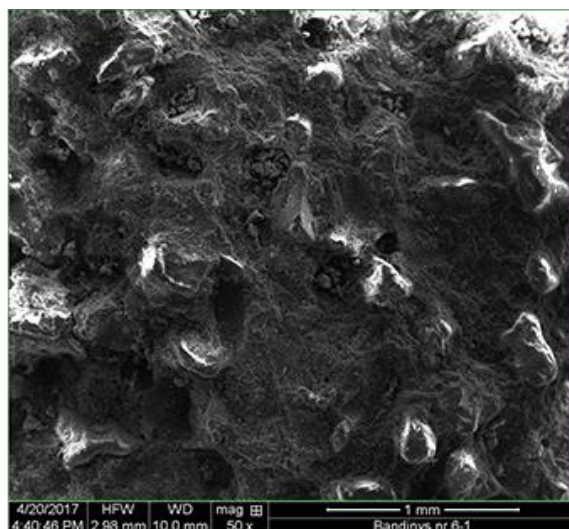


b)

2.11 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį oro terpėje: a) pakeitus 20 % cemento lakiisiais pelenais; b) pakeitus 30 % cemento lakiisiais pelenais

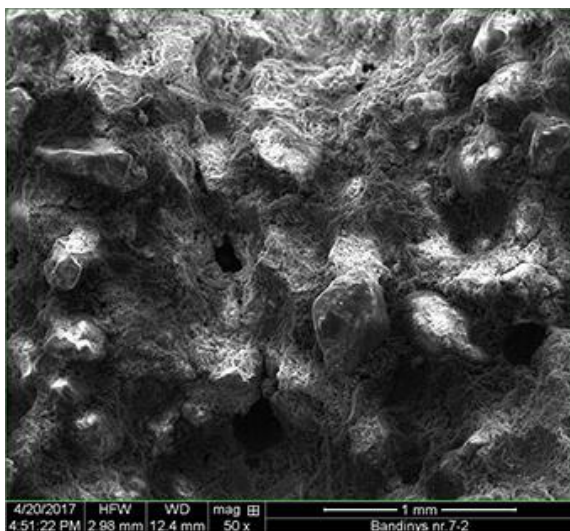


a)

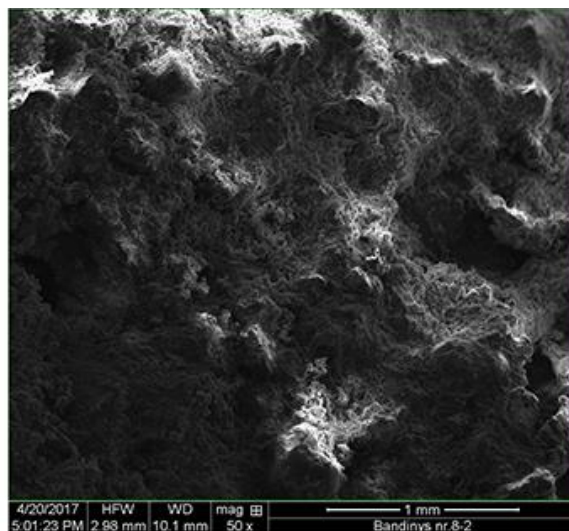


b)

2.12 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį vandens terpėje: a) be pelenų; b) pakeitus 10 % cemento lakiisiais pelenais



a)



b)

2.13 pav. Sugniuždyto bandinio mikroskopinė struktūros po 3 mėnesių nuotrauka, laikant bandinį vandens terpėje: a) pakeitus 20 % cemento lakiisiais pelenais; b) pakeitus 30 % cemento lakiisiais pelenais

2.9 Gruntbetonio bandinių bandymai po 7 parų kietėjimo

Yra tiriamos gruntbetoninių bandinių savybės su lakiųjų pelenų priemaišomis laikant bandinius oro bei vandens terpėje. Bandinių gniuždomasis stipris nustatomas po 7 parų nuo bandinių pagaminimo dienos. Bandiniai gaminami serijomis, kiekvienoje serijoje yra bandomi 4 gruntbetoniniai bandiniai.

Vienoje pagamintų bandinių serijoje yra pakeičiama 10 %, 20 % arba 30 % cemento į lakiuosius pelenus smėliniame grunte. Bandiniai kuriuose nėra priemaišų yra naudojami kaip kontroliniai.

2.9.1 Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius oro terpėje

Yra tiriami gruntbetonio gaminiai su lakiųjų pelenų priemaišomis smėliniame grunte. Bandymo metu gauti rezultatai pateikiami 2.3, 2.4 ir 2.5 lentelėse.

2.3 lentelė. Vienaašio gniuždymo bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	3306,11	5202,85	4239,74	3416,89
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	3186,49	3500,72	2954,57	3348,66
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	3029,49	1671,94	2517,10	2601,30
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	2650,10	1924,26	2115,20	2001,36

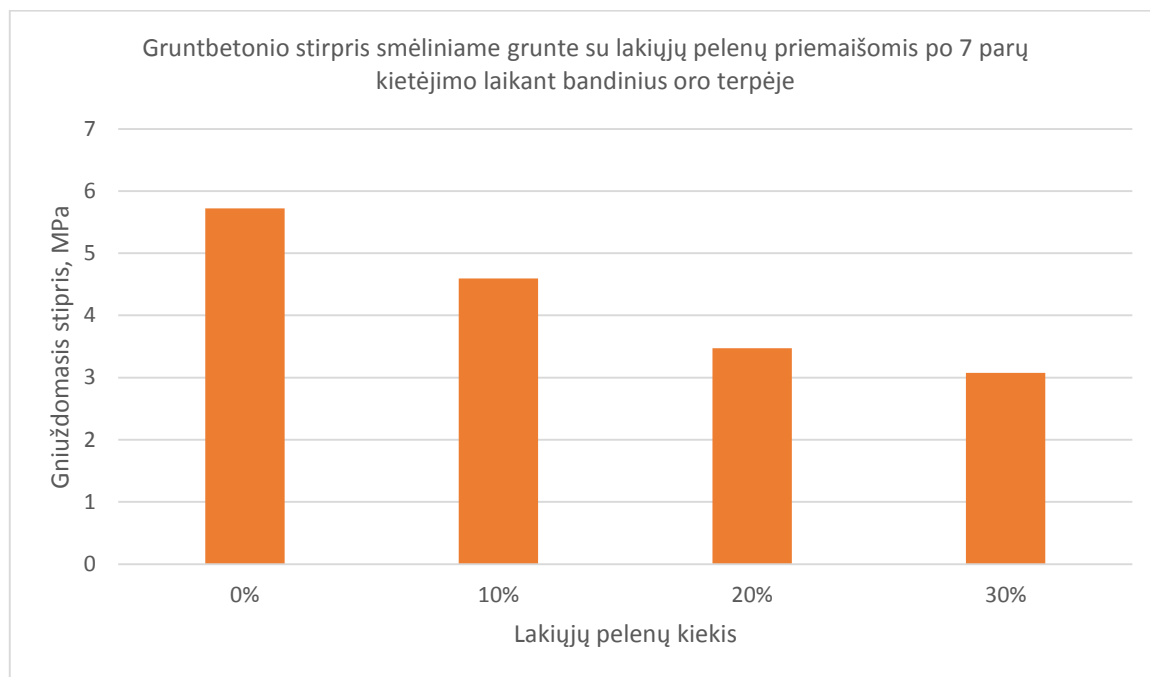
2.4 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	4.68	7.36	6.00	4.84
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	4.51	4.96	4.18	4.74
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	4.29	2.37	3.56	3.68
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	3.75	2.72	2.99	2.83

2.5 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Rodiklis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10%	20 %	30 %
Mažiausias gniuždomasis stipris, MPa	4.68	4.18	2.37	2.72
Vidutinis gniuždomasis stipris, MPa	5.72	4.60	3.48	3.08

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų, kai dalis cemento bandinyje pakeičiama šia priemaiša. Gruntbetonio gniuždymo stipris priklauso nuo sudėtinių dalių, jų santykio, gamybos būdo, kietėjimo ir eksploatacijos sąlygų. 2.14 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stipruminės savybės po 7 parų kietėjimo priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio.



2.14 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Stipriausiomis gniuždomosiomis savybėmis pasižymėjo bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo lakiųjų pelenų priemaišų. Jų gniuždomasis stipris - 5,72 MPa. Šie bandiniai yra kontroliniai, visi šios serijos rezultatai yra lyginami su šių bandinių savybėmis. Bandiniuose kuriuose pakeičiama 10 % cemento į lakiuosius pelenus, gniuždomasis vidutinis stipris yra 4,60 MPa. Lyginant su kontroliniu bandiniu, jų stipris sumažėjo 20,6 %. Bandiniuose, kuriuose yra pakeista 20 % cemento lakiisiais pelenais, jų stipris yra lygus 3,48 MPa. Palyginus su kontroliniais bandiniais, jų stipris sumažėjo 39,2 %. Bandiniuose, kuriuose lakiųjų pelenų priemaišos pakeitė 30 % cemento, gniuždomasis stipris yra mažiausias ir siekia 3,08 MPa. Lyginant su bandiniais be priemaišų, stipris sumažėjo 46,2 %.

2.9.2 Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius vandens terpėje

Yra tiriami gruntbetonio gaminiai su lakiųjų pelenų priemaišomis smėliniame grunte. Bandymo metu gauti rezultatai pateikiami 2.6, 2.7 ir 2.8 lentelėse.

2.6 lentelė. Vienaašio gniuždymo bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius vandens terpėje

Bandinys buvęs vandens terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	4743.52	3198.06	3775.54	6933.11
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	4530.01	4274.71	4217.69	4025.12
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	2502.4	3479.79	3150.91	3606.53
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	2393.6	2189.96	2293.68	2326.17

2.7 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

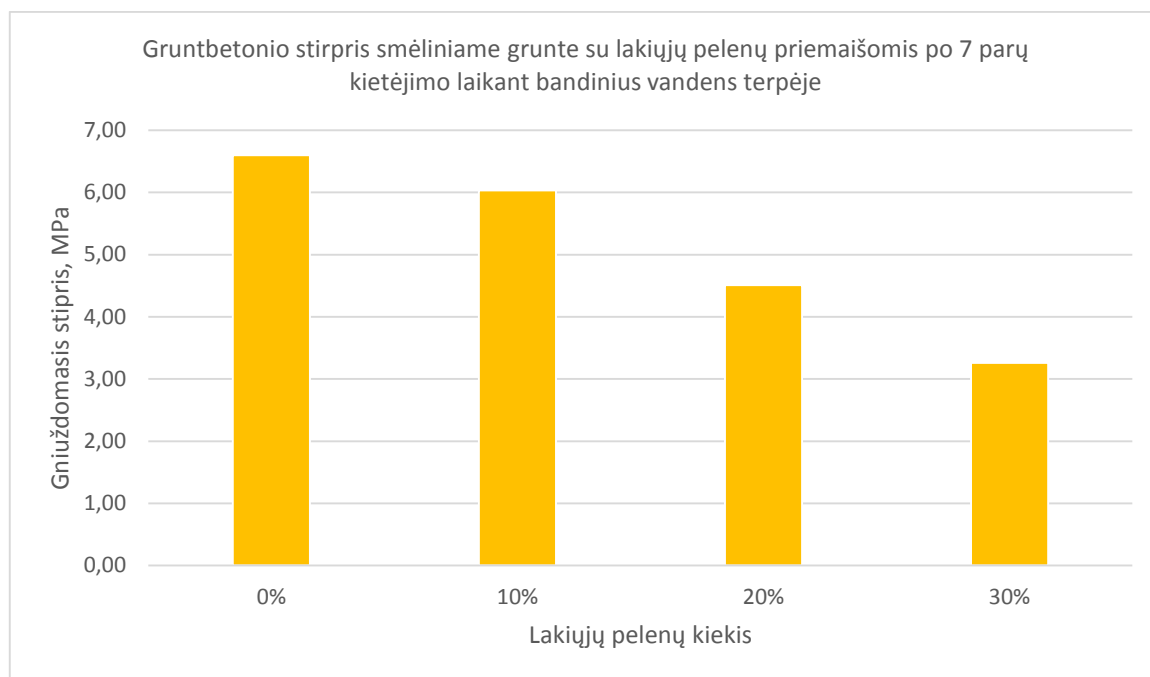
Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	6.71	4.53	5.34	9.81
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	6.41	6.05	5.97	5.70
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	3.54	4.93	4.46	5.10
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	3.39	3.10	3.25	3.29

2.8 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 7 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Rodiklis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10%	20 %	30 %
Mažiausias gniuždomasis stipris, MPa	4.53	5.70	3.54	3.10
Vidutinis gniuždomasis stipris, MPa	6.60	6.03	4.51	3.26

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų, kai dalis cemento bandinyje pakeičiama šia priemaiša. Gruntbetonio gniuždymo stipris priklauso nuo sudėtinių dalių, jų santykio, gamybos būdo, kietėjimo ir eksploatacijos sąlygų.

2.15 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stipruminės savybės po 7 parų kietėjimo priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio.



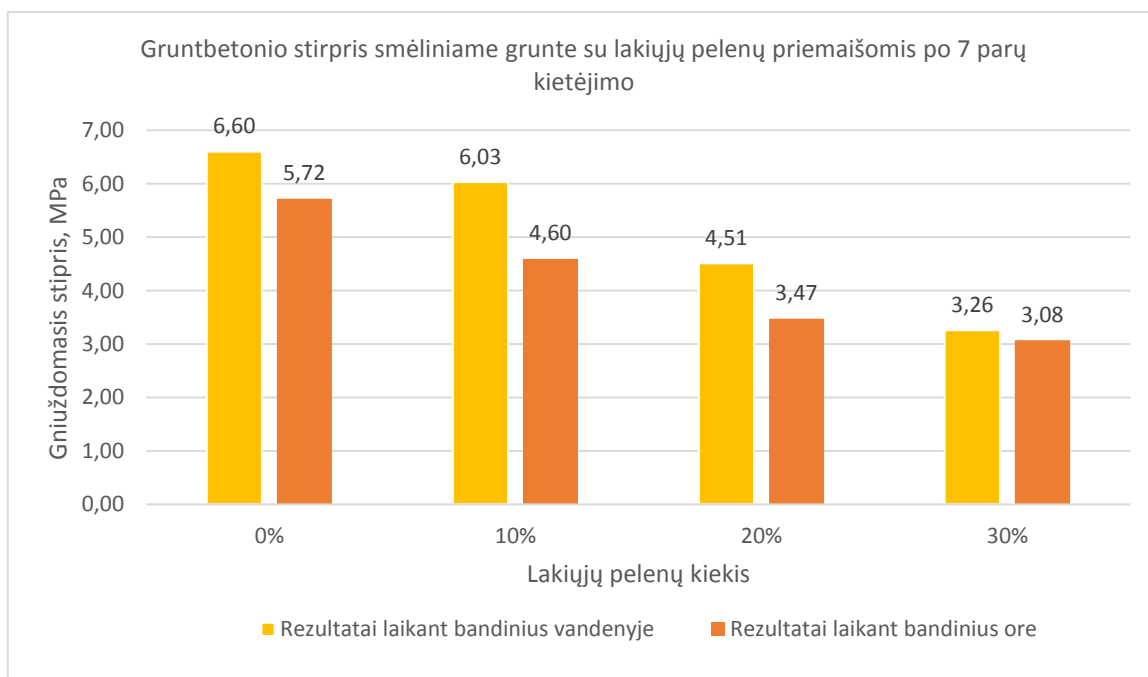
2.15 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaisomis po 7 parų kietėjimo laikant bandinius vandens terpėje

Stipriausiomis gniuždomosiomis savybėmis pasižymėjo bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo lakiųjų pelenų priemaišų. Jų gniuždomasis stipris – 6,60 MPa. Šie bandiniai yra kontroliniai, visi šios serijos rezultatai yra lyginami su šių bandinių savybėmis. Bandiniuose kuriuose pakeičiama 10 % cemento į lakiuosius pelenus, gniuždomasis vidutinis stipris yra 6,03 MPa. Lyginant su kontroliniu bandiniu, jų stipris sumažėjo 9,4 %. Bandiniuose, kuriuose yra pakeista 20 % cemento lakiisiais pelenais, jų stipris yra lygus 4,51 MPa. Palyginus su kontroliniais bandiniais, jų stipris sumažėjo 31,7 %. Bandiniuose, kuriuose lakiųjų pelenų priemaišos pakeitė 30 % cemento, gniuždomasis stipris yra mažiausias ir siekia 3,26 MPa. Lyginant su bandiniais be priemaišų, stipris sumažėjo 50,6 %.

2.9.3 Rezultatų gautų po 7 parų kietėjimo palyginimas

Palyginus su kontroliniais bandiniais, gruntbetoninių bandinių su lakiųjų pelenų priemaišom smėliniame grunte, laikant bandinius oro terpėje, gniuždomasis stipris sumažėjo nuo 20,6 % (kai bandinyje yra 10 % pelenų) iki 46,2 % (kai yra 30 % pelenų priemaišų). Bandinius

laikytus vandenyje gniuždomasis stipris, lyginant su kontroliniais, sumažėjo atitinkamai nuo 9,4 % (kai bandinyje yra 10 % priemaišų) iki 50,6 % (kai yra 30 % priemaišų) (2.16 pav.).



2.16 pav. Rezultatų palyginimas po 7 parų kietėjimo

Nustatyta, kad bandinių laikymo terpė turi didelę įtaką gruntbetonio stipriui. Oro terpėje gniuždomasis stipris akivaizdžiai silpnesnis už gruntbetonio bandinius laikytus vandens terpėje (su tokiu pačiu lakiųjų pelenų kiekiu bandiniuose).

2.10 Gruntbetonio bandinių bandymai po 28 parų kietėjimo

Yra tiriamos gruntbetoninių bandinių savybės su lakiųjų pelenų priemaišomis laikant bandinius oro bei vandens terpėje. Bandinių gniuždomasis stipris nustatomas po 28 parų nuo bandinių pagaminimo dienos. Bandiniai gaminami serijomis, kiekvienoje serijoje yra bandomi 4 gruntbetoniniai bandiniai.

Vienoje pagamintų bandinių serijoje yra pakeičiama 10 %, 20 % arba 30 % cemento į lakiuosius pelenus smėliniame grunte. Bandiniai kuriuose nėra priemaišų yra naudojami kaip kontroliniai.

2.10.1 Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius oro terpėje

Yra tiriami gruntbetonio gaminiai su lakiųjų pelenų priemaišomis smėliniame grunte. Bandymo metu gauti rezultatai pateikiami 2.9, 2.10 ir 2.11 lentelėse.

2.9 lentelė. Vienaašio gniuždymo bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	4279.79	3925.46	5287.53	5383.99
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	5304.91	3828.64	3352.64	3242.91
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	2684.2	2475.25	3907.11	3841.88
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	1962.79	2525.92	2216.18	2625.75

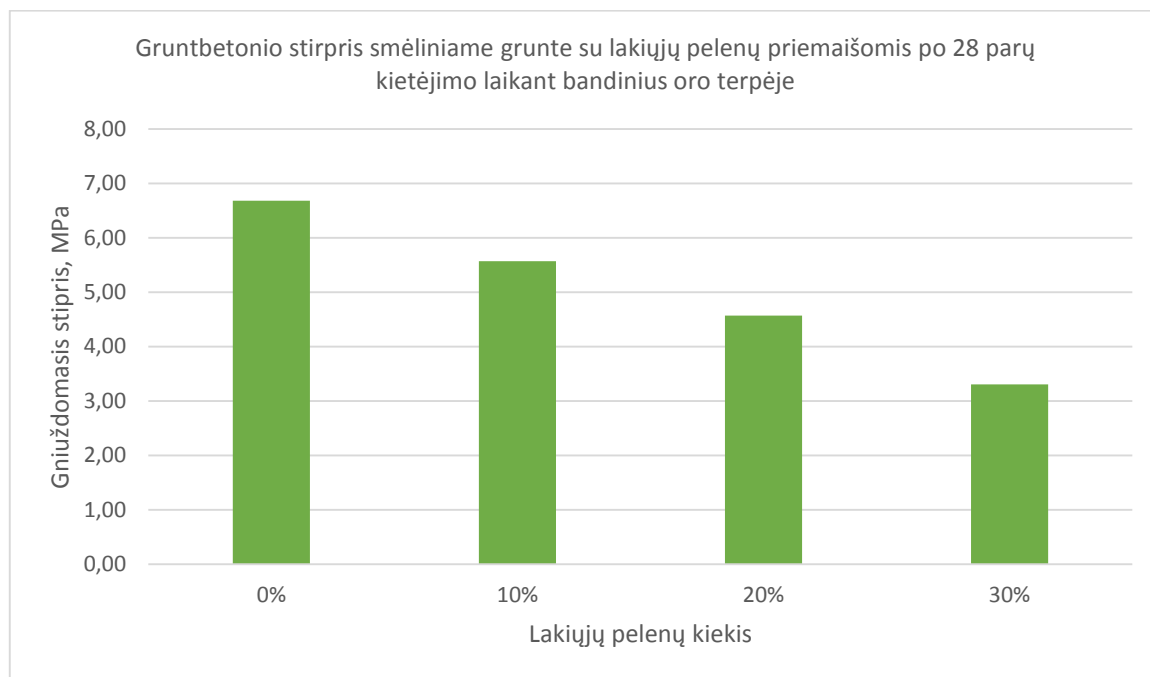
2.10 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	6.06	5.56	7.48	7.62
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	7.51	5.42	4.75	4.59
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	3.80	3.50	5.53	5.44
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	2.78	3.58	3.14	3.72

2.11 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Rodiklis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10%	20 %	30 %
Mažiausias gniuždomasis stipris, MPa	5.56	4.59	3.50	2.78
Vidutinis gniuždomasis stipris, MPa	6.68	5.57	4.57	3.30

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų, kai dalis cemento bandinyje pakeičiama šia priemaiša. Gruntbetonio gniuždymo stipris priklauso nuo sudėtinių dalių, jų santykio, gamybos būdo, kietėjimo ir eksploatacijos sąlygų. 2.17 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stipruminės savybės po 28 parų kietėjimo priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio.



2.17 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Stipriausiomis gniuždomosiomis savybėmis pasižymėjo bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo lakiųjų pelenų priemaišų. Jų gniuždomasis stipris – 6,68 MPa. Šie bandiniai yra kontroliniai, visi šios serijos rezultatai yra lyginami su šių bandinių savybėmis. Bandiniuose kuriuose pakeičiama 10 % cemento į lakiuosius pelenus, gniuždomasis vidutinis stipris yra 5.57 MPa. Lyginant su kontroliniu bandiniu, jų stipris sumažėjo 17 %. Bandiniuose, kuriuose yra pakeista 20 % cemento lakiaisiais pelenais, jų stipris yra lygus 4.57 MPa. Palyginus su kontroliniais bandiniais, jų stipris sumažėjo 32 %. Bandiniuose, kuriuose lakiųjų pelenų priemaišos pakeitė 30 % cemento, gniuždomasis stipris yra mažiausias ir siekia 3.30 MPa. Lyginant su bandiniais be priemaišų, stipris sumažėjo 51 %.

2.10.2 Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius vandens terpėje

Yra tiriami gruntbetonio gaminiai su lakiųjų pelenų priemaišomis smėliniame grunte. Bandymo metu gauti rezultatai pateikiami 2.12, 2.13 ir 2.14 lentelėse.

2.12 lentelė. Vienaašio gniuždymo bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius vandens terpėje

Bandinys buvęs vandens terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	6615.29	5891.58	7426.39	5542.72
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	5575.42	4413.65	3680.31	3110.38
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	2315.67	3210.05	3598.97	4001.14
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	1861.95	3210.26	2946.22	3584.63

2.13 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

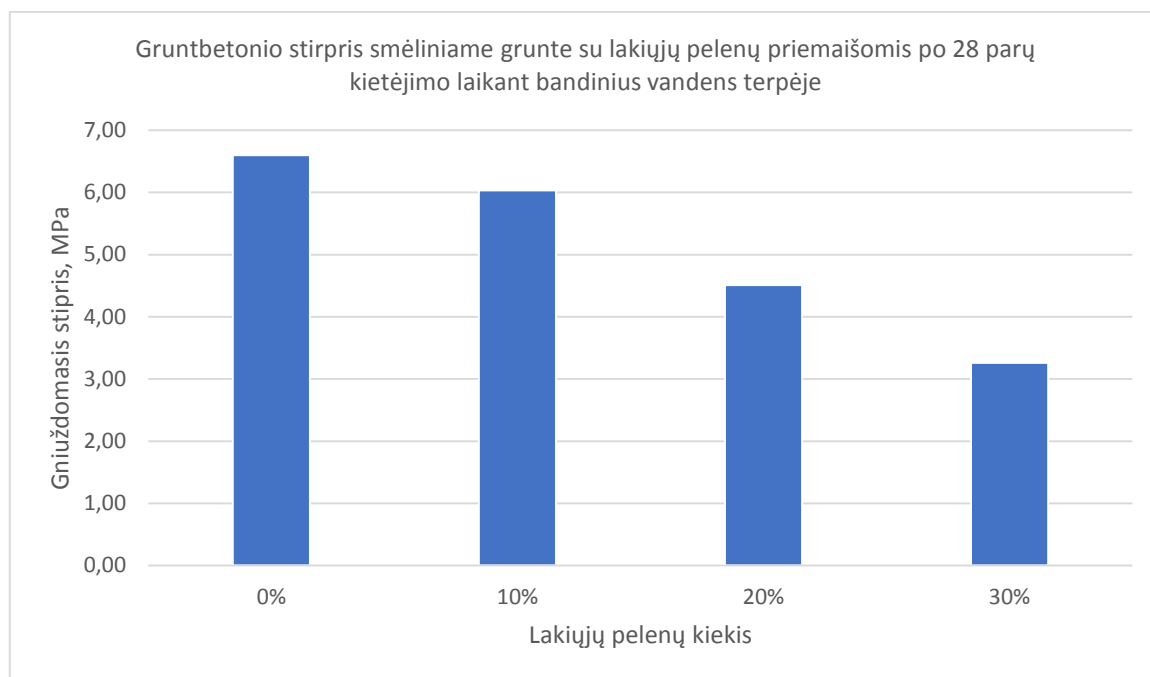
Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	9.36	8.34	10.51	7.85
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	7.89	6.25	5.21	4.40
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	3.28	4.54	5.09	5.66
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	2.64	4.54	4.17	5.07

2.14 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 28 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Rodiklis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10%	20 %	30 %
Mažiausias gniuždomasis stipris, MPa	8.34	4.40	4.54	2.64
Vidutinis gniuždomasis stipris, MPa	9.01	5.94	4.64	4.11

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų, kai dalis cemento bandinyje pakeičiama šia priemaiša. Gruntbetonio gniuždymo stipris priklauso nuo sudėtinių dalių, jų santykio, gamybos būdo, kietėjimo ir eksploatacijos sąlygų.

2.18 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stipruminės savybės po 28 parų kietėjimo priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio.



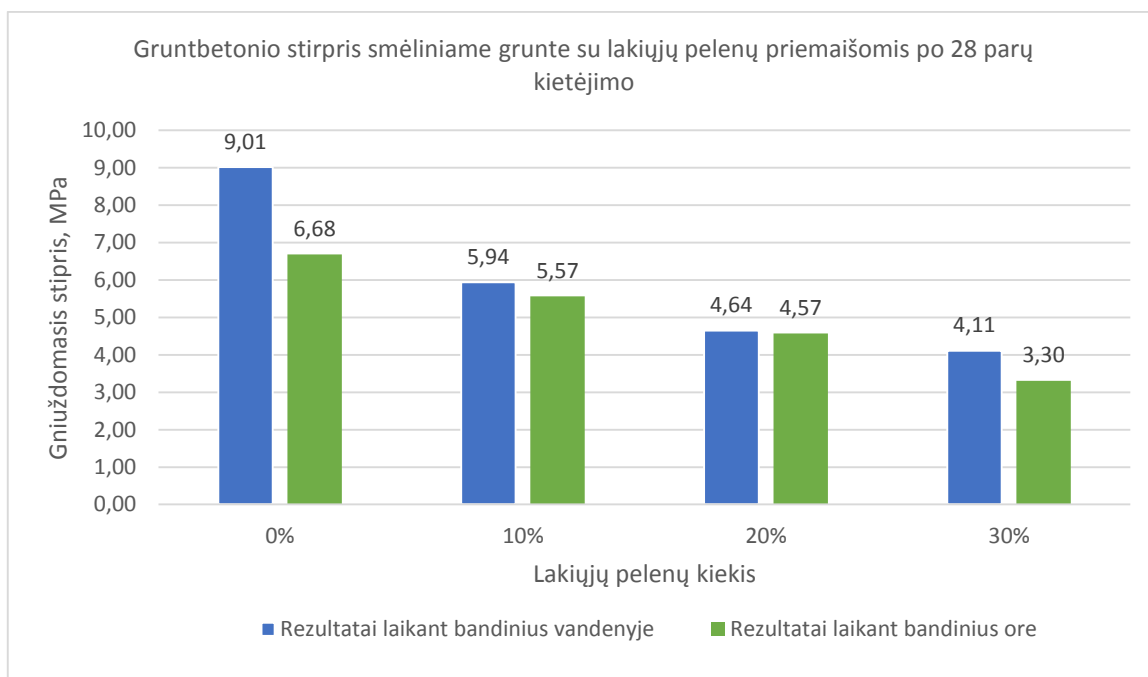
2.18 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 28 parų kietėjimo laikant bandinius vandens terpėje

Stipriausiomis gniuždomosiomis savybėmis pasižymėjo bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo lakiųjų pelenų priemaišų. Jų gniuždomasis stipris – 9,01 MPa. Šie bandiniai yra kontroliniai, visi šios serijos rezultatai yra lyginami su šių bandinių savybėmis. Bandiniuose kuriuose pakeičiama 10 % cemento į lakiuosius pelenus, gniuždomasis vidutinis stipris yra 5,94 MPa. Lyginant su kontroliniu bandiniu, jų stipris sumažėjo 34 %. Bandiniuose, kuriuose yra pakeista 20 % cemento lakiisiais pelenais, jų stipris yra lygus 4,64 MPa. Palyginus su kontroliniais bandiniais, jų stipris sumažėjo 48 %. Bandiniuose, kuriuose lakiųjų pelenų priemaišos pakeitė 30 % cemento, gniuždomasis stipris yra mažiausias ir siekia 4,11 MPa. Lyginant su bandiniais be priemaišų, stipris sumažėjo 53 %.

2.10.3 Rezultatų gautų po 28 parų kietėjimo palyginimas

Palyginus su kontroliniais bandiniais, gruntbetoninių bandinių su lakiųjų pelenų priemaišom smėliniame grunte, laikant bandinius oro terpėje, gniuždomasis stipris sumažėjo nuo 17 % (kai bandinyje yra 10 % pelenų) iki 51 % (kai yra 30 % pelenų priemaišų). Bandinius laikytus

vandenyje gniuždomasis stipris, lyginant su kontroliniais, sumažėjo atitinkamai nuo 34 % (kai bandinyje yra 10 % priemaišų) iki 53 % (kai yra 30 % priemaišų) (2.19 pav.).



2.19 pav. Rezultatų palyginimas po 28 parų kietėjimo

Nustatyta, kad bandinių laikymo terpė turi didelę įtaką gruntbetonio stipriui. Oro terpėje gniuždomasis stipris silpnesnis už gruntbetonio bandinius laikytus vandens terpėje (su tokiu pačiu lakiųjų pelenų kiekiu bandiniuose). Tačiau, yra pastebima kai bandiniuose nuo 10 % iki 20 % cemento pakeičiama lakiaisiais pelenais, vidutinis gniuždomasis stipris praktiškai buvo vienodas oro ir vandens terpėje. Pagal šiuos duomenis galima teigti, kad lakieji pelenai pagreitina kietėjimą oro terpėje.

2.11 Gruntbetonio bandinių bandymai po 90 parų kietėjimo

Yra tiriamos gruntbetoninių bandinių savybės su lakiųjų pelenų priemaišomis laikant bandinius oro bei vandens terpėje. Bandinių gniuždomasis stipris nustatomas po 90 parų nuo bandinių pagaminimo dienos. Bandiniai gaminami serijomis, kiekvienoje serijoje yra bandomi 4 gruntbetoniniai bandiniai.

Vienoje pagamintų bandinių serijoje yra pakeičiama 10 %, 20 % arba 30 % cemento į lakiuosius pelenus smėliniame grunte. Bandiniai kuriuose nėra priemaišų yra naudojami kaip kontroliniai.

2.11.1 Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius oro terpėje

Yra tiriami gruntbetonio gaminiai su lakiųjų pelenų priemaišomis smėliniame grunte. Bandymo metu gauti rezultatai pateikiami 2.15, 2.16 ir 2.17 lentelėse.

2.15 lentelė. Vienašio gniuždymo bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	8175.13	7804.71	8157.45	7210.47
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	6840.85	5389.92	7223.98	6014.56
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	5452.87	5299.39	5851.56	5020.36
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	3813.14	3699.38	3233.07	3945.36

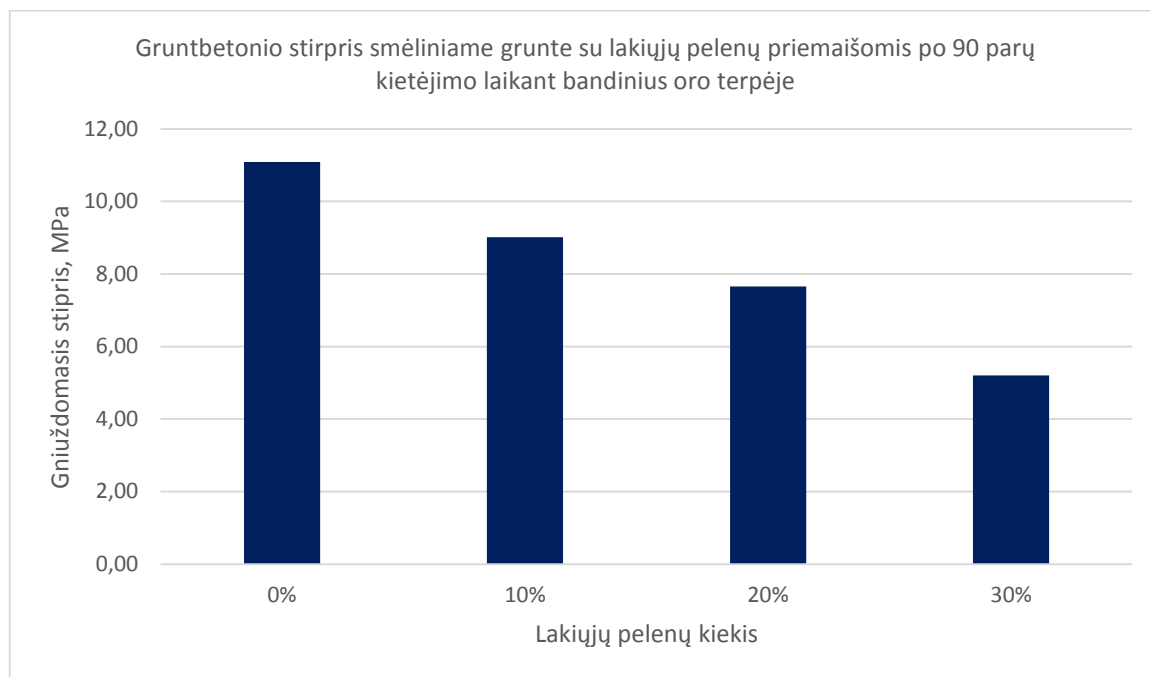
2.16 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	11.57	11.05	11.55	10.21
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	9.68	7.63	10.23	8.51
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	7.72	7.50	8.28	7.11
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	5.40	5.24	4.58	5.58

2.17 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Rodiklis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10%	20 %	30 %
Mažiausias gniuždomasis stipris, MPa	10.21	7.63	7.11	4.58
Vidutinis gniuždomasis stipris, MPa	11.09	9.01	7.65	5.20

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų, kai dalis cemento bandinyje pakeičiama šia priemaiša. Gruntbetonio gniuždymo stipris priklauso nuo sudėtinių dalių, jų santykio, gamybos būdo, kietėjimo ir eksploatacijos sąlygų. 2.20 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stipruminės savybės po 90 parų kietėjimo priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio.



2.20 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Stipriausiomis gniuždomosiomis savybėmis pasižymėjo bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo lakiųjų pelenų priemaišų. Jų gniuždomasis stipris – 11,09 MPa. Šie bandiniai yra kontroliniai, visi šios serijos rezultatai yra lyginami su šių bandinių savybėmis. Bandiniuose kuriuose pakeičiama 10 % cemento į lakiuosius pelenus, gniuždomasis vidutinis stipris yra 9,01 MPa. Lyginant su kontroliniu bandiniu, jų stipris sumažėjo 19 %. Bandiniuose, kuriuose yra pakeista 20 % cemento lakiaisiais pelenais, jų stipris yra lygus 7,65 MPa. Palyginus su kontroliniais bandiniais, jų stipris sumažėjo 31 %. Bandiniuose, kuriuose lakiųjų pelenų priemaišos pakeitė 30 % cemento, gniuždomasis stipris yra mažiausias ir siekia 5,20 MPa. Lyginant su bandiniais be priemaišų, stipris sumažėjo 53 %.

2.11.2 Gruntbetonio bandinių bandymai su lakiųjų pelenų priemaiša laikant bandinius vandens terpėje

Yra tiriami gruntbetonio gaminiai su lakiųjų pelenų priemaišomis smėliniame grunte. Bandymo metu gauti rezultatai pateikiami 2.18, 2.19 ir 2.20 lentelėse.

2.18 lentelė. Vienaašio gniuždymo bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius vandens terpėje

Bandinys buvęs vandens terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N	Suirimo jėga, N
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	7177.16	8140.22	10576.15	8542.21
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	7836.7	7755.29	5633.05	6500.12
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	6143.81	5055.04	5024.81	6213.6
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	4471.02	4233.29	4406.85	4308.34

2.19 lentelė. Bandinių gniuždomasis stipris po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

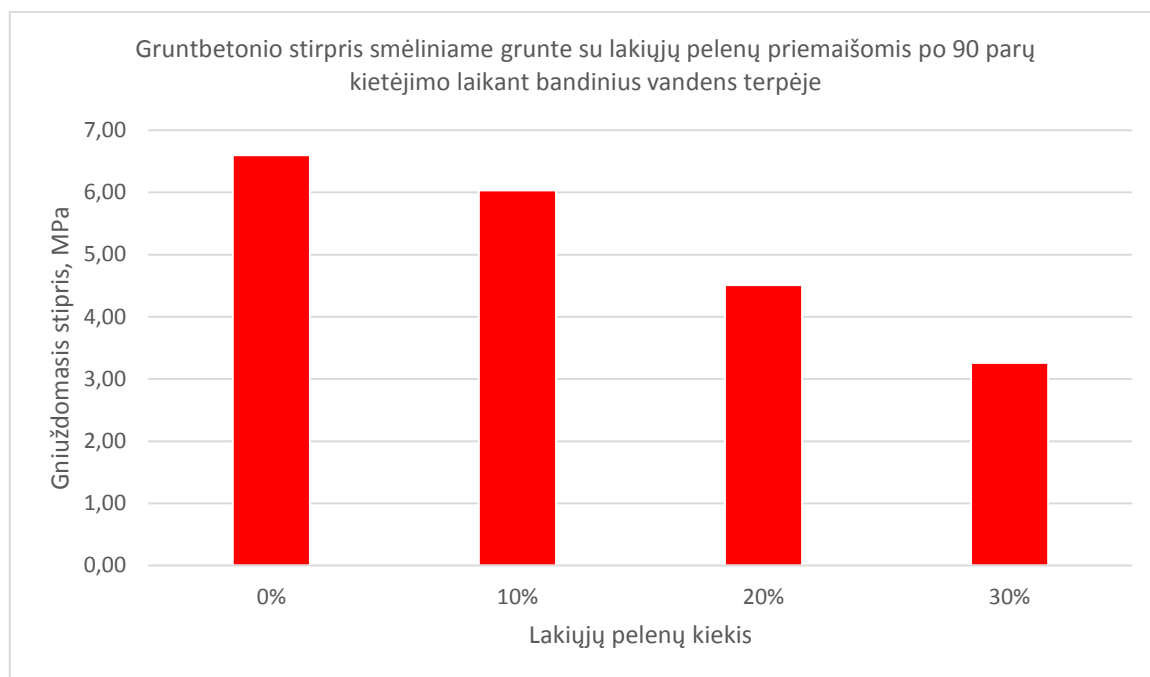
Bandinys buvęs oro terpėje	Bandinys nr. 1	Bandinys nr. 2	Bandinys nr. 3	Bandinys nr. 4
	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa
Kontroliniai bandiniai (smėlinio grunto)	10.16	11.52	14.97	12.09
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 10 % cemento pelenais	11.09	10.98	7.97	9.20
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 20 % cemento pelenais	8.70	7.16	7.11	8.79
Bandiniai su pelenų priemaišomis. Pakeičiant 30 % cemento pelenais	6.33	5.99	6.24	6.10

2.20 lentelė. Gruntbetonio bandymų rezultatai po 90 parų kietėjimo, laikant bandinius oro terpėje

Rodiklis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10%	20 %	30 %
Mažiausias gniuždomasis stipris, MPa	10.16	7.97	8.79	5.99
Vidutinis gniuždomasis stipris, MPa	12.19	9.81	7.94	6.16

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų, kai dalis cemento bandinyje pakeičiama šia priemaiša. Gruntbetonio gniuždymo stipris priklauso nuo sudėtinių dalių, jų santykio, gamybos būdo, kietėjimo ir eksploatacijos sąlygų.

2.21 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stipruminės savybės po 90 parų kietėjimo priklausomai nuo lakiųjų pelenų kiekio.



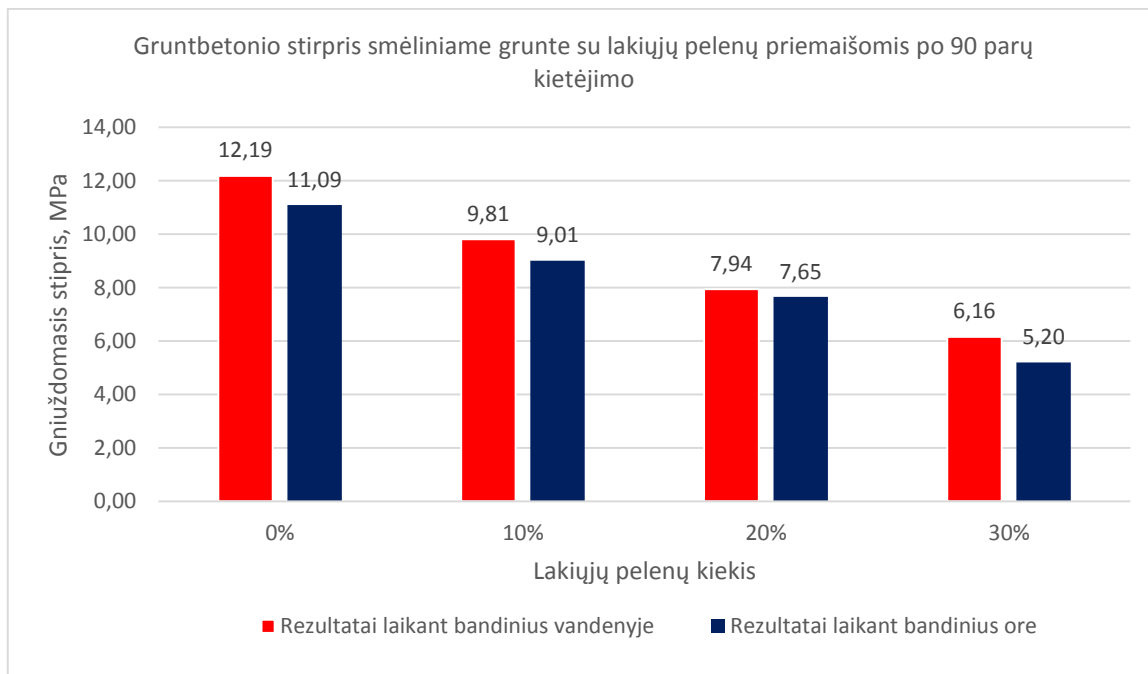
2.21 pav. Gruntbetonio stipris smėliniame grunte su lakiųjų pelenų priemaišomis po 90 parų kietėjimo laikant bandinius vandens terpėje

Stipriausiomis gniuždomosiomis savybėmis pasižymėjo bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo lakiųjų pelenų priemaišų. Jų gniuždomasis stipris – 12,19 MPa. Šie bandiniai yra kontroliniai, visi šios serijos rezultatai yra lyginami su šių bandinių savybėmis. Bandiniuose kuriuose pakeičiama 10 % cemento į lakiuosius pelenus, gniuždomasis vidutinis stipris yra 9,81 MPa. Lyginant su kontroliniu bandiniu, jų stipris sumažėjo 20 %. Bandiniuose, kuriuose yra pakeista 20 % cemento lakiisiais pelenais, jų stipris yra lygus 7,94 MPa. Palyginus su kontroliniais bandiniais, jų stipris sumažėjo 35 %. Bandiniuose, kuriuose lakiųjų pelenų priemaišos pakeitė 30 % cemento, gniuždomasis stipris yra mažiausias ir siekia 6,16 MPa. Lyginant su bandiniais be priemaišų, stipris sumažėjo 50 %.

2.11.3 Rezultatų gautų po 90 parų kietėjimo palyginimas

Palyginus su kontroliniais bandiniais, gruntbetoninių bandinių su lakiųjų pelenų priemaišom smėliniame grunte, laikant bandinius oro terpėje, gniuždomasis stipris sumažėjo nuo 19 % (kai bandinyje yra 10 % pelenų) iki 53% (kai yra 30 % pelenų priemaišų). Bandinius laikytus

vandenyje gniuždomasis stipris, lyginant su kontroliniais, sumažėjo atitinkamai nuo 20 % (kai bandinyje yra 10 % priemaišų) iki 50 % (kai yra 30 % priemaišų) (2.22 pav.).



2.22 pav. Rezultatų palyginimas po 90 parų kietėjimo

Nustatyta, kad bandinių laikymo terpė turi didelę įtaką gruntbetonio stipriui. Oro terpėje gniuždomasis stipris silpnesnis už gruntbetonio bandinius laikytus vandens terpėje (su tokiu pačiu lakiųjų pelenų kiekiu bandiniuose). Tačiau, yra pastebima kai bandiniuose 20 % cemento pakeičiama lakiaisiais pelenais, vidutinis gniuždomasis stipris praktiškai buvo vienodas oro ir vandens terpėje. Pagal šiuos duomenis galima teigti, kad lakieji pelenai pagreitina kietėjimą oro terpėje.

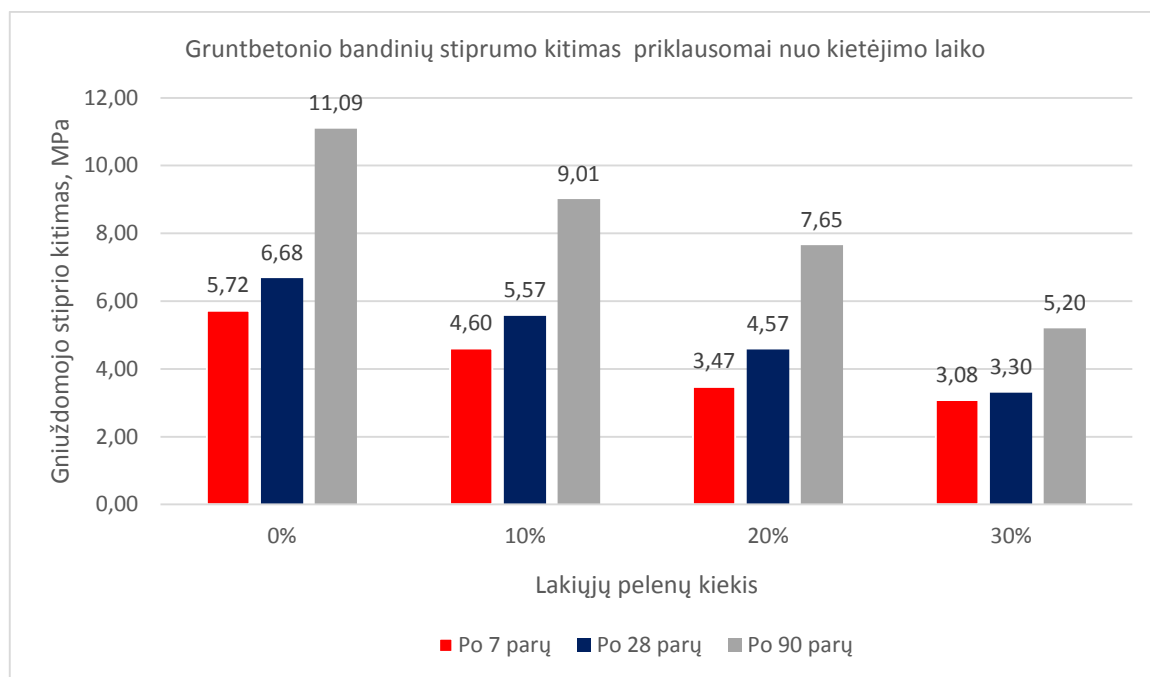
2.12 Rezultatų analizė

Gruntbetoninio kokybė ir ilgaamžiškumas priklauso nuo jų stiprio, todėl šiai savybei skiriama daug dėmesio. Stiprumas suvokiamas kaip savybė priešintis ardantiems vidaus įtempiams, atsirandantiems dėl išorinių ir kitų poveikių.

Bandiniai laikyti oro terpėje

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų priemaišų, 2.23 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stiprumo savybės

priklausomai nuo kietėjimo laiko bei lakiųjų pelenų priemaišų kiekio smėliniame grunte laikant bandinius oro terpėje.



2.23 pav. Gruntbetonio stiprumo kitimas laikant bandinius oro terpėje priklausomai nuo kietėjimo laiko

Stipriausiomis gniuždymo savybėmis pasižymėjo kontroliniai bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo priemaišų. Kontrolinių bandinių be priemaišų stipris po 7 išlaikymo parų siekė 5,72 MPa, po 28 parų – 6,68 MPa ir po 90 parų – 11,09 MPa. Palyginus su bandiniais, kurie yra išlaikomi 7 paras, jų gniuždomasis stipris padidėjo 94 %.

Gruntbetonio bandinių, kuriuose buvo pakeista 10 % cemento į lakiuosius pelenus gniuždomasis stipris po 7 parų išlaikymo siekia 4,60 MPa, po 28 parų – 5,57 MPa ir po 90 parų – 9,01 MPa. Palyginus su bandiniais kurie buvo gniuždomi po 7 parų, jų stipris padidėjo 96 %.

Bandinių, kuriuose buvo pakeista 20 % cemento į lakiuosius pelenus gniuždomasis stipris po 7 parų išlaikymo yra 3,47 MPa, po 28 parų – 4,57 Mpa ir po 90 parų – 7,65 MPa. Palyginus su bandiniais kurie buvo gniuždomi po 7 parų, jų stipris padidėjo 120 %.

Bandinių, kuriuose buvo pakeista 30 % cemento į lakiuosius pelenus gniuždomasis stipris po 7 parų išlaikymo siekia 3,08 MPa, po 28 parų – 3,30 MPa ir po 90 parų – 5,20 MPa. Palyginus su bandiniais kurie buvo gniuždomi po 7 parų, jų stipris padidėjo 69 %.

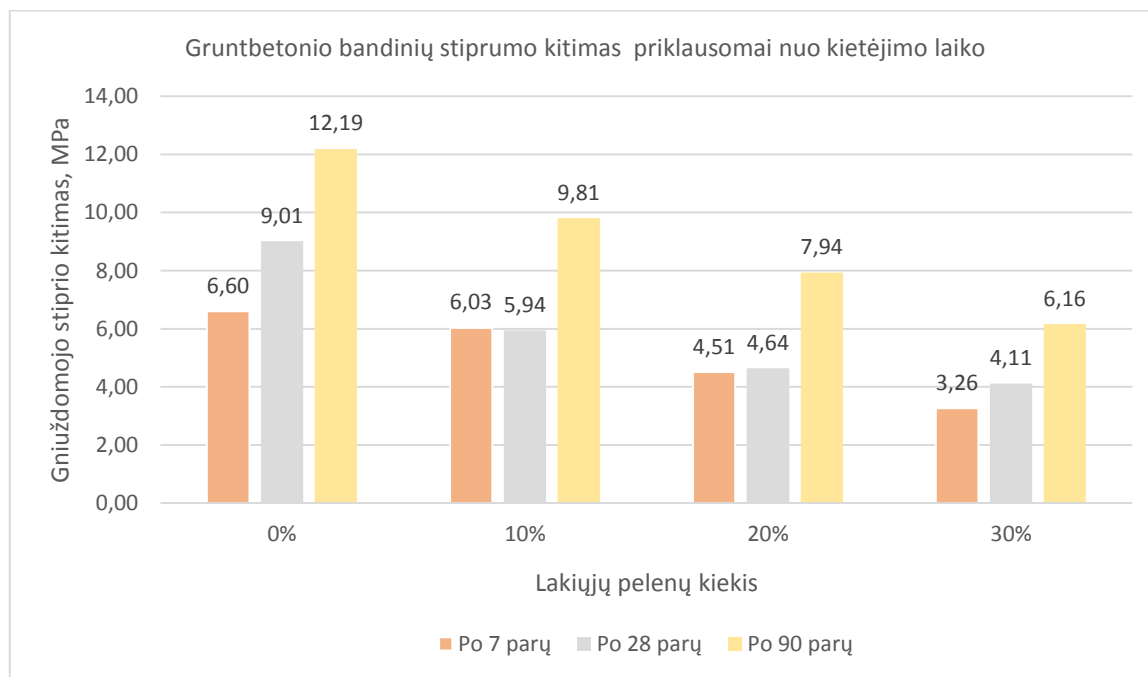
Gruntbetonio bandinių stipris didėja ilgėjant kietėjimo laikui. 2.21 lentelėje pateiktas stiprumo didėjimas bandiniuose kuriuose buvo keičiamas cementas į lakiuosius pelenus smėliniame grunte, laikant bandinius oro terpėje.

2.21 lentelė. Gruntbetonio su lakiųjų pelenų priemaisomis gniuždymo stiprio didėjimas priklausomai nuo išlaikymo laikotarpio (stiprį po 28 parų priimu kaip 100 %) laikant bandinius ore

Kietėjimo laikotarpis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10 %	20 %	30 %
Gniuždomasis stipris po 7 parų kietėjimo, %	86	83	76	93
Gniuždomasis stipris po 28 parų kietėjimo, %	100	100	100	100
Gniuždomasis stipris po 90 parų kietėjimo, %	166	162	167	158

Bandiniai laikyti vandens terpėje

Atliekant bandymus, buvo tiriama gruntbetoninių bandinių stiprumo priklausomybė nuo lakiųjų pelenų priemaišų, 2.24 pav. pavaizduota, kaip kinta bandinių stiprumo savybės priklausomai nuo kietėjimo laiko bei lakiųjų pelenų priemaišų kiekio smėliniame grunte laikant bandinius vandens terpėje.



2.24 pav. Gruntbetonio stiprumo kitimas laikant bandinius vandens terpėje priklausomai nuo kietėjimo laiko

Stipriausiomis gniuždymo savybėmis pasižymėjo kontroliniai bandiniai, kurie savo sudėtyje neturėjo priemaišų. Kontrolinių bandinių be priemaišų stipris po 7 išlaikymo parų siekė

6,60 MPa, po 28 parų – 9,01 MPa ir po 90 parų – 12,19 MPa. Palyginus su bandiniais, kurie yra išlaikomi 7 paras, jų gniuždomasis stipris padidėjo 85 %.

Gruntbetonio bandinių, kuriuose buvo pakeista 10 % cemento į lakiuosius pelenus gniuždomasis stipris po 7 parų išlaikymo siekia 6,03 MPa, po 28 parų – 5,94 MPa ir po 90 parų – 9,81 MPa. Palyginus su bandiniais kurie buvo gniuždomi po 7 parų, jų stipris padidėjo 63 %.

Bandinių, kuriuose buvo pakeista 20 % cemento į lakiuosius pelenus gniuždomasis stipris po 7 parų išlaikymo yra 4,51 MPa, po 28 parų – 4,64 Mpa ir po 90 parų – 7,94 MPa. Palyginus su bandiniais kurie buvo gniuždomi po 7 parų, jų stipris padidėjo 76 %.

Bandinių, kuriuose buvo pakeista 30 % cemento į lakiuosius pelenus gniuždomasis stipris po 7 parų išlaikymo siekia 3,26 MPa, po 28 parų – 4,11 MPa ir po 90 parų – 6,16 MPa. Palyginus su bandiniais kurie buvo gniuždomi po 7 parų, jų stipris padidėjo 89 %.

Gruntbetonio bandinių stipris didėja ilgėjant kietėjimo laikui. 2.21 lentelėje pateiktas stiprumo didėjimas bandiniuose kuriuose buvo keičiamas cementas į lakiuosius pelenus smėliniame grunte, laikant bandinius oro terpėje.

2.22 lentelė. Gruntbetonio su lakiųjų pelenų priemaišomis gniuždymo stiprio didėjimas priklausomai nuo išlaikymo laikotarpio (stiprį po 28 parų priimu kaip 100 %) laikant bandinius vandenyje

Kietėjimos laikotarpis	Lakiųjų pelenų kiekis			
	0 %	10 %	20 %	30 %
Gniuždomasis stipris po 7 parų kietėjimo, %	73	101	97	79
Gniuždomasis stipris po 28 parų kietėjimo, %	100	100	100	100
Gniuždomasis stipris po 90 parų kietėjimo, %	135	165	171	150

Lakiųjų pelenų priemaišos turi didelę įtaką gruntbetonio stipriui. Kuo didesnis šių medžiagų kiekis cemento skiedinyje, tuo gniuždomasis stipris yra mažesnis.

Magistro tiriamojo darbo rezultatai pristatyti 20-oje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ vykusioje 2017 m. vasario mėnesį Vilniuje (*Priedas*).

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Lakieji pelenai tai katilinių ir elektrinių naudojančių biokurą atliekos, gaunamos filtruojant išeinantį iš kaminų orą. Ši atlieka gali būti panaudojama kaip dalies cemento pakaitalas betoninėse, gelžbetoninėse konstrukcijose ir srautinės injekcijos būdu gaunamame gruntbetonyje, taip pat gali būti naudojama žemės ūkyje ir kelių statyboje. Tokiu būdu būtų sprendžiama šios atliekos utilizavimo Lietuvoje problema.

2. Išbandžius vienašiu gniuždymu bandinius, kuriuos sudarė vidutinio rupumo smėlis, sucementuotas cemento skiediniu. Bandiniai buvo gaminami trimis receptūromis, kur dalis cemento (10 %, 20 %, 30 %) pakeista lakiaisiais pelenais, gauta, kad lakieji pelenai kaip cemento pakaitalas mažina bandinių stiprį, bet jis lieka pakankamas gruntbetoniui, kurio privalomas gniuždomasis stipris turi būti ne mažesnis nei 1,0 Mpa (ypatingai atsakingiems objektams – ne mažesnis nei – 1,5 MPa). Gruntbetonio bandiniai su didžiausiu laikųjų pelenų kiekiu (30 %) po 90 parų kietėjimo turi gniuždomąjį stiprį 5- 6 Mpa (priklausomai nuo to, kietėjo ore ar vandenyje).

3. Bandinių gniuždomasis stipris tirtas 90 parų. Per tą laiką jis padidėjo (lyginant su rodikliais po 28 parų) vidutiniškai nuo 50 iki 71 %, priklausomai nuo pelenų kiekio ir bandinių laikymo sąlygų.

4. Bandinių laikytų vandenyje stipris visą tyrimų laiką yra didenis nei laikant juos ore: 9 -15 % po 90 parų kietėjimo.

LITERATŪRA

1. Aplinkos apsauga, Pranas Baltrėnas, 1996 m;
2. BAKER, W. Grouting for Geotechnic Engineering. American Society of Civil Engineers, 1982;
3. Butkuvienė, E. ir kt. 2011. Augalų trėšimas medžio pelenais;
4. Fly ash stabilisation of gravel roads, Josef Macsik, 2006m.;
5. Glazer, Z. 2001. *Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa*. [Geologija ir geotechnika statybos inžineriams]. Warszawa: Wyd. nauk PWN;
6. Kolumny iniekcyjne (Injekcinės kolonos) [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-03-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.geoservice.wroc.pl>>
7. Krzywkowski, P.; Michalski, T. 2000. Techniki iniekcyjne wzmacniania podłoża. [Pamatų sutvirtinimas injekcijų technologijomis]. Warszawa: Inżynieria i budownictwo.
8. Iniekcja strumieniowa Soilcrete (Srautinės injekcijos gruntbetoniui) [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-03-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.keller.com.pl>>.
9. Ivanauskas, E. Revoliucija statybų sektoriuje [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-03-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.delfi.lt>>.
10. LST EN 12390-3:2009. *Betono* bandymas. 3 dalis. Bandinių stipris gniuždant. Lietuvos standartizacijos departamentas.
11. LST EN 933-1:2002. "Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai: 1 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas"
12. LST EN 12716:2003. "Specialieji geotechnikos darbai. Srautinės injekcijos"
13. LST EN 13369:2004. Gaminio matmenys. Lietuvos standartizacijos departamentas.
14. Mackevičius, R., Geotechnikos naujosios technologijos, 2009.
15. Michalski, T. 2000. Techniki iniekcyjne wzmacniania podłoża. Inżynieria i budownictwo. [Pamatų sutvirtinimas injekcijų technologijomis]. Ożarów Mazowiecki: Keller Polska Sp. z o.o.
16. Naujokaitis, A. 2006. Statybinės medžiagos. Užpildai. Vilnius;
17. Naujokaitis, A. 2007. Statybinės medžiagos. Betonai. Vilnius;
18. Pisarczyk S. 2005. *Geoinżynieria*. [Geoinžinerija]. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
19. Ozolinčius, R. ir kt. 2011. Kompensuojamojo trėšimo miško kuro pelenais rekomendacijos

20. Summary of the program Environmentally correct utilization of ashes at Varmeforst, Henrik Bjurström and Roger Herbert 2002-2005 m.;
21. Utilization Swedish fly ash from bio fuel fired power plants as a filler material and concrete, Hillevi Sundblom, 2006 m.;
22. Wiłun, Z. 2007. Zarys geotechniki. [Geotechnika]. Warszawa: WKiŁ.
23. Wood ash recycling state of the art in Finland and Sweden, Pirkko Vesterinen, 2003;
24. Žmonių sauga, P. Čyras, VGTU; 2005

PRIEDAS

Geotechnikos katedros posėdžio, įvykusio 22/02/2017

Protokolas Nr. 2017-02-22

Posėdyje dalyvavo: prof. dr. A. Norkus, doc.dr. N. Dirgėlienė, doc.dr. R. Mackevičius, doc.dr. J. Medzvieckas, doc.dr. D. Sližyte, doc.dr. G. Žaržojus, doc.dr. Š. Skuodis.

Darbotvarkė: 20-oji jaunųjų mokslininkų konferencija „MOKSLAS - LIETUVOS ATEITIS". STATYBA. Geotechnikos katedros studentų pranešimai.

Geotechnikos sekcija

2017 vasario 22 diena 16²⁰ val. SRL 1-510

Tadas Tamošiūnas. „Orasausio ir apvandeninto nesankabaus grunto su hidrostatiniu slėgiu kerpamojo stiprio tyrimas“.

Darius Jankauskas. „Organinių priemaišų smėliniame grunte įtakos gruntbetonio savybėms tyrimas“.

Vytautas Peisokas. "SPINNANKER inkarinio pamato tyrimas".

Lukas Bielevičius. „Polio laikomoji galia ir apkrovos pasiskirstymas polio pagrinde“.

Artur Žabelovič. „Lakiųjų pelenų panaudojimo gruntbetoniui tyrimas“.

Žygimantas Šapola. „Rankinio dinaminio zondavimo ir dinaminio šampo rezultatų palyginimas“.

Justas Vajinskis. „Seklįojo pamato pagrindo analizė pagal statinio šampo duomenis“.

Nutarta: Tado Tamošiūno, Vytauto Peisoko, Luko Bielevičiaus, Artur Žabelovič, Žygimanto Šapolos, Justo Vajinskio skaitytus pranešimus vertinti teigiamai.

Posėdžio pirmininkas:

Geotechnikos katedros vedėjas



A. Norkus

Posėdžio sekretorė:



D. Sližytė