



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Rokas Kudirka

**ŠLAITINIŲ KONSTRUKCIJŲ BETONAVIMO TECHNOLOGIJŲ
TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Prof. dr. Mindaugas Daukšys

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

ŠLAITINIŲ KONSTRUKCIJŲ BETONAVIMO TECHNOLOGIJŲ
TYRIMAI

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas T000M046)

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Mindaugas Daukšys
(data)

Recenzentas

(parašas) Prof. dr. Žymantas Rudžionis
(data)

Projektą atliko

(parašas) Rokas Kudirka
(data)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros

(Fakultetas)

Rokas Kudirka

(Studento vardas, pavardė)

Statyba (T000M0460)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Šlaitinių konstrukcijų betonavimo technologijų tyrimai“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. sausio 02 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Roko Kudirkos**, baigiamasis projektas tema „Šlaitinių konstrukcijų betonavimo technologijų tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kudirka, Rokas. Šlaitinių konstrukcijų betonavimo technologijų tyrimai. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Mindaugas Daukšys; Kauno technologijos universitetas, statybos ir architektūros fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Inžinerija, Technologijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: *betonas, ribiniai šlyties įtempiai, pastovumas, užpildų granulometrija.*

Kaunas, 2018. 82 psl.

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro projekte analizuojamos Lietuvoje, bei užsienio šalyse taikomos šlaitinių konstrukcijų įrengimo technologijos. Apžvelgtos šlaitinės konstrukcijos ir jų panaudojimo galimybės, šlaitinių konstrukcijų tipai ir jų klasifikacija bei šlaitinių konstrukcijų įrengimo būdai. Pateikiamos šlaitinių konstrukcijų įrengimui naudojamo betono mišinio sudėties sudedamosios dalys bei papildomos medžiagos, šioje srityje atlikti moksliniai tyrimai.

Tiriamajoje dalyje nagrinėta nuožulnios plokštumos posvyrio kampo įtaka betono mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos. Kontroline betono mišinio sudėtimi tyrimams pasirinkta K29 objekte Vilniuje šlaitinės perdangos įrengimui naudota betono mišinio sudėtis. Buvo vertinta stambiojo užpildo kiekio bendrame užpildų mišinyje ir polipropileno plaušo įtaka betono mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos bei klojinių skydų paviršiaus sankabumą su mišiniu didinančios priemonės. Nustatyta užpildų granulimetrinės sudėties ir polipropileno plaušo įtaka betono mišinio ribiniams šlyties įtempiams ir pradiniam šlyties įtempiams, kai nuožulnios plokštumos posvyrio kampas yra 25°, 35° ir 45°.

Darbas susideda iš įvado, 5 skyrių, išvadų, literatūros sąrašo. Darbo apimtis – 82 puslapiai, 64 paveikslų, 20 lentelių, 22 formuliu, 54 literatūros šaltinių.

Kudirka, Rokas. *Research on Concreting Technologies for Slope Structures: Master's thesis in construction / supervisor assoc. prof. dr. Mindaugas Daukšys. The Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Engineering, Technological Sciences

Key words: *concrete, yield stress, stability, aggregates granulometry.*

Kaunas, 2018. 82 p.

SUMMARY

In the final master's project, technologies of installation of sloping constructions in Lithuania and abroad are analyzed. The survey of sloping structures and their possibilities of use, types of sloping structures and their classification, as well as ways of installing sloping structures are reviewed. The constituents of the concrete mixture used for the installation of sloping constructions and additional materials, researches in this field are presented.

In the research section, the influence of the angle of inclination of a sloping plane on the stability of a concrete mix on a sloping plane was studied. Controlling the composition of concrete mix, the composition of the concrete mix used for the installation of a slope over the K29 site was chosen for studies. The magnitude of the coarse aggregate fill in the total aggregate mixture and the effect of the polypropylene fiber on the stability of the concrete mix on the sloping plane and the adhesion of the surface of the formwork panels to the mixture increasing means. The influence of granular and polypropylene fibers on the boundary shear stresses and initial shear stresses of a concrete mix when the inclination angle of the inclined plane is 25 °, 35 ° and 45 ° is determined.

The work consists of introduction, chapter 5, conclusions, bibliography and annexes. Thesis consist of 82pages, 64 pictures, 20 tables, 22 formulas, 54 bibliographical entries.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	8
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	9
SANTRUMPOS	12
ĮVADAS.....	13
1. TECHNOLOGINĖS PRIEMONĖS BETONO ŠLAITINĖMS KONSTRUKCIJOMS ĮRENGTI... 14	
1.1. Sluoksnių betonavimas traukiant vibravimo siją.....	15
1.2. Ištinio sluoksnio betonavimas naudojant slankųjį klojinį.....	16
1.3. Nuožulniųjų sluoksnių betonavimas naudojant surenkamuosius pakeliamuosius klojinius	17
1.4. Šlaitinių konstrukcijų įrengimo technologijos ir mechnizmai.....	18
1.4.1. Kanalų įrengimas	18
1.4.2. Šlaitinių betoninių stogų įrengimas	19
1.4.3. Gelžbetoninio dumblo pūdytūvo įrengimas.....	20
2. VEIKSNIAI ĮTAKOJANTYS BETONO MIŠINIO PASTOVUMĄ ANT NUOŽULNIOS PLOKŠTUMOS	22
2.1. Nuožulnios plokštumos posvyrio kampo kitimas.....	22
2.2. Taikomos betono mišinio klojimo ir tankinimo technologijos.....	31
2.3. Betono mišinio sudedamųjų dalių įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos.....	34
2.3.1. Rišamosios medžiagos.	34
2.3.2. Betonų priedai, jų poveikis ir taikymas.	36
2.3.3. Betono užpildų granulometrija ir jų įtaka betono savybėms	39
2.3.4. Plaušo įtaka betono savybėms	42
3. KLOJINIŲ SKYDŲ PAVIRŠIAUS ĮTAKA MIŠINIO PASTOVUMUI ANT NUOŽULNIOS PLOKŠTUMOS	43
3.1. Klojinių tepalai	43
3.2. Skydų paviršiaus sankibumą didinančios primonės	44
3.3. Ribotuvai	45
4. TIRIAMOJI DALIS	47
4.1. Naudotos medžiagos.....	47
4.1.1. Cementas.....	47
4.1.2. Smulkusis užpildas.....	47
4.1.3. Stambusis užpildas.....	47
4.1.4. Betono mišinio įmaišos.....	48
4.1.5. Klojinių tepalas	49
4.1.6. Klojinio paviršiaus sankabumą su mišiniu didinančios medžiagos.....	49

4.2. Tyrimų metodika	50
4.2.1. Cemento tešlos ir betono mišinio ruošimas	50
4.2.2. Cemento tešlos ir betono mišinio technologinių savybių nustatymas	51
4.2.3. Cemento tešlos ir betono mišinio elgsenos ant nuožulnios plokštumos parametrų nustatymas	53
5. TYRIMŲ REZULTATAI	55
5.1. Cemento tešlos pastovumas ant nuožulnios plokštumos	55
5.2. Stambaus užpildo kiekio įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos	56
5.3. Polipropileno plaušo kiekio įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos.....	65
5.4 Klojinio paviršiaus sankibumo įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos.....	71
IŠVADOS.....	78
LITERATŪRA.....	79

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Šlaitinių konstrukcijų betonavimo technologijų ir pagrindinių etapų schema.....	14
2 lentelė. Tirtų betono mišinių sudėtys.....	25
3 lentelė. Betono įmaišų klasifikacija.....	39
4 lentelė. Plastifikuojančių betono įmaišų poveikis betono mišiniams ir betonams.....	36
5 lentelė. Hidrofobiniai klojinių tepalai ir jų sudėtys.....	45
6 lentelė. Portlandcemenčio CEM I 42,5 R fizikinės, mechaninės savybės bei cheminė sudėtis.....	48
7 lentelė. Smulkiojo ir stambiojo užpildų granulimetrinė sudėtis.....	43
8 lentelė. Betono įmaišos techniniai duomenys.....	49
9 lentelė. Plaušo techniniai duomenys.....	49
10 lentelė. Klojinių tepalo techniniai duomenys.....	50
11 lentelė. Guttabeta drenažinės membranos techniniai duomenys.....	50
12 lentelė. Geoproma geotekstilės techniniai duomenys.....	50
13 lentelė. Cemento tešlos sudėtis.....	56
14 lentelė. Cemento tešlos technologinės savybės.....	56
15 lentelė. Cemento tešlos pastovumo ant nuožulnios plokštumos vertinimas.....	57
16 lentelė. Betono mišinio sudėtys BT1-0 – BT-6.....	58
17 lentelė. Betono mišinių ribinių ir pradinių šlyties įtempių palyginimas.....	64
18 lentelė. Betono mišinio sudėtys BT1-2-1 – BT1-2-3.....	66
19 lentelė. Betono mišinių ribinių ir pradinių šlyties įtempių palyginimas.....	70
20 lentelė. Betono mišinių BT1-3 – BT1-5 technologinės savybės ir ribiniai šlyties įtempiai	73

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Šlaito betonavimas traukiant vibravimo siją	15
2 pav. Šlaito betonavimas traukiant vibravimo siją, pjūvis	16
3 pav. Šlaito betonavimas slankiuoju klojiniu	17
4 pav. Surenkamųjų skydinių klojinių panaudojimas administracinio pastato Vilniuje, Konstitucijos pr. 29 nuožulnios perdangos įrengimui	18
5 pav. Kanalo kasimo vaizdas.....	18
6 pav. Kanalo dugno ir šlaitų betonavimas, naudojant GOMACO specialiąją techniką.....	19
7 pav. Surenkamojo gelžbetonio šlaitinės konstrukcijos, kurios vėliau bus užmonolitinamos	19
8 pav. Šlaitinio stogo betonavimo procesas	19
9 pav. Šlaitinio stogo armavimo procesas	20
10 pav. Šlaitinio stogo su monolitinio betono sluoksniu konstrukcijos vaizdas	20
11 pav. Gelžbetoninio dumblo pūdytuvo įrengimo technologinė schema.....	20
12 pav. Dumblo pūdytuvo įrengimo procesas	21
13 pav. Ant nuožulnios plokštumos esantį mišinį veikiančios jėgos.....	22
14 pav. Betono mišinio slankumo rodiklio ryšys su ribiniais šlyties įtempiais.....	24
15 pav. Slankumo nuo ribinių šlyties įtempių τ_0 (pagrindinė iliustracija) bei plastinės klampos μ (nepagrindinė iliustracija) priklausomybės	26
16 pav. Apibendrinta priklausomybė tarp slankumo ir ribinių šlyties įtempių τ_0 , esant skirtingoms mišinio sudėtims (žr. 2 lent.). Maža iliustracija rodo palyginimą tarp išmatuoto ir suskaičiuoto slankumo pagal lygtį	26
17 pav. Laisvojo kūno schema, kai kūnas „m“ yra padėtas ant nuožulnios plokštumos, kurios posvyrio kampas „ θ “	29
18 pav. Schema, vaizduojanti cemento tešlos judėjimą ant nuožulnios plokštumos, kai plokštumos kritinis kampas „ θ “.....	29
19 pav. Nuožulnios plokštumos su tam tikru nuolydžio kampu bandymo schema.....	30
20 pav. Nuožulnios plokštumos bandyme naudojamo cilindro vaizdas.....	30
21 pav. Nuožulnios plokštumos bandymo stendo vaizdas	31
22 pav. Betono mišinio tankinimui naudojamos priemonės.....	33
23 pav. Technologinės tankinimo giluminiais vibratoriais schemas: a – teisinga, b – neteisinga	34
24 pav. Šviežio betono modelis	35
25. pav. Betono mišinio sudedamųjų dalių kitimo įtaka Binghamo konstantoms.....	37
26 pav. Užpildų dalelių formos bei smėlio kiekio įtaka ribiniams šlyties įtempiams ir plastinei klampai.....	41
27 pav. Betono mišinio tekėjimą ant nuožulnios plokštumos stabdančių ribotuvų panaudojimas, administracinio pastato Vilniuje, Konstitucijos pr. 29 nuožulnios perdangos įrengimui	46
28 pav. Betono mišinio tekėjimo ribotuvų panaudojimas autostrados šlaito įrengimui.....	47

29 pav. Klojinio paviršiaus sankabumą su mišiniu didinančios medžiagos	51
30 pav. Įprasto betono mišinio sudėties modifikavimo atskiromis sudedamosiomis dalimis eiga, vertinant mišinio elgseną ant nuožulnios plokštumos.....	52
31 pav. Oro kiekio betono mišinyje nustatymo slėgio metodu prietaisais	53
32 pav. Betono mišinio slankumo matavimas	54
33 pav. Bandymo stendas cemento tešlos ir betono mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos vertinti	55
34 pav. Cemento tešlos sklidumo bandymas Suttardo viskozimetru.....	56
35 pav. Cemento tešlos pastovumas ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos.....	57
36 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka oro kiekio kitimui	58
37 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka mišinio tankio kitimui	59
38 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka mišinio slankumo kitimui.....	59
39 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka ribiniams šlyties įtempiams	60
40 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-0 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,22	60
41 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-1 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,32	61
42 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,37	62
43 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-3 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,42	62
44 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-4 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,47	61
45 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-5 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,52	63
46 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-6 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,62	63
47 pav. Tekėjimo greičio palyginimas prie skirtingo plokštumos posvyrio kampo, kuomet didinamas 4/16 frakcijos žvirgždo kiekis bendrame užpildų mišinyje.....	64
48 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka tekėjimo greičiui esant plokštumos posvyrio kampui 25°, 35° ir 45°	65
49 pav. Betono mišinio pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas.....	66
50 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka į betono mišinį įtraukto oro kiekio kitimui	67

51 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka betono mišinio tankio kitimui	67
52 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka betono mišinio slankumo kitimui.....	68
53 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka betono mišinio ribiniams šlyties įtempiams.....	68
54 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2-1 polipropileno plaušo kiekis - 0,25 kg.....	69
55 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2-2 polipropileno plaušo kiekis - 0,50 kg.....	69
56 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2-3 polipropileno plaušo kiekis - 1,00 kg.....	70
57 pav. Tekėjimo greičio palyginimas prie skirtingo plokštumos posvyrio kampo didinant polipropileno plaušo kiekį betono mišinyje	71
58 pav. Polipropileno plaušo kiekio didinimo įtaka tekėjimo greičiui, esant plokštumos posvyrio kampui 25°,35° ir 45°.....	71
59 pav. Betono mišinio su polipropileno plaušu pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas	72
60 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-3 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,42. Sankabumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama drenažinė membrana (GUTA)	73
61 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-5 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,52. Sankabumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama drenažinė membrana (GUTA)	74
62 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-3 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,42. Sankabumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama geotekstilė.....	75
63 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-5 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,52. Sankabumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama geotekstilė.....	75
64 pav. Tekėjimo greičio palyginimas prie skirtingo plokštumos posvyrio kampo, kuomet naudojamos sankabumą su mišiniu didinčios priemonės	76
65 pav. Sankabumą su mišiniu didinčių priemonių įtaka tekėjimo greičiui, esant plokštumos posvyrio kampui 25°,35° ir 45°.....	76
66 pav. Betono mišinio pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas, kai mišinio sankabumo su klojinio skydo padidinimui nudojama drenažinė membrana	78
67 pav. Betono mišinio pastovumas ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos, kai ploštumos sankabumui padidinti naudojama geotekstilė.....	78

SANTRUMPOS

Pvz.: – pavyzdžiui;

pav. – paveikslas;

pan. – panašiai;

t.y. – tai yra;

m – metras;

cm – centimetras;

mm – milimetras;

proc., % – procentai;

kg – kilogramas;

g – gramas;

°C – Celsijaus laipsnis;

Pa – Paskalis;

kPa – kilopaskalis;

MPa – megapaskalis;

val. – valanda;

m.d. – masės dalis;

l – litras;

ml – mililitras;

s – sekundė;

τ_0 – ribiniai šlyties įtempiai;

μ_0 – trinties koeficientas;

v/c – vandens ir cemento santykis.

IVADAS

Šiuolaikinėse statybose yra paplitusios šlaitinio tipo konstrukcijos, kurių įrengimui taikomos skirtingos betonavimo technologijos. Tai įvairių tipų arkinės, nuožulniosios ir kupolinės konstrukcijos, rezervuarai bei kitokio tipo talpyklos su nuožulniomis sienelėmis, kanalų šlaitai ir kita. Betonuojant nuožulniąsias konstrukcijas, betono mišinio klojumas turi būti parenkamas ne tik pagal betono mišinio tankinimo būdą, bet ir pagal betonuojamos konstrukcijos matmenis ir armatūros kiekį konstrukcijoje (armavimo laipsnį). Šlaitinio tipo konstrukcijų betonavimo metu turi būti parinktos tokios betono mišinio reologinės charakteristikos, kurios leistų naudoti tam atvejui tinkamą betonavimo technologiją, o pats betono mišinys būtų kokybiškai paklotas, sutankintas ir neslinktų nuožulnia plokštuma žemyn.

Tam, kad betono mišinys išlaikytų pastovumą ant tam tikru kampu α pasvirusios nuožulnios plokštumos, viena iš reologinių charakteristikų – ribiniai šlyties įtempiai turi būti ne mažesni už tam tikrą dydį. Ribinius šlyties įtempius galima suskaičiuoti išanalizavus betono mišinį veikiančias jėgas ir susidarančius jame šlyties įtempius, priklausomai nuo plokštumos posvyrio kampo. Ar betono mišinys išlaikys pastovumą ant nuožulnios plokštumos ir neslinks ja, apsprendžia trinties koeficientas $t\alpha$, kuris pasireiškia dėl trinties tarp betono mišinio ir pagrindo. Manoma, jog betono mišinys neslinks žemyn nuožulnia plokštuma, tai yra išlaikys pastovumą ant nuožulnios plokštumos, jeigu trinties koeficientas tarp betono mišinio ir pagrindo bus didesnis už μ_0 .

Tiriamąjame dalyje kontroliniu betono mišiniu buvo pasirinkta betono mišinio sudėtis, kuri buvo naudota K29 komercinės paskirties pastato Konstitucijos pr. 29, Vilniuje, šlaitinės perdangos įrengimui. Keičiant kontrolinės betono mišinio sudėties sudedamąsias dalis buvo vertinama, kaip stambaus užpildo kitimas bendrame užpildų mišinyje įtakojo mišinio stabilumą ant nuožulnios plokštumos.

Tyrimo objektas – šlaitinės konstrukcijos betonavimo technologija.

Darbo tikslas – atlikti betono šlaitinių konstrukcijų įrengimo technologijų analizę ir nustatyti užpildų granulometrijos įtaką mišinio stabilumui ant nuožulnios plokštumos.

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgti betono šlaitinių konstrukcijų įrengimo technologijas ir šioje srityje atliktus mokslinius tyrimus;
- Įvertinti stambaus užpildo kiekio bendrame užpildų mišinyje bei polipropileno plaušo įtaką betono mišinio ribiniams šlyties įtempiams ir tekėjimo greičiui, kai nuožulnios plokštumos posvyrio kampas yra 25° , 35° ir 45° .
- Įvertinti mišinio sankabumą su klojinio skydų didinančių priemonių įtaką mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos, kai plokštumos posvyrio kampas yra 25° , 35° ir 45° .

1. TECHNOLOGINĖS PRIEMONĖS BETONO ŠLAITINĖMS KONSTRUKCIJOMS ĮRENGTI

Dažniausiai naudojami šlaitinių konstrukcijų betonavimo būdai yra šie [1]:

- suoksnių betonavimas traukiant vibravimo siją;
- ištisinio sluoksnio betonavimas naudojant slankųjį klojinį;
- nuožulniųjų sluoksnių betonavimas naudojant surenkamus pakeliamus klojinius.

Šlaitinių konstrukcijų betonavimo technologijų ir pagrindinių etapų schema pateikta 1 lentelėje [1].

1 lentelė. Šlaitinių konstrukcijų betonavimo technologijų ir pagrindinių etapų schema[1]:

Šlaitinių konstrukcijų betonavimo technologijos		
1. Sluoksnių betonavimas traukiant vibravimo siją	2. Ištisinio sluoksnio betonavimas naudojant slankųjį klojinį	3. Nuožulniųjų sluoksnių betonavimas naudojant surenkamuosius pakeliamuosius klojinius
Pagrindiniai etapai		
1.1. Nuožulniosios plokštumos suskirstymas į segmentus	2.1. Betonuojamos plokštumos suskirstymas į ruožus pagal slankiojo klojinio plotį	3.1. Klojinių fragmento surinkimas ir betonavimo sluoksnio storio nustatymas
1.2. Sluoksnio storio nustatymas	2.2. Slankiojo klojinio lyginančiosios plieninės plokštės apkrovimas	3.2. Betono mišinio klojimas ir tankinimas
1.3. Vibravimo sijos traukimas įstrižai	2.3. Betono mišinio klojimas ir tankinimas slankiojo klojinio viršutinėje dalyje	3.3. Kito klojinių fragmento prijungimas
1.4. Pakartotinas tankinimas vibracine sija		3.4. Betono mišinio klojimas ir sutankinimas

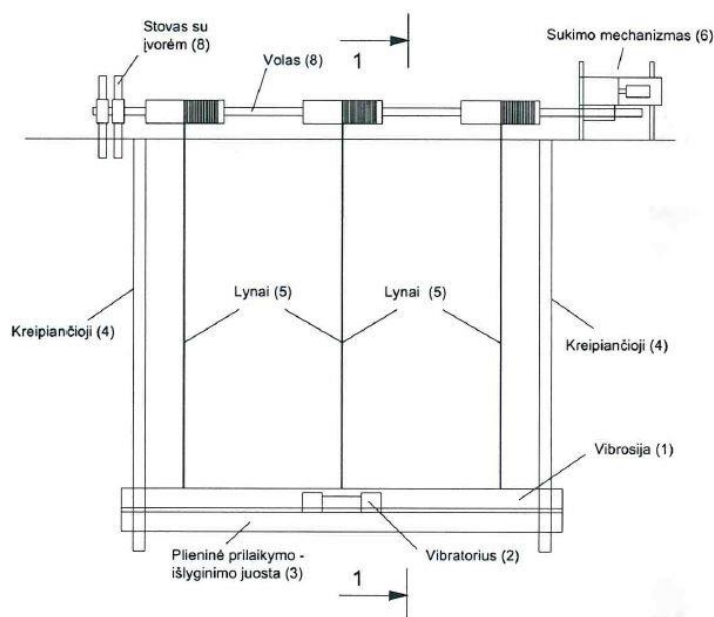
1.1. Sluoksnių betonavimas traukiant vibravimo siją

Šlaitinių konstrukcijų sluoksnių betonavimas traukiant vibracinę siją susideda iš atskirų etapų [1]:

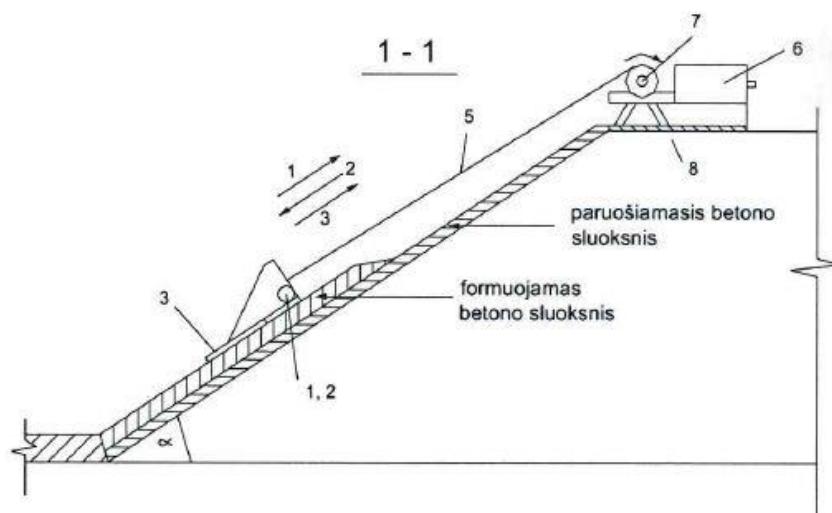
- 1) nuožulniosios plokštumos suskirstymas į segmentus;
- 2) sluoksnio storio nustatymas;
- 3) vibravimo sijos traukimas įstrižai;
- 4) pakartotinas tankinimas vibracine sija.

Prieš atliekant pagrindinio betono sluoksnio betonavimą, įrengiamas paruošiamasis betono sluoksnis. Formuojamasis pagrindinis betono sluoksnis yra klojamas dar neprasidėjus intensyviai kietėti apatiniam anksčiau suformuotam sluoksniui. Į šlaitinę konstrukciją siją traukia specialus prietaisas. Jį sudaro:

- 1) vibracinė sija – tankina betoną;
- 2) vibratorius – sukelia sijos virpesius;
- 3) plieninė prilaikymo – išlyginimo juosta – prilaiko siją ir užtikrina betono sluoksnio storio tolygumą;
- 4) kreipiančiosios – ant jų slenka vibracinė sija, jų išdėstymas priklauso nuo vibrosijos pločio;
- 5) lynai – tempia vibracinę siją;
- 6) sukimo mechanizmas – suka volą ir tempia lyną;
- 7) volas – sukasi ir vynioja ant savo ašies lyną;
- 8) stovas su įvorėm – užtikrina sukimo mechanizmo stabilumą.



1 pav. Šlaito betonavimas traukiant vibravimo siją [1]



2 pav. Šlaito betonavimas traukiant vibravimo siją, pjūvis [1]

1.2. Ištinio sluoksnio betonavimas naudojant slankųjį klojinį

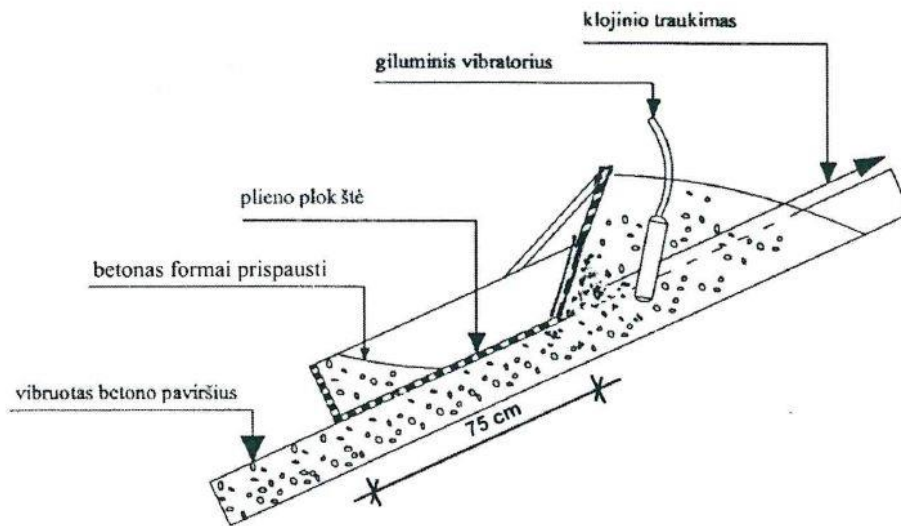
Šlaitinių konstrukcijų ištinio sluoksnio betonavimas naudojant slankųjį klojinį susideda iš atskirų etapų [1]:

- 1) betonuojamos plokštumos suskirstymas į ruožus pagal slankiojo klojinio plotį;
- 2) slankiojo klojinio lyginančiosios plieninės plokštės apkrovimas;
- 3) betono mišinio klojimas ir tankinimas slankiojo klojinio viršutinėje dalyje.

Prieš pradėdant betonuoti konstrukciją slankiuoju klojiniu, ji suskirstoma į ruožus, kurių plotis priklauso nuo slankiojo klojinio pločio. Ruožas turi būti šiek tiek siauresnis, kad slankusis klojinys jį visą sutankintų. Pradedant betonuoti, į slankiojo klojinio lyginančiosios plieninės plokštės viršutiniame paviršiuje esantį lovį pripilama betono mišinio, kad pastarasis prispaustų formą. Betonas pilamas ir tankinamas giluminiu vibratoriumi slankiojo klojinio viršutinėje dalyje ir tuo pat metu klojinys traukiamas aukštyn šlaitu, taip po savęs palikdamas suvibruotą betono paviršių.

Nuožulniosios konstrukcijos betonavimo slankiuoju klojiniu schema pateikta 3 pav. Schemos paaiškinimas:

- vibruotas betono paviršius – jį palieka klojinys po sutankinimo;
- betonas formai prispausti – padeda klojiniui užtikrinti tolygų betono storį;
- plieno plokštė – pagrindinė klojinio konstrukcija, kuri traukiama į šlaitą aukštyn;
- giluminis vibratorius – sutankina betoną prieš klojinį;



3 pav. Šlaito betonavimas slankiuoju klojiniu [1]

1.3. Nuožulniųjų sluoksnių betonavimas naudojant surenkamuosius pakeliamuosius klojinius

Nuožulniųjų sluoksnių betonavimas naudojant surenkamuosius pakeliamuosius klojinius susideda iš atskirų etapų [1]:

- 1) klojinių fragmento surinkimas ir betonavimo sluoksnio storio nustatymas;
- 2) betono mišinio klojimas ir tankinimas;
- 3) kito klojinių fragmento prijungimas;
- 4) betono mišinio klojimas ir sutankinimas.

Klojiniai susideda iš skydų ir specialių laikomųjų prietaisų. Skydai pakeliami iki projektuojamo aukščio ir standžiai atremiami į statramsčius. Tada nustatomas betonuojamojo sluoksnio storis, ir pradedamas betono mišinio klojimas ir tankinimas. Atlikus pirmąjį etapą, toliau prijungiamas kitas klojinių fragmentas ir vėl pradedamas betono mišinio klojimas ir tankinimas.

Surenkamųjų skydinių klojinių panaudojimas administracinio pastato Vilniuje, Konstitucijos pr. 29 nuožulnios perdangos įrengimui pavaizduotas 4 pav.



4 pav. Surenkamųjų skydinių klojinių panaudojimas administracinio pastato Vilniuje, Konstitucijos pr. 29 nuožulnios perdangos įrengimui

Kaip matyti iš 4 paveikslo, nuožulniai gelžbetoninei perdangai įrengti naudoti UAB „PERI“ surenkami skydiniai klojiniai buvo montuojami ant GT tipo sijų taip suformuojant reikiamą perdangos posvyrio kampą.

1.4. Šlaitinių konstrukcijų įrengimo technologijos ir mechnizmai

1.4.1. Kanalų įrengimas

Kanalų kasimui naudojami specialūs mechanizmai (žr. 5 pav.), kurie judėdami išilgai griovio kasa abi būsimos kanalo šlaito puses vienu metu [2].



5 pav. Kanalo kasimo vaizdas [2]

Įrengus griovio iškasą, kanalų šlaitų betonavimui naudojami specialūs betono mišinio klotuvai, pvz. firmos GOMACO (žr. 6 pav.), kurie judėdami pirmyn betonuoja kanalo dugną ir abi šlaito puses vienu metu. Įrengiamo šlaito posvyris, plotis ir aukštis gali būti keičiamas, atsižvelgiant į projekto detales.



6 pav. Kanalo dugno ir šlaitų betonavimas, naudojant GOMACO specialiąją techniką [2]

1.4.2. Šlaitinių betoninių stogų įrengimas

Betoniniai šlaitiniai stogai įrengiami atskiruose regionuose norint apsaugoti nuo gamtinių stichijų, tokių kaip uraganai ar tornadai [3]. Betoninių šlaitinių stogų laikanchiosios konstrukcijos gali būti standartinės, t. y. medinės gegnės, arba iš surenkamo gelžbetonio, kaip pavaizduota 7 paveiksle. Taip pat gali būti naudojama ir mišri konstrukcija – ir medinės gegnės, ir surenkamos gelžbetonio konstrukcijos (žr. 8 pav.).



7 pav. Surenkamojo gelžbetonio šlaitinės konstrukcijos, kurios vėliau bus užmonolitinamos [3]



8 pav. Šlaitinio stogo betonavimo procesas [3]

Kai laikanchiosios konstrukcijos yra surenkamosios, ant jų tiesiogiai arba po apšiltinimo įrengimo klojamas reikiamas betono mišinio sluoksnis (8 pav.).



9 pav. Šlaitinio stogo armavimo procesas [3]

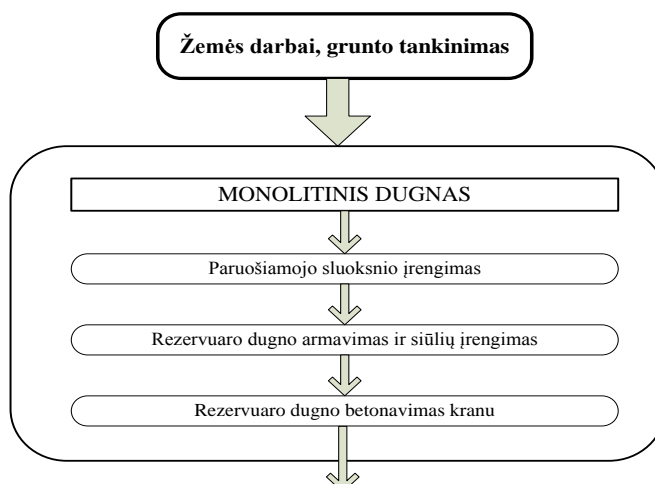


10 pav. Šlaitinio stogo su monolitinio betono sluoksniu konstrukcijos vaizdas [3]

Kaip ir daugelis kitų betono monolitinių konstrukcijų, stogai gali būti ir armuojami. Stogo armavimo procesas pavaizduotas 9 paveiksle. Įrengiant apsauginius nuo gamtos stichijų stogus, jų tvirtumo užtikrinimui, stogo armatūra gali būti sujungta su sienoje esančia armatūra, taip užtikrinant vientisą monolitinio betono sienos – stogo konstrukciją. Šlaitinio stogo su monolitinio betono sluoksniu konstrukcijos vaizdas pateiktas 10 paveiksle.

1.4.3. Gelžbetoninio dumblo pūdytuvo įrengimas

Monolitinio dumblo pūdytuvo dugnas – nupjautinio kūgio formos. Didesniojo nupjautinio kūgio apskritimo skersmuo gali siekti 15,39 m., o mažesniojo – 2 m. Rezervuaro dugno altitudė gali siekti 5,750. Gelžbetoninio dumblo pūdytuvo įrengimo technologinė schema pavaizduota 11 paveiksle.



11 pav. Gelžbetoninio dumblo pūdytuvo įrengimo technologinė schema [4].

Monolitinis rezervuaro dugnas yra įrengiamas ant paruošto pagrindo, išlyginto ir sutankinto paruošto smėlio sluoksnio. Rezervuaro dugnas įrengiamas iš dviejų sluoksnių. Iš pradžių, betonuojamas 100 mm storio paruošiamasis sluoksnis, o šiam pasiekus reikiamą betono stiprį (25 proc. projektinio stiprio) yra įrengiamas hidroizoliacijos sluoksnis. Po to betonuojamas 30 mm storio apsauginis betono sluoksnis, naudojant C12/15 gniuždymo stiprio klasės betoną.

Apatino tinklo pado armatūra pradedama rišti, kai apsauginis betono sluoksnis pasiekia projekcinį stiprį. Ji surišama ir fiksuojama 1 cm aukščiau apsauginio sluoksnio. Armatūrinis tinklas užtikrinamas plastmasiniais UNR (ar kito) tipo fikساتoriais. Plastmasiniai fikساتoriai lieka konstrukcijoje. Armatūros tinklai surenkami iš atskirų armatūros strypų, kurie surišami minkšta iškaitinta viela. Pagrindinis armavimo surištais tinklais reikalavimas – užtikrinti projekcinę nurodytą padėtį, tai yra, kad ji nekistų, kol betonas sukietės. Dugno armavimas yra ištisinis, o tarp segmentų įrengiamos vandeniui nelaidžios siūlės.

Kiekvienam betonavimo ciklui surenkami lenkti skydai iš PERI GRV sistemos elementų, kurie sujungti sudaro kūgio formos konstrukciją. Kiekvieno betonavimo ciklo klojiniai yra unikalūs dėl skirtingų spindulių ir aukščių, todėl skirtingiems etapams gaminami skirtingi segmentai. Jie gaminami PERI gamybinėje aikštelėje ir pristatomi į objektą. Užsakovas juos sumontuoja į bendrą konstrukciją. Prieš naudojimą klojiniai nutepami specialiu tepalu. Klojinių montavimui naudojamas kranas (12 pav.).

Dėl didelių kūgio matmenų (spindulio ir aukščio) jo betonavimas suskirstytas į ciklus. 12 paveiksle pavaizduotas šlaitinio rezervuaro dugno betonavimas naudojant betono siurblių.



Dumblo pūdytuvo armavimo procesas



Peri GVR klojinių skydų montavimas dumblo pūdytuvo dugno betonavimui



Dumblo pūdytuvo dugno betonavimo vaizdas



Išbetonuoto dumblo pūdytuvo dugno dengimas polietileno plėvele

12 pav. Dumblo pūdytuvo įrengimo procesas [4]

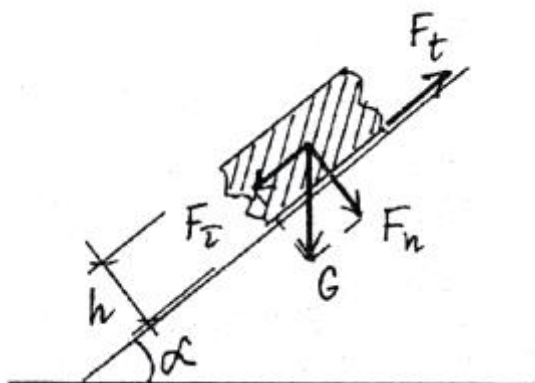
2. VEIKSNIAI ĮTAKOJANTYS BETONO MIŠINIO PASTOVUMĄ ANT NUOŽULNIOS PLOKŠTUMOS

2.1. Nuožulnios plokštumos posvyrio kampo kitimas

Ant nuožulnios plokštumos esantį mišinį veikiančios jėgos

Betonuojant šlaitines konstrukcijas, tokias kaip rezervuarų sienelės, perdangos, krantinės, kanalai ir kt., betono mišinio klojimas turi būti parenkamas ne tik pagal betono mišinio tankinimo būdą, bet ir pagal betonuojamos konstrukcijos matmenis ir armatūros kiekį duotoje konstrukcijoje. Betono mišinio reologinės charakteristikos turi būti tokios, kad betono mišinys po suklojimo ir sutankinimo išlaikytų pastovumą, t.y. neslinktų nuožulnia plokštuma žemyn.

Pagal autorių [5], kad betono mišinys išlaikytų pastovumą ant tam tikru kampu α pasvirusios plokštumos, jo viena iš reologinių charakteristikų – ribiniai šlyties įtempiai, turi būti ne mažesni už tam tikrą dydį. Šiuos ribinius šlyties įtempius galima suskaičiuoti išanalizavus betono mišinį veikiančias jėgas ir susidarančius jame šlyties įtempius, priklausomai nuo plokštumos posvyrio kampo.



13 pav. Ant nuožulnios plokštumos esantį mišinį veikiančios jėgos [5]

Betono mišinį veikia sunkio jėga G , kurios dydis yra:

$$G = m \cdot g = a \cdot b \cdot h \cdot \rho_{bm} \cdot g, \quad (1)$$

čia: m - betono mišinio masė, g - laisvojo kritimo pagreitis ($=9.81 \text{ m/s}^2$), a , b , h - betono mišinio masyvo matmenys, ρ_{bm} - betono mišinio tankis (g/cm^3).

Išskaidę sunkio jėgą į normalinę ir tangentinę dedamąsias pagrindo atžvilgiu, gauname:

$$F_n = G \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

$$F_\tau = G \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

Trinties jėga tarp betono mišinio ir pagrindo F_t lygi:

$$F_{\tau} = F_n \cdot \mu_0 = G \cdot \cos\alpha \cdot \mu_0, \quad (4)$$

čia: μ_0 trinties koeficientas tarp betono mišinio ir pagrindo.

Norint, kad betono mišinys neslinktų nuožulnios plokštumos pagrindu, turi būti patenkinta sąlyga:

$$F_t \geq F_{\tau} \geq G \cdot \sin\alpha, \quad (5)$$

$$G \cdot \cos\alpha \cdot \mu_0 \geq G \cdot \sin\alpha, \quad (6)$$

$$\mu_0 \geq \frac{G \cdot \sin\alpha}{G \cdot \cos\alpha} \geq \operatorname{tg}\alpha, \quad (7)$$

Betono mišinys sukibs su pagrindu ir neslinks žemyn nuožulnia plokštuma, jeigu trinties koeficientas tarp betono mišinio ir pagrindo bus didesnis už $\operatorname{tg}\alpha$. Trinties koeficientą tarp betono mišinio ir pagrindo galima padidinti ant pagrindo paviršiaus dedant tinklelį.

Šlyties įtempiai τ betono mišinyje susidaro dėl tangentinės sunkio jėgos dedamosios veikimo ir gali būti apskaičiuoti taip:

$$\tau = \frac{F_{\tau}}{ab} = \frac{G \cdot \sin\alpha}{ab} = \frac{a \cdot b \cdot h \cdot \rho_{\text{bm}} \cdot g \cdot \sin\alpha}{ab} = h \cdot \rho_{\text{bm}} g \cdot \sin\alpha, \quad (8)$$

Iš lygybės (8) matome, kad šlyties įtempių, atsirandančių betono mišinyje, dydis priklauso nuo betono mišinio sluoksnio storio h ir nuožulnios plokštumos polinkio kampo α . Betono mišinys bus pastovus ant nuožulnios plokštumos jeigu jo ribiniai šlyties įtempiai τ_0 bus didesni už betono mišinyje atsirandančius šlyties įtempius τ :

$$\tau_0 \geq \tau, \text{ arba} \quad (9)$$

$$\tau_0 \geq h \cdot \rho_{\text{bm}} \cdot g \cdot \sin\alpha \quad (10)$$

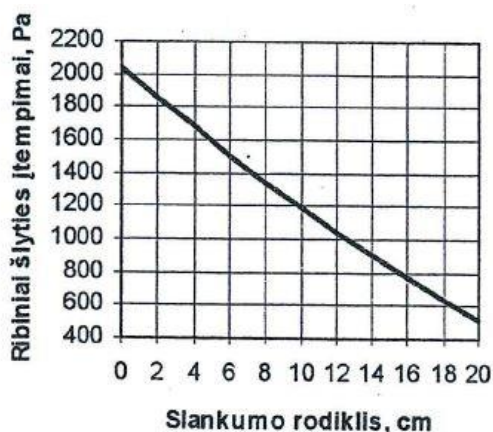
Iš lygybės (10) galima apskaičiuoti betono mišinio ribinius šlyties įtempimus τ_0 , kuriems esant betono mišinys bus pastovus ant nuožulnios plokštumos.

Betono mišinio ribiniai šlyties įtempiai τ_0 susiję su jo slankumo rodikliu SL tokia priklausomybe [5]:

$$\tau_0 = \frac{0,00815 \cdot \rho_{\text{bm}}}{\left(\sqrt{\frac{0,498}{30 - SL}} - 0,001724 - 0,024\right)^2} \quad (11)$$

čia: SL - betono mišinio slankumo rodiklis, cm.

Naudojantis pagal šią priklausomybę sudarytu grafiku (14 pav.) galima surasti skirtingo slankumo betono mišinio ribinius šlyties įtempius.



14 pav. Betono mišinio slankumo rodiklio ryšys su ribiniais šlyties įtempiais [5]

Žinant reikiamus betono mišinio ribinius šlyties įtempius, iš 14 paveikslo, galima surasti koks turi būti betono mišinio slankumo rodiklis, kad tas mišinys būtų pastovus ant nuožulnios plokštumos. Reikiamas betono mišinio slankumo rodiklis priklauso nuo betono mišinio sluoksnio storio ir nuožulnios plokštumos posvyrio kampo.

Autorius [6] analizuoja ryšį tarp betono mišinio slankumo ir ribinių šlyties įtempių, kuomet kinta betono mišinio sudedamosios dalys. Betono mišinio reologinių savybių nustatymui naudojamas BML viskozimetras su C-200 sistema. Jį sudaro išorinis (spindulys $R_0=0,145$ m) cilindras, kuris sukasi nustatytu sukimosi dažniu, o vidinis cilindras (spindulys $R_i=0,100$ m ir aukštis $h=0,199$ m) yra stacionarus ir matuoja sukimo momentą T . Matuojant sukimo momentą T , prie skirtingo sukimosi dažnio, brėžiamas ištisinis reikšmių grafikas. Iš susikirtimo taško su ordinačių ašimi, ribiniai šlyties įtempiai gali būti apskaičiuojami pagal šią lygtį:

$$\tau_0 = \frac{G\left(\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_0^2}\right)}{4\pi h \ln\left(\frac{R_0}{R_i}\right)} \quad (12)$$

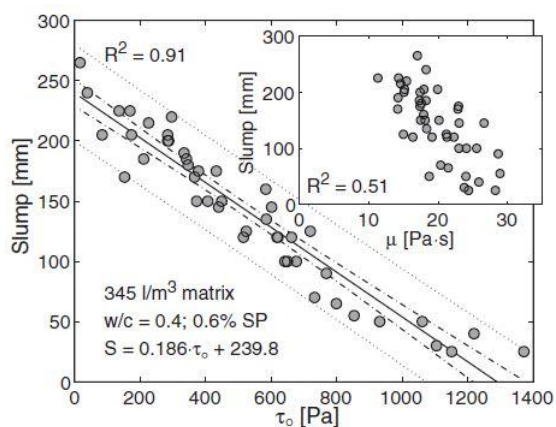
Ši lygtis paremta Reiner-Riwlin lygtimi [6]. G reikšmė priklauso ne tik nuo reologinių savybių, bet ir nuo naudojamo viskozimetro parametrų (R_i, R_0 ir h). Šios lygties tikslas yra eliminuoti viskozimetro parametrų įtaką matavimo rezultatams, kad liktų tik esminė betono mišinio tekėjimo savybė – ribiniai šlyties įtempiai.

Autoriai [7] slankumo ir ribinių šlyties įtempių sąryšio nustatymui tyrė tris betono mišinio sudėtis, esant skirtingoms užpildų, cemento ir betono įmaišos proporcijoms (2 lentelė).

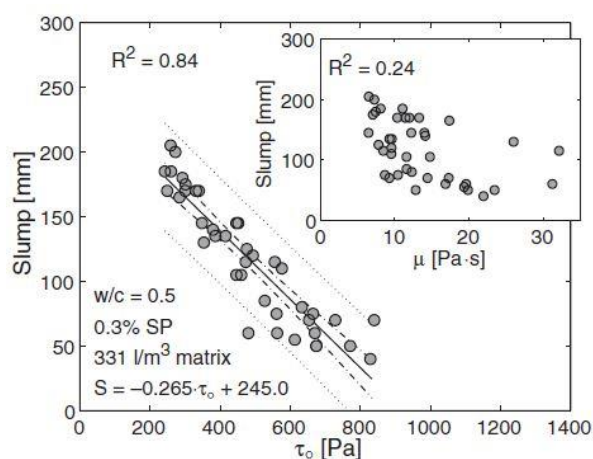
2 lentelė. Tirtų betono mišinių sudėtys [7]

v/c	Matrica V_m (l/m^3)	Cementas (kg)	Superplastiklis (%)	Užpildas (kg)	Mišinio tankis (kg/m^3)
0,4	345	442	0,6	1762	2396
0,5	331	371	0,3	1802	2372
0,6	321	320	0,1	1829	2354

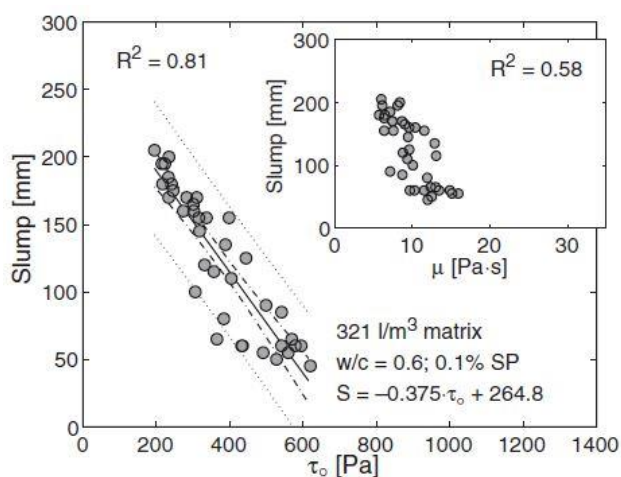
Tirtų betono mišinių sąryšis tarp slankumo S ir ribinių šlyties įtempių τ_o pavaizduotas 15 paveiksle. Rezultatai pateikti pagal užpildo kiekį matricoje V_m (2 lentelė). Kiekviename paveiksle, pagrindinė iliustracija rodo sąryšį tarp slankumo S ir ribinių šlyties įtempių τ_o . Kiekvienoje pagrindinėje iliustracijoje brūkšninė – taškinė linija rodo 95% patikimumo intervalą, kad žemyn besileidžiančios tiesės $S = a \cdot \tau_o + b$ funkcija patenka į ribas tarp dviejų brūkšninių – taškinių linijų, t.y. su 95% tikimybe, kad kitas matavimas pateks į šias ribas.



Matricos kiekis 345 litrai $1m^3$ betono mišinio



Matricos kiekis 331 litras $1m^3$ betono mišinio

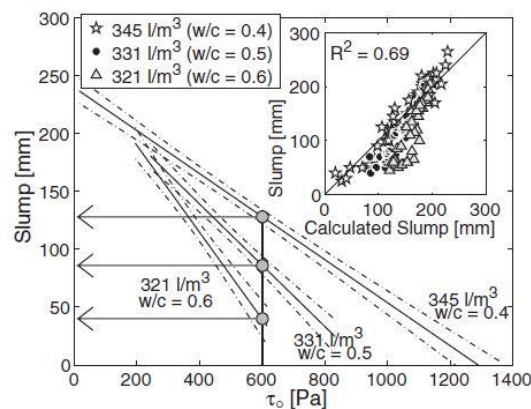


Matricos kiekis 321 litras $1m^3$ betono mišinio

15 pav. Slankumo ir ribinių šlyties įtempių τ_o (pagrindinė iliustracija) bei plastinės klamos μ (nepagrindinė iliustracija) priklausomybės [7]

Kiekvienoje pagrindinėje iliustracijoje, pateiktoje 15 paveiksle, matoma tiesinė duomenų regresija, kuri pažymėta ištisine linija. Matoma, jog prie didesnių mišinio slankumo reikšmių, ribinių

šlyties įtempių reikšmės gaunamos mažesnės. Šios vientisos linijos ir atitinkami patikimumo intervalai yra sujungti į apibendrintą grafiką, pateiktą 16 paveiksle. Šiame paveikslėlyje galima aiškiai matyti, kad skirtingas smulkiosios frakcijos kiekis matricoje įtakoja slankumo S ir ribinių šlyties įtempių τ_0 priklausomybėms. Pavyzdžiui, ribiniai šlyties įtempiai $\tau_0 = 600$ Pa atitinka 130 mm slankumą, kai $V_m = 345 \text{ l/m}^3$ ($v/c = 0,4$); slankumą $S = 90$ mm, kai $V_m = 331 \text{ l/m}^3$ ($v/c = 0,5$) ir slankumą $S = 40$ mm, kai $V_m = 321 \text{ l/m}^3$ ($v/c = 0,6$). Tai parodo 16 paveiksle pateiktos rodyklės. Maža iliustracija viršutiniame dešiniajame kampe (16 paveikslas) rodo palyginimą tarp suskaičiuoto ir išmatuoto slankumo pagal lygtį (12). Dauguma duomenų taškų yra išsidėstę žemiau santykio linijos (labiausiai taikoma $V_m = 321 \text{ l/m}^3$ ir $V_m = 331 \text{ l/m}^3$ betono mišinio partijoms).



16 pav. Apibendrinta priklausomybė tarp slankumo ir ribinių šlyties įtempių τ_0 , esant skirtingoms mišinio sudėtims (žr. 2 lent.). Maža iliustracija rodo palyginimą tarp išmatuoto ir suskaičiuoto slankumo pagal lygtį [7]

Kaip ir autoriaus Skripkiūno [5] atliktame tyrime, taip ir Wallevik [7] tyrime rašoma, jog betono mišinys nustoja tekėti žemyn, kai pradiniai šlyties įtempiai tampa mažesni už ribinius šlyties įtempius τ_0 . Autorius [7] taip pat išskiria stiprų ryšį tarp ribinių šlyties įtempių τ_0 ir slankumo S . Straipsnyje pateikiama eksperimentiniais duomenimis paremta lygtis, kuri tiesiogiai susieja slankumą su ribiniais šlyties įtempiais. Šis ryšys nėra naujai atrastas, nes jį jau anksčiau savo publikacijose pasiūlė autoriai Murata J. ir Kukawa H. [8]:

$$\tau_0 = 714 - 473 \log(S/10) \quad (13)$$

Ši lygtis skiriasi nuo G. Skripkiūno pasiūlytos lygties tuo, kad šiuo atveju ribiniai šlyties įtempiai buvo nustatyti naudojant viskozimetą, kurio veikimas pagrįstas besisukančių koaksialinių cilindrų principu. Slankumo matavimo vienetai į lygtį statomi milimetrais. Pagal de Larrard [9] siūlymą, į šią slankumo lygtį (14) turėtų būti įtrauktas ir betono mišinio tankis ρ . Jis teigia, jog slankumo lygčiai turėtų įtakos ir mišinio kiekis $\tau_0/(g \cdot \rho_{sg})$, kur g yra sunkio jėga, o $\rho_{sg} = \rho/\rho_{ref}$ yra specifinis sunkis. Terminas ρ_{ref} yra nurodomas kaip skysčio tankis (vandens, esant $4 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai, tankis yra lygus 1000 kg/m^3).

Savo daktaro disertacijoje autorius Hu [10] pasiūlė ryšį tarp slankumo S ir ribinių šlyties įtempių τ_0 , kur įtraukiama ir tankio reikšmė ρ , kaip parodyta formulėje (14)

$$S = 300 - 270 \left(\frac{\tau_0}{\rho_{sg}} \right) = 300 - 0.27 \left(\frac{\tau_0}{\rho_{sg}} \right) \quad (14)$$

čia: sunkio jėga ($g=9,81 \text{ m/s}^2$) yra įtraukta kaip konstanta.

NIST parengtoje ataskaitoje [11] autoriai Ferraris ir de Larrard pasiūlė lygties (14) modifikaciją, kuri paremta daugeliu eksperimentų, naudojant BTRHEOM viskozimetą. Ši modifikacija pateikta lygtyje (15):

$$S = 300 - 0.347 \left(\frac{\tau_0 - 212}{\rho_{sg}} \right) \quad (15)$$

Savo vadovėlyje de Larrard [11] taiko šią lygtį slankumui, kurio vertės yra virš 100 mm:

$$S = 300 - 0.416 \left(\frac{\tau_0 + 394}{\rho_{sg}} \right) \quad (16)$$

Pakeitimą $\tau_0 + 394$ vietoje $\tau_0 - 212$, kaip parodyta (16) lygtyje jis įveda todėl, kad naudojant skirtingus BTRHEOM ir BML viskozimetrus gaunamos skirtingos ribinių šlyties įtempių reikšmės. Palyginus šiuos du viskozimetrus, paaiškėjo, kad BTRHEOM viskozimetras rodo didesnes ribinių šlyties įtempių reikšmes, lyginant su reikšmėmis, gautomis naudojant BML viskozimetą.

Nuožulnios plokštumos posvyrio kampo ir slankumo priklausomybė

Autoriai [12] nagrinėjo priklausomybę tarp nuožulnios plokštumos posvyrio kampo ir betono mišinio slankumo. Betono mišinio slankumas skiriasi priklausomai nuo šlaito statumo, ant kurio bus klojamas betono mišinys. Kuo statesnis šlaitas, tuo mažesnio slankumo betono mišinys turėtų būti. Reikalavimai mišinio slankumui taip pat priklauso ir nuo to, ar naudojamas lengvasis, ar normalusis betono mišinys. Normaliajam betono mišiniui siūlomos tokios slankumo verčių ribos, atsižvelgiant į posvyrio kampą:

- 1) mažesniai nei 30° šlaitui, slankumas turėtų būti 50 – 100 mm.
- 2) nuo 30° iki 45° šlaitui, slankumas turėtų būti 25 – 76 mm.
- 3) daugiau nei 45° šlaitui, slankumas turėtų būti 15 mm. (Jei betono mišinio sluoksnio storis yra 150 mm arba daugiau, turėtų būti įvertinta, ar nereikia mišinio kloti dviem sluoksniais).

Lengvasis betono mišinys pagal savo technologines savybes pasižymi mažesniu slankumu nei normalusis betono mišinys, dėl lengvesnio užpildų svorio. Ant nuožulnios plokštumos lengvasis

betono mišinys, kurio slankumas 50 mm, išlieka pastovus kaip normalusis betono mišinys, kurio slankumas yra 100 mm. Ši lengvojo betono mišinio savybė yra taikoma tais atvejais, kuomet įrengiant stačius šlaitus reikalingas mažo slankumo betono mišinys.

Nuožulnios plokštumos bandymo metodas

Tekėjimo ant nuožulnios plokštumos įvertinimas yra idealizuotas variantas, kuris aptinkamas gamtoje pasireiškiant tam tikriems procesams (lavina, purvo nuošliaužas, suskystėjimas ir pan.), taip pat aptinkamas ir statybose atliekant betonavimo darbus.

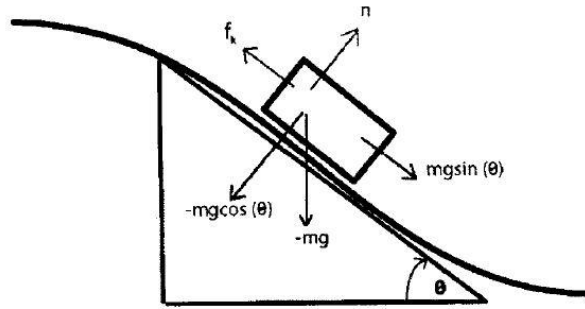
Autorių [13] atliktame tyrime panaudotu nuožulniosios plokštumos bandymo metodu buvo remiamasi ir magistro baigiamajame projekte atliekant tiriamąją dalį. Straipsnyje nagrinėjamas cemento tešlos pastovumas ant skirtingo posvyrio kampo nuožulnios plokštumos, kuomet matuojamas tešlos nueitas kelias bei tešlos judėjimo greitis.

Betono mišinio bandymą ant trijų skirtingo nuolydžio plokštumų taip pat nagrinėjo ir autoriai [13]. Bandymas ant nuožulnios plokštumos susideda iš betono mišinio, supilto į cilindro formos indą, kuris pastatytas ant pasirinkto nuolydžio plokštumos. Indas pakeliamas į viršų ir betono mišinys pradeda tekėti plokštuma žemyn. Didžiausias plokštumos posvyrio kampas α , kuriam esant mišinys pradeda tekėti, naudojamas pradinių šlyties įtempių nustatymui:

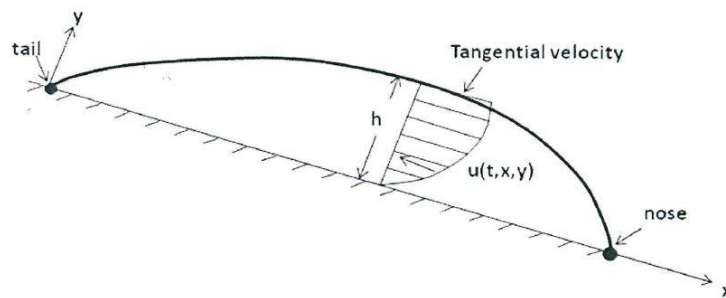
$$\tau_{0\text{prad}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot \sin \alpha \quad (17)$$

čia: ρ - mišinio tankis kg/m^3 , g - laisvojo kritimo pagreitis lygus $9,81 \text{ m/s}^2$, h - charakteristinis nuslinkusio bandinio aukštis.

Autoriaus [14] disertacijoje pateiktas nuožulnios plokštumos bandymas buvo taikomas tiriant susitankinančio betono mišinio pastovumą ant nuožulnios plokštumos. Tekėjimas ant nuožulnios plokštumos aiškinamas kaip „ m “ masės kūnas, padėtas ant nuožulnios plokštumos kampu „ θ “, (žr. 17 pav.), kurį žemyn veikia dvi išorinės jėgos: gravitacijos jėga ($m \cdot g \cdot \sin \theta$) ir trinties jėga (f_k). Jėga, kuri sukelia tekėjimą, yra šių dviejų jėgų skirtumas ($m \cdot g \cdot \sin \theta - f_k$), kur $g \cdot \sin \theta$ yra pagreitis, sukliamas gravitacijos nuožulnios plokštumos kryptimi. Jėga f_k (17 pav.) atsiranda tarp kūno „ m “ apačios ir nuožulnios plokštumos paviršiaus, kai kūnas pradeda slinkti žemyn. Kai naudojama padidinto sankibumo paviršiaus nuožulni plokštuma, kūno slydimas gali ir neįvykti, nes atsiranda šlytis tarp paviršių. Taigi, judančio kūno paslankumas, kai atsiranda šlytis ant tam tikro plokštumos nuolydžio, priklauso tik nuo gravitacijos jėgos ($m \cdot g \cdot \sin \theta$), kuri sukelia judėjimą žemyn.



17 pav. Laisvojo kūno schema, kai kūnas „ m “ yra padėtas ant nuožulnios plokštumos, kurios posvyrio kampas „ θ “ [14]

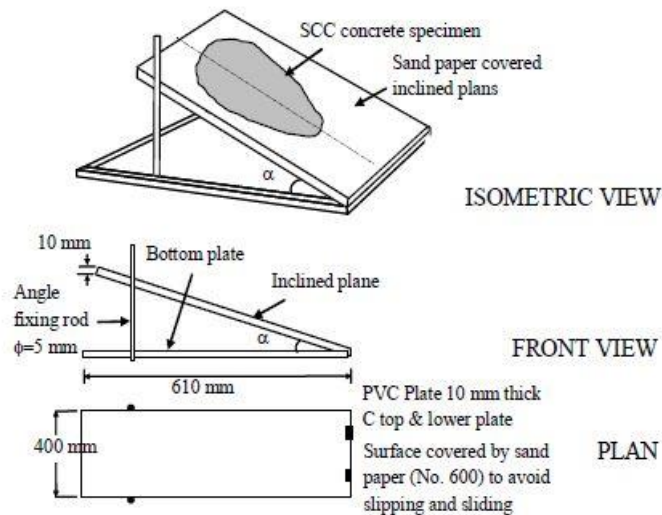


18 pav. Schema, vaizduojanti cemento tešlos judėjimą ant nuožulnios plokštumos, kai plokštumos kritinis kampas „ θ “ [14]

Cemento tešlos (kūno) judėjimas, kai pasireiškia šlytis su tam tikro nuolydžio plokštuma ir efektyvusis aukštis h , atsirandantis dėl gravitacijos sukkelto pagreičio, parodytas 18 paveiksle.

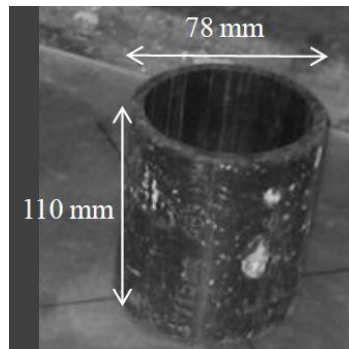
Autorius [14] pateikia tokią nuožulnios plokštumos bandymo eigą:

1. Paruošiamos keturios nuožulnios plokštumos, kurios padengiamos vandeniui atspariais smėliu dengtais popieriais (jie atlieka plokštumos sankibumo didinimo funkciją). Pažymima centro linija, nuo viršaus iki apačios, kad būtų aiškiai matoma bandinio padėjimo vieta ir išmatuojamas jos atstumas (žr. 19 pav).



19 pav. Nuožulnios plokštumos su tam tikru nuolydžio kampu bandymo schema [14]

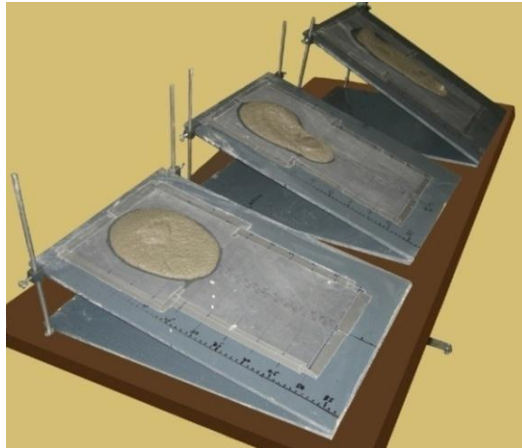
2. Lengvai apipurškiamas vandenių smėliu dengtas popierius, kad nesugertų drėgmės iš bandomojo mišinio. Padedamas cilindras (matmenys: skersmuo - 78 mm, aukštis - 110 mm, pavaizduotas 20 paveiksle) ir pripildomas apie 90 mm aukščio cemento tešla, arba apie 110 mm aukščio, jei tiriamas betono mišinys.



20 pav. Nuožulnios plokštumos bandyme naudojamo cilindro vaizdas [14]

3. Cilindras keliamas lėtai į viršų (apie 10 sekundžių), kad mišinys galėtų vienodai tekėti lygiu plokštumos paviršiumi. Cilindras su mišiniu uždengiamas drėgnu audeklu, kad būtų išvengta vandens išgaravimo, kol mišinys bus ramybės būsenoje. Pakartojamas procesas ant likusių kitų stendų.
4. Išmatuojamas bandomojo mišinio tankis.
5. Po pirmojo slankumo matavimo, laiko tarpas, kol bandinys bus ramybės būsenoje gali būti iki 15 minučių. Po to nuimamas drėgnas audeklas, pamatuojamas mišinio slankumas ir charakteristinis aukštis (h), o vidutinė reikšmė skaičiuojama iš penkių suslūgusio bandinio aukščių aplink centrą, esantį įsivaizduojamame apskritime, kurio skersmuo yra pusė suslūgusio bandinio aukščio. Lėtai keliamas pirmoji plokštuma iki to momento, kai mišinys pradeda slinkti (žr. 21 pav.). Įjungiamas laikmatis, užfiksuojamas reguliuojamosios plokštumos varžtas.

6. Matlankio pagalba išmatuojamas posvyrio kampas.
7. Pakartojami 5 ir 6 punktuose aprašyti veiksmai kitais tarpiniais bandymais.



21 pav. Nuožulnios plokštumos bandymo stendo vaizdas [14]

2.2. Taikomos betono mišinio klojimo ir tankinimo technologijos

Autorius [15] savo darbe aprašo betono mišinio klojimo ir tankinimo technologijas. Prieš klojant betoną į monolitinės gelžbetoninės konstrukcijos klojinius, nuo jų nuvalomi nešvarumai, šiukšlės, o nuo armatūros - atšokusios rudys. Vidinis klojinių paviršius ištepamas tepalu, kurio sluoksnio storis ir vietos neturi pakenkti betono paviršiaus kokybei ir palikti ant jo dėmių, kenkiančių išoriniam konstrukcijų vaizdai. Jeigu klojiniai yra nenuimami, o paliekami kaip išorinis konstrukcijos sluoksnis, tai jų paviršius yra sudrėkinamas, išskyrus metalinius ir plastikinius. Nesudrėkinti klojiniai - sluoksniai sugeria betono mišinio drėgmę ir pablogina betono kietėjimo sąlygas bei sukibtį su monolitiniu betonu. Pradėti betonuoti galima tik tada, kai patikrinta armatūros švara, jos padėties fiksavimas ir fiksavimo patikimumas. Būtina patikrinti, ar bus garantuotas reikiamas apsauginis betono sluoksnis. Užtaisomi plyšiai ir siūlės tarp klojinių lentų ar skydų, kad neištekėtų „cemento pienas“. Siūles tarp skydų rekomenduojama užglaistyti alebastu. Betonavimo ruožą, prieš klojant betono mišinį, reikia gerai išvalyti, išplauti vandeniu ir prapūsti suslėgtuoju oru.

Pagrindinės betonavimo operacijos yra betono mišinio priėmimas ant klojinio, jo paskirstymas ir tankinimas. Visas operacijas būtina be pertraukos nenutrūkstamai vykdyti, nes pertrauka bet kurioje iš operacijų gali sudaryti sąlygas rištis cemento tešlai ir kartu pakenkti betono ir visos konstrukcijos kokybei.

Daugelį monolitinių betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų užbetonuoti iš karto (be pertraukų) praktiškai neįmanoma. Todėl betonuojama tam tikrais ruožais ar sluoksniais. Per pertraukas susidaro vadinamosios technologinės siūlės. Konstrukcijos, kurioms yra keliami dideli nelaidumo (dujų, vandens) reikalavimai, betonuojamos nenutrūkstamai, ištisas paras. Betoninės arba gelžbetoninės konstrukcijos bus monolitinės ir stiprios, jeigu bus užtikrinta gera naujo ir anksčiau pakloto betono

sukibtis. Tai pasiekama, kai nuo anksčiau pakloto ir pradėjusio kietėti betono darbo siūlės ir nuo paviršiaus, su kuriuo liečiasi naujas betonas, nuvaloma susiformavusi cemento plėvelė. Anksčiau pakloto betono paviršius nuvalomas metaliniais šepčiais arba stipria vandens srove. Tai geriausia atlikti praėjus 10-20 valandų po ankstesnio betonavimo. Stipri srovė (spaudimas 0,3 - 0,5 MPa) nuima ir ploną betono sluoksnį, paviršiuje pasirodo stambesnieji užpildai. Nusiplauti turi ne daugiau kaip 5-8 mm betono sluoksnio. „Cemento pieno“ plėvelės likučius reikia nuvalyti mechaniškai (metaliniais šepčiais).

Vienas pagrindinių technologinių procesų, užtikrinančių betonuojamos konstrukcijos kokybę, yra betono mišinio sutankinimas. Nuo šio proceso kokybiško atlikimo priklauso betono tankis, stiprumas, vandens nelaidumas ir ilgaamžiškumas. Betono mišinys paprastai sutankinamas vibratoriais. Naudojami vibratoriai, kurie sukelia betono mišinio dalelių virpesius nuo 3000 iki 20000 virpesių per minutę. Vibruojamas betono mišinys kaip skystis išteka į visas puses, užpildydamas tarpus tarp armatūros strypų ir klojinių.

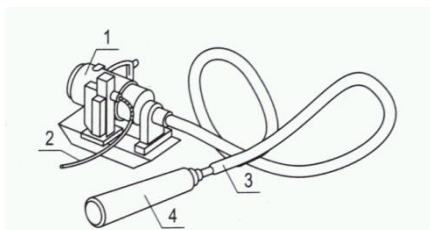
Vibratorius galima suskirstyti į tris tipus, [15]:

- giluminius,
- paviršinius,
- išorinius.

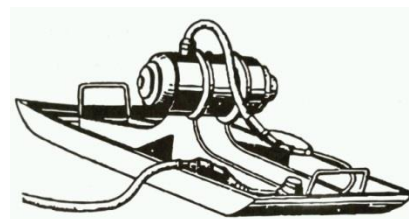
Giluminiai vibratoriai (žr. 22 pav.) naudojami storesniems sluoksniams sutankinti. Be to, šio tipo vibratoriais galima geriau sutankinti betoną sunkiai prieinamose vietose, pasiekama geresnė sutankinimo kokybė. Todėl jie yra plačiausiai naudojami monolitinių gelžbetoninių konstrukcijų statyboje.

Paviršiniai vibratoriai (žr. 22 pav.) virpesius betono mišiniui perduoda tam tikru plotu per viršutinį betono mišinio sluoksnį. Jie naudojami plokštinių konstrukcijų betonui tankinti.

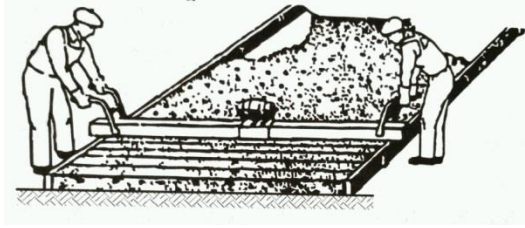
Išoriniai vibratoriai yra tvirtinami prie išorinio klojinių paviršiaus ir per klojinius virpesiai perduodami betono mišiniui (žr. 22 pav.). Jais galima sutankinti betono mišinio sluoksnį iki 25 cm storio. Atsižvelgiant į klojinių plotą, gali būti pritvirtinama keletas tokių vibratorių. Galima vibratorius kilnoti iš vienos vietos į kitą, tačiau vienoje vietoje jis turi dirbti 60-90 sekundžių.



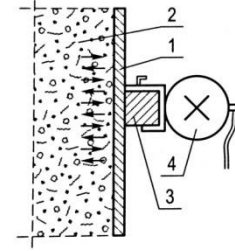
Giluminis vibratorius su lanksčiuoju vėlenu: 1 - elektrinis variklis, 2 – elektros kabelis, 3 – lankstusis velenas, 4 – darbinis antgalis



Paviršinis plokštinis vibratorius



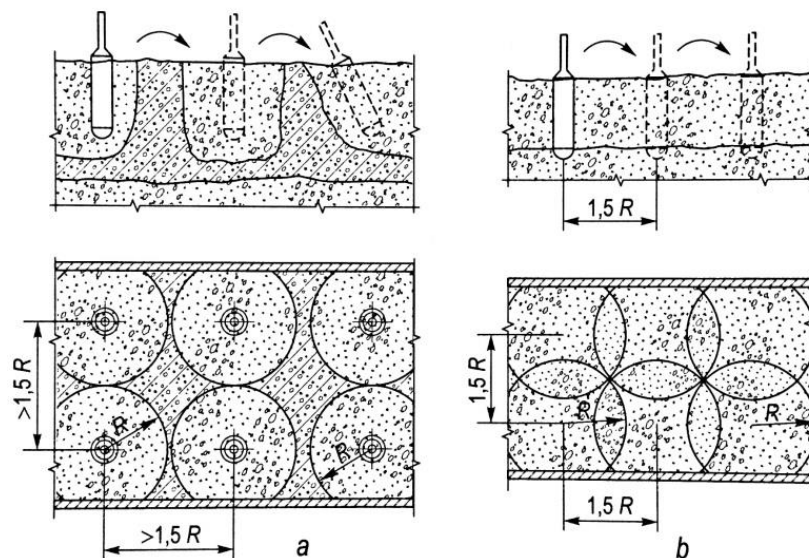
Paviršinis vibratorius – vibracinė juosta



Išorinis vibratorius ir jo tvirtinimas prie klojinių:
1 – klojinių skydas, 2 – betono mišinys, 3 – klojinių briauna, 4 – vibratorius

22 pav. Betono mišinio tankinimui naudojamos priemonės [15]

Tankinant betono mišinį vibratoriais, būtina, kad viršesiai pasiektų visą mišinio tūrį. Tankinamo betono sluoksnis turi būti ne storesnis kaip 1,25 vibratoriaus darbinio antgalio ilgio. Kad sluoksniai geriau sukibtų ir būtų vienodesnės struktūros, rekomenduojama, kad vibratoriaus darbinis antgalis siektų anksčiau sutankinto betono sluoksnį (žr. 23 pav.). Tankinimo vienoje vietoje trukmė priklauso nuo vibratoriaus tipo, betono mišinio technologinių charakteristikų, ypač nuo jo slankumo. Nuo šių veiksnių priklauso ir vibratoriaus veikimo spindulys R ($R = 25 - 40$ cm). Ilgas vibravimas taip pat kenkia betono struktūrai, nes betono mišinys gali išsisluoksniuoti ir dėl to nukentėti betono kokybė. Vibravimas vienoje vietoje laikomas pakankamu, kai mišinys daugiau nesėda, betono mišinio paviršius horizontalus, klojiniai, ypač kampuose, gerai užpildyti betonu, paviršiuje susidaro skiedinys.



23 pav. Technologinės tankinimo giluminiais vibratoriais schemas: a – teisinga, b – neteisinga [15]

Kai tankinama paviršiniaus vibratoriais, jie perstatomi (perstumiami) taip, kad kiekvieną kartą per 5-10 cm užeitų ant sutankintos vietos. Paviršiniaus vibratoriais tankinamo betono mišinio storis gali būti 25-30 cm. Vibruojama 20-50 sekundžių. Į tankinamą betono mišinį negalima papildomai pilti vandens, nes tai labai sumažina betono stiprį ir tankį, nukenčia kitos sukietėjusio betono savybės.

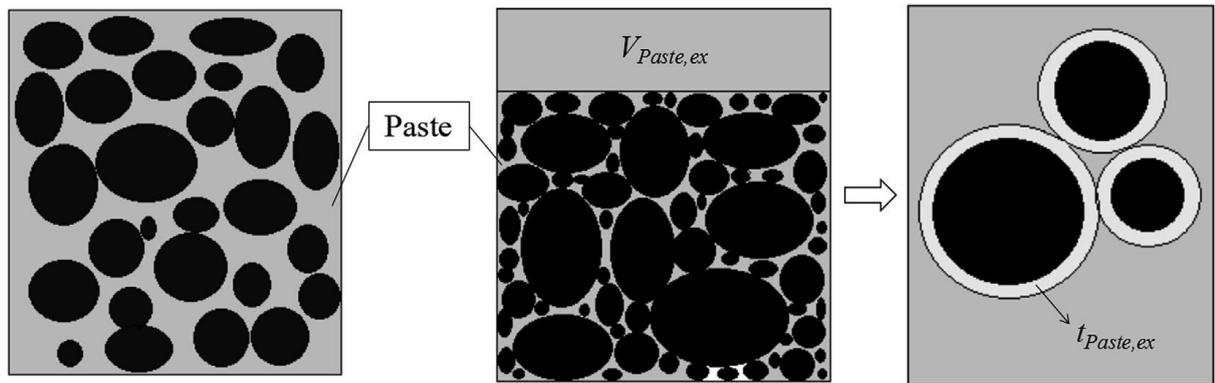
2.3. Betono mišinio sudedamųjų dalių įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos

2.3.1. Rišamosios medžiagos.

Cemento tešla

Cemento tešla yra esminis betono komponentas, kuris dengia užpildus, užpildo tarpus tarp užpildų ir suteikia galimybę tekėti. Koehler [16] patvirtino, kad padidėjęs tešlos tūris padidina slankumą, sumažina ribinius pradinius įtempius ir plastinę klampą. Mažėjimo lygis palaipsniui sumažėjo, kai cemento tešlos kiekis palaipsniui didėjo. Westerholm ir kt. [17,18] nustatė, kad neigiami defektai, atsirandantys dėl prastai išrūšiuotų ir išformuotų užpildų, gali būti pašalinti arba ženkliai sumažinti, esant papildomam cemento tešlos kiekiui.

Kaip matyti 24 paveiksle, tešla gali būti suskirstyta į dvi dalis: viena tešla užpildo tarpus tarp užpildų, o kita, vadinama paviršio tešla, yra tešla, kuri padengia ir atskiria užpildus.



24. pav. Šviežio betono modelis [20]

Paviršio tešla tūris gali būti suskaičiuotas pagal lygtį:

$$V_{Paste,ex} = V_{Paste} - V_{A,void} = V_{Paste} - \frac{m_A}{\rho_A} \left(\frac{\rho_A}{\rho_{A,bulk}} - 1 \right) \quad (18)$$

čia: $V_{Paste,ex}$ - tešlos paviršio tūris, V_{Paste} - bendras tešlos tūris, $V_{A,void}$ - tuštumų tūris tarp užpildų, m_A ir ρ_A - užpildų masė ir tūris, atitinkamai, $\rho_{A,bulk}$ - užpildų piltinis tankis. Jei priimamas tas pats tešlos sluoksnio storis kiekvienam rutulio formos užpildui, perteklinės tešlos storis gali būti apibūdinamas formule:

$$V_{Paste,ex} = \frac{4}{3} \pi \sum_i n_i ((r_i + t_{paste,ex})^3 - r_i^3) \quad (19)$$

čia: r_i ir n_i - i-tosios klasės dalelės spindulys ir numeris, atitinkamai, $t_{paste,ex}$ - paviršio (pertekliaus) tešlos sluoksnio storis. Turėtų būti paminėta, kad ši lygtis yra negalutinė ir apytikslė vidutinio storio pertekliaus tešlos reikšmei.

Yammine ir kt. [19] parodė, kad egzistuoja akivaizdus perėjimas į betono reologinį elgesį tarp trinties ir hidrodinaminio dominavimo. Esant santykinai didelei tešlos tūrio daliai, sąveika tarp dalelių ar tarp skysčio ir dalelių yra hidrodinaminio pobūdžio. Kai teka betono mišinys, dalelių judesiai reiškia tam tikrą tešlos tekėjimą, kuris sukelia papildomos energijos išsiskyrimą. Taigi plastinė klampa mažėja, kai padidėja cemento tešlos tūrio dalis. Esant santykinai mažai tešlos tūrio daliai, t.y. didelė užpildų tūrio dalis, dominuoja reologinis elgesys, apibūdinamas tiesioginiais trinties ryšiais tarp užpildo dalelių. Perteklinės tešlos storis yra tinkamas parametras apibūdinti šviežio betono konsistenciją, besikeičiančią nuo tešlos tūrio dalies [20]. Tačiau skirtumai, susiję su mineralinėmis priemaišomis arba cemento tešlos sudėtimi, sukelia skirtingą reologinį elgesį. Kiekybiniai santykiai tarp reologinių parametrų ir perteklinės tešlos storio dar nėra aiškūs.

Cementas

Portlandcemenčio klinkerio mineralinė sudėtis yra daugiausiai sudaryta iš C_3S , C_2S , C_3A ir C_4AF . Atitinkamas kiekis gipso dedamas į klinkerį tam, kad gebėtų reguliuoti cemento rišimosi greitį. Reakcijos hidratacijos greitis ir vandens poreikis, kiekvienai mineralinei sudėčiai yra skirtingas. Tikėtina, kad cemento tešlos reologinės savybės gali priklausyti nuo cemento mineralinės sudėties. Įvairūs jonai gali susidaryti vandenyje, kai cementas reaguoja su vandeniu, pavyzdžiui SO_4^{2-} , OH^- , Na^+ , K^+ . Šie jonai gali paveikti superplastiklio absorbciją cemento dalelių paviršiuje ir taip paveikti cemento tešlos reologines savybes. Cemento smulkumas (apie 350 – 400 m^2/kg įprastiniam cementui) taip pat turi didelę įtaką cemento tešlos reologinėms savybėms, nes smulkiam cementui reikia daugiau vandens atitinkamam tešlos takumui pasiekti, taip pat smulkios cemento dalelės hidratuoja greičiau nei stambesnės.

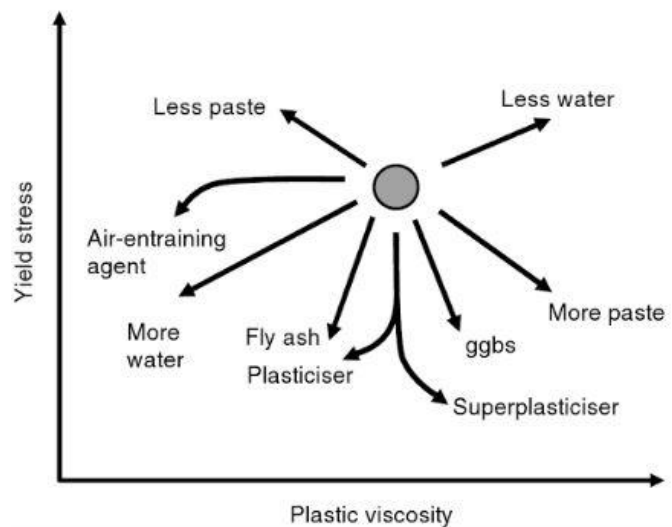
Daugelis mokslininkų tyrė cheminės sudėties ir fizikinių cemento savybių poveikį reologinėms savybėms. Hope ir kt. [21] tyrė cemento sudėties poveikį vandens kiekio poreikiui atitinkamam slankumui. Jie nustatė, kad cementui su dideliu Al_2O_3 ar C_2S kiekiu padidėjo vandens poreikis, o cementui su aukštu degimo nuostoliu, dideliu karbonatų kiekiu ar aukštu C_3S kiekiu vandens poreikis sumažėjo. Mork ir kt. [22] nustatė, kad cementui, kurio sudėtyje yra didelis C_3A ir šarmų kiekis, gipso ir pushidračio santykio sumažėjimas sumažino ribinius šlyties įtempius, tačiau mažai pakeitė plastinę klampą. Be to, sulfato kiekio sumažėjimas nuo 3 iki 1 % sumažino ribinius šlyties įtempius ir plastinę klampą. Dils ir kt. [23] ištyrė cheminės sudėties ir cemento smulkumo poveikį itin aukšto efektyvumo betono reologinėms savybėms, esant atitinkamoms slankumo vertėms. Nustatyta, kad betono mišinys, kuriam naudotas cementas, turintis didelį C_3A kiekį, didelį savitąjį paviršiaus plotą, didelį šarmų kiekį ir mažesnį SO_3 kiekį, pasižymėjo prasčiausiomis technologinėmis savybėmis.

Chen ir kt. [24] parodė, kad aukščiausios kokybės cemento įtaka reologinėms savybėms priklausė nuo vandens kiekio cemento tešloje. Pridėjus aukščiausios kokybės cemento, padidėjo

ribiniai šlyties įtempiai ir akivaizdžiai padidėjo plastinė klampa, kai $V/C \geq 0,24$. Kai $V/C \leq 0,22$, pridėjus aukščiausios kokybės cemento sumažėjo ribiniai šlyties ir akivaizdžiai sumažėjo plastinė klampa. Esant mažesniai vandens kiekiui, smulkiųjų dalelių pridėjimas užpildo tuštumas, padidina piltinį tankį, išlaisvina vandenį tarp cemento dalelių, žymiai padidina vandens sluoksnius, dengiančius cemento daleles tešloje ir todėl gerina reologines cemento tešlos savybes. Esant didesniai vandens kiekiui, aukščiausios kokybės cemento kiekio padidėjimas neparodė akivaizdaus poveikio daleles dengiančios vandens sluoksnio plėvelės storiumi, nes didelis aukščiausios kokybės cemento savitasis paviršiaus plotas padidino ribinius šlyties įtempius ir plastinę klampą.

2.3.2. Betonų priedai, jų poveikis ir taikymas.

Mažesnės ribinių šlyties įtempių (τ_y) ir plastinės klamos (μ) reikšmės rodo labiau takų betono mišinį; ypač sumažinus ribinius šlyties įtempius τ_y , sumažėja atsparumas tekėjimui, esant mažiems šlyties įtempiams, pvz., nuo savojo svorio, kai būna išpiltas. Sumažinus plastinę klampą μ , gaunami mažiau rišlūs ar mažesnio sankibumo mišiniai bei padidėjęs pasipriešinimas tankinimui vibraciniu būdu, kai šlyties greitis gali būti didelis. Betonų mišinio proporcijų ir sudedamųjų dalių pakitimo poveikiai ribiniams šlyties įtempiams τ_y ir plastinei klampai μ parodyti 25 paveiksle [25].



25. pav. Betonų mišinio sudedamųjų dalių kitimo įtaka Binghamo konstantoms [25]

- didinant vandens kiekį (more water) ir tuo pačiu išlaikant kitų sudedamųjų dalių proporcijas pastovias, mažėja ribiniai šlyties įtempiai τ_y ir plastinė klampa μ maždaug panašiomis proporcijomis.
- pridedant plastifikuojančios betono įmaišos (plasticiser) ar (superplasticiser) sumažėja ribiniai šlyties įtempiai τ_y , bet išlieka gana pastovi plastinė klampa μ . Iš esmės, betono įmaišos leidžia dalelėms tekėti lengviau, esant tam pačiam vandens kiekiui. Poveikis yra didesnis naudojant superplastiklius, kurie gali net padidinti plastinę klampą μ . Šios įmaišos dažniausiai

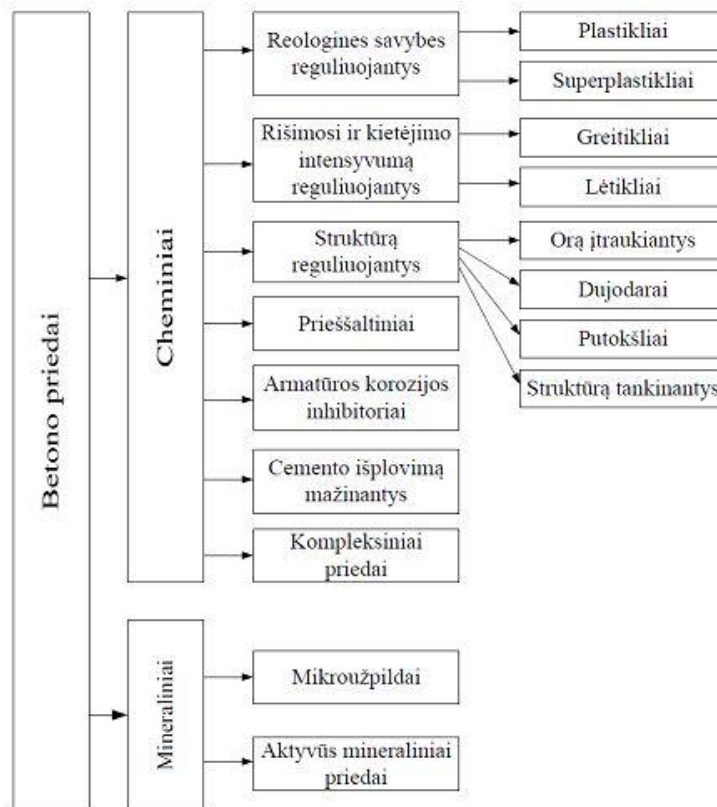
naudojamos tam, kad suteikti geresnes tekėjimo savybės nuo savojo svorio, išlaikant mišinio stabilumą (aukštos konsistencijos ar tokieji betono mišiniai).

- padidėjęs tešlos kiekis (more paste) paprastai padidina plastinę klampą μ ir sumažina ribinius šlyties įtempius τ_y , t.y. mišinys gali tekėti lengviau, bet bus labiau rišlus ar 'lipnus' ir atvirkščiai.
- pakeitus tam tikrą kiekį cemento lakiaisiais pelenais (fly ash) arba aukštakrosnių granuliuotais šlakais (ggbs), paprastai sumažėja ribiniai šlyties įtempiai τ_y , bet gali arba padidinti arba sumažinti plastinę klampą μ , priklausomai nuo priedo pobūdžio ir jo sąveikos su cementu.
- maži oro burbuliukai, kurie maišymo metu formuojasi mišinyje naudojant orą įtraukiančias betono įmaišas (air-entering agent), sumažina plastinę klampą μ , tačiau prie santykinai pastovių ribinių šlyties įtempių τ_y .

Svarbu žinoti tai, kad ribiniai šlyties įtempiai ir plastinė klampa yra nepriklausomos savybės ir įvairūs skirtingi jų dydžių deriniai gali būti gaunami keičiant mišinių sudedamąsias dalis ir jų santykinę proporcijas. Yra daug informacijos apie mišinių sudedamųjų dalių ir proporcijų poveikį konsistencijos matavimams, naudojant vieno taško bandymus, ypač mišinio slankumui. Daugelis mišinio projektavimo metodų priima kaip savo pirmąją prielaidą tai, kad duotam užpildo dydžiui ir tipui, slankumas yra tiesioginė vandens kiekio funkcija. Tokie veiksniai, kaip cemento kiekis ir užpildų granulometrija yra antraeilės svarbos dalykai slankumui, tačiau yra svarbesni rišlumui ir stabilumui. Betono įmaišų efektyvumas, ypač plastiklių ir superplastiklių, yra dažnai vertinamas mišinio konsistencijos požiūriu [25].

Betonų gamybai naudojamos įmaišos ir mineraliniai priedai, kurių dedama norint reguliuoti betono mišinio ir sukietėjusio betono savybes: gerinti mišinių klojumą ir stabilumą, keisti rišimosi trukmes ir kietėjimo intensyvumą, didinti stiprumą, nelaidumą vandeniui, atsparumą šalčiui ir agresyviai aplinkos poveikiui [25].

3 lentelė. Betono įmaišų klasifikacija [26]



Įmaišos betonui - tai vandeninių tirpalų arba miltelių pavidalo neorganiniai ir organiniai junginiai. Mineraliniai priedai smulkūs aktyvūs mineraliniai milteliai ir neaktyvūs mikroužpildai. Mineraliniai priedai gali pagerinti betono mišinio granulimetrinę sudėtį, rišlumą, mikrostruktūrą bei fizikines ir mechanines sukietėjusio betono savybes. Mineraliniai priedai, kurių dedant normalios konsistencijos tešlai gauti reikia mažiau vandens, yra efektyvesni [26].

Įmaišos betonui pagal jų poveikį ir įtakos efektus skirstomos į grupes. Įvairiose šalyse šis skirstymas į grupes yra skirtingas, tačiau išlaikomi bendri klasifikavimo principai [26]:

- priedų poveikio pagrindiniams cemento komponentams mechanizmas;
- priedų cheminė sudėtis;
- priedų pagrindinio poveikio technologinis efektas.

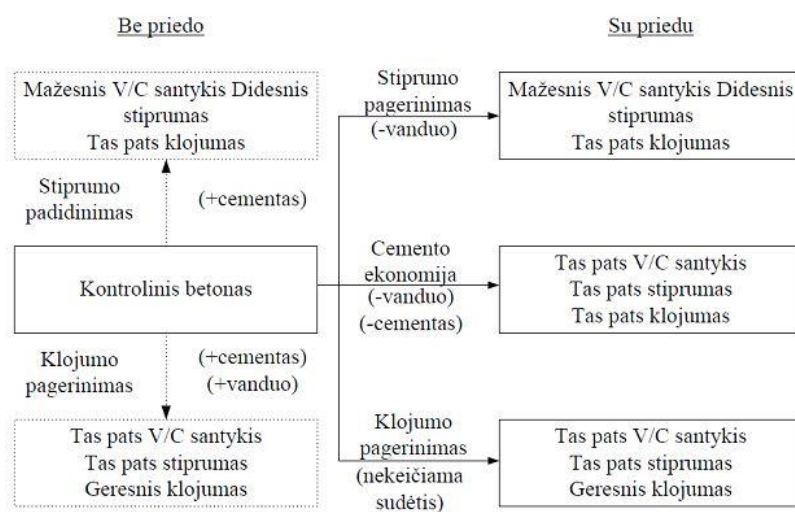
Įmaišas betonui galima suskirstyti į tokias grupes [26]:

- 1) reguliuojantys reologines savybes (plastikliai ir superplastikliai);
- 2) plastifikuojantys - formuojantys struktūrą (įsiurbiantys orą, tankinantys struktūrą);
- 3) reguliuojantys rišimosi trukmę ir kietėjimo intensyvumą (lėtinantieji ir greitinantieji);
- 4) priedai nuo šalčio;
- 5) armatūros korozijos inhibitoriai;
- 6) kompleksiniai priedai;

- 7) specialios paskirties priedai (cemento išplovimą mažinantys priedai betonuojant po vandeniu, susitraukimo deformacijas mažinantys (exspancreate) priedai).

Plasikliais laikomi tokie priedai, kurie sumažina vandens kiekį to paties slankumo betono mišinyje ne mažiau kaip 5%, o superplastikliais – priedai, sumažinantys vandens kiekį to paties slankumo betono mišinyje ne mažiau kaip 12% ir padidinantys betono mišinio slankumo rodiklį esant tam pačiam vandens kiekiui ne mažiau kaip 120 mm (kai betono mišinio be priedo slankumo rodiklis 30 ± 10 mm) [26].

4 lentelė. Plastifikuojančių betono įmaišų poveikis betono mišiniams ir betonams [26]



Vandenį mažinantys priedai tai vandenyje tirpūs organiniai junginiai, 10...15 % sumažinantys vandens kiekį betono mišinyje, kai nekeičiamas mišinio slankumas. Gerokai daugiau sumažėja vandens kiekis (25...35 %) naudojant superplastiklius [26].

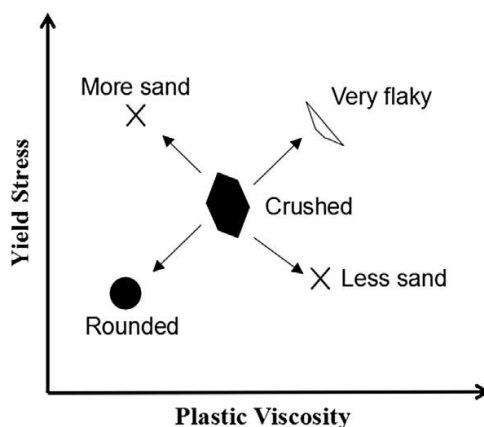
Kai reikia gaminti betonus, kuriems keliami dideli stiprumo, nelaidumo vandeniui, atsparumo agresyviai poveikiui ir šalčiui reikalavimai, tikslinga naudoti atitinkamus superplastiklius ar kompleksinius priedus (superplastiklius ir orą įtraukiančius priedus). Kai betonams keliami specialūs reikalavimai, tada dedama specialios paskirties priedų [26].

2.3.3. Betono užpildų granulometrija ir jų įtaka betono savybėms

Užpildai, užpildų tipas

Užpildai sudaro daugiau kaip 75% viso tūrio įprastinio vibruoto betono ir 60% susitankinančio betono. Reologijos požiūriu, užpildai su dideliu grūdelių dydžiu ir šiurkščiu paviršiumi riboja betono mišinio tekėjimą ir padidina ribinius šlyties įtempius ir plastinę klampą, kitaip negu cementas. Paprastai cheminė užpildų sudėtis turi mažai įtakos reologinėms savybėms.

Užpildo tipas įtakoja betono technologiškumą dėka savo piltinio tankio ir paviršiaus morfologijos. Trupintos uolienos užpildai turi kampuoatą formą ir šiurkštų paviršių, kurie padidina savitąjį paviršiaus plotą ir sumažina laisvo vandens kiekį. Be to, kampuoata forma nėra palanki dalelių tekėjimui ir padidina trinties tarp dalelių pasipriešinimą ir taip žymiai padidina ribinius šlyties įtempius ir plastinę klampą [27–30], sumažinamas mišinio takumas [31,32]. Lygus natūralių ar apvalių užpildų paviršius sumažina trintį tarp dalelių ir padidina mišinio takumą. Plokščios ir pailgos dalelės gali padidinti dalelių susidūrimą dėl jų formos. Dėl to, betono mišiniai, kuriuose yra plokščių ir pailgų užpildų dalelių paskatino žymų plastinės klamos ir ribinių šlyties įtempių padidėjimą (žr. 26 pav.). Verta paminėti, kad dalelių forma labiau paveikė plastinę klampą, nei ribinius šlyties įtempius [33,34].



26 pav. Užpildų dalelių formos bei smėlio kiekio įtaka ribiniams šlyties įtempiams ir plastinei klampai [35]

Atsižvelgiant į didėjantį poreikį saugoti natūralią aplinką, panaudotos medžiagos, pavyzdžiui perdirbti užpildai, buvo pradėti plačiai naudoti. Kaip didžiausias statybinių ir griovimo atliekų šaltinis, perdirbti betono užpildai pasižymi didesne vandens absorbcija dėl didesnio poringumo. Kenai ir kt. [36] teigia, kad 50% ar 100% natūralių užpildų pakeitimas perdirbtais betono užpildais, suteikė susitankinančiam betonui puikias reologines savybes, kurios yra panašios į šiam mišiniui būdingas reologines savybes, tuo pačiu metu pasiekiant mažesnę mišinio sluoksniavimą. Guneyisi ir kt. [37] atskleidė, kad susitankinančio betono mišinio reologinės savybės bei šviežio betono mišinio savybės buvo žymiai pagerintos dėka panaudotų smulkiųjų perdirbtų betono užpildų kiekio, tai yra dėl jų lygesnio paviršiaus. Ke ir kt. [38] nurodė, kad smulkiuosius užpildus pakeitus smulkiai malto stiklo dalelėmis, sumažėjo mišinio takumas, o pakeitus stambesnius užpildus rupiau malto stiklo dalelėmis, padidėjo mišinio takumas. Lygus panaudoto stiklo paviršius sumažina trintį tarp užpildo dalelių bei pagerina betono takumą.

Užpildų tūrio dalis

Daugelyje tyrinėjimų [27,29,30,39] laikomasi nuomonės, kad betono mišinio ribiniai šlyties įtempiai ir plastinė klampa paprastai didėja kartu su stambaus užpildo tūrio dalimi, o tuo tarpu

padidinus smulkaus užpildo kiekį, didėja betono mišinio ribiniai šlyties įtempiai, bet mažėja plastinė klampa. Stambiųjų užpildų pridėjimas padidina skiedinio, dengiančio užpildų paviršių, kiekį, sumažina rišlumo efektą tarp užpildų ir cemento tešlos bei sumažina trintį tarp užpildų. Didinant smulkiųjų užpildų tūrio dalį, kietųjų dalelių paviršiaus ploto ir vandens poreikis didėja, trintis tarp stambiųjų užpildų mažėja, dėl ko padidėja ribiniai šlyties įtempiai ir sumažėja plastinė klampa. Westerholm ir kt. [17] nustatė, kad smulkūs natūralūs užpildai praktiškai neturi įtakos skiedinio plastinei klampai, o skiediniams su smulkintais smulkiais užpildais, plastinė klampa ypač sumažėjo prie tam tikro smulkumo turinio. Šis efektas gali pasireikšti dėl dalelių trinties. Jei smulkmės turinys yra per mažas, kad užpildytų tarpus tarp didesniųjų užpildų dalelių, vidinė trintis bus didelė ir sukels didelę klampą. Tačiau, kai smulkiųjų dalelių turinys tampa didesnis, paviršiaus ploto padidėjimas gali taip pat padidinti plastinę klampą.

Betono reologines savybes labai įtakoja smėlio ir užpildų santykis [40]. Mažas smėlio ir užpildų santykis turi neigiamą efektą slankumui (takumui). Tai yra dėl to, kad nėra pakankamo skiedinio kiekio, kuris užpildo didelius tarpus tarp stambiųjų užpildų. Tačiau didelis smėlio ir užpildų santykis taip pat sumažina betono slankumą (takumą), nes didelis savitasis smulkiųjų užpildų paviršiaus plotas sumažina cemento sluoksnio storį, kuris padengia užpildų daleles.

Granulometrija ir dalelių dydis

Užpildų granulometrija ir maksimalus dalelių dydis atlieka pagrindinį vaidmenį reologinėms betono mišinio savybėms. Kuo didesnis maksimalių dalelių dydis, tuo mažesnis yra savitasis paviršiaus plotas ir tuo mažiau reikia skiedinio dalies užpildams padengti (cemento tešlos), o tuo pačiu kuo mažesnės betono mišinio reologinių savybių reikšmės, tuo mišinyje mažiau pasireiškia dilatancija (mišinio klamos didėjimas didėjant šlyties įtempiams) [40]. Santos ir kt. [41] parodė, kad mišiniai su netrukia užpildų granulometrija pasižymi didesnėmis slankumo reikšmėmis, mažesniu vandens atsiskyrimu iš mišinio (segregacijos) ir didesniu mechaniniu stipriu. Betono mišinių su netrukia užpildų granulometrija ribiniai šlyties įtempiai yra pastovesni, nei betono mišiniai su trūkia užpildų granulometrija. Perteklinės tešlos teorija gali gerai paaiškinti užpildų poveikį betono mišinio takumui (slankumui). Gerai rūšiuotų užpildų atveju piltinis tankis ir savitasis paviršiaus plotas sumažėja, todėl cemento tešlos kiekio užpildyti tuštumoms reikia mažiau ir papildomas jos kiekis gali būti panaudotas užpildų paviršiaus padengimui, dėl ko sumažėja šviežio betono mišinio trinties tarp užpildų jėga ir pagerėja mišinio takumas. Pagal Westerholm ir kt. [42] plauti užpildai, iš kurių pašalintos mažesnės nei 40 mm dalelės sumažino užpildų savitąjį paviršiaus plotą, gali žymiai sumažinti skiedinio ribinius šlyties įtempius dėl mažo vandens poreikio ir koloidinių jėgų. Tačiau skiediniai su plautais užpildais pasižymėjo šiek tiek didesne plastine klampa dėl smulkiųjų dalelių trūkumo, nes pastarosios užpildo tarpus tarp užpildų ir veikia kaip lubrikantas.

2.3.4. Plaušo įtaka betono savybėms

Plaušai ir pluoštai tai plaušinės struktūros medžiagos, kurios naudojamas betono dispersiniam armavimui. Plaušams būdingas mažas tamprumas ir didelis lankstumas, todėl mišinių maišymo ir tankinimo metu jie neišlaiko savo formos ir išsilanksto. Plaušai dažniausiai gaminami iš polimerinių medžiagų. Pluoštai gaminami iš didelių tamprumą turinčių medžiagų (dažniausia plieno) ir po mišinio sumaišymo bei sutankinimo išlaiko savo formą. Įmaišius šių plaušų arba pluoštų į mišinius, jie tolygiai pasiskirsto mišinyje ir keičia mišinio bei sukietėjusio betono mišinio savybes [43].

Plaušų ir pluoštų dedama į rišiklio matricą tam, kad padidintų atsparumą smūgiams, sumažintų trapumą bei padidintų plastiškumą stabdant plyšių susidarymo procesą ir padidintų konglomerato stiprumą tempiant ir lenkiant. Geram matricos armavimo efektui pasiekti reikalingas didelis armuojančio plaušo stiprumas tempiant. Plaušai, pasižymintys dideliu deformatyvumu, suteikia kompozitui didesnę ribinį tąsumą [43].

Kritinis plaušo kiekis (tūrinė koncentracija) kompozite - minimalus plaušo kiekis, kuriam esant po matricos supleišėjimo plaušai gali išlaikyti apkrovą. Skaičiavimais nustatytas kritinis plaušo kiekis (tūrinė koncentracija) yra 0,31; 0,40 ir 0,75%, atitinkamai plieniniam plaušui, stiklo plaušui ir polipropileniniam plaušui. Didėjant pluošto ilgio ir skersmens santykiui ir tūrinei koncentracijai kompozite, didėja kompozito stipris tempiant ir lenkiant [43].

Dispersinis armavimas plaušais naudojamas ir konglomerato susitraukimo deformacijoms dėl mineralinio rišiklio kietėjimo ir vandens pasišalinimo iš kietėjančio rišiklio matricos mažinimui ir konglomerato pleišėjimo mažinimui [43].

Pagal medžiagas, kurios naudojamos plaušų gamybai, jie skirstomi į [43]:

- metalinius plaušus ir fibras;
- polimerinius plaušus ir fibras.

Metaliniai (plieniniai) plaušai, vadinami fibromis, naudojami konglomeratų stiprumui lenkiant, irimo plastiškumui ir atsparumui smūgiams padidinti. Plieniniai plaušai gali būti tiesūs arba lenkti, kurie gali būti įvairios formos. Jų paviršius gali būti be dangos arba su danga, pvz., cinkuoti. Polimeriniai plaušai, dažniausiai polipropileniniai, naudojami konglomeratų pleišėjimui kietėjimo metu mažinti. Polimeriniai plaušai, naudojami su mineraliniais rišikliais, turi būti atsparūs šarmams. Polimeriniai plaušai gali būti tiesūs arba lenkti ir būti įvairios formos. Jų paviršius gali būti chemiškai apdirbtas arba turėti dangą [43].

Metalinams ir polimeriniams plaušams keliami ir tam tikri technologiniai reikalavimai, susiję su jų panaudojimu konglomeratų mišiniuose - įtaka mišinio klojumui, įtaka kompozito stiprumui, susivėlimas maišymo metu. Plaušo įtaka mišinio klojumui nustatoma lyginant tam tikrą mišinio klojumą su bandomu plaušu ir be jo. Tyrimais nustatyta, kad plaušai blogina technologines mišinių

savybes – mažina jų klojumą (slankumą). Gali būti nustatomas ir mišinių klojumas su skirtingomis plaušo dozėmis [43].

3. KLOJINIŲ SKYDŲ PAVIRŠIAUS ĮTAKA MIŠINIO PASTOVUMUI ANT NUOŽULNIOS PLOKŠTUMOS

3.1. Klojinių tepalai

Surenkamųjų nuimamųjų klojinių ilgaamžiškumas, betonuojamų konstrukcijų paviršių kokybė, darbo imlumas, nuimant klojinius, priklauso ne tik nuo jų konstrukcinių parametrų bei charakteristikų, bet ir nuo jų priežiūros, paviršių ruošimo prieš betonuojant. Viena tokių pagrindinių priemonių yra paviršių, kurie liečiasi su betonu, tepimas specialiais tepalais. Statybinių organizacijų metalinių ir kombinuotos sistemos klojinių skydų naudojimo patyrimas rodo, kad nuo gerai prižiūrimų klojinių, reguliariai po kiekvieno betonavimo ištepamų, nuėmus prilipusio betono daleles, naudojimo trukmė padidėja du ir daugiau kartų. Naudojant inventorinius klojinius, būtina gerai nuvalyti visus cemento skiedinio ir betono likučius ir ištepti tepalu [44].

Tepimas specialiais tepalais ne tik pailgina klojinių naudojimo trukmę, bet labai sumažina arba visiškai panaikina jų sukibtį su betonu. Tepalai, naudojami klojinių paviršiams tepti, turi atitikti šiuos pagrindinius reikalavimus [44]:

- ant betono paviršiaus nepalikti tepalo dėmių, jei paviršius dengiamas kita konstrukcija;
- nesumažinti betono paviršiaus stiprumo;
- ant vertikalių pasvirųjų paviršių išsilaikyti ne mažiau kaip 24 valandas +30 °C temperatūroje;
- būti nepavojingi kilus gaisrui;
- neturėti lakiųjų žmogaus sveikatai kenksmingųjų medžiagų.

Pagal savo kokybę ir naudingumo veikimo principus visų klojinių tepalus galima suskirstyti į tokias keturias sutartines grupes: plėvelę sudarantys; hidrofobiniai; tepalai, lėtinantys rišimąsi; kompleksiniai. Plėvelę sudarantys tepalai bene efektyviausiai ištepa klojinių paviršių, besiliečiantį su betonu. Juos sudaro naftos produktai (0,3-0,5 masės dalys); degtosios kalkės (1 masės dalis), skystasis stiklas (0,4-0,45 dalys) ir vanduo (2-2,5 dalys). Hidrofobiniai tepalai yra tokie tepalai, kurie ant klojinių skydo paviršiaus sudaro vandens atstumiamąją plėvelę (5 lentelė) [44].

5 lentelė. Hidrofobiniai klojinių tepalai ir jų sudėtys [44]

Tepalas	Komponentai ir sudėtys (masės dalys arba procentais)	Naudojimo sritys
Solidolinis	Solidolas – 2; benzinas -0,5-3; parafinas – 0,5-1,6 m.d.	Metalinių ir medinių klojinių skydams ištepti, taip pat ir žiemos sąlygomis
Petrolatumo žibalo	Petrolatumas – 1; žibalas – 3 m.d.	Metalinių ir medinių klojinių skydams ištepti, taip pat žiemos sąlygomis
Mašininis tepalas	Mašininio tepalo -2,5-3; kulisinis garvežių tepalas – 1-1,5 m.d.	Metalinių ir medinių taip pat termiškai aktyvių klojinių skydams ištepti
Įvairūs tepalai	Silicio organinis skystis – 98,6-99,2; grafito milteliai – 0,8-1,2%	Metalinių ir medinių taip pat termiškai aktyvių klojinių skydams ištepti
	Mašininio tepalo – 35-70%; polietilhidrosiloksanas – 5-10; talkas – 10-15%	Metalinių ir medinių taip pat termiškai aktyvių klojinių skydams ištepti
	Mašininio tepalo – 90-96; mažamolekulis polietilenas (vaškas) – 4-10%	Metalinių ir medinių klojinių skydams, naudojamiems vasarą ir žiemą, ištepti. Galima naudoti ir termiškai aktyviems klojiniais

Tepalus ant klojinių paviršių galima užtepti mechaniniu būdu arba rankomis. Klojinių paviršius ištepamas prieš montuojant armatūrą. Ant paruoštos kloti armatūros patekę tepalai sumažina jos sukibtį su betonu [44].

3.2. Skydų paviršiaus sankibumą didinančios priemonės

Sankibumą didinančios priemonės naudojamos tam, kad betono mišinys turėtų geresnę sankabumą su klojinio paviršiumi. Liktiniai klojiniai gaminami iš to paties tipo cemento kaip ir betono monolitinės konstrukcijos, kad gauti geresnę betonų sukibtį. Plokščių klojinių paviršius, kuris liečiasi su monolitiniu betonu, yra daromas kuo sankibesnis [15].

Gaminamų armuotcemenčių, stikloplasčio ar plastiko lakštų vienas paviršius pagal galimybes daromas kuo šiurkštesnis ir paviršiuje paliekami išsikišusios vielos ar plaušo galai. Dabartiniu metu gaminama medžiaga, kuriomis ištepus betonuojamus klojinius, betonas (ir skystas) gerai sukimba su klojinio paviršiumi. Nuožulnios plokštumos bandymo metu būna naudojami smėliu dengti popieriai, kurie pritvirtinami prie nuožulnios plokštumos tam, kad padidintų sankibumą su plokštuma ir mišinys, geriau sukibęs su pagrindu, ilgiau išliktų pastovus ant nuožulnios plokštumos. Taip padidinamas trinties koeficientas [15].

3.3. Ribotuvai

Betonuojant šlaitines konstrukcijas, betonas priklausomai nuo jo slankumo klasės arba konsistencijos, pradeda tekėti žemyn. Ant klojinių surišta armatūra gali riboti betono tekėjimą, tačiau to neužtenka. Armatūra dažniausiai būna pakelta ant fiksuoklių, o tai reiškia, kad tarp klojinio ir armatūros susidaro tarpas, pro kurį betono mišinys vis tiek gali tekėti. Betono mišinio tekėjimui sustabdyti naudojami ribotuvai. Tai gali būti lankstus metalinis arba polipropileno tinklelis, kuris sumontuojamas tarp armatūros strypų (žr. 27 pav.).



27 pav. Betono mišinio tekėjimą ant nuožulnios plokštumos stabdančių ribotuvų panaudojimas, administracinio pastato Vilniuje, Konstitucijos pr. 29 nuožulnios perdangos įrengimui

Jei šlaitinė konstrukcija įrengiama ant grunto pagrindo, jo paviršiaus sankabumas gali būti didinamas klojant specialius tinklus, kurie sustabdo betono mišinio slinkimą žemyn (žr. 28 pav.).



Sutankintas pagrindas



Mišinį stabdantis tinklas



Išbetonuotas šlaitas

28 pav. Betono mišinio tekėjimo ribotuvų panaudojimas autostrados šlaito įrengimui [45]

4. TIRIAMOJI DALIS

4.1. Naudotos medžiagos

4.1.1. Cementas

Betono mišinių ruošimui tyrimams buvo naudotas AB „Akmenės cementas“ pagamintas portlandcementis CEM I 42,5 R, kurio fizikinės, mechaninės savybės bei cheminė sudėtis pateikta 6 lentelėje.

6 lentelė. Portlandcemenčio CEM I 42,5 R fizikinės, mechaninės savybės bei cheminė sudėtis

Savitasis paviršius, m ² /kg	410
Cemento dalelių tankis kg /m ³	3050
Normalaus tirštumo tešla, %	26,5
Tūrio kitimo tolygumas, mm	0,8
Rišimosi terminai: pradžia, min.	195
Stipris gniuždant po 2 / po 28 parų, MPa	27,1/54,0
Kaitmenys, % (masės)	5,05
Netirpmenys, % (masės)	-
Kalcio sulfatas, išreikštas SO ₃ kiekiu, %	2,48
Chloridai, % (masės)	0,015
Šarmai, skaičiuojant Na ₂ O ekvivalentu, % (masės)	<0,8

4.1.2. Smulkusis užpildas

Smulkiuoju užpildu tyrimams naudoti Kvesų karjero 0/1 bei 0/4 frakcijos smėliai, kurių piltiniai tankiai atitinkamai yra: $\rho=1521 \text{ kg/m}^3$ ir $\rho=1711 \text{ kg/m}^3$. Užpildų granulimetrinė sudėtis nustatyta pagal standarto LST EN 933-1:2012 [45] reikalavimus pateikta 8 lentelėje.

4.1.3. Stambusis užpildas

Stambiuoju užpildu tyrimams naudotas 4/16 frakcijos žvirgždas, kurio piltinis tankis $\rho=1657 \text{ kg/m}^3$. Užpildų granulimetrinė sudėtis nustatyta pagal standarto LST EN 933-1:2012 [46] reikalavimus pateikta 7 lentelėje.

7 lentelė. Smulgiojo ir stambiojo užpildų granulimetrinė sudėtis

	0/1 frakcijos smėlis	0/4 frakcijos smėlis	4/16 frakcijos žvirgždas
Sieto akučių dydis, mm	Išbyra, %		
0	0	0	0
0,125	3,2	4,6	0
0,25	28,0	17,4	0
0,5	92,5	56,0	0
1	98,1	71,9	0
2	99,9	87,7	0
4	100	97,5	0,4
8	100	100	25,4
16	-	-	93
32	-	-	100

4.1.4. Betono mišinio įmaišos

Tyrimams naudota BASF „Construction Chemicals Italia Spa“ kompanijos pagaminta plastifikuojanti betono įmaiša Glenium SKY 628, kurios fizikinės ir cheminės savybės bei dozavimas pateikti 8 lentelėje.

8 lentelė. Betono įmaišos techniniai duomenys [47]

Betono įmaišos tipas	Įmaišos pavadinimas	Fizikinės ir cheminės savybės	Rekomenduojamas dozavimas, % cemento masės
Plastifikuojanti įmaiša	Glenium SKY 628	Polikarboksilato eterių polimerų pagrindu; gelsvas skystis; tirpalo tankis – 1,06 g/cm ³ ; maksimalus chloridų kiekis – 0,10 %;	0,6–1,4

Tyrimams naudotas kompanijos ADFIL Construction Fibres pagamintas polipropileno plaušas „Fibrin XT“, kurio fizikinės ir cheminės savybės bei dozavimas pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Plaušo techniniai duomenys [48]

Plaušo tipas	Plaušo pavadinimas	Fizikinės ir cheminės savybės	Rekomenduojamas dozavimas, kg 1 m ³ mišinio
Erdvinio armavimo įmaiša	Fibrin XT	Polipropileno plaušas, baltos spalvos; plaušo tankis – 0,905 g/cm ³ ; tempimo stipris – 380 MPa; plaušo ilgis 13,0 – 19,0 mm;	0,89

Techniniai duomenys: specialus jos paviršiaus sluoksnis užtikrina puikų kiekvieno plaušelio išdėstymą mišinyje ir leidžia formuotis vienodai erdvinei matricai betono mišinyje. Poliprpoleno plaušo naudojimas suteikia pastebimų privalumų ir plastiškoje ir sukietėjusioje betono būsenoje.

4.1.5. Klojinių tepalas

Tyrimams naudotas BASF „Construction Chemicals Italia Spa“ kompanijos klojinių tepalas Rheofinish 215, kurios fizikinės ir cheminės savybės pateiktos 10 lentelėje.

10 lentelė. Klojinių tepalo techniniai duomenys [49]

Paskirtis	Pavadinimas	Fizikinės ir cheminės savybės
Klojinių tepalas	Rheofinish 215	Baltos spalvos skystis; tirpalo tankis – 0,96 g/cm ³ ; klampa – 30 MPa·s; pH – 8,5; naudojimo temperatūra – nuo 0°C (pageidautina +20°C±5°C).

Techniniai duomenys: emulsinis klojinių tepalas aukštos kokybės betono gaminių paviršiams, turintis antikorozinę poveikį ir atsparus aukštomis temperatūroms. Pagamintas natūraliųjų riebiųjų rūgščių esterių alyvos (vandeninės emulsijos) pagrindu; Naudojant purkštuvą klojinių tepalas buvo užpurškiamas ant formų paviršiaus. Perteklinis tepalo kiekis šluoste buvo valomas tol, kol klojinio paviršiau įgauna blizgų paviršių.

4.1.6. Klojinio paviršiaus sankabumą su mišiniu didinančios medžiagos

Klojinio paviršiaus sankabumą su mišiniu didinančia medžiaga tyrimams buvo naudota Guttabeta kompanijos drenažinė membrana, kurios fizikinės ir cheminės savybės pateiktos 11 lentelėje.

11 lentelė. Guttabeta drenažinės membranos techniniai duomenys [50]

Paskirtis	Pavadinimas	Fizikinės ir cheminės savybės
Drenažinė membrana	Guttabeta	Pagaminta iš HDPE aukšto tankio polietileno; juodos spalvos; aukštis – 10 mm;

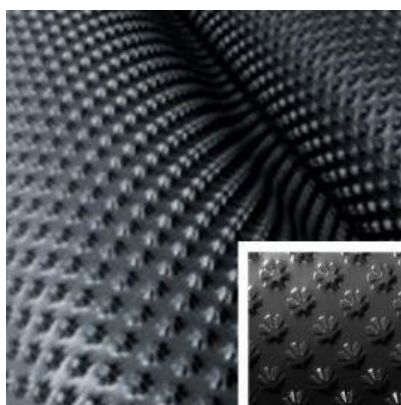
Techniniai duomenys: drenažinė membrana pagaminta iš HDPE aukšto tankio polietileno, kurio paviršius suformuotas kauburėliais. Kauburėlių briaunelės sustiprina jas pačias ir geriau paskirsto veikiančias jėgas. Vertikaliai pakloti lakštai su kauburėliais dėl savo labai didelio atsparumo spaudimui labai gerai išlaiko hidroizoliacines savybes spaudžiant. Drenažinė membrana taip pat yra elastinga, atspari smūgiams, skilimui, nusidėvėjimui, chemikalams.

Kaip klojinio paviršiaus sankabumą su mišiniu didinančia medžiaga tyrimams taip pat buvo naudota Geoproma kompanijos geotekstilė, kurios fizikinės ir cheminės savybės pateiktos 12 lentelėje.

12 lentelė. Geoproma geotekstilės techniniai duomenys [51]

Paskirtis	Pavadinimas	Fizikinės ir cheminės savybės
Geotekstilė	Geoproma	Pagaminta iš 100% UV stabilizuotų ir termiškai apjungtų polipropileno gijų; Tankis – 90 g/m ² ; Atsparumas tempimui: skersai 4,7 kN/m; išilgai 5,3 kN/m; Pailgėjimas tempimo metu: 40%; Atsparumas tempimui esant 5% pailgėjimui: 2,6 kN/m; Energijos sugėrimas: 1,8 kJ/m ² ; Atsparumas smūgiams: 500 N

Techniniai duomenys: geotekstilė pagaminta iš 100% UV stabilizuotų ir termiškai apjungtų polipropileno gijų. Tai nepūvanti, nepelijanti geotekstilė. Geotekstilė lengvai montuojama, transportuojama ir pjaustoma. Puikiai stabilizuoja ir filtruoja. Gerai apsaugo užpildą.



Guttabeta drenažinės membranos vaizdas [50]



Geoproma geotekstilės vaizdas [51]

29 pav. Klojinio paviršiaus sankabumą su mišiniu didinančios medžiagos

4.2. Tyrimų metodika

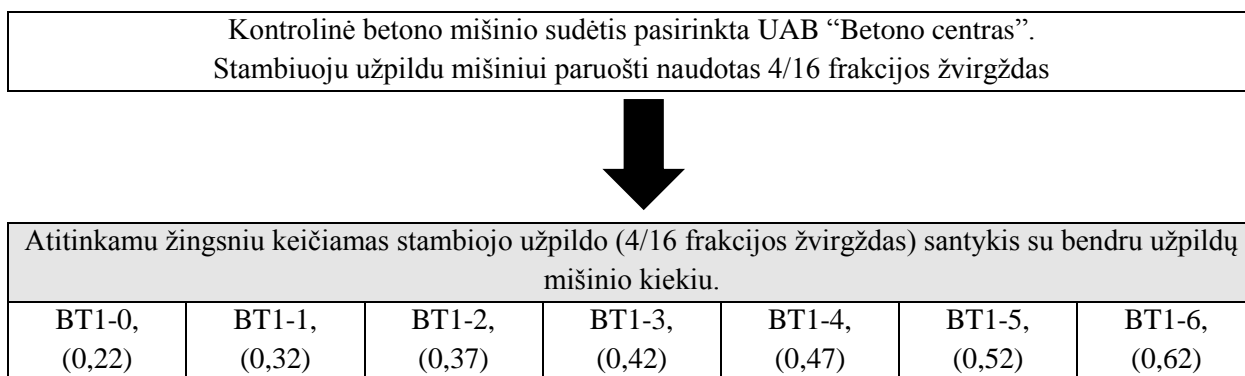
4.2.1. Cemento tešlos ir betono mišinio ruošimas

Cemento tešlos buvo maišomos priverstinio maišymo maišyklėje „Automix“. Cementas buvo dozuotas pagal masę, o vanduo ir betono įmaiša – pagal tūrį. Tyrimo metu cemento tešlos vandens ir cemento santykis (V/C) buvo pastovus. Į sferinį indą supilamas reikiamas vandens kiekis kartu su atitinkamu betono įmaišos kiekiu. Tuomet į indą supilamas reikalingas cemento kiekis. Indas įstatomas į „Automix“ maišytuvo stovą ir atliekamas tešlos maišymo procesas.

Betono mišiniai buvo ruošiami laboratorinėje priverstinio maišymo maišyklėje ZYKLOS „Pemat Mischer Mixer“ apie 3 minutes dviem etapais. Pirmojo etapo metu į sudrėkintą betono maišyklę

supiltas cementas, užpildai ir 2/3 vandens maišomi apie 2 minutes, o antrojo etapo metu – supilamas likęs vandens kiekis su plastifikuojančia betono įmaiša ir betono mišinys maišomas apie 1 minutę.

Betono mišinio sudėtys parinktos pagal standarto LST 1974:2012 [52] reikalavimus. Betono mišiniams ruošti buvo naudojami sausi užpildai. Įmaiša buvo įmaišoma į mišinius kartu su vandeniu, naudojamu mišiniams paruošti. Betono įmaišų kiekiai skaičiuoti proc. cemento masės (9 lentelė). Buvo parinktos 7 skirtingos betono mišinio sudėtys. Buvo siekiama įvertinti atskirų betono mišinio sudedamųjų dalių, tai yra stambiojo užpildo santykio su bendru užpildų mišinio kiekiu, kitimo įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos. Įmaišos buvo dozuojamos pagal gamintojų rekomendacijas (9 lentelė). 30 pav. pavaizduota betono mišinio sudėties modifikavimo eiga.



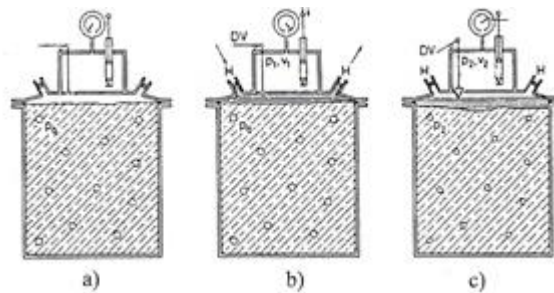
30 pav. Įprastos betono mišinio sudėties modifikavimo atskiromis sudedamosiomis dalimis eiga, vertinant mišinio elgseną ant nuožulnios plokštumos

4.2.2. Cemento tešlos ir betono mišinio technologinių savybių nustatymas

Cemento tešlos sklidumas nustatytas Suttardo viskozimetru. Bandymo metu naudojama įranga: Suttardo viskozimetras (cilindro formos indas); liniuotė; pagrindo plokštė/paviršius (stiklo); permaišymo indas; kastuvėlis; drėgnas audinys. Sudrėkinamas Suttardo viskozimetras ir pagrindo plokštė. Suttardo viskozimetras pastatoma ant horizontalios pagrindo plokštės/paviršiaus. Suttardo viskozimetrą pripildžius cemento tešla, jis pakeliamas į viršų, cemento tešla pasklinda plokštės paviršiuje, išmatuojamas jos pasklidimo skersmuo.

Oro kiekis mišinyje nustatytas pagal standarto LST EN 12350-7 [53] reikalavimus. Nustatant oro kiekį slėgio metodu, bandomasis mišinys sudedamas į prietaiso indą ir sutankinamas ant vibravimo stalo. Indo kraštai kruopščiai nuvalomi. Viršutinė prietaiso dalis uždėdama ant indo ir sandariai prispaudžiama prie indo (31 pav.). Gumine kriauše purškiamas vanduo per vieną iš ventilių H, kol vanduo pradeda tekėti per kitą ventilių H. Uždaromi ventiliai H. Pumpuojamas oras į oro kamerą viršutinėje prietaiso dalyje tol, kol manometro rodyklė pasiekia pradinio slėgio žymę. Po kelių sekundžių suspaustas oras atvėsta iki aplinkos temperatūros ir manometro rodyklė nustatoma ant nulinės žymės papildomai pumpuojant arba išleidžiant orą pagal poreikį. Šio proceso metu lengvai

pastuksenamas manometras. Atidaromas pagrindinis oro ventilis DV ir oro slėgis perduodamas betono mišiniui. Stipriai pastuksenama į indo šonus. Lengvai pastuksenus į manometrą, nuskaitomas oro kiekio rodmuo. Atidaromi ventiliai H, kad sumažėtų oro slėgis, ir nuimama viršutinė prietaiso dalis.



31 pav. Oro kiekio betono mišinyje nustatymo slėgio metodu prietaisas

Šviežio betono mišinio tankis nustatytas pagal standarto LST EN 12350-6 [54] reikalavimus. Šiame bandyme naudojamos priemonės: cilindrinis indas, vibravimo stolas, mentelė, svarstyklės. Bandymo metu betono mišinys mentele sudedamas į indą. Betono mišinys tuoj pat po indo užpildymo visiškai sutankinamas taip, kad mišinys neišsiskirtių vanduo. Sutankinamas ant vibravimo stalo. Sutankintas mišinys sveriamas.

Šviežio betono mišinio tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_{mišinio} = \frac{m_{užpild.indo} - m_{tuš.indo}}{V} \cdot 100\% \quad (20)$$

čia: $\rho_{mišinio}$ – betono mišinio tankis; $m_{užpild.indo}$ – užpildyto indo masė; $m_{tuš.indo}$ – tuščio indo masė; V – indo tūris.

Šviežio betono mišinio slankumas nustatytas pagal standarto LST EN 12350-2 [55] reikalavimus. Bandymo metu naudojama įranga: forma bandiniui suformuoti (kūgio formos); tankinimo strypas ($\varnothing=16\pm 1\text{mm}$; $l=600\pm 5\text{ mm}$); piltuvas (nebūtinai); liniuotė; pagrindo plokštė/paviršius; permaišymo indas; kastuvėlis; drėgnas audinys; mentelė; chronometras arba laikrodis. Sudrekinama kūginė forma ir pagrindo plokštė. Forma pastatoma ant horizontalios pagrindo plokštės/paviršiaus. Formą pildant, ji prie pagrindo plokštės/paviršiaus pritvirtinama arba prispaudžiama, abiem kojomis primynus formos plokšteles. Forma užpildoma trimis sluoksniais, kad kiekvieno storis po sutankinimo būtų apytiksliai vienas trečdalis formos aukščio. Kiekvienas sluoksnis tankinamas 25 strypo dūriais, kurie kiekviename sluoksnio plote turi būti paskirstyti tolygiai. Apatinis sluoksnis badomas šiek tiek pakreiptais dūriais, kurių apie pusė išdėstoma spirale nuo krašto į centrą. Antras ir viršutinis sluoksniai tankinami per kiekvieno jų storį dūriais, smeigiant tik iki sutankintojo sluoksnio. I viršutinį sluoksnį betono mišinio iki jo tankinimo dedama su pertekliumi virš formos. Jei tankinant viršutinis betono mišinio sluoksnis sukrenta žemiau viršutinio formos krašto, reikia dar įdėti betono mišinio, kad perteklius virš formos visada būtų išlaikytas. Sutankinus viršutinį sluoksnį, betono

mišinio paviršius sulyginamas pjaunamaisiais ir voluojamaisiais tankinimo strypo judesiais. Neužbertas betono mišinys nuvalomas nuo pagrindo plokštės/paviršiaus. Forma nuo betono mišinio bandinio nutraukiama atsargiai ją keliant vertikalia kryptimi. Betono mišinio bandinio, nutraukus nuo jo kūginę formą, suslūgimo dydis yra betono mišinio konsistencijos rodiklis, matuojamas milimetrais.



32 pav. Betono mišinio slankumo matavimas

4.2.3. Cemento tešlos ir betono mišinio elgsenos ant nuožulnios plokštumos parametrų nustatymas

Mišinio pastovumo bandymas ant nuožulnios plokštumos. Siekiant, kad betono mišinys išlaikytų pastovumą ant tam tikru kampu pasvirusios nuožulnios plokštumos, mišinio ribiniai šlyties įtempiai turi būti ne mažesni už tam tikrą dydį. Betono mišinį veikiančias jėgas ir susidarancius jame šlyties įtempius priklausomai nuo nuožulnios plokštumos posvyrio kampo galima apskaičiuoti remiantis tokia supaprastinta schema, kuri yra pavaizduota 13 paveiksle (2.1 skyrius).

Šlyties įtempiai τ betono mišinyje susidaro dėl tangentinės sunkio jėgos dedamosios veikimo, kurie gali būti apskaičiuoti pagal 8 formulę (2.1 skyrius).

Lygtis 8 parodo, kad betono mišinyje pasireiškiančių šlyties įtempių dydis priklauso nuo betono mišinio sluoksnio storio h ir nuožulnios plokštumos posvyrio kampo α . Ant nuožulnios plokštumos esantis betono mišinys bus pastovus tuomet, kai ribiniai šlyties įtempiai τ_0 bus didesni už betono mišinyje atsirandančius šlyties įtempius τ , tai yra $\tau_0 \geq \tau$ arba $\tau_0 \geq h \cdot \rho_{miš} \cdot g \cdot \sin \alpha$.

Betono mišinio ribiniai šlyties įtempiai τ_0 apskaičiuoti remiantis autorių [56] pasiūlyta formule:

$$\tau_0 = \frac{350 \cdot \rho_{miš}}{1,35 \cdot \left(\sqrt{\frac{21000}{30 - SL}} - 75 - 5 \right)^2} \quad (21)$$

čia: τ_0 – ribiniai šlyties įtempimai, kPa; SL – mišinio slankumas, cm; $\rho_{miš}$ – mišinio tankis, g/cm³.



33 pav. Bandymo standai cemento tešlos ir betono mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos vertinti

Cemento tešlos ir betono mišinio bandymai buvo atliekami ant klojinių skydo fragmento, pagaminto iš derva impregnuotos faneros (PERI).

Bandymo eiga:

1. paruošiamas bandymo stendų plokštumų paviršius, padengiant juos klojinių tepalu pagal gamintojo reikalavimus. Plokštumų posvyrio kampas su pagrindu yra 25° , 35° ir 45° .
2. paruošta cemento tešla užpildomas cilindras, esantis ant skirtingo posvyrio kampo plokštumos paviršiaus. Paruoštu betono mišiniu užpildomas kūginis cilindras, esantis ant skirtingo posvyrio kampo plokštumos paviršiaus. Užpildant kūginį cilindrą betono mišiniu, pastarasis yra tankinamas kvadratinio skerspjūvio tankinimo strypu 15-os kartų paspaudimu. Yra žinomas tešlos ar mišinio tekėjimo kelias nuožulnios plokštumos paviršiumi (50 cm). Pakėlus cilindrinį ar kūginį indus yra stebimas atitinkamai cemento tešlos ar betono mišinio pastovumas (pasislinkimas nuožulnia plokštuma laiko atžvilgiu) ant tam tikru kampu pasvirusios nuožulnios plokštumos. Užrašomi bandymo duomenys.
3. sekundmačiu išmatuojamas cemento tešlos ar betono mišinio tekėjimo laikas ant tam tikru kampu pasvirusios nuožulnios plokštumos.
4. apskaičiuojamas cemento tešlos ar betono mišinio tekėjimo greitis, esant plokštumos posvyrio kampui 25° , 35° ir 45° .
5. apskaičiuojami ribiniai τ_0 (Pa) ir pradiniai šlyties įtempiai $\tau_{pr.}$ (Pa). Patikrinama sąlyga – ant nuožulnios plokštumos esantis betono mišinys bus pastovus tuomet, kai ribiniai šlyties įtempiai τ_0 bus didesni už betono mišinyje atsirandančius pradinius šlyties įtempius $\tau_{pr.}$, tai yra $\tau_0 \geq \tau_{pr.}$

5. TYRIMŲ REZULTATAI

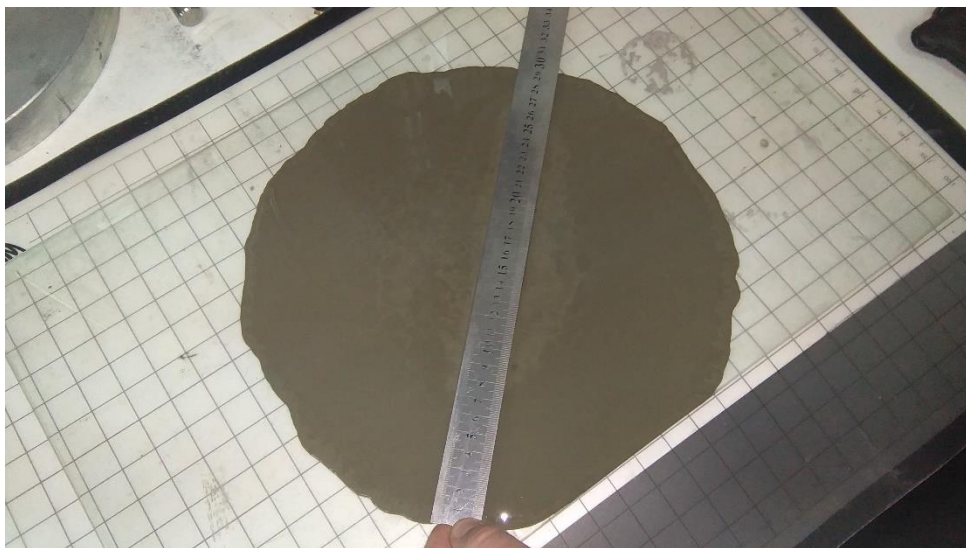
5.1. Cemento tešlos pastovumas ant nuožulnios plokštumos

Cemento tešlai paruošti buvo naudotas toks pats V/C santykis bei superplastiklio kiekis, kaip ir kontrolinėje betono mišinio sudėtyje (žr. 17 lentelę). Tyrime naudotos cemento tešlos sudėtis pateikta 13 lentelėje.

13 lentelė. Cemento tešlos sudėtis.

Pavadinimas	Medžiagų kiekis, kg
CEM I 42,5 R	1,6
Vanduo	0,72
V/C	0,54
Glenium SKY 628 (tankis 1,06 kg/l), 1,2%	18,11 ml

Cemento tešlos konsistencija buvo vertinta atliekant sklidimo bandymą Suttardo viskozimetru (žr. 34 pav.), o nustatytos pasklidimo Suttardo viskozimetru bei tešlos tankio vertės pateiktos 14 lentelėje.

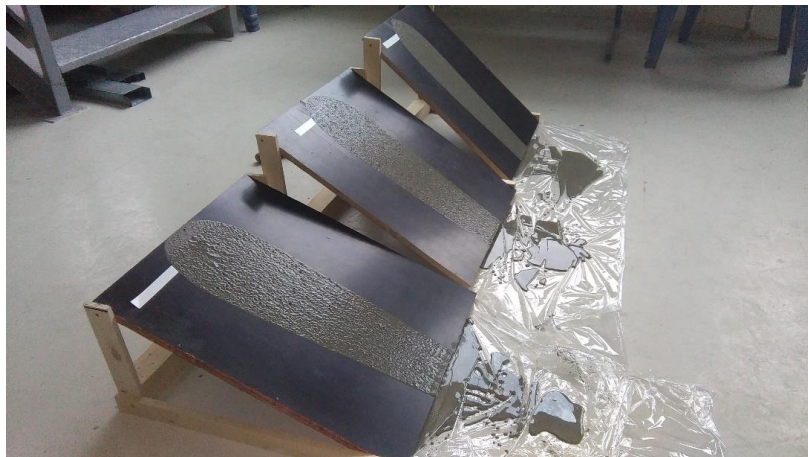
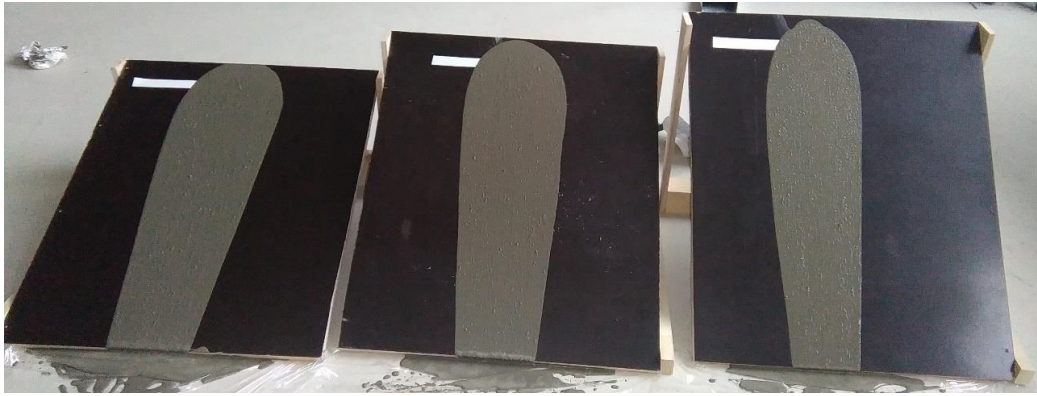


34 pav. Cemento tešlos sklidimo bandymas Suttardo viskozimetru

14 lentelė. Cemento tešlos technologinės savybės

Pavadinimas	Rezultatas
Pasklidimas Suttardo viskozimetre, mm	299
Tešlos tankis, g/cm ³	1,855

Cemento tešlos pastovumo ant nuožulnios plokštumos bandymas, esant posvyrio kampui 25°, 35° ir 45°, pavaizduotas 35 paveiksle. Nustatytas tekėjimo laikas 50 cm intervale bei apskaičiuotas tekėjimo greitis, esant plokštumos posvyrio kampui 25°, 35° ir 45°, pateikti 15 lentelėje.



35 pav. Cemento tešlos pastovumas ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos

Kaip matyti iš 15 lentelėje pateiktų duomenų, esant plokštumos posvyrio kampui 45°, gautas trumpiausias cemento tešlos tekėjimo laikas bei didžiausias tekėjimo greitis, lyginant su tešlos pastovumu ant nuožulnios plokštumos, kuomet posvyrio kampas buvo 25° bei 35°.

15 lentelė. Cemento tešlos pastovumo ant nuožulnios plokštumos vertinimas

Posvyrio kampas	Tekėjimo laikas 50 cm intervale, s	Tekėjimo greitis, cm/s
25°	5,03	9,94
35°	3,03	16,50
45°	2,11	23,69

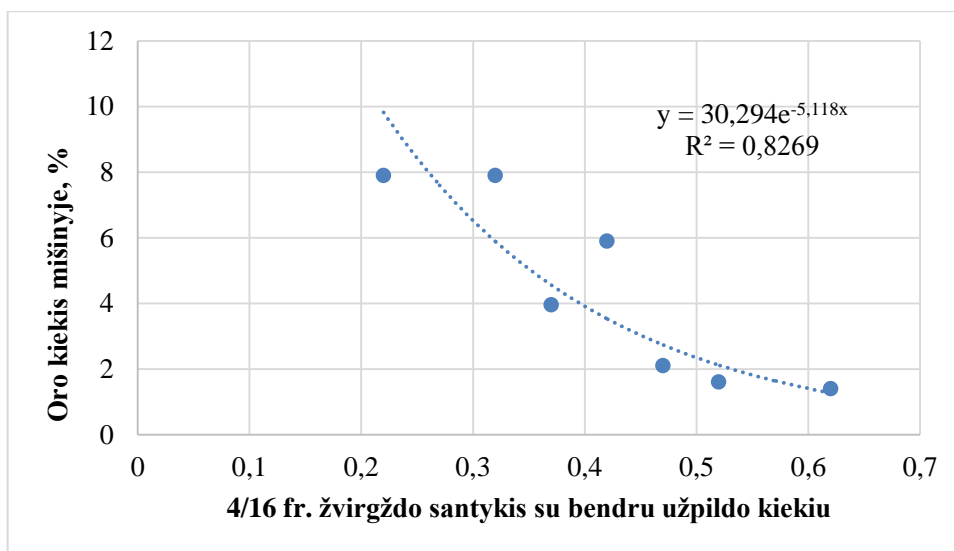
5.2. Stambaus užpildo kiekio įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos

Siekiant įvertinti stambiojo užpildo (stambiosios frakcijos) kiekio įtaką betono mišinio elgsenai ant tam tikro nuožulnumo plokštumos buvo modifikuojama pasirinkta kontrolinė betono mišinio sudėtis (žr. 30 pav.) ir parinktos septynios įprastinio betono mišinio sudėtys (žym. BT1-0 – BT1-6). Modifikuojant kontrolinę betono mišinio sudėtį buvo keičiamas santykis tarp stambiojo užpildo ir bendro užpildų mišinio kiekio: 0,22; 0,32; 0,37; 0,42; 0,47; 0,52; 0,62. 16 lentelėje pateiktos betono mišinių sudėtys.

16 lentelė. Betono mišinio sudėtys BT1-0 – BT-6.

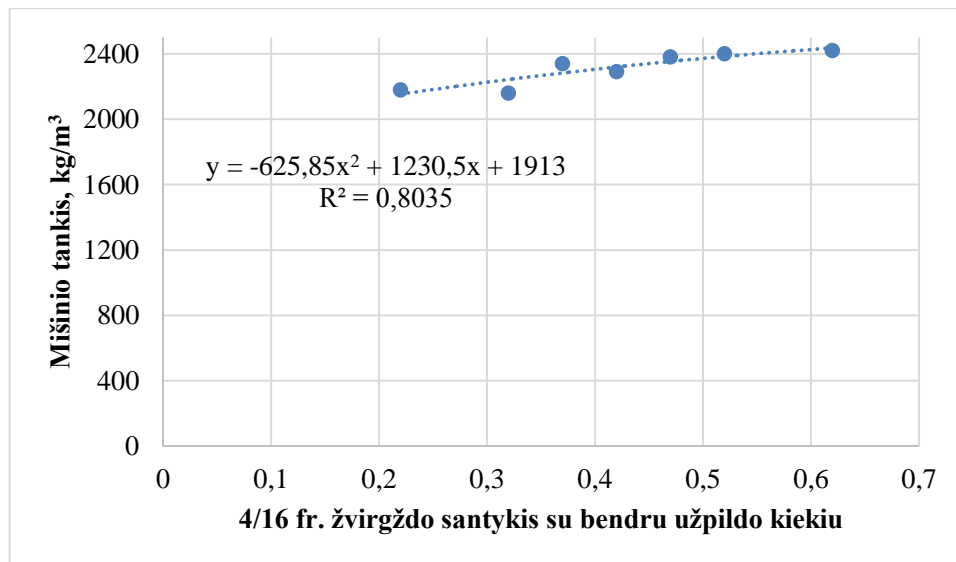
Betono mišinio sudėtis Betono mišinio kodas	Cemento kiekis, kg	Vanduo kiekis, l	4/16 fr. žvirgždo kiekis, kg	0/4 fr. smėlio kiekis, kg	0/1 fr. smėlio kiekis, kg	Plast. įmaišos kiekis, l	V/C
1	2	3	4	5	6	7	8
BT1-0	330	178	417	986	492	3,74	0,54
BT1-1			607	860	429		
BT1-2			702	797	397		
BT1-3			796	733	366		
BT1-4			891	671	334		
BT1-5			986	607	303		
BT1-6			1175	480	240		

Iš 36 paveikslo matyti, kad didinant 4/16 frakcijos žvirgždo kiekį bendrame užpildų mišinyje nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, įtraukto oro kiekis mišinyje mažėja nuo 7,9 iki 1,4 %. Įtraukto oro kiekis mišinyje priklauso nuo užpildo stambumo, tai yra kuo smulkesni užpildai naudojami mišiniui paruošti, tuo tikėtinas didesnis įtraukto oro kiekis mišinyje [43].



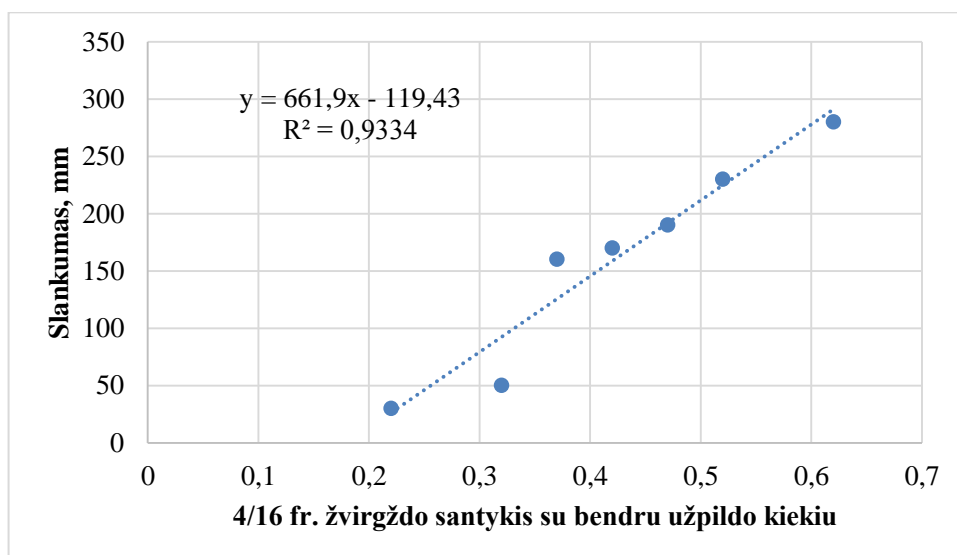
36 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka oro kiekio kitimui

Betono mišinio tankio kitimas didinant 4/16 frakcijos žvirgždo kiekį bendrame užpildų mišinyje nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio pavaizduotas 37 paveiksle. Matyti, kad betono mišinio tankis padidėja nuo 2160 iki 2420 kg/m³. Mišinių su tankiaisiais užpildais tankis mažėja, kai mažėja stambiojo užpildo koncentracija, nes smulkesni užpildai didina oro kiekį mišinyje ir dėl to mažina mišinio tankį [43]. Mūsų nagrinėjamu atveju yra atvirkščias variantas – yra didinams stambaus užpildo kiekis, dėl to tankis palaipsniui didėja.



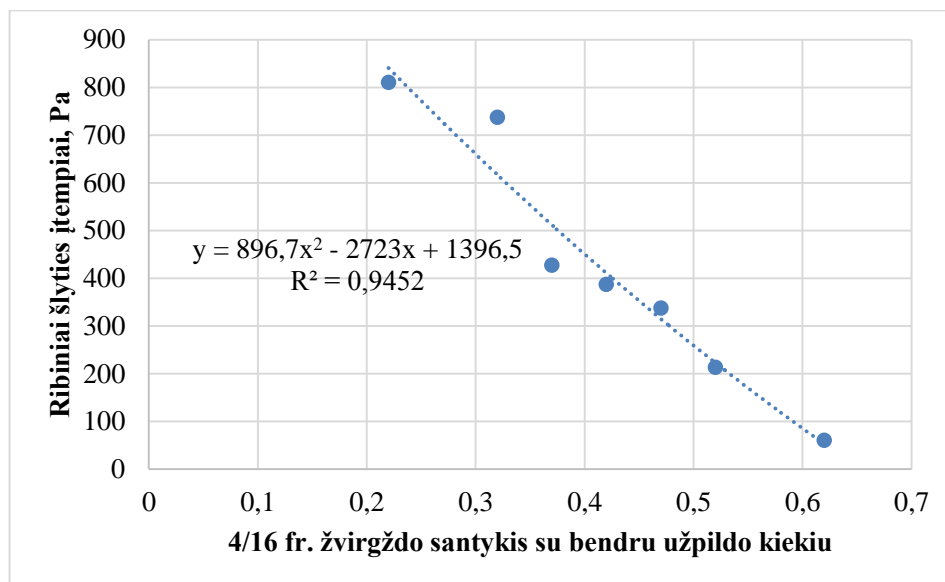
37 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka mišinio tankio kitimui

Iš 38 paveikslo matyti, kad didinant 4/16 frakcijos žvirgždo kiekį bendrame užpildų mišinyje nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, betono mišinio konsistencija pagal slankumą didėja nuo 30 iki 280 mm. Betono mišinio konsistencija pagal slankumo klasę kinta nuo S1 iki S5 (pagal LST EN 12350-2 [55]). Norint padidinti mišinio stabilumą, reikia didinti smulkiojo užpildo kiekį mišinyje [43]. Mūsų nagrinėjamu atveju didėja stambaus užpildo kiekis ir tuo pačiu mažėja bendras užpildų dalelių savitasis paviršiaus plotas. Mažėjant užpildų paviršiaus plotui reikia mažiau cemento tešlos, dengiančios užpildų paviršių. Todėl atsiradęs laisvos cemento tešlos kiekis sumažina ribinius šlyties įtempius ir padidina mišinio konsistenciją (slankumą).



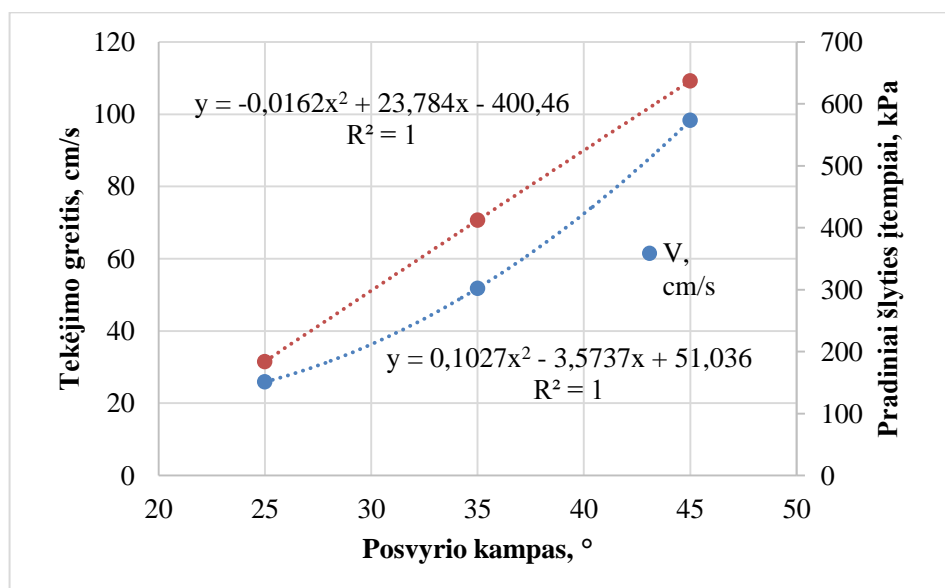
38 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka mišinio slankumo kitimui

Iš 39 paveikslo matyti, kad betono mišinio ribiniai šlyties įtempiai sumažėja nuo 809,98 iki 60,21 Pa, kuomet 4/16 frakcijos žvirgždo kiekis bendrame užpildų mišinyje padidėja nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio. Ribiniai šlyties įtempiai mažėja, nes mažėja užpildų savitasis paviršiaus plotas, o atsiradęs laisvas cemento tešlos kiekis padidina užpildų judėjimą/persislinkimą vienas kito atžvilgiu mišinyje.

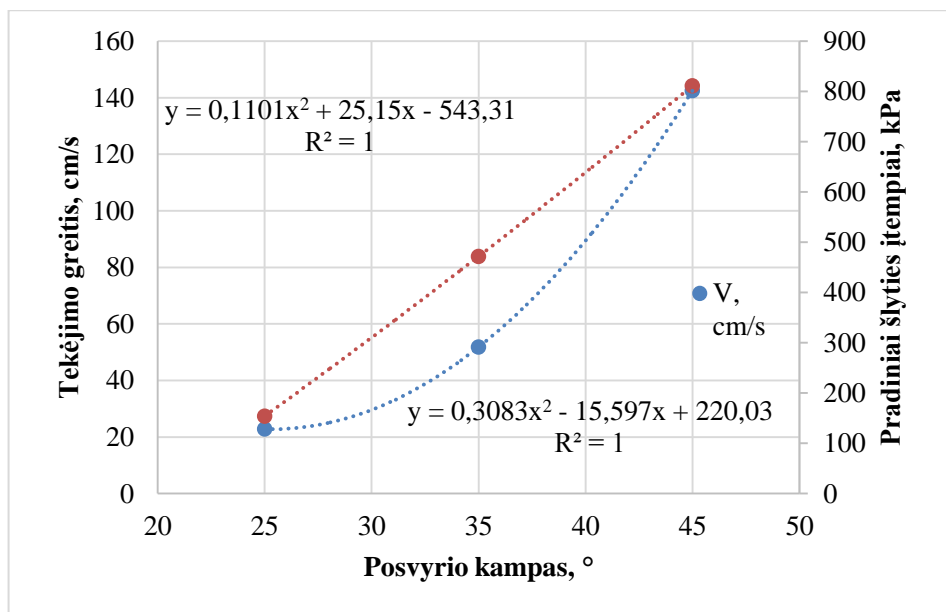


39 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka ribiniams šlyties įtempiams

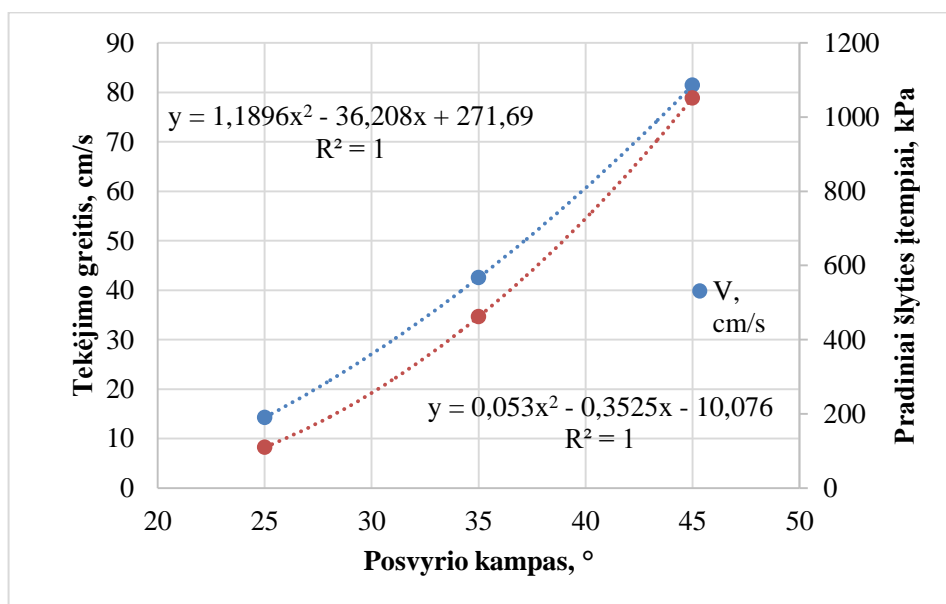
Kaip kinta pradiniai šlyties įtempiai (8 lygtis) ir tekėjimo greitis prie skirtingo plokštumos posvyrio kampo, kuomet 4/16 frakcijos žvirgždo kiekis bendrame užpildų mišinyje padidėja nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, pateikta 40-46 paveiksluose.



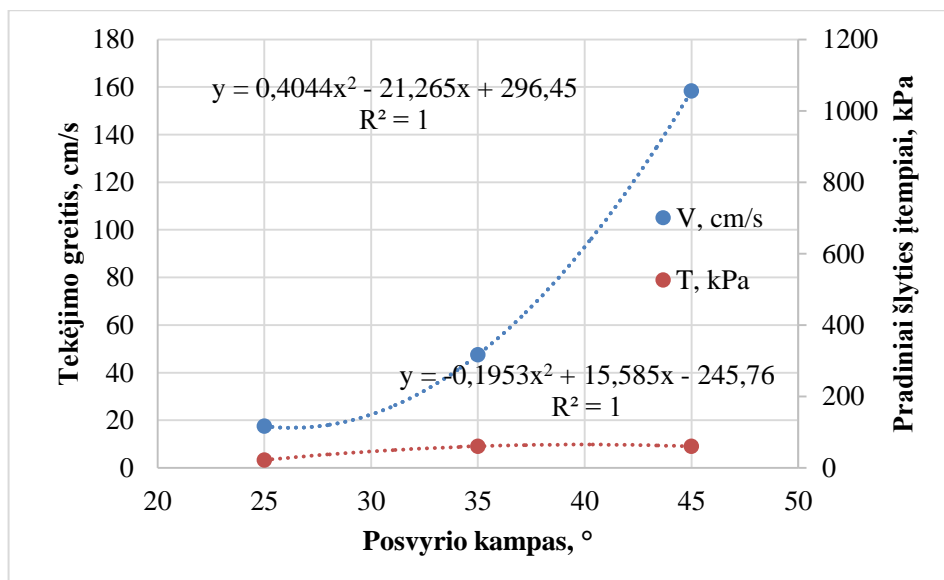
40 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-0 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,22



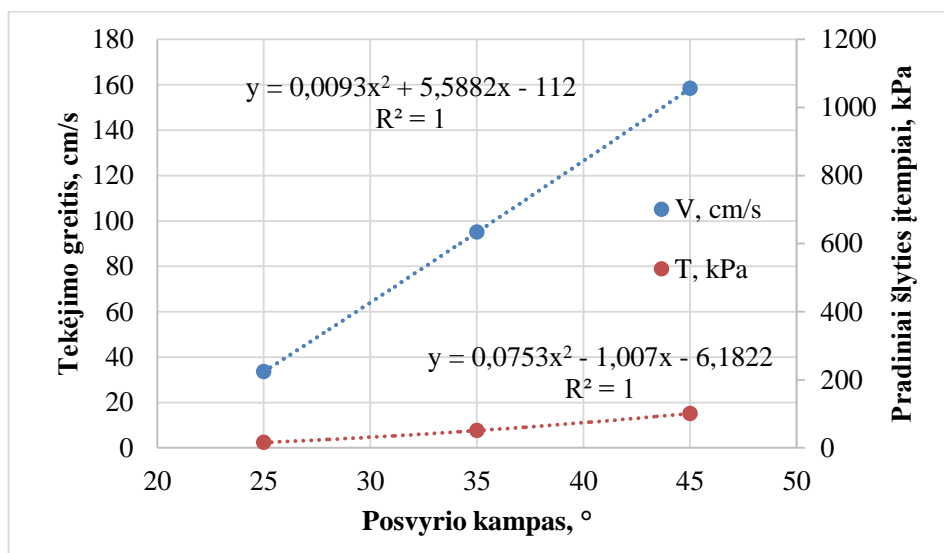
41 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-1 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,32



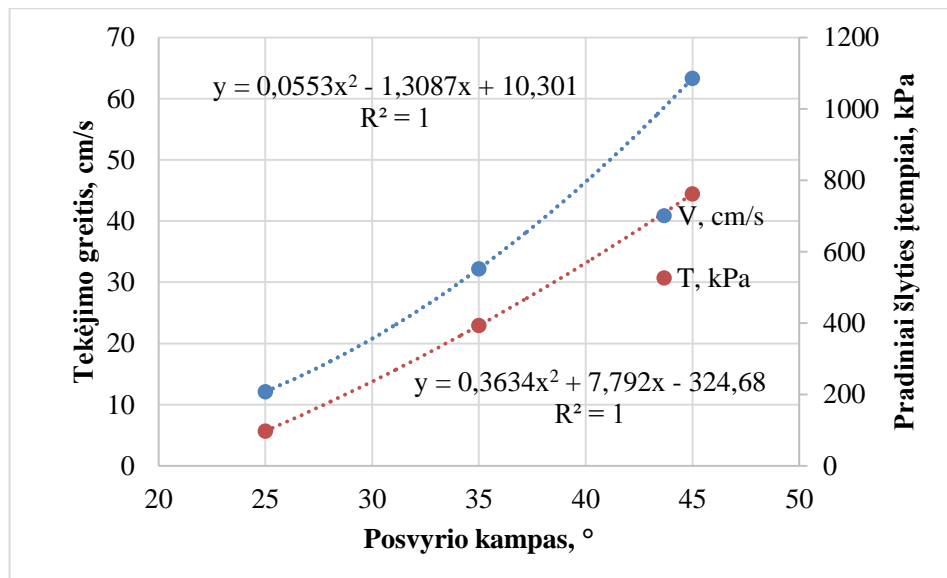
42 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,37



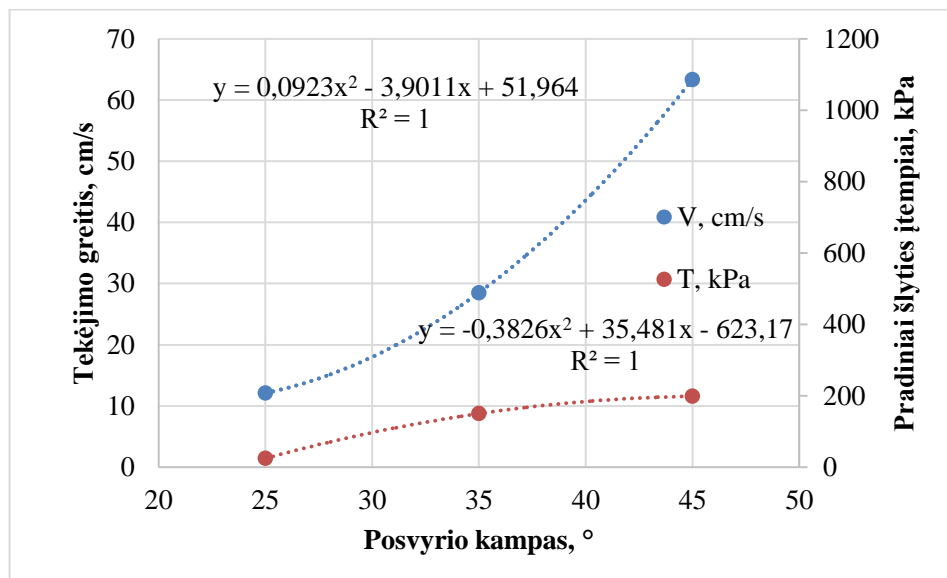
43 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-3 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,42



44 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-4 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,47



45 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-5 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,52



46 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-6 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,62

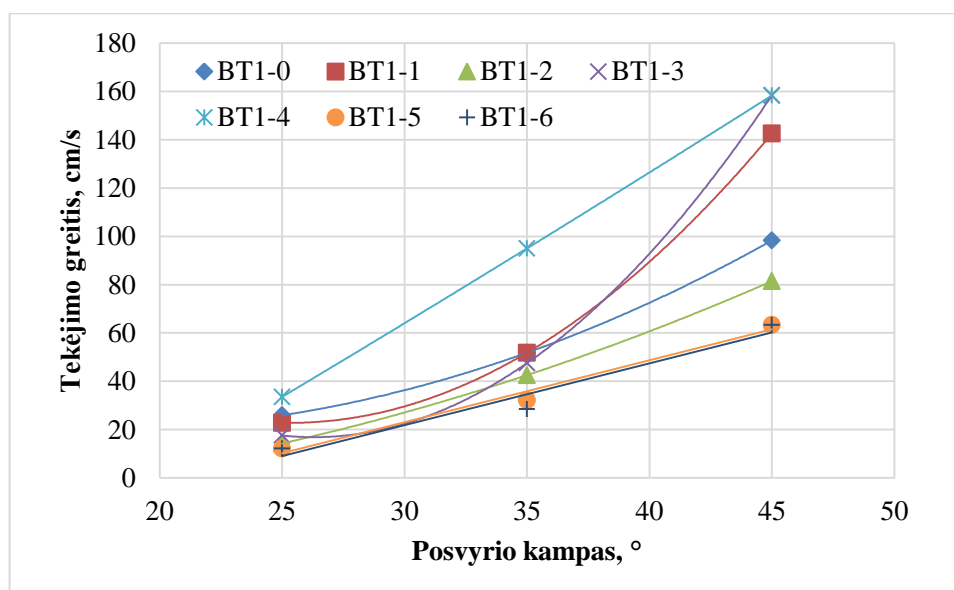
Iš 40 – 46 paveikslų matyti, kad didėjant 4/16 frakcijos žvirgždo kiekiui bendrame užpildų mišinyje nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio ir didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45°, betono mišinio tekėjimo greitis ir pradiniai šlyties įtempiai didėja. Didžiausias mišinio tekėjimo greitis gautas (mišinių sudėčių BT1-3 ir BT1-4) 158,3 cm/s, esant plokštumos posvyrio kampui 45°. Mažiausias tekėjimo greitis gautas (mišinių sudėčių BT1-5 ir BT1-6) 12,1 m/s, esant mažiausiam plokštumos posvyrio kampui 25°. Didžiausi pradiniai šlyties įtempiai gauti (BT1-2 mišinio sudėtis) 1051,35 kPa. Mažiausi pradiniai šlyties įtempiai gauti (mišinio sudėtis BT1-4) 15,71 kPa.

17 lentelė. Betono mišinių ribinių ir pradinių šlyties įtempių palyginimas

Betono mišinio sudėtis Betono mišinio kodas	Ribiniai šlyties įtempiai τ_0 (Pa)	Pradiniai šlyties įtempiai $\tau_{pr.}$ (Pa)			Patikrinama sąlyga $\tau_0 \geq \tau_{pr.}$		
		Posvyrio kampas (°)			Posvyrio kampas (°)		
		25	35	45	25	35	45
BT1-0	809,98	183,98	412,07	636,90	Netenkina	Netenkina	Netenkina
BT1-1	736,84	154,25	471,80	811,36	Netenkina	Netenkina	Tenkina
BT1-2	427,23	97,22	393,16	761,78	Netenkina	Netenkina	Tenkina
BT1-3	386,68	110,01	461,72	1051,35	Netenkina	Tenkina	Tenkina
BT1-4	337,35	24,72	149,96	198,67	Netenkina	Netenkina	Netenkina
BT1-5	213,09	21,81	60,49	60,10	Netenkina	Netenkina	Netenkina
BT1-6	60,21	15,71	50,83	101,00	Netenkina	Netenkina	Tenkina

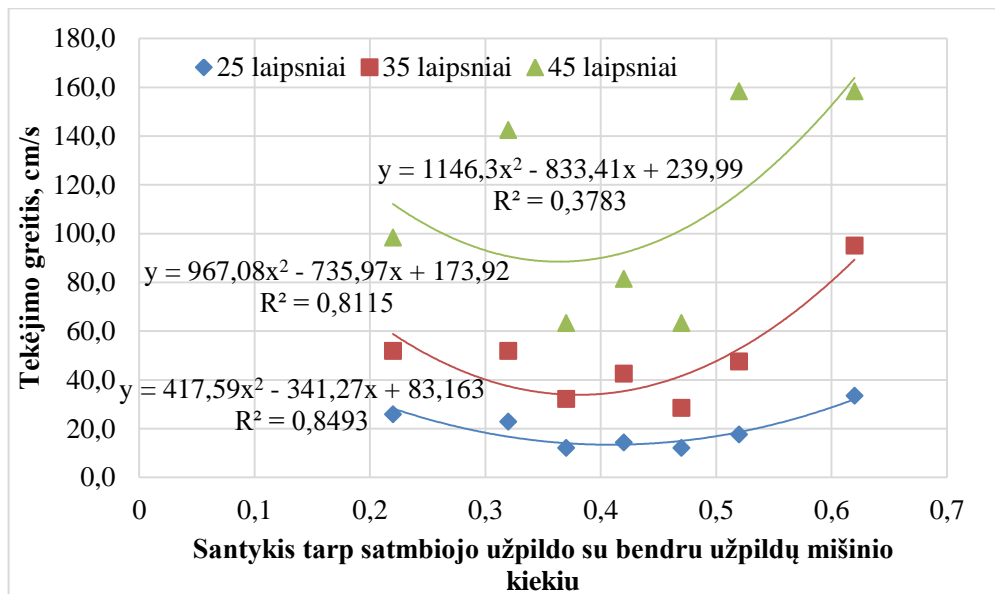
Iš 17 lentelės matome, jog ribiniai šlyties įtempiai nuosekliai mažėjo, didinant stambaus užpildo kiekį bendrame užpildų tūryje. Didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45° pradiniai šlyties įtempiai visų mišinių atvejais didėjo. Patikrinama sąlyga ar ribiniai šlyties įtempiai didesni už pradinius šlyties įtempius, kai plokštumos posvyrio kampas 25°, 35° ir 45°. Jei ribiniai šlyties įtempiai didesni, mišinys neišlaiko pastovumo ant nuožulnios plokštumos – sąlyga netenkinama.

Visų mišinių (sudėčių BT1-0 – BT1-6) tekėjimo greičio palyginamas, didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45° ir 4/16 frakcijos žvirgždo kiekiui bendrame užpildų mišinyje nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, pateiktas 47 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45°, mišinių tekėjimo greitis ant nuožulnios plokštumos taip pat didėjo.



47 pav. Tekėjimo greičio palyginimas prie skirtingo plokštumos posvyrio kampo, kuomet didinamas 4/16 frakcijos žvirgždo kiekis bendrame užpildų mišinyje

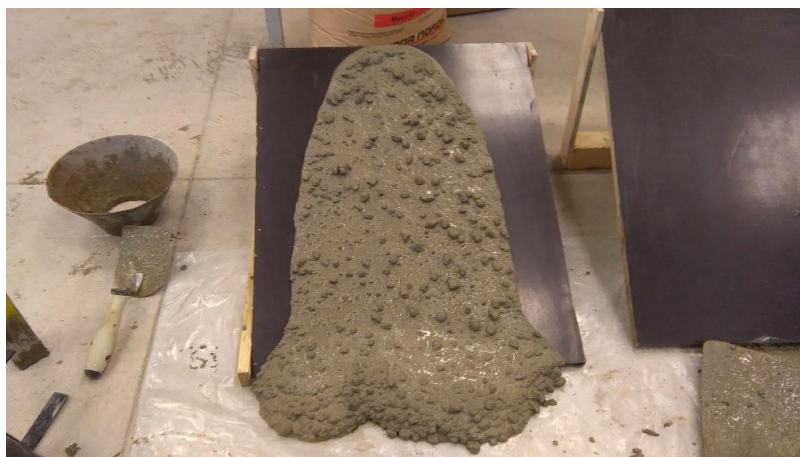
48 paveiksle pateiktas visų mišinių (sudėčių BT1-0 – BT1-6) tekėjimo greičio palyginimas, esant skirtingam plokštumos posvyrio kampui, kuomet 4/16 frakcijos žvirgždo kiekis bendrame užpildų mišinyje didėja nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio. Iš šio paveikslo matyti, kad betono mišinių tekėjimo greičio reikšmės didėja, didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45°.



48 pav. Santykio tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio įtaka tekėjimo greičiui esant plokštumos posvyrio kampui 25°, 35° ir 45°

Betono mišinio pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas pavaizduotas 49 paveiksle.





49 pav. Betono mišinio pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas

Iš šio paveikslo matyti, kad betono mišinio bandinys nuslenka klojinio skydo fragmentu, padengtu klojinio tepalu. Tokiu pavyzdžiu buvo imituotos sąlygos, atitinkančios betono klojimo ant nuožulnios plokštumos procesus. Klojinio skydo paviršius nebuvo padengtas specialiomis priemonėmis, didinančiomis mišinio sankibumą su pagrindu. Galima daryti prielaidą, kad 4/16 frakcijos žvirgždo kiekio bendrame užpildų mišinyje didinimas nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, nėra pakankama priemonė siekiant mišinio stabilumo ant nuožulnios plokštumos, kurios posvyrio kampas 25°, 35° ir 45°.

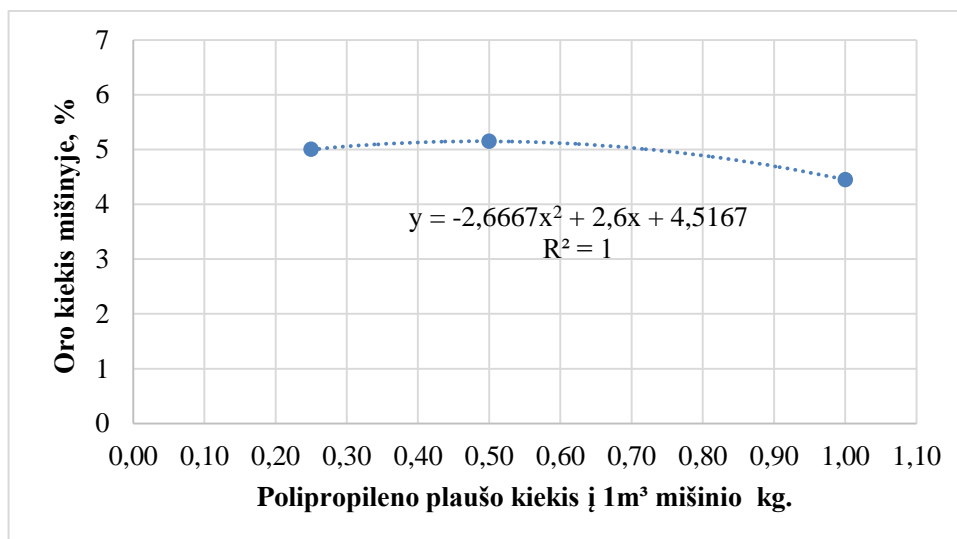
5.3. Polipropileno plaušo kiekio įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos

Tolimesniame eksperimente buvo ieškoma kitų betono mišinio sudėties modifikavimo būdų. Siekiant įvertinti polipropileno plaušo įtaką betono mišinio elgsenai ant tam tikru kampu pasivirusios nuožulnios plokštumos, buvo pasirinkta viena iš prieš tai bandytų betono mišinio sudėties (BT1-2). Modifikuojant pasirinktą betono mišinio sudėtį buvo didinamas polipropileno plaušo kiekis mišinyje: 0,25; 0,50 ir 1,00 kg vienam kubiniam metrui betono mišinio. 18 lentelėje pateiktos betono mišinių sudėtys.

18 lentelė. Betono mišinio sudėtys BT1-2-1 – BT1-2-3.

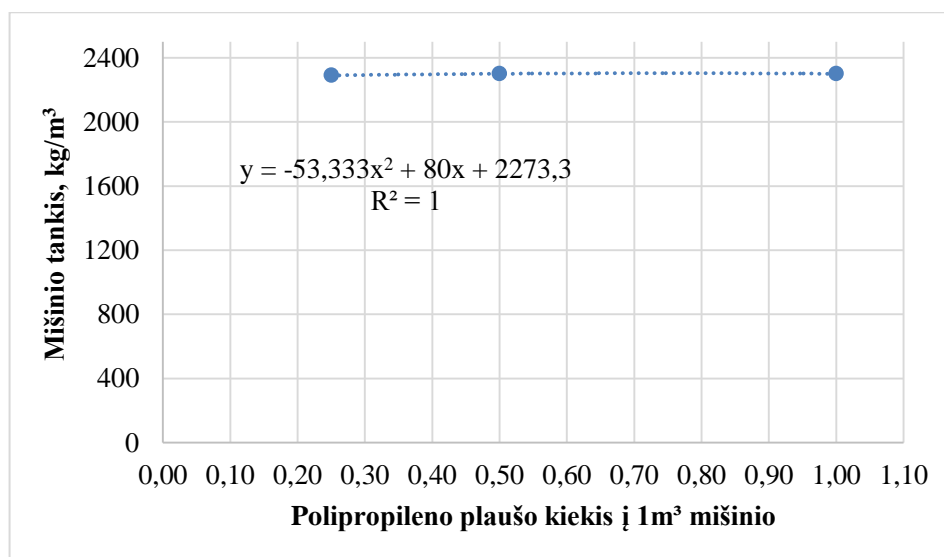
Betono mišinio sudėtis Betono mišinio kodas	Cemento kiekis, kg	Vanduo kiekis, l	4/16 fr. žvirgždo kiekis, kg	0/4 fr. smėlio kiekis, kg	0/1 fr. smėlio kiekis, kg	Plast. įmaišos kiekis, l	V/C	Polipropileno plaušas, kg
1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT1-2-1	330	178	607	860	429	3,74	0,54	1,00
BT1-2-2								0,50
BT1-2-3								0,25

Iš 50 paveikslo matyti, kad didinant polipropileno plaušo kiekį mišinyje nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, įtraukto oro kiekis mišinyje sumažėjo palyginti nežymiai nuo 5,0 iki 4,45 %.



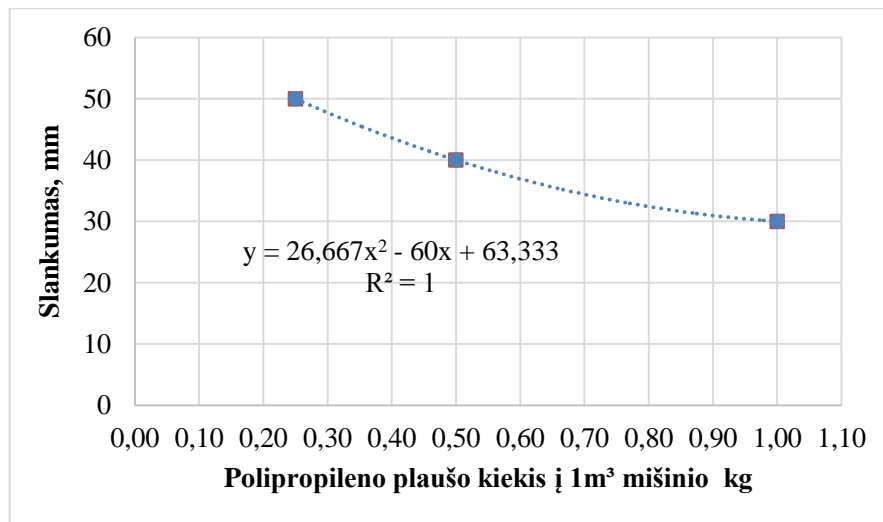
50 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka įtraukto oro kiekio kitimui

Betono mišinio tankio kitimas, didinant polipropileno plaušo kiekį mišinyje nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, pavaizduotas 51 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betono mišinio tankis sumažėjo nežymiai nuo 2300 iki 2290 kg/m³.



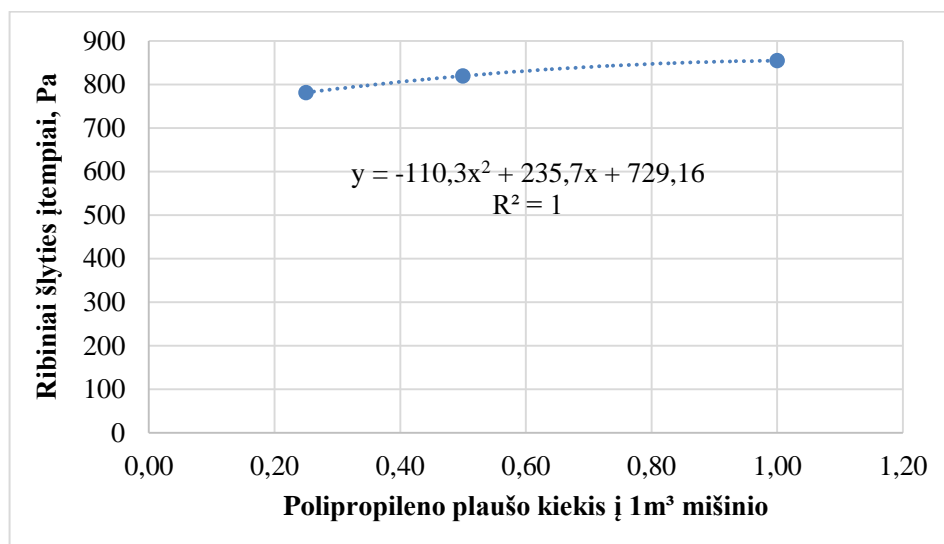
51 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka betono mišinio tankio kitimui

Iš 52 pav. pateiktos kreivės matyti, kad didinant polipropileno plaušo kiekį mišinyje nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, betono mišinio konsistencija pagal slankumą sumažėja nuo 50 iki 30 mm. Betono mišinio konsistencija pagal slankumo klasę kinta nuo S1 iki S2 (pagal LST EN 12350-2 [55]). Plaušai blogina technologines mišinių savybes – mažina jų klijumą (slankumą) [43].



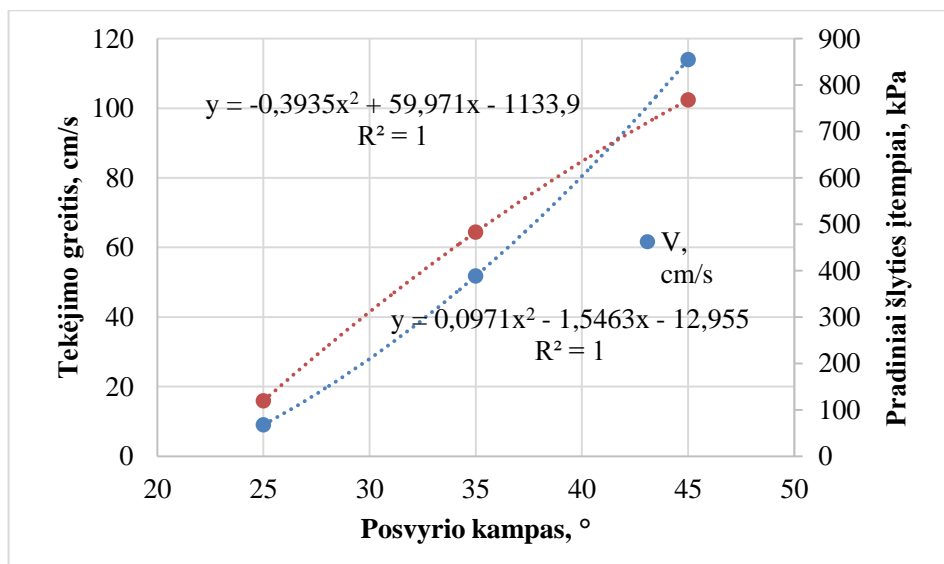
52 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka betono mišinio slankumo kitimui

Iš 53 pav. pateiktos kreivės matyti, kad polipropileno plaušo kiekiui padidėjus mišinyje nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, betono mišinio ribiniai šlyties įtempiai sumažėja nuo 854,56 iki 781,19 Pa.

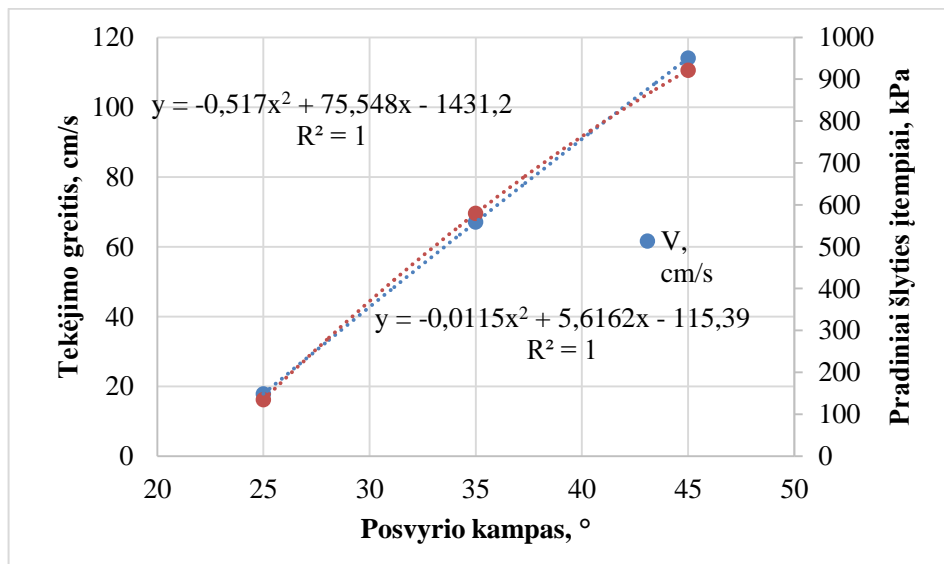


53 pav. Polipropileno plaušo kiekio įtaka betono mišinio ribiniams šlyties įtempiams

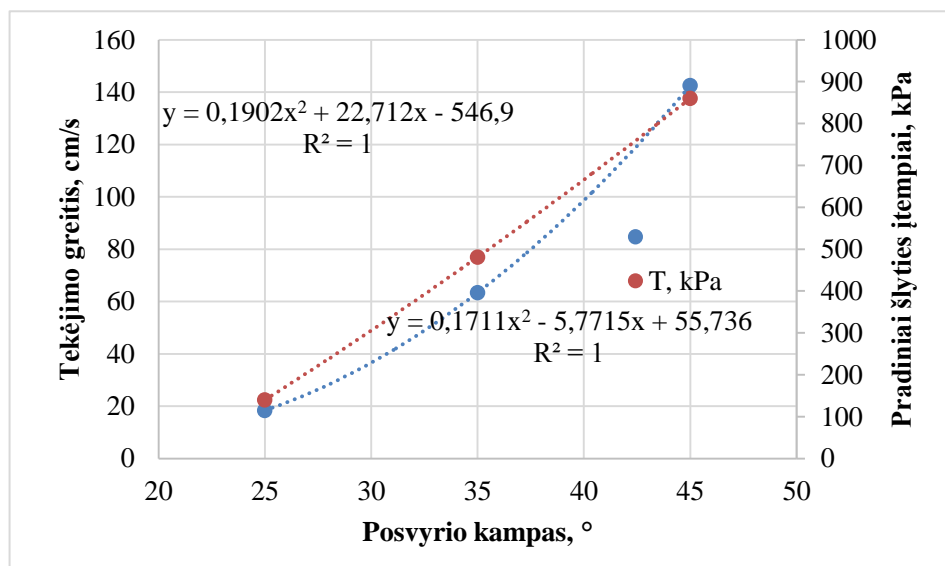
Kaip kinta mišinių pradiniai šlyties įtempiai ir tekėjimo greitis, kintant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45° bei didėjant polipropileno plaušo kiekiui mišinyje nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, pavaizduota 54 – 56 paveiksluose.



54 pav. Ribinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2-1 polipropileno plaušo kiekis - 0,25 kg



55 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2-2 polipropileno plaušo kiekis - 0,50 kg



56 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-2-3 polipropileno plaušo kiekis - 1,0 kg

Iš aukščiau pateiktų paveikslų matyti, jog didžiausi pradiniai šlyties įtempiai gauti (mišinio sudėtis BT1-2-2) 921,55 kPa, esant plokštumos posvyrio kampui 45°. Mažiausi pradiniai šlyties įtempiai gauti (BT1-2-1 mišinio) 119,45 kPa, esant plokštumos posvyrio kampui 25°. Didžiausias mišinio tekėjimo greitis gautas (mišinio sudėtis BT1-2-3) 142,5 cm/s, esant posvyrio kampui 45°. Mažiausias tekėjimo greitis gautas (BT1-2-1 mišnio) 9,0 cm/s, esant plokštumos posvyrio kampui 25°.

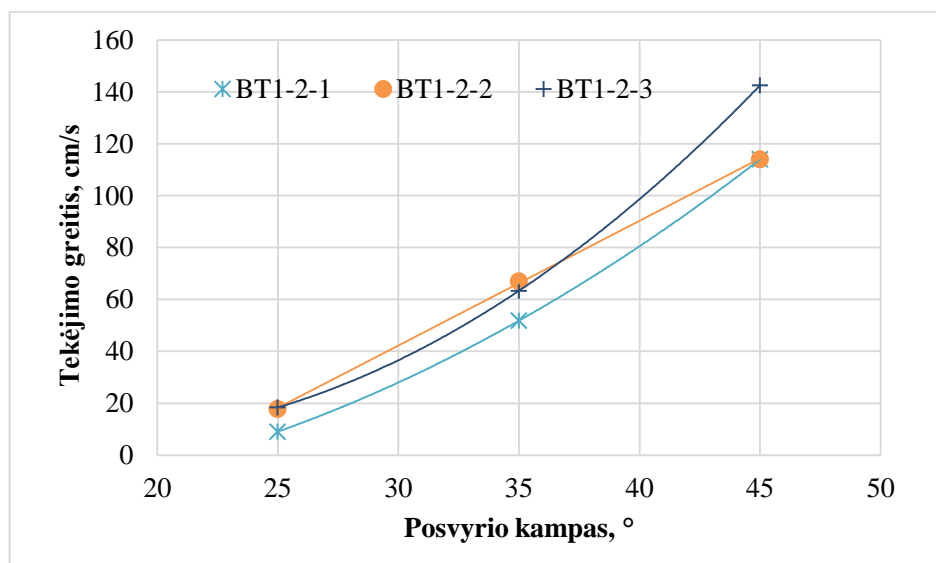
19 lentelė. Betono mišinių ribinių ir pradinių šlyties įtempių palyginimas

Betono mišinio sudėtis / Betono mišinio kodas	Ribiniai šlyties įtempiai τ_0 (Pa)	Pradiniai šlyties įtempiai τ_{pr} (Pa)			Patikrinama sąlyga $\tau_0 \geq \tau_{pr}$		
		Posvyrio kampas (°)			Posvyrio kampas (°)		
		25	35	45	25	35	45
BT1-2-1	854,56	119,45	483,05	767,96	Netenkina	Netenkina	Netenkina
BT1-2-2	819,43	134,38	579,67	921,55	Netenkina	Netenkina	Tenkina
BT1-2-3	781,19	139,74	480,95	860,20	Netenkina	Netenkina	Tenkina

Iš 19 lentelės matome, jog ribiniai šlyties įtempiai nuosekliai mažėjo, didinant stambaus užpildo kiekį bendrame užpildų tūryje. Didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45° pradiniai šlyties įtempiai visų mišinių atvejais didėjo. Patikrinama sąlyga ar ribiniai šlyties įtempiai didesni už pradinius šlyties įtempius, kai plokštumos posvyrio kampas 25°, 35° ir 45°. Jei ribiniai šlyties įtempiai didesni, mišinys neišlaiko pastovumo ant nuožulnios plokštumos – sąlyga netenkinama.

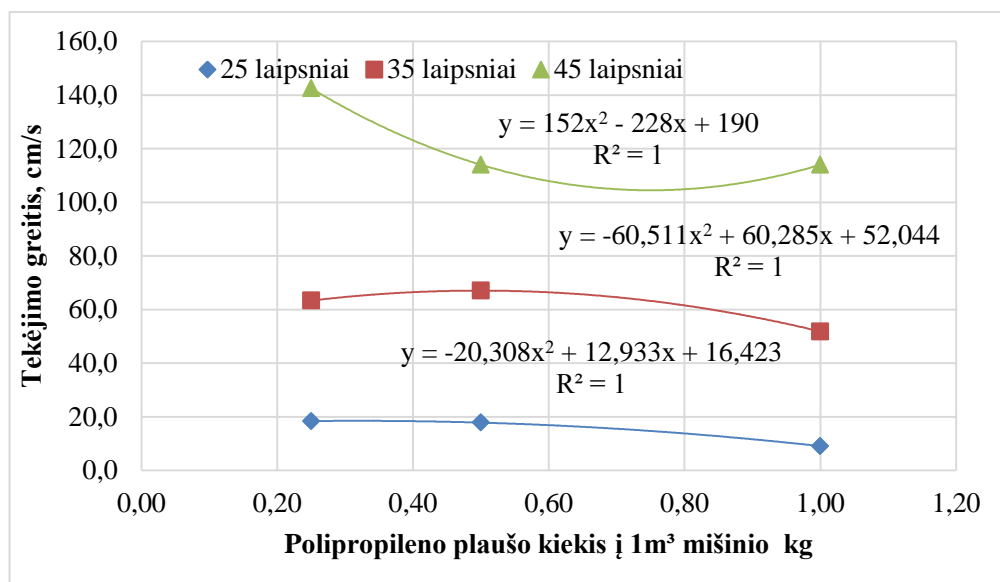
Visų mišinių (sudėčių BT1-2-1 – BT1-2-3) tekėjimo greičio palyginimas, esant skirtingam plokštumos posvyrio kampui, pateiktas 57 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad didinant

polipropileno plaušo kiekį mišinyje bei didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45°, didėja ir mišinio tekėjimo ant nuožulnios plokštumos greitis.



57 pav. Tekėjimo greičio palyginimas prie skirtingo ploštumos posvyrio kampo didinant polipropileno plaušo kiekį betono mišinyje

Visų mišinių (sudėčių BT1-2-1 – BT1-2-3) tekėjimo greičio palyginimas, esant skirtingam polipropileno plaušo kiekiui mišinyje, pateiktas 58 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad mišinio tekėjimo greičio didesnės reikšmės gautos prie didesnio plokštumos posvyrio kampo, tačiau didėjant polipropileno plaušo kiekiui mišinyje nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, jos mažėja.



58 pav. Polipropileno plaušo kiekio didinimo įtaka tekėjimo greičiui, esant plokštumos posvyrio kampui 25°, 35° ir 45°

Betono mišinio su polipropileno plaušu pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas pavaizduotas 59 paveiksle.



59 pav. Betono mišinio su polipropileno plaušu pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas

Iš 59 paveikslu matyti, kad betono mišinio bandinys nuslenka klojinio skydo fragmentu, padengtu klojinio tepalu. Klojinio skydo paviršius nebuvo padengtas specialiomis priemonėmis, didinančiomis mišinio sankibumą su pagrindu. Galima daryti prielaidą, kad polipropileno plaušo kiekio mišinyje didinimas nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, nėra pakankama priemonė siekiant mišinio stabilumo ant nuožulnios plokštumos, kurios posvyrio kampas 25°, 35° ir 45°.

5.4 Klojinio paviršiaus sankibumo įtaka mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos

Kadangi tiek 4/16 frakcijos žvirgždo kiekio bendrame užpildų mišinyje didinimas nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, tiek polipropileno plaušo kiekio mišinyje didinimas nuo 0,25 iki 1,0 kg vienam kubiniam metrui mišinio, nėra pakankamos priemonės siekiant mišinio stabilumo ant 25°, 35° ir 45° kampu pasivirusios nuožulnios plokštumos, buvo didinimas klojinio skydo paviršiaus sankabumas. Tokiu būdu buvo siekiama padidinti betono mišinio sankibumą su nagrinėjamu pagrindu. Tolimesniems tyrimams buvo pasirinktos dvi įprastinio betono mišinio sudėtys,

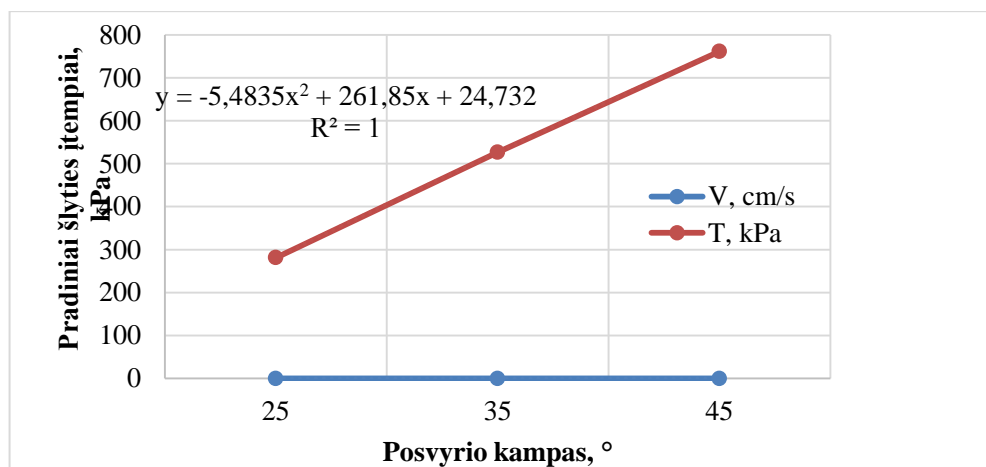
kurių žymėjimas yra BT1-3 – BT1-5 (žr. 16 lentelę). Mišinių technologinės savybės ir ribiniai šlyties įtempiai pateikti 20 lentelėje. Nuožulnios plokštumos sankibumas pirmuoju atveju buvo didinamas klojinio skydo paviršių padengiant drenažine membrana (žr. 11 lentelę ir 29 pav.), antruoju atveju – naudojant geotekstilę (žr. 12 lentelę ir 29 pav.).

Iš 20 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad didinant 4/16 frakcijos žvirgždo kiekį bendrame užpildų mišinyje nuo 796 iki 986 kg vienam kubiniam metrui mišinio, įtraukto oro kiekis mišinyje kinta ribose nuo 5,2 iki 4,1 %, mišinio tankis kinta ribose nuo 2279 iki 2341 kg/m³, o mišinio konsistencija pagal slankumą kinta ribose nuo 160 iki 230 mm. Betono mišinio konsistencija pagal slankumo klasę kinta nuo S4 iki S5 (pagal LST EN 12350-2 [55]). Betono mišinio ribiniai šlyties įtempiai kinta ribose nuo 416,09 iki 207,85 Pa.

20 lentelė. Betono mišinių BT1-3–BT1-5 technologinės savybės ir ribiniai šlyties įtempiai

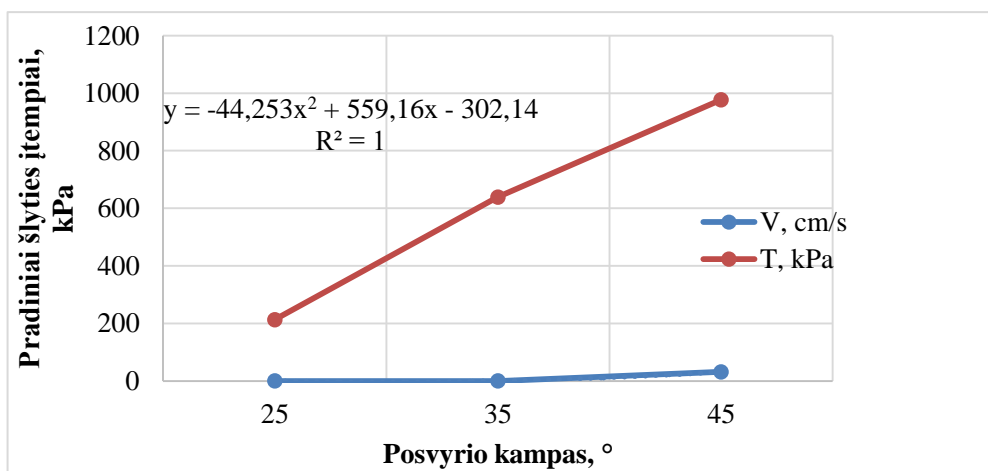
Betono mišinio kodas	4/16 fr. žvir. santykis su bendru užpildo kiekiu	Įtraukto oro kiekis mišinyje, %	Mišinio tankis, kg/m ³	Mišinio slankumas, mm	Ribiniai šlyties įtempiai, Pa
1	2	3	4	5	6
BT1-3	0,42	5,2	2279	160	416,09
BT1-5	0,52	4,1	2341	230	207,85

Kaip kinta mišinio pradiniai šlyties įtempiai ir tekėjimo greitis, esant ne tik skirtingam plokštumos posvyrio kampui, bet ir nuožulnias plokštumas, iš klojinių skydų, padengus drenažine membrana, pavaizduota 60 ir 61 paveiksluose. Iš šių paveikslų matyti, kad mišinys (sudėtis BT1-3) padengus skirtingo posvyrio kampo plokštumas mišinio sankibumą su pagrindu didinačia priemone, nuožulnios plokštumos paviršiumi neteka. Taip pat matyti, kad mišinio pradiniai šlyties įtempiai padidėja nuo 281,10 iki 760,95 kPa, kai plokštumos posvyrio kampas padidėja nuo 25° iki 45°.



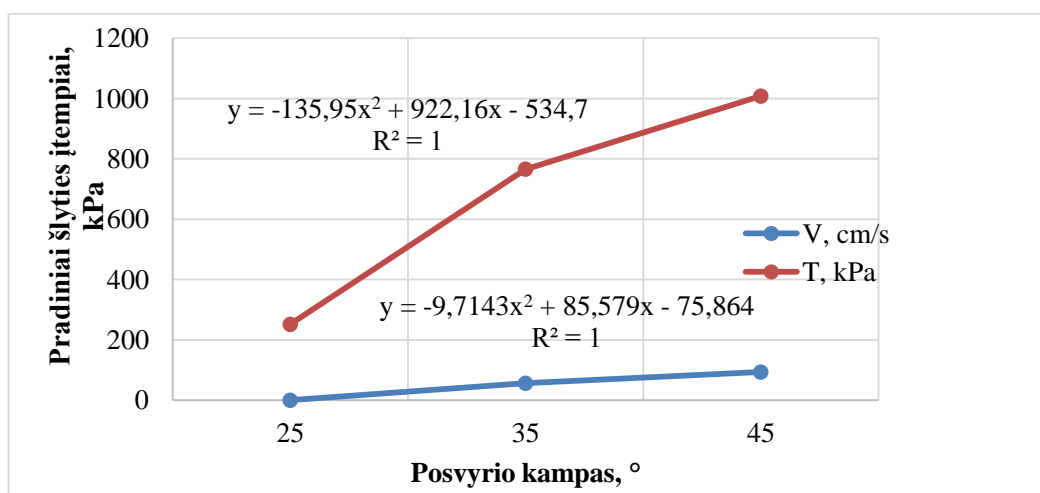
60 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-3 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,42. Sankibumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama drenažinė membrana (GUTA)

Betono mišinys (sudėtis BT1-5) neteka nuožulnia plokštuma žemyn, esant plokštumos posvyrio kampui 25° ir 35°. Esant plokštumos posvyrio kampui 45°, betono mišinys pradeda tekėti nuožulnia plokštuma žemyn 31,7 cm/s greičiu. Mišinio pradiniai šlyties įtempiai didėja nuo 212,76 iki 977,06 kPa, didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 35°.



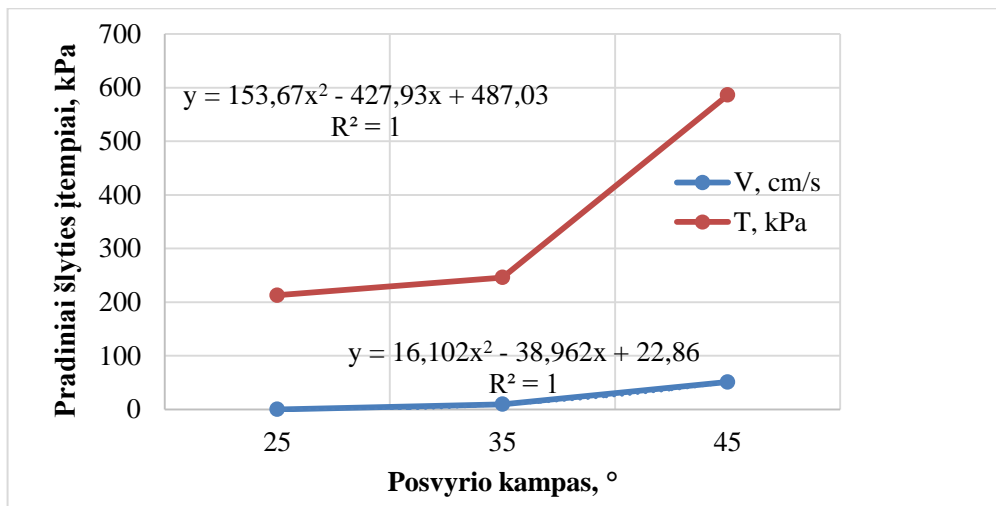
61 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-5 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,52. Sankibumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama drenažinė membrana (GUTA)

Kaip kinta mišinio pradiniai šlyties įtempiai ir tekėjimo greitis, esant ne tik skirtingam plokštumos posvyrio kampui, bet ir nuožulnias plokštumas iš klojinių skydų padengus geotekstile, pateikta 62 ir 63 paveiksluose. Iš 62 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad esant plokštumos posvyrio kampui 25°, mišinys nuožulnia plokštuma žemyn neteka. Esant plokštumos posvyrio kampui 35° ir 45°, mišinys (sudėtis BT1-2) teka nuožulnia plokštuma žemyn atitinkamai 56,4 ir 93,4 cm/s greičiais. Mišinio pradiniai šlyties įtempiai didėja nuo 251,51 iki 1008,25 kPa, didėjant plokštumos posvyrio kampui nuo 25° iki 45°.



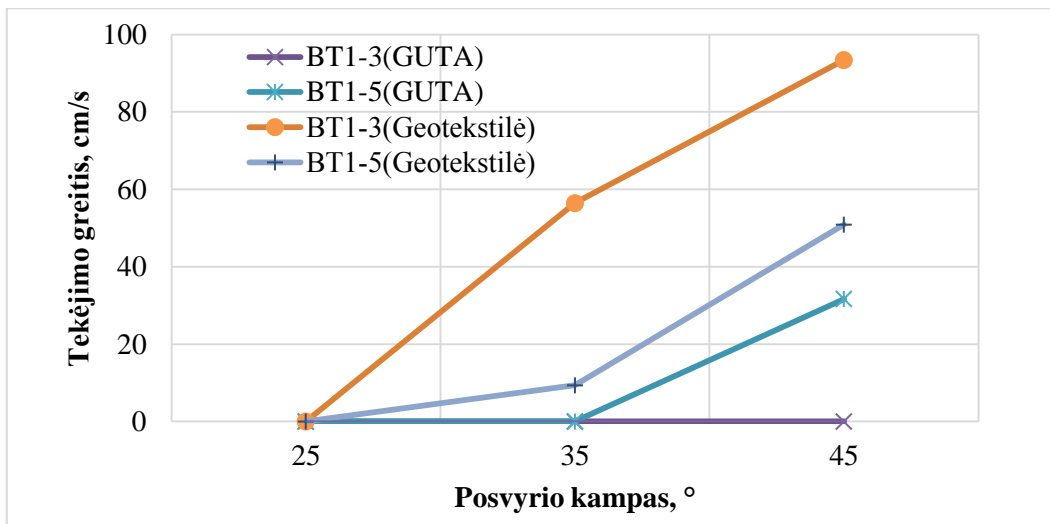
62 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-3 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,42. Sankabumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama geotekstilė

Iš 63 paveiksle pateikto grafiko matome, jog mišinys (sudėtis BT1-5) nuožulnia plokštuma žemyn neteka, esant plokštumos posvyro kampui 25°. Esant plokštumos posvyro kampui 35°, gautas mišinio tekėjimo greitis 9,3 cm/s, o esant plokštumos posvyro kampui 45°, gautas mišinio tekėjimo greitis 50,9 cm/s. Mišinio pradiniai šlyties įtempiai didėja nuo 212,76 iki 586,24 kPa, didėjant plokštumos posvyro kampui 25° iki 45°.



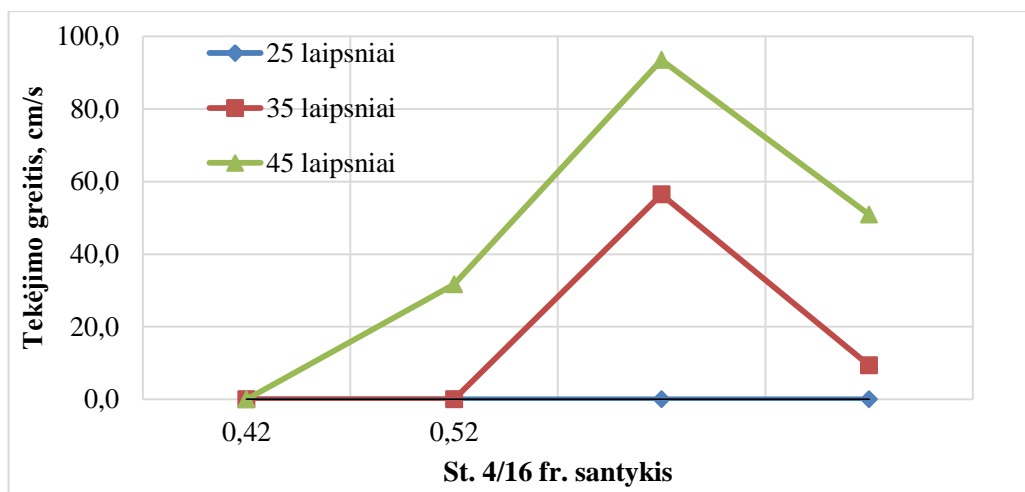
63 pav. Pradinių šlyties įtempių ir tekėjimo greičio reikšmės, kai mišinyje BT1-5 santykis tarp stambiojo užpildo (4/16 fr. žvirgždas) ir bendro užpildų mišinio kiekio - 0,52. Sankibumui su mišiniu padidinti ant skydo klojama geotekstilė

Betono mišinio (sudėtis BT1-3), kuomet sankibumui su pagrindu padidinti naudojama drenažinė membrana, ir mišinio (sudėtis BT1-3), kuomet sankibumui su pagrindu padidinti naudojama geotekstilė tekėjimo greičio palyginimas, esant skirtingam plokštumos posvyro kampui bei didėjant 4/16 frakcijos žvirgždo kiekiui bendrame užpildų mišinyje nuo 417 iki 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, pateiktas 64 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad mišinio pastovumui ant nuožulnios plokštumos palaikyti geresnis variantas yra drenažinė membrana, lyginant su geotekstile. Matyti, kad mišinių tekėjimo greičiai gauti didesni, klojinio skydo paviršių padengus geotekstile, nei drenažine membrana.



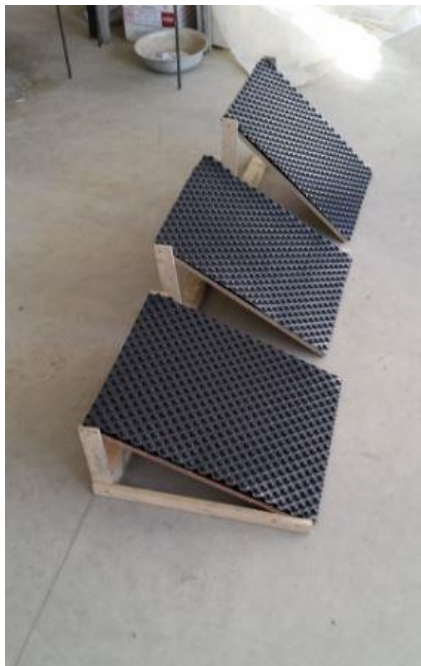
64 pav. Tekėjimo greičio palyginimas prie skirtingo plokštumos posvyrio kampo, kuomet naudojamos sankabumą su mišiniu didinčios priemonės

Betono mišinių (sudėtis BT1-3 ir BT1-5, kai mišinio sankibumui su pagrindu padidinti naudojama drenazinė membrana) ir (sudėtis BT1-3 ir BT1-5, kai mišinio sankibumui su pagrindu padidinti naudojama geotekstilė) tekėjimo greičio palyginimas, esant 4/16 frakcijos žvirgždo kiekiui bendrame užpildų mišinyje 417 ir 1175 kg vienam kubiniam metrui mišinio, pateiktas 65 paveiklėse. Iš šio paveiklės matyti, kad esant plokštumos posvyrio kampui 25°, nuožulnia plokštuma žemyn neteka nei vienas mišinys. Esant plokštumos posvyrio kampui 35°, didžiausias mišinio tekėjimo greitis gautas (BT1-3 mišinio) 56,4 cm/s, kai nuožulni plokštuma padengta geotekstile. Esant plokštumos posvyrio kampui 45°, didžiausias mišinio tekėjimo greitis gautas (BT1-5 mišinio) 93,4 cm/s, kai nuožulni plokštuma tai pat padengta geotekstile.



65 pav. Sankabumą su mišiniu didinčių priemonių įtaka tekėjimo greičiui, esant plokštumos posvyrio kampui 25°, 35° ir 45°

Betono mišinio pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas, kai mišinio sankibumo su klojinio skydo padidinimui nudojama drenažinė membrana, pavaizduota 66 paveiksle.



Drenažine membrana padengtos nuožulnios plokštumos



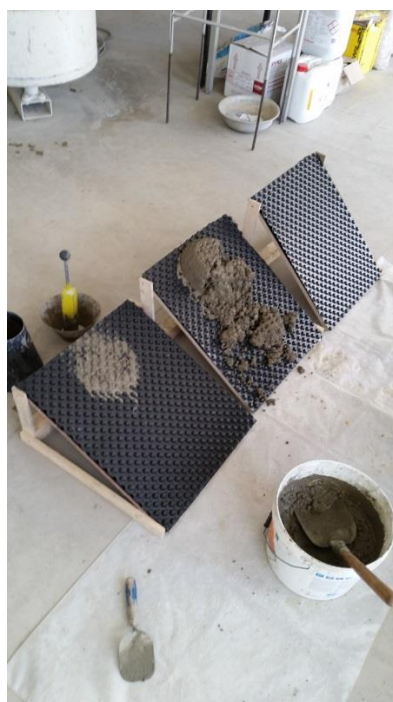
Mišinio suslūgimo matavimas



Mišinio tankinimas



Betono mišinio bandinys, esant plokštumos posvyrio kampui 25°



Betono mišinio bandinys, esant plokštumos posvyrio kampui 35°



Betono mišinio bandinys, esant plokštumos posvyrio kampui 45°

66 pav. Betono mišinio pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas, kai mišinio sankibumo su klojinio skydo padidinimui nudojama drenažinė membrana

Betono mišinio pastovumo ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos bandymas, kai mišinio sankibumo su klojinio skydo padidinimui nudojama geotekstilė, pavaizduotas 67 paveiksle.



Geotekstile padengtos nuožulnios plokštumos



Betono mišinio bandinys, esant plokštumos posvyrio kampui 25°



Betono mišinio bandinys, esant plokštumos posvyrio kampui 35°



Bandinys dalinai išsilaiko ant nuožulnios plokštumos



Betono mišinio bandinys, esant plokštumos posvyrio kampui 45°



Bandinys neišsilaiko ant nuožulnios plokštumos

67 pav. Betono mišinio pastovumas ant 25°, 35° ir 45° pasivirusios nuožulnios plokštumos, kai ploštumos sankibumui padidinti naudojama geotekstilė

IŠVADOS

1. Išskiriami šie pagrindiniai betono šlaitinių konstrukcijų įrengimo būdai: traukiant vibrosiją, naudojant slankųjį klojinį arba naudojant surenkamus pakeliamus klojinius. Pagal šiuos variantus šlaitinės betono konstrukcijos gali būti įrengiamos ant grunto arba surenkamų pakeliamų klojinių. Įrengiant šlaitines konstrukcijas betono mišinio stabilumui ant nuožulnios plokštumos palaikyti gali būti naudojamos įvairios priemonės: mišinio konsistencijos koregavimas; mišinio slinkimo ribotuvų naudojimas bei betonavimo technologija iš apačios į viršų; mišinio sankibumą su pagrindu didinančios priemonės ir kita.
2. Tiek 4/16 frakcijos žvirgždo kiekio bendrame užpildų mišinyje didinimas nuo 417 iki 1175 kg 1 m^3 mišinio, tiek polipropileno plaušo kiekio mišinyje didinimas nuo 0,25 iki 1,0 kg 1 m^3 mišinio, nėra pakankamos mišinio sudėties modifikavimo sudedamosios dalys, siekiant mišinio stabilumo ant 25° , 35° ir 45° kampu pasvirusių nuožulnių plokštumų iš klojinių skydų. Šiuo atveju, reikalingos papildomos priemonės mišinio sankibumui su pagrindu padidinti.
3. Padengus skirtingo posvyrio kampo nuožulnias plokštumas mišinio sankibumą su pagrindu didinančia priemone – drenažine membrana, betono mišinys ant 25° , 35° ir 45° kampu pasvirusios nuožulnios plokštumos išlieka pastovus, tai yra mišinys neteka nuožulnia plokštuma žemyn. Mišinio sankibumui su pagrindu padidinti panaudojus geotekstilę, betono mišinys neišlaikė pastovumo tik esant dižiausiam nuožulnios plokštumos posvyrio kampui, tai yra 45° . Tai rodo, kad paviršiaus sankibumo didinimas efektyviai pagerina betono mišinio pastovumą ant nuožulnios plokštumos.

LITERATŪRA

1. ŽIOGAS, Vigantas Antanas. *Monolitinės statybos technologija: vadovėlis*. Kaunas: Technologija 2008, p. 188-195. ISBN 978-9955-25-551-2.
2. DAUKŠYS, Mindaugas ir Marijonas DAUNORAVIČIUS. *Vandens saugykly, atvirų ir požeminių kanalų statybos būdai: paskaitų mokomoji medžiaga*. Kaunas, 2016, p. 87-88.
3. *ICF builder magazine* – August/September 2008, p. 1-4.
4. DAUKŠYS, Mindaugas ir Marijonas DAUNORAVIČIUS. *Talpuminių statinių ir metantankų statybos technologijos: paskaitų mokomoji medžiaga*. Kaunas, 2016, p. 49-60.
5. SKRIPKIŪNAS, Gintautas. *Betono mišinio pastovumas ant nuožulnios plokštumos: konferencijų pranešimų medžiaga*. Kaunas: Technologija 1998.04.08 d., p. 290-293. ISBN 9986136210.
6. WALLEVIK, Jon Elvar; Rheology of Particle Suspensions – Fresh Concrete, Mortar and Cement Paste with Various Types of Lignosulfonates. Ph.D.-thesis. Department of Structural Engineering, The Norwegian University of Science and Technology, 2003.
7. WALLEVIK, Jon Elvar; Relationship between the Bingham parameters and slump. Department of Structural Engineering, The Norwegian University of Science and Technology, 2006., p. 1214-1221.
8. Murata, J., Kukawa H. Viscosity equation for fresh concrete, *ACI Mater. J.*89 (3), 1992, p. 230-237.
9. F. de Larrard. *Concrete Mixture Proportioning, A Scientific Approach*, F & FN Spon, New York, 1990.
10. C. Hu. Validation of BTRHEOM, the new rheometer for soft-to-fluid concrete, *Mater. Struct.* 29 (194), 1996, p. 620-631.
11. C.F. Ferraris, F. de Larrard. *Testing and Modeling of Fresh Concrete Rheology (NISTIR 6094)*, National Institute of Standard and Technology (NIST), Gaithersburg, USA, 1998.
12. William C. Panarese and Walter E. Kunze. Proportioning and Control of Concrete Mixtures for Thin Shells, published in *The Construction Specifier*, December, 1963.
13. Kamal Henri Khayat, Ahmed F. Omran, and Trimbak V. Pavate. Inclined Plane Test to Evaluate Structural Buildup at Rest of Self-Consolidating Concrete. *ACI Materials Journal*. September, 2010, p. 1-9.
14. Oremus, and Richard M. A One Dimensional Model of Dense Snow Avalanches Using Mass and Momentum Balances. A thesis, presented to the faculty of Humboldt State University, May 2006.

15. ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras ir kt. *Statybos procesų technologija. Vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams, studijuojantiems statybos technologijos kursą. 2-oji papildyta ir pataisyta laida.* Vilnius: Technika, 2008. p. 269-271, 242-244, 239-240. ISBN 978-9955-28-231-0.
16. E.P. Koehler, D.W. Fowler, Development of a portable rheometer for fresh Portland cement concrete, ICAR Rep. (2004) 103-105.
17. M. Westerholm, B. Lagerblad, J. Silfwerbrand, et al., Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars, *Cem. Concr. Compos* 30 (4) (2008) 274-282.
18. M. Westerholm, B. Lagerblad, E. Forssberg, Rheological properties of micromortars containing fines from manufactured aggregates, *Mater Struct.* 40 (6) (2007) 615-625.
19. J. Yamine, M. Chaouche, M. Guerinet, et al., From ordinary rheology concrete to self compacting concrete: a transition between frictional and hydrodynamic interactions, *Cem. Concr. Res.* 38 (7) (2008) 890-896.
20. H.W. Reinhardt, T. Wüstholtz, About the influence of the content and composition of the aggregates on the rheological behaviour of selfcompacting concrete, *Mater Struct.* 39 (7) (2007) 683-693.
21. B.B. Hope, K. Rose, Statistical Analysis of the Influence of Different Cements on the Water Demand for Constant Slump. *Properties of Fresh Concrete*, Proc of the Coll, RILEM, Chapman and Hall, 1990, pp. 179-186.
22. J.H. Mork, O.E. Gjorv, Effect of gypsum-hemihydrate ratio in cement on rheological properties of fresh concrete, *ACI Mater J.* 94 (2) (1997) 142-146.
23. J. Dils, V. Boel, G. De Schutter, Influence of cement type and mixing pressure on air content, rheology and mechanical properties of UHPC, *Constr. Build. Mater* 41 (2013) 455-463.
24. J.J. Chen, A.K.H. Kwan, Superfine cement for improving packing density, rheology and strength of cement paste, *Cem. Concr. Compos* 34 (1) (2012) 1-10.
25. Peter Domone, John Illston, *Construction Materials: Their Nature and Behaviour*, Fourth Edition, May 21, (2010) by CRC Press, 124-126.
26. SKRIPKIŪNAS, Gintautas. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės: vadovėlis.* 2007. p. 17-212. ISBN 978-9955-686-50-7.
27. J. Hu, K. Wang, Effects of size and uncompacted voids of aggregate on mortar flow ability, *J. Adv. Concr. Technol.* 5 (1) (2007) 75-85.
28. M. Harini, G. Shaalini, G. Dhinakaran, Effect of size and type of fine aggregates on flowability of mortar, *KSCE Civ. Eng.* 16 (1) (2012) 163-168.
29. J. Hu, *A Study of Effects of Aggregate on Concrete Rheology*, Iowa State University, Iowa, 2005.

30. J. Hu, K. Wang, Effect of coarse aggregate characteristics on concrete rheology, *Constr. Build. Mater* 25 (3) (2011) 1196-1204.
31. D. Feys, R. Verhoeven, G. De Schutter, Why is fresh self-compacting concrete shear thickening? *Cem. Concr. Res.* 39 (6) (2009) 510-523.
32. B.M. Aïssoun, S. Hwang, K.H. Khayat, Influence of aggregate characteristics on workability of superworkable concrete, *Mater Struct.* 49 (1 - 2) (2016) 597-609.
33. M. Westerholm, B. Lagerblad, J. Silfwerbrand, et al., Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars, *Cem. Concr. Compos* 30 (4) (2008) 274-282.
34. G.H. Tattersall, *Workability and Quality Control of Concrete*, E & F N Spon, London, 1991.
35. O.H. Wallevik, J.E. Wallevik, Rheology as a tool in concrete science: the use of rheographs and workability boxes, *Cem. Concr. Res.* 41 (12) (2011) 1279-1288.
36. S. Kenai, B. Menadi, A. Debbih, et al., Effect of recycled concrete aggregates and natural pozzolana on rheology of self-compacting concrete, *Key Eng. Mater* 600 (2014) 256-263.
37. E. Güneysi, M. Gesoglu, Z. Algin, et al., Rheological and fresh properties of self-compacting concretes containing coarse and fine recycled concrete aggregates, *Constr. Build. Mater* 113 (2016) 622-630.
38. G. Ke, Y. Wang, Influence of waste glass on the liquidity of mortar and concrete, *New Build. Mater* (07) (2014) 16-19.
39. M. Yardimci, B. Baradan, M. Tas, demir, Effect of fine to coarse aggregate ratio on the rheology and fracture energy of steel fibre reinforced self-compacting concretes, *Sadhana* 39 (6) (2014) 1447-1469.
40. H. Ba, W. Zhang, Influence of aggregate on the rheological parameters of high-performance concrete, *Concr* (06) (2003) 7-8.
41. A.C.P. Santos, J.A. Ortiz-Lozano, N. Villegas, et al., Experimental study about the effects of granular skeleton distribution on the mechanical properties of self-compacting concrete (SCC), *Constr. Build. Mater* 78 (2015) 40-49.
42. M. Westerholm, B. Lagerblad, E. Forssberg, Washing of aggregates – influence on aggregate properties and mortar rheology, *Nord. Concr. Res.* (2006) 1-12.
43. SKRIPKIŪNAS, Gintautas. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės: vadovėlis*. 2007. p. 17-212. ISBN 978-9955-686-50-7.
44. MARČIUKAITIS, Gediminas. *Monolitinių betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų statyba. Medžiagos, technologija, kokybė: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 1999. p. 19-24, 114-117. ISBN 9986-05-389-7.
45. StrataWeb – Introduction [Interaktyvus]. 2007 [žiūrėta 2017 m. vasario 14 d.]. Prieiga per internetą: http://www.slideshare.net/sugandha_d/strata-web-project-pictures-presentation

46. LST EN 933-1:2012. *Bandymai užpildų geometrinėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas.* Vilnius, 2012.
47. BASF. MasterGlenium SKY 628 [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. vasario 14 d.]. Prieiga per internetą: [https://assets.master-buildersolutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/English%20\(Small%20Country\)/LIETUVA/TDS/Basf_TDL_MasterFinish_RL_215_LT.pdf](https://assets.master-buildersolutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/English%20(Small%20Country)/LIETUVA/TDS/Basf_TDL_MasterFinish_RL_215_LT.pdf)
48. Cemcraft. ADFIL FIBRIN XT. [Interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. vasario 14 d.]. Prieiga per internetą: http://www.cemcraft.com/ADFIL_Fibrin_XT_Ultra_Concrete_Shrinkage_Control_Fibre_80g--product--244.html
49. BASF. MasterFinish RL 215. Emulsinis klojinių tepalas aukštos kokybės betono gaminių paviršiams, turintis antikorozinį poveikį ir atsparus aukštoms temperatūroms. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. vasario 14 d.]. Prieiga per internetą: [https://assets.master-buildersolutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/English%20\(Small%20Country\)/LIETUVA/TDS/Basf_TDL_MasterFinish_RL_215_LT.pdf](https://assets.master-buildersolutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/English%20(Small%20Country)/LIETUVA/TDS/Basf_TDL_MasterFinish_RL_215_LT.pdf)
50. Gutta. Special dimpled membranes with high pressure stability. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. vasario 20 d.] Prieiga per internetą: <https://www.gutta.com/en/products/foundation-wall-protection/dimpled-membranes/guttabeta-star.html>
51. Dupont Plantex Geoproma. Geotextile membrane for stabilisation, separation and filtration. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. vasario 20 d.] Prieiga per internetą: <http://www.dupont.co.uk/content/dam/dupont/products-and-services/construction-materials/landscape-solutions/documents/Plantex-GB-geoproma.pdf>
52. LST 1974:2012. *LST EN 206-1 taikymo taisyklės ir papildomieji nacionaliniai reikalavimai.* Vilnius, 2012.
53. LST EN 12350-7:2009. *Betono mišinio bandymai. 7 dalis. Oro kiekis. Slėginiai metodai.* Vilnius, 2009.
54. LST EN 12350-6:2009. *Betono mišinio bandymai. 6 dalis. Tankis.* Vilnius, 2009.
55. LST EN 12350-2:2009. *Betono mišinio bandymai. 2 dalis. Slankumo bandymas.* Vilnius, 2009.
56. GUMULIAUSKAS, Algirdas ir Gedrimas ABROMAVIČIUS. *Betono mišinio ir jo struktūros dalių ribinių šlyties įtempimų tyrimas. Betonai ir gelžbetonis: konferencijos pranešimų medžiaga. [2000 m. balandžio 12, 13 d.].* Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija, 2000. p. 47-52.