



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Donatas Dargis

**KALCIO NITRATO KIEKIO ĮTAKA BETONO MIŠINIO IR
BETONO SAVYBĖMS**

**Calcium nitrate content influence on properties of concrete mixtures
and hardened concrete**

Baigiamasis magistro darbas

Statybinių medžiagų ir dirbinių studijų programa, valstybinis kodas 621J82001

Statybos technologijos mokslų studijų kryptis

Vilnius, 2016

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

doc. dr. Gintautas Skripkiūnas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Donatas Dargis

**KALCIO NITRATO KIEKIO ĮTAKA BETONO MIŠINIO IR
BETONO SAVYBĖMS**

**Calcium nitrate content influence on properties of concrete mixtures
and hardened concrete**

Baigiamasis magistro darbas

Statybinių medžiagų ir dirbinių studijų programa, valstybinis kodas 621J82001

Statybinių medžiagų ir dirbinių specializacija

Statybos technologijos mokslų studijų kryptis

Vadovas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2016

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Statybos fakultetas

Statybinių medžiagų katedra

ISBN

ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Statybinių medžiagų ir dirbinių studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Kalcio nitrato kiekio įtaka betono mišinio ir betono savybėms**

Autorius **Donatas Dargis**

Vadovas doc. dr. **Asta Kičaitė**

Kalba

Lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe nagrinėjama kalcio nitrato įtaka betono mišinio ir betono savybėms.

Aprašomos naudojamos medžiagos ir tyrimų metodika. Tyrimams buvo pasirinkti dviejų rūšių portlandcementai CEM I 42,5 N ir CEM I 42,5 R, stambusis ir smulkusis užpildai, plastifikuojantis priedas, kalcio nitratas ir vanduo.

Norint nustatyti kalcio nitrato poveikį betonui buvo atliekami betono mišinio slankumo, oro kiekio mišinyje, kietinimo įvairioje temperatūroje, gniuždymo stiprio tyrimai. Išnagrinėtas kalcio nitrato poveikis betono mišinio tankiui. Panaudojus atliktų tyrimų duomenis buvo apskaičiuoti ribiniai šlyties įtempiai. Atliktų tyrimų rezultatai parodo kalcio nitrato kaip priedo, panaudojimo galimybes ir pranašumus.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, betono gamyba ir priedų taikymas, naudotos medžiagos ir tyrimo metodikos, betono mišinio ir sukietėjusio betono tiriamoji dalis, išvados, naudotos literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 54 p. teksto be priedų, 21 iliustr., 32 lent., 45 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: betonas, portlandcementis, kalcio nitratas, slankumas, oro kiekis mišinyje, gniuždymo stipris, ribiniai šlyties įtempiai.

Vilnius Gediminas Technical University

Faculty of Civil Engineering

Department of Building Materials

ISBN

ISSN

Copies No.

Date-....-....

Construction Materials and Products study programme master thesis

Title **Calcium nitrate content influence on properties of concrete mixtures and hardened concrete**

Author **Donatas Dargis**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Asta Kičaitė**

Thesis language

Lithuanian

Annotation

The final master thesis the influence of calcium nitrate on concrete properties.

Concrete material prepared using coarse and fine fillers, binder, additives and water. For research used two types of Portland cement CEM I 42,5 N and CEM I 42,5 R, coarse and fine fillers, plastifying additive, calcium nitrate and water. To determine the impact of calcium nitrate to properties of concrete, mixture slump flow, air content, hardening at a low temperature, compressive strength. Using research data and formulas marginal shear tensions were calculated. The research results show the advantages of calcium nitrate additive usage.

Structure: introduction, concrete mixing and additives usage, materials and research methods, concrete mixture and hardened concrete experimental – research part, conclusions, references list.

Thesis consist of: 54 p., 21 pictures, 32 tables, 45 bibliographical entries.

Keywords: concrete, portland cement, calcium nitrate, mobility, air content of the mixture, compression, threshold shear stress.

TURINYS

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS	3
IVADAS	5
1. BETONO GAMYBA IR PRIEDŲ TAIKYMAS	6
1.1. Betono gamybos medžiagos	6
1.1.1. Betonų klasifikacija	6
1.1.2. Rišamosios medžiagos	7
1.1.3. Betono užpildai ir jų įtaka betono savybėms	10
1.1.4. Vanduo	12
1.1.5. Betono prieššaltiniai ir plastifikuojantys priedai, jų savybės	13
1.1.6. Kiti plastifikuojantys priedai, pateikiami Lietuvos rinkai	16
1.2. Kalcio nitrato panaudojimas ir įtaka betonui mišiniams	16
1.2.1. Kalcio nitrato panaudojimas ir savybės	16
1.2.2. Kalcio nitrato įtaka tešlos rišimosi trukmei	17
1.2.3. Kalcio nitrato įtaka betono gaminiams	18
1.2.4. Kalcio nitrato įtaka betono mišinių kietėjimui žemoje temperatūroje	19
1.3. Betono mišinio sudėčių parinkimo principai	23
2. NAUDOTOS MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODIKOS	25
2.1. Užpildų tyrimų rezultatai	25
2.1.1. Smėlio piltinio tankio nustatymas	25
2.1.2. Smėlio dalelių tankio nustatymas	25
2.1.3. Smėlio tuštymėtumo nustatymas	26
2.1.4. Smėlio drėgnio nustatymas	26
2.1.5. Smėlio granulimetrinės sudėties ir stambumo modulio nustatymas	26
2.1.6. Žvirgždo piltinio tankio nustatymas	28
2.1.7. Žvirgždo dalelių tankio nustatymas	28
2.1.8. Žvirgždo tuštymėtumo nustatymas	29
2.1.9. Žvirgždo drėgnio nustatymas	29
2.1.10. Žvirgždo granulimetrinės sudėties nustatymas	30
2.2. Portlandcemenčio savybių tyrimo metodai	31
2.2.1 Portlandcemenčio piltinio tankio nustatymas	31
2.2.2. Portlandcemenčio savitojo tankio nustatymas	32
2.2.3. Portlandcemenčio normalaus tirštumo tešlos nustatymas	32
2.2.4. Portlandcemenčio rišimosi pradžios ir pabaigos nustatymas	33
2.3. Betono mišinio slankumo tyrimas	34

2.4. Oro kiekio šviežiame mišinyje nustatymas	34
2.5. Betono mišinio tankio nustatymas	36
2.6. Betono gniuždymo stiprio nustatymas	36
2.7. Ribinių šlyties įtempimų nustatymas	37
2.8. Betono gniuždymo stiprio nustatymas kietinant žemoje temperatūroje	37
2.9. Mišinyje naudojamo superplastiklio savybės	38
2.10. Sukietėjusio betono bandinių tankio nustatymas	38
3. BETONO MIŠINIO IR SUKIETĖJUSIO BETONO TIRIAMOJI DALIS.....	39
3.1. Betono sudėtis	39
3.2. Betono mišinio slankumo tyrimas.....	40
3.3. Oro kiekio šviežiame mišinyje nustatymas	41
3.4. Betono mišinio tankio nustatymas	43
3.5. Betono bandinių gniuždymo stiprio nustatymas su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu	43
3.6. Ribinių šlyties įtempimų nustatymas	44
3.7 Betono bandinių gniuždymo stiprio rezultatai kietinant skirtingose temperatūrose	46
3.7.1. Betono bandinių gniuždymo stipris kietinant 5 °C temperatūroje	46
3.7.2 Betono bandinių gniuždymo stipris kietinant -5 °C temperatūroje	48
3.8. Sukietėjusių betono bandinių tankio nustatymas.....	50
IŠVADOS	52
NAUDOTA LITERATŪRA.....	54

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Gniuždymo stipris praėjus 8 val. po užmaišymo.....	18
1.2 pav. Betono bandinių gniuždymo stipris praėjus 220 dienų po užmaišymo.....	19
1.3 pav. Betono bandinių temperatūros priklausomybė nuo laiko.....	20
2.1 pav. Smėlio granulimetrinės sudėties kreivė.....	28
2.2 pav. Žvirgždo granulimetrinės sudėties kreivė.....	31
2.3 pav. Normalaus tirštumo tešlos nustatymo grafikas.....	33
2.4 pav. Mišinio nuoslūgio pobūdis.....	34
2.5 pav. Bandymo prietaiso metalinio indo ir dangčio scheminis vaizdas.....	35
3.1 pav. Betono mišinio su CEM I 42,5 N slankumo priklausomybė nuo laiko.....	40
3.2 pav. Betono mišinio su CEM I 42,5 R slankumo priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio.....	41
3.3 pav. Oro kiekis mišinyje su portlandcemenčiu CEM I 42,5 N.....	42
3.4 pav. Oro kiekis mišinyje su portlandcemenčiu CEM I 42,5 R.....	42
3.5 pav. Betono gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio.....	44
3.6 pav. Ribinių šlyties įtempių priklausomybė nuo laiko.....	46
3.7 pav. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio.....	47
3.8 pav. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio.....	47
3.9 pav. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio.....	48
3.10 pav. Rezultatų pokyčio dėl temperatūros poveikio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio po 7 parų kietėjimo.....	49
3.11 pav. Rezultatų pokyčio dėl temperatūros poveikio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio po 28 parų kietėjimo.....	50
3.12 pav. Sukietėjusių betono bandinių tankiai.....	51
3.13 pav. Sukietėjusių betono bandinių tankiai.....	51

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Deklaruojamos CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčio eksploatacinės savybės.....	9
1.2 lentelė. Deklaruojamos CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčio eksploatacinės savybės.....	10
1.3 lentelė. Prieššaltinės druskos ir jų kiekiai.....	13
1.4 lentelė. Kalcio nitrato savybės.....	17
1.5 lentelė. Cemento tešlos rišimosi pabaigos laikas esant skirtingam priedų kiekiui.....	17
1.6 lentelė. Betono mišinio sudėtis.....	21
1.7 lentelė. Gniuždymo stiprio rezultatai po 7 parų išlaikymo žemoje temperatūroje.....	21
1.8 lentelė. Gniuždymo stiprio rezultatai po 14 parų kietinimo žemoje temperatūroje.....	21
1.9 lentelė. Gniuždymo stiprio rezultatai po 28 parų kietinimo žemoje temperatūroje.....	22
2.1 lentelė. Smėlio piltinio tankio tyrimo rezultatai.....	22
2.2 lentelė. Smėlio dalelių tankio tyrimo rezultatai.....	25
2.3 lentelė. Smėlio drėgnio tyrimo rezultatai.....	26
2.4 lentelė. Smėlio dalinių, suminių liekanų ir išbirų nustatymo rezultatai.....	27
2.5 lentelė. Žvirgždo piltinio tankio nustatymo rezultatai.....	28
2.6 lentelė. Žvirgždo dalelių tankio nustatymo rezultatai.....	29
2.7 lentelė. Žvirgždo drėgnio nustatymo rezultatai.....	29
2.8 lentelė. Žvirgždo dalinių, suminių liekanų ir išbirų nustatymo rezultatai.....	30
2.9 lentelė. Portlandcemenčio piltinio tankio tyrimo rezultatai.....	30
2.10 lentelė. Portlandcemenčio savitojo tankio tyrimo rezultatai.....	32
2.11. lentelė. Portlandcemenčio tešlos rišimosi pradžios ir pabaigos rezultatai.....	33
2.12. lentelė. Superplastiklio MC-Powerflow 3100 savybės.....	38
3.1 lentelė. Betono sudėtis su CEM I 42,5 N portlandcemenčiu (1 m ³).....	38
3.2 lentelė. Betono sudėtis su CEM I 42,5 R portlandcemenčiu (1 m ³).....	39
3.3 lentelė. Betono slankumo rezultatai.....	40
3.4 lentelė. Betono slankumo rezultatai.....	40
3.5 lentelė. Oro kiekio skiedinyje rezultatai.....	41
3.6 lentelė. Oro kiekio skiedinyje rezultatai.....	41
3.7 lentelė. Betono mišinio tankio nustatymo rezultatai.....	43
3.8 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai iškart po betono mišinio užmaišymo.....	45
3.9 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai po 30 min nuo betono mišinio užmaišymo.....	45
3.10 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai iškart po 60 min nuo betono mišinio užmaišymo.....	45
3.11 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai iškart po 90 min nuo betono mišinio užmaišymo.....	45

IVADAS

Statyboje naudojami betonai, kurių rišamoji medžiaga yra cementai ar kitos neorganinės rišamosios medžiagos. Betono mišinys yra sudėtinga daugiakomponentė polidispersinė sistema, gaunama cemento ir užpildų bei įmaišų mišinį užmaišius su vandeniu. Iš plačiausiai naudojamų betonui rišamųjų medžiagų naudojamas portlandcementis. Portlandcemenčio gamyba yra susijusi su didelėmis energijos išlaidomis. Siekdami mažinti gamybos išlaidas mokslininkai atliko tyrimus, kuriuose dalį portlandcemenčio klinkerio pakeitė aktyviaisiais priedais.

Norint išgauti geras betono ir jo mišinio savybes į mišinį dedami įvairūs priedai, kurie pagreitina betono mišinio rišimąsi ir kietėjimą, padaro jį plastiškesnį, padidina stiprumą, nelaidumą vandeniui ir atsparumą šalčiui. Parinkus tinkamus priedus, jų savybes ir kieki, norima linkme galima keisti betono charakteristikas. Tai rodo, kad betonas yra viena iš universaliausių statybinių medžiagų, kuriai galima suteikti pačių įvairiausių savybių: keisti stiprumą, deformatyvumą, tankį, šiluminės savybes ir kt. Įmaišų naudojimas yra efektyviausias būdas gauti geresnės kokybės betoną. Didelis stipris, vandens nepralaidumas, atsparumas šalčiui ir betono ilgaamžiškumas - šios savybės yra gaunamos naudojant betono mišiniuose šiuolaikinius įmaišus.

Baigiamojo darbo tikslas – ištirti kalcio nitrato kaip priedo įtaką betonio mišinių bei sukietėjusio betono savybėms.

Darbo uždaviniai:

- Ištirti betono mišinio žaliavų savybes;
- Nustatyti kalcio nitrato įtaką mišinio slankumui;
- Apskaičiuoti betono mišinio ribinius šlyties įtempius;
- Ištirti kalcio nitrato įtaką oro kiekiui mišinyje;
- Ištirti kalcio nitrato įtaką sukietėjusio betono stipriui;
- Ištirti kalcio nitrato įtaką mišinio kietėjimui esant žemai temperatūrai;
- Atlikti gautų rezultatų palyginimą ir pateikti išvadas.

1. BETONO GAMYBA IR PRIEDŲ TAIKYMAS

1.1. Betono gamybos medžiagos

1.1.1. Betonų klasifikacija

Betonas yra medžiaga, sudaryta iš rišamosios medžiagos akmenų, įvairių rūšių, skirtingo dydžio ir įvairios formos grūdelių, daugybės mikroporų, makroporų bei kapiliarų, esančių cementuojančiame akmenyje, užpilduose ar sąlyčio vietose. Visi šie elementai apibūdina betono struktūrą. Taigi gali būti nagrinėjama betono mezastruktūra, makrostruktūra, megastruktūra, mikrostruktūra ir submikrostruktūra.

Megastruktūra – tai betono su stambiaisiais užpildais struktūra.

Mezastruktūra – tai cementinio akmenų struktūra, kuri priklauso nuo cemento cheminės mineraloginės sudėties, dalelių smulkumo, vandens ir cemento santykio, įmaišų pobūdžio ir kiekio bei kietėjimo sąlygų.

Makrostruktūra – tai betone esančio cementinio skiedinio su smėlio užpildu struktūra. Makrostruktūra priklauso nuo skiedinio sudėties, smėlio granulimetrinės sudėties, dalelių formos, jų šiurkštumo bei įmaišų pobūdžio ir kiekio.

Mikrostruktūra – tai betono makro molekulių, kristalų, fazių kontaktinio sluoksnio, mikroporų sandara.

Submikrostruktūra - betono jonų, atomų ir molekulių sandara ir ryšys tarp jų (Naujokaitis 2007).

Betonas skirstomas pagal tankį, paskirtį, rišamąją medžiagą, naudojamus užpildus.

Pagal tankį jis gali būti skirstomas į ypač lengvąjį, lengvąjį, normalųjį, sunkųjį. Betono sudėtis turi užtikrinti reikalingas betono mišinio ir sukietėjusio betono savybes su minimaliomis rišamosios medžiagos sąnaudomis.

Ypač lengvasis betonas – tai betonas, kurio tankis po džiovavimo ne didesnis nei 800 kg/m³.

Lengvasis betonas – kurio tankis išdžiovinus ne mažesnis nei 800 kg/m³ ir ne didesnis nei 2000 kg/m³. Jis gaminamas naudojant lengvuosius užpildus.

Normalusis betonas – tai betonas, kurio tankis po džiovavimo yra didesnis kaip 2000 kg/m³, bet ne didesnis kaip 2600 kg/m³.

Sunkusis betonas – kurio tankis išdžiovinus yra didesnis nei 2600 kg/m³.

Betonų panaudojimas pagal paskirtį - konstrukcinius, konstrukcinius-termoizoliacinius, termoizoliacinius, hidrotechninius, kelių betonų, apdailos

(architektūrinius) betonus specialūs betonai - rūgštims atsparus, kaitrai atsparus, radiacinei apsaugai.

Didžiausias stambiojo užpildo skersmuo $D_{\max}$ betono mišinyje turi būti ne didesnis nei $1/3$ betonuojamosios konstrukcijos mažiausiojo pjūvio matmens ir $3/4$ mažiausiojo atstumo tarp armatūros strypų. Atsižvelgiant į naudojamo stambiojo užpildo kiekį gali būti gaminamas stambiagrūdis betonas, kurio stambiojo užpildo skyrimo koeficientas α , smėlingasis betonas, kurio stambiojo užpildo dalelių praskyrimo koeficientas 2α arba 3α . Jei gaminamas smėlio betonas, jo sudėtyje stambiojo užpildo nėra. (Deltuva 1991).

Užpildais betonui yra naudojami mineraliniai grūdėliai. Jie gali būti gamtiniai, dirbtiniai arba pakartotinai paruošti iš ankščiau statyboje naudojamų medžiagų.

Pagrindiniai sukietėjusio betono kokybės rodikliai: gniuždymo stipris, tankis, atsparumas šalčiui. Betono kokybė ir ilgaamžiškumas priklauso nuo tinkamo ir jų savybių pasirinkimo ir įvertinimo, nuo nuoseklaus technologinių procesų vykdymo: nuo betono mišinio sudėties projektavimo, šviežio betono paruošimo ir klojimo į klojinius iki betono priežiūros ir klojinių nuėmimo (Žurauskienė *et al.* 2012).

Minimalus cemento kiekis betono mišinyje yra 250 kg/m^3 išorinėse pastato konstrukcijose ir 220 kg/m^3 vidinėse pastato konstrukcijose. Jei betono mišinys tankinamas vibruojant, tai minimalus cemento kiekis sumažinamas 20 kg/m^3 . Didžiausias stambaus užpildo skersmuo $D_{\max}$ betono mišinyje turi būti ne didesnis nei $1/3$ betonuojamosios konstrukcijos mažiausio pjūvio matmens ir $3/4$ mažiausio atstumo tarp armatūros strypų.

Geros kokybės betono dirbiniais gaminti reikia, kad betono mišinys būtų reikiamos konsistencijos, atitiktų esamas tankinimo priemones (Naujokaitis 2007).

Betono tipai pagal rišamąją medžiagą - cementiniai (plačiausiai naudojamas portlandcementis), silikatiniai (kietinami autoklavinėse sąlygose), gipsiniai ir anhidritiniai, šlakinis, polimerbetonai, bituminiai (asfaltbetonis), specialūs betonai (pvz. skystojo stiklo rišiklis naudojamas atspariam karščiui betonui, fosfatinis – rūgštims atspariam betonui, nefelininiai (belitiniai) ir t.t). (Naujokaitis 2007).

1.1.2. Rišamosios medžiagos

Pagrindinė betono rišamoji medžiaga esti cementai, dažniausiai portlandcementis. Cemento kokybė ir savybės priklauso nuo cheminės sudėties. Pagrindiniai cemento klinkerio komponentai yra šie oksidai : kalcio (CaO), silicio (SiO_2), aliuminio (Al_2O_3), geležies (Fe_2O_3). Deginant cemento gamybos žaliavą įvyksta sudėtingi fizikiniai - cheminiai procesai, kurių metu susidaro klinkerio mineralas. Yra keletas plačiai naudojamų portlandcemenčio

atmainų – greitai kietėjantis portlandcementis, dėl kurio sparčiai didėja betono stiprumas pirmosiomis trimis kietėjimo dienomis.

Portlandcementis CEM I yra pagrindinė klasikinė hidraulinė rišamoji medžiaga, priskiriama įprastinių cementų grupei. Portlandcementis CEM I yra gryniausia cementų atmaina, nes kituose cementuose yra daug priedų (granuliuoto šlako, mikrodulkių, pucolanų, skalūno, klinties arba priedų mišinių). Cementas yra hidraulinė rišamoji medžiaga, kuri gaunama smulkiai sumalus portlandcemenčio klinkerį su gipso priedu. Klinkeris gaunamas išdegus iki sukepimo smulkiai sumaltą vienalytį žaliavų mišinį, sudarytą iš klinties arba kreidos, molio ir koreguojančių priedų. Koreguojantieji priedai padidina kurio nors trūkstamo oksido kiekį. Pvz., klinkerio įkrovoje trūkstant Fe_2O_3 , pridedama piritų degenų; trūkstant SiO_2 – trepelio, opokos arba diamito. Kai įkrovoje per mažai Al_2O_3 , pridedama aluminatingų molių. Žaliavų mišinys turi būti toks, kad gerai sukeptų (būtų lengvai lydomų mineralų), o klinkeryje vyrautų didelio bazingumo kalcio silikatai (70-80 %). Gipso dedama cemento rišimosi trukmei reguliuoti. Nepridėjus gipso, klinkerio milteliai labai greitai susiriša. Be gipso priedo betono mišinių negalima panaudoti, o cemento akmuo būna nestiprus. Gipso dedama tiek, kad cemente būtų 1–3,5 % SO_3 . Be to, malant portlandcementį, jo malimuisi paspartinti, hidrofobiškumui, ar kitoms savybėms pagerinti galima pridėti iki 1 % įvairių priedų (Martusevičius 2002).

Portlandcementis CEM I yra pagrindinis cementas, kurį sudaro portlandcemenčio klinkeris ir gipsas ($\text{SO}_3 < 4\%$) (LST EN 197-1:2011). Į tokį cementą įmaišant granuliuoto aukštakrosnių šlako (6–35 %), SiO_2 mikrodulkių (6–10 %), pucolanų (6–35 %), pelenų (6–35 %), degto skalūno (6–35 %), klinties (6–35 %) arba šių priedų mišinio (6–35 %) gaunami sudėtiniai portlandcemenčiai CEM II. Padidinus pridedamo granuliuoto aukštakrosnių šlako kiekį 36–95 %, pucolanų 11–35 % gaunamas pucolanų cementas CEM IV, o iki 36–80 % padidinus šlako ir pucolanų mišinio kiekį – sudėtinis cementas CEM V.

Portlandcemenčio CEM I savitasis tankis yra 3000–3200 kg/m^3 . Cemento savitąjį tankį didina C_4AF ir C_2S . Cemento piltinis tankis priklauso nuo malimo smulkumo. Kuo smulkiau sumaltas cementas, tuo mažesnis jo piltinis tankis. Šviežiai supilto cemento piltinis tankis būna 900–1000 kg/m^3 . Silosuose susigulint cementui, jo piltinis tankis padidėja iki 1400–1700 kg/m^3 .

Pagrindinės standartų (EN 196–1 ir 196–3) apibrėžtos savybės yra vandens kiekis normaliai tirštai tešlai gauti, rišimosi pradžia, tūrio pastovumas ir gniuždymo stipris. Portlandcemenčio rišimosi pradžios trukmei nustatyti naudojama normaliai tiršta tešla.

Normaliai tiršta tešla būna, kai vandens kiekis sudaro 21–28 %. Vandens kiekis priklauso nuo cemento sumalimo smulkumo. Cemento rišimosi pradžia nustatoma Viko

prietaisu. Cemento rišimosi trukmė priklauso nuo mineraloginės sudėties, smulkumo ir vandens cemento santykio. Staiga rišasi C_3A , taigi ir sumaltas grynas klinkeris, todėl į malamą klinkerį būtina įdėti gipso, kuris C_3A sujungia į etringitą. Smulkiai sumaltas cementas rišasi greičiau. Rišimasis būna lėtesnis, kai vandens ir cemento santykis didesnis. Kartais rišimasis būna tariamasis (Kičaitė *et al.* 2001).

Cemento tūrio pastovumui nustatyti naudojamas Le-Šateljė žiedas. Tūrio netolygaus kitimo priežastis yra per daug dideli laisvojo CaO ir MgO arba gipso kiekiai. Kietėjančiame cemento laisviesiems CaO ir MgO jungiantis su vandeniu susidaro $Ca(OH)_2$ ir $Mg(OH)_2$, kurių tūris yra daug didesnis už pradinį CaO ir MgO tūrį. Todėl atsiranda žalingų įtempimų, ardančių cemento akmens struktūrą. Portlandcementyje laisvojo CaO gali būti ne daugiau kaip 1 %, o MgO – ne daugiau kaip 5 %. Rišimosi trukmei reguliuoti į cementą galima įdėti tik ribotą gipso kiekį – 3,5–4 % SO_3 . Priešingu atveju etringitas susidaro jau sukietėjusiam cemento ir jį ardo (Martusevičius 2002).

Kitas svarbiausias cemento kokybės rodiklis yra cemento klasė ir aktyvumas. Šie rodikliai nustatomi gniuždant iš cemento, etaloninio smėlio (1:3) ir vandens ($V/C=0,5$) suformuotas prizmes ($4 \times 4 \times 16$) po 2, 7 ir 28 parų. Pagal gniuždymo stiprį portlandcementis būna 32,5; 42,5 ir 52,5 klasės. Kai cementas yra greitai kietėjantis CEM I R, turi būti nustatomas ankstyvasis gniuždymo stipris po dviejų parų. CEM I N ir R tipo portlandcemenčių eksploatacinės savybės pateikiamos 1.1 ir 1.2 lentelėse.

1.1 lentelė. Deklaruojamos CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčio eksploatacinės savybės

Esminės charakteristikos	Eksploatacinės savybės
Įprastiniai cementai	CEM I 42,5R
Gniuždymo stipris, MPa: ankstyvasis stipris standartinis stipris	$\geq 20,0$ $\geq 42,5 \leq 62,5$
Rišimosi pradžia, min	≥ 60
Tūrio pastovumas, mm	≤ 10
Kaitmenys, %	$\leq 5,0$
Netirpmenys, %	$\leq 5,0$
Sulfatų (SO_3) kiekis, %	$\leq 4,0$
Chloridų kiekis, %	$\leq 0,10$
Šarmų kiekis, sk Na_2O ekv., %	$\leq 0,8$

1.2 lentelė. Deklaruojamos CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčio eksploatacinės savybės

Esminės charakteristikos	Eksploatacinės savybės
Iprastiniai cementai	CEM I 42,5N
Gniuždymo stipris, MPa: ankstyvasis stipris standartinis stipris	$\geq 10,0$ $\geq 42,5 \leq 62,5$
Rišimosi pradžia, min	≥ 60
Tūrio pastovumas, mm	≤ 10
Kaitmenys, %	$\leq 5,0$
Netirpmenys, %	$\leq 5,0$
Sulfatų (SO ₃) kiekis, %	$\leq 3,5$
Chloridų kiekis, %	$\leq 0,10$
Šarmų kiekis, sk Na ₂ O ekv., %	$\leq 0,8$

Paprastojo portlandcemenčio sumalimo smulkumas yra 280–300 m²/kg, o greitai kietėjančio 350–400 m²/kg. Cemento sumalimo smulkumas nustatomas Bleino prietaisu (EN 196-6).

32,5 ir 42,5 klasių cementų rišimosi pradžia ≥ 60 min., o 52,5 klasės cemento ≥ 45 min. Cemento gniuždymo stipris yra daug didesnis už lenkimo stiprį. Cemento gniuždymo stipris didėja netolygiai: po 3 parų jis įgauna 40-50 % klasės stiprumo, po 7 parų – 60–70 %; vėliau stiprumas didėja lėčiau. Cemento kietėjimo greičiui didžiausią įtaką turi alito kiekis ir sumalimo smulkumas (Gurskis, V. 2008).

1.1.3. Betono užpildai ir jų įtaka betono savybėms

Užpildai betone užima daugiau kaip 85 % jo tūrio ir turi didelę įtaką jo savybėms ir ilgaamžiškumui. Užpildų savybės daro įtaką ne tik mechaninėms betono savybėms, bet ir fizinėms, nuo kurių priklauso visos konstrukcijos eksploatacinės savybės (LST EN 480-1:2006+A1:2011).

Pageidautina, kad į betono sudėtį įeitų kuo daugiau užpildų. To reikia ne tik dėl ekonominių tikslų. Užpildai labiau pagerina mechanines ir fizines betono savybes, nes yra didesnio pastovumo ir ilgaamžiškumo, palyginti su cemento akmeniu.

Betonui gaminti naudojami stambieji ir smulkieji, sunkieji ir lengvieji užpildai. Sunkieji užpildai – granitinė ir žvyro skalda, žvyras, kvarcinis smėlis. Lengvųjų užpildų – įvairių akytųjų, dirbtinių užpildų, tokių kaip keramzitas, akytasis stiklas, perlitas ir pan., mažesnis tūrinis svoris negu sunkiųjų užpildų, tad mažesnis esti ir betono tūrinis svoris, geresnės termoizoliacinės savybės (Deltuva 1982).

Stambieji užpildai tai nemažesnio kaip 4 mm stambumo įvairių uolienu ir žvirgždo skalda bei žvyras. Pagal dalelių stambumą žvirgždas ir skalda skirstomi į keturias frakcijas (skliausteliuose nurodyti dalelių dydžiai, jei jos sijoamos apskritųjų akučių sietais):

4(5)–8(10) mm;
8(10)–16(20) mm;
16(20)–32(40) mm;
32(40)–63(70) mm.

Kaip smulkieji užpildai naudojami gamtinis arba dirbtinis smėlis (Žurauskienė *et al.* 2012).

Nuo užpildų savybių, jų koncentracijos mišinyje priklauso gaminio struktūra ir savybės. Užpildai paprastai užpildo gaminio tūrį, o vienoks ar kitoks rišiklis, kurio tūris mišinyje paprastai būna kelis kartus mažesnis už užpildo tūrį, tik suriša gaminyje užpildo daleles. Gaminant betono mišinius būtina įvertinti komponentų savybes, užpildo dalelių dydį, formą, išsidėstymą, paviršiaus šiurkštumą ir kitas. Dažnai siekiama gauti optimalios struktūros mišinį ir reikiamos kokybės gaminį.

Užpildams reikia gebėti parinkti tokias medžiagas, iš kurių turima įranga mažiausiomis sąnaudomis būtų galima gaminti reikiamos kokybės statybinius gaminius ar konstrukcijas. Kad užpildų kokybė atitiktų standartų reikalavimus, tiriamos pagrindinės užpildų savybės:

1. Granulimetrinė sudėtis;
2. Stambiojo užpildo dalelių forma;
3. Kriauklelių kiekis stambiajame užpilde;
4. Smulkiųjų kiekis;
5. Smulkiųjų kokybė;
6. Fizikiniai reikalavimai
7. Stambiojo užpildo atsparumas irimui;
8. Stambiojo užpildo atsparumas dėvimuisi;
9. Dalelių tankis ir vandens įgėris;
10. Piltinis tankis;
11. Ilgaamžiškumas;
12. Stambiojo užpildo atsparumas šalčiui;
13. Tūrio pastovumas – susitraukimas džiustant;
14. Šarminis reaktyvumas;
15. Stambiojo užpildo iš antrinių medžiagų sudėtinių dalių klasifikacija;
16. Cheminiai reikalavimai;
17. Chloridai;
18. Sieros junginiai (LST EN 12620:2013).

Didžiausią įtaką betono savybėms turi užpildų granulimetrinė sudėtis, jų stiprumas ir švarumas.

Užpildų granulimetrinė sudėtis nustatoma persijojus paruoštą bandomąjį kiekį pro standartinius 4–16 mm ir didesnių akučių sietus. Granulimetrinė užpildų sudėtis apibūdinama pagal mažiausią ir didžiausią jų stambumą. Beveik visada užpilduose būna ir labai smulkių, ir stambių grūdelių. Tačiau jų turi būti ne daugiau kaip 5 %.

Optimalios granulimetrinės užpildų sudėties parinkimas turi didelę įtaką maišant geros kokybės betoną su mažiausia cemento išeiga. Norint gauti užpildų mišinį su mažiausiomis tuštumomis tarp grūdelių, reikia naudoti smulkius grūdelius. Tačiau jų smulkumas ir kiekis užpilde yra ribotas. Norint gauti reikiamo slankumo betono mišinį, grūdelių cementinis apvalkalas turi būti storesnis, negu užpildų su mažesniu smulkios frakcijos kiekiu. Tai patvirtina ir tokie duomenys, kad esant didesniam užpildų paviršiaus santykiniam plotui reikia didesnio cemento kiekio norint jį padengti cementine plėvele. Todėl, pavyzdžiui, smėlio betonui reikia beveik 30 % daugiau cemento, negu tokio pat stiprumo betonui su stambiaisiais užpildais (Naujokaitis 2007).

Granulimetrinė užpildų mišinio sudėtis priklauso ir nuo jų supiltos masės tuštumėtumo (piltinio tankio). Nuo jo priklauso cemento išeiga, kuri padidėja užpildant užpildų tuštumas. Užpildų tuštumėtumo įtaką galima reguliuoti stambiųjų ir smulkiųjų užpildų santykiu. Į stambiuosius tuštumėtus užpildus įdėti smulkieji gali užpildyti stambiųjų tuštumas. Tačiau tuomet padidėja lyginamasis paviršius, kuriam taip pat reikia papildomo cemento kiekio. Todėl optimalią užpildų sudėtį galima parinkti tik išbandžius su jais pagamintus betoninius pavyzdžius (Naujokaitis 2006).

Užpildų fizikinės ir mechaninės savybės daro esminę įtaką daugeliui betono savybių. Labai stipriems sunkiesiems betonams maišyti reikia naudoti stipresnius užpildus negu parenkamas betono stiprumas, t. y. užpildų stiprumas turi užtikrinti reikiama betono stiprumą. Jeigu numatyta betono klase aukštesne negu B25, tai užpildų stiprumas turėtų būti 2 kartus didesnis. Žemesnės klasės betonų užpildų stiprumas turi būti apie 1,5 karto didesnis už norimą gauti betono stiprumą. Tiesiogiai nustatyti užpildų stiprumą yra labai sudėtinga. Todėl jų stiprumą patogiausia nustatyti pačiame betone (Žurauskienė *et al.* 2012).

1.1.4. Vanduo

Betono mišiniui ruošti vanduo turi būti švarus, be žalingų, trukdančių betonui normaliai kietėti priemaišų (rūgščių, sulfatų, riebalų ir kt.). Jame gali būti ne daugiau kaip 5000 mg/l įvairių ištirpusių druskų, iš jų sulfatų – ne daugiau kaip 2700 mg/l. Vanduo turi būti nerūgštus. t.y. jo pH – ne mažesnis kaip 4.

Betono mišiniui ruošti galima vartoti jūrų bei kitokį sūrų vandenį, jeigu jame ištirpusių druskų kiekis neviršija leistinųjų. Betono, užmaišyto su tokiu vandeniu, paviršiuje gali atsirasti dėmių, gali rūdyti gelžbetoninių gaminių armatūra. Druskingų vandenų negalima vartoti tada, kai betono mišiniai ruošiami su aluminatiniu cementu. Betono mišiniams ruošti negalima vartoti vandens, kuriame yra daug organinių priemaišų, t.y. nutekamųjų bei balų vandens. Betonui geriausiai tinka geriamasis vandentiekio ir švarus upių bei ežerų vanduo (LST EN 1008:2005).

Vanduo turi atitikti LST EN 1008:2005 standarto reikalavimus. Organinių priemaišų pvz., fenolo neturi viršyti 10 mg/l. Vandens paviršiuje neturi būti naftos, kitų riebalinės kilmės produktų.

1.1.5. Betono prieššaltiniai ir plastifikuojantys priedai, jų savybės

Esant neigiamai temperatūrai tam, kad skiedinys kietėtų, atskirais atvejais galima į mišinius pridėti vandens užšalimą mažinančių priedų - druskų (Kligys *et al.* 2005).

Kaip prieššaltiniai priedai naudojami natrio ir kalcio chloridai, natrio nitritas, potašas ir kt. Kuo žemesnė temperatūra, naudojant betono arba skiedinio mišinius, tuo daugiau reikia įdėti minėtų druskų. Didelis druskų kiekis sukelia neigiamų pasėkmių: gali greitėti armatūros korozija, gali atsirasti druskų dėmės ir irti konstrukcijų paviršius. Todėl vertikalių paviršių mišiniams, ypač jeigu vanduo garuoja nuo paviršiaus į išorę, naudoti daugiau druskų negu 2-3% nepatartina (Vektaris 2006). Kiekvienu konkrečiu atveju reikia atsižvelgti į druskų panaudojimo tikslingumą, jei galima išvengti betonavimo, tinkavimo ar mūrijimo darbų šaltyje, geriau prieššaltinių priedų nenaudoti. Kiek reikia priedų, pateikiama 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Prieššaltinės druskos ir jų kiekiai

Betono arba skiedinio mišinio temperatūra, °C	Priedo kiekis, % nuo cemento masės		
	NaCl + CaCl ₂	Na NO ₂	K ₂ CO ₃
iki – 5	3,0 + 0,6	4 – 6	5 – 6
iki – 10	3,5 + 1,5	6 – 8	6 – 8
iki – 15	3,0 + 4,5	8 – 10	8 – 10
iki – 20	3,0 + 4,5	8 – 10	10 – 12
Iki – 25	3,0 + 4,5	8 – 10	12 – 15

Druskos ištirpinamos vandenyje ir maišomos su kitais komponentais statybos vietoje (Vektaris 1998).

Mišinius su potašo arba natrio nitrito priedais leidžiama naudoti monolitinant ir užpildant siūles stambiaplokščių pastatų sienose, mūro darbuose (išskyrus apdailos mūrą) su cementiniais ir cementiniais-kalkių (kai kalkių tešlosne daugiau kaip 0,3 % cemento tūrio) mišiniais. Taip pat galima šias mūrines sienas ir tinkuoti.

Praktikoje išskiriami atvejai, kada prieššaltinių druskų naudojimas gali turėti neigiamą poveikį konstrukcijoms.

Jeigu naudojami pašildyti užpildai ir greitai kietėjantys arba turintys trikalčio aluminato C_3A daugiau negu 7 % cementas, tai galima naudoti mažiau potašo. $NaNO_2$ galima naudoti mažiau ir esant $C_3A < 7 \%$.

Mišiniai su potašu, ypač jei jo yra daugiau, greitai kietėja, todėl reikia naudoti ir sulfitinių mielių raugo (SMR) priedus, pridedant jų 0,3-1,0% cemento masės. Tikslią sudėtį reikia nustatyti laboratorijoje. (Kelpšienė *et al.* 2008)

Betono mišinių sudėtyje taip pat gali būti naudojami plastikliai, superplastikliai. Šie priedai suteikia betono mišiniui tokias savybes:

- Trumpina maišymo laiką;
- Sumažina mišinio klampumą;
- Suteikia didesnę plastifikavimo efektą;
- Užtikrina ankstyvąjį betono stiprumą;

Aptariamame darbe yra naudojamas superplastiklis MC-Powerflow 3100, kuris pagamintas polikarboksilato pagrindu. Šis superplastiklis naudojamas surenkamų gelžbetonio konstrukcijų, didelio stiprumo ir ilgaamžiškumo gaminiams gaminti. Taip pat įmaišomas į mišinius, kai norima gauti savaime susitankinantį, prekinį, architektūrinį bei su nedideliu vandens ir cemento santykiu betoną. Minėtojo superplastiklio gamintojo pateikiamos savybės pateiktos 1.4 lentelėje.

Superplastikliai – įmaišos, kurių įdėjus, nekeičiant konsistencijos, galima gerokai sumažinti vandens kiekį (daugiau nei 12 %) betono mišinyje arba, nekeičiant vandens kiekio, gerokai padidinti betono mišinio slankumą, arba gauti abu rezultatus kartu. Betono stiprumas gniuždant po vienos paros kietėjimo yra 140 % didesnis, o po 28 parų bandomojo mišinio stiprumas, palyginti su kontrolinio mišinio, didesnis 115 %. Kai V/C santykis toks pats, sklidumas, palyginti su pradiniu (30 ± 10 mm), padidėja daugiau nei 120 mm. Po 30 min. nuo įmaišos įdėjimo bandomojo mišinio sklidumas turi atitikti pradinį kontrolinio mišinio sklidumo lygį. Praktikoje naudojamos įmaišos:

REBAmix F2 (FM) – universalusis superplastiklis, betono mišinyje disperguojantis sulipusias cemento bei mikroužpildų daleles. Tai tamsiai rudas 1,13 kg/l tankio skystis. Mišiniui įtakos neturi cementinės tešlos rišimosi terminai – nei rišimosi pradžia, nei pabaiga. Plastiklio pagrindas – naftalino ir formaldehido kondensacijos produktai. Įmaišos į betono mišinį dedama 0,8–1 % (0,39–0,5 l/50 kg cemento) cemento masės. Įmaiša sumažina vandens kiekį, būtiną normalaus tirštumo cementinei tešlai, sumažina atvirąjį poringumą, padidėja betono nelaidumas vandeniui, atsparumas šalčiui.

Plastifikuojančių priedų poreikis gaminant betoną, tiek Lietuvoje, tiek ir kitose šalyse nuolat didėja. Efektyviausi šiuo metu gaminami plastifikuojantys priedai – superplastikliai – tai melamine arba naftaleno kondensacijos produktai su formaldehidu. Tačiau melaminas ir naftalenas gana brangios medžiagos, o tokių superplastiklių gamyba yra sudėtingas techninis procesas. Žymiai pigesnis ir prieinamesnis žaliavų požiūriu plastiklis yra techniniai lignosulfonatai (sutrumpintai LST). Techniniai lignosulfonatai nėra labai efektyvus plastiklis, nes didesni jo kiekiai (daugiau kaip 0,25 % nuo cemento kiekio) žymiai lėtina cemento rišimąsi ir kietėjimą. Daugelio mokslininkų nuomone, cemento rišimosi ir kietėjimo lėtinimo priežastimi yra redukuojančios medžiagos, esančios LST sudėtyje (angliavandeniai, organinės rūgštys ir jų junginiai). O juose esančios cukringos medžiagos nežymiai lėtina cemento hidrataciją ir kietėjimą. Be to, techniniai lignosulfonatai sumažina paviršiaus įtempį fazių sąlyčio paviršiuje „skystis – oras“ ir dėl to padidina oro įtraukimą į betono mišinį. Kiekviena dešimtoji procento dalis LST priedo padidina oro kiekį betono mišinyje (0,8=0,9 %) (Skripkiūnas 1996).

Techninėje literatūroje plastikliai ir superplastikliai pagal įdiegimo laikotarpį ir pagal redukuojamą vandens kiekį betono mišinyje sąlyginai skirstomi į grupes. Įvertinant superplastiklio ar plastiklio kokybę, tokiu skirstymu remtis negalima. Vienos grupės produktų kokybė priklauso nuo daugelio veiksnių, įvertinamų tik po specialių tyrimų - koncentracijos, cheminės sudėties, molekulinės masės ir grynumo, pagalbinių priedų kiekio nustatymo ir t.t. Sunku atsakyti ir į klausimą ar visada naujoviškesnis superplastiklis geresnis už senesnius produktus (Čechovas *et al.* 1976).

Cheminių priedų vartojimo srityje praktika yra pralenkusi mokslą. Praktikoje naudojama daug įvairios cheminės sudėties priedų, kurių sąveika betono mišinyje su cementu ir užpildais iki šiol nepakankamai ištirta. Tačiau eksperimentais įrodyta, kad tokius cheminius priedus betono gamyboje naudoti racionalu.

1.1.6. Kiti plastifikuojantys priedai, pateikiami Lietuvos rinkai

Plastifikatorius BMP – cheminis priedas, plastifikuojantis statybinius skiedinius ir betono mišinius. Padidina statybinių mišinių atsparumą šalčiui.

Plastifikatorius Winnix – cheminis priedas, plastifikuojantis statybinius skiedinius ir betono mišinius. Padidina statybinių mišinių atsparumą šalčiui. Reikia iki 10 % mažiau vandens.

Plastifikatorius Wintermix – veiksmingas cheminis priedas, betonavimui, mūrijimui, tinkavimui žiemos sąlygomis. Padidina statybinių mišinių atsparumą šalčiui, galima dirbti esant temperatūrai iki – 12 °C.

Plastifikatorius Winplast CL10 – superplastifikuojantis, vandens kiekį mažinantis betono priedas. Leidžia ne tik sumažinti cemento sąnaudas bet ir suskystinti betono masę.

Plastifikatorius „Floormix“ – superplastifikuojantis priedas betonui, klojamam virš grindų šildymo sistemos. Priedas pagerina betono gebėjimą atiduoti šilumą ir padidina betono tvirtumą.

Plastifikatorius „Proof“ – atsparumą vandeniui didinantis priedas, tinka hidrotechniniam betonui. Stabdo baltų druskų atsiradimą (interneto prieiga: www.altis.lt)

1.2. Kalcio nitrato panaudojimas ir įtaka betonui mišiniams

1.2.1. Kalcio nitrato panaudojimas ir savybės

Kalcio nitratas, taip pat vadinamas Norgessalpeter (norvegų salietra), yra neorganinis junginys, kurio formulė $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, savybės 1.5 lentelėje. Tai bespalvė druska, sugerianti drėgmę iš oro. Kalcio nitratas naudojamas įvairiose pramonės srityse, pavyzdžiui, gaminant betono mišinius bei skiedinius. Sudėtyje neturi chloridų jonų, todėl nekelia korozijos.

Lietuvos klimatinėmis sąlygomis racionalu būtų plėsti prieš šaltinių priedo kalcio nitrato $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ naudojimą, nes šis priedas pagerina betono technologines savybes, esant žemesnei temperatūrai ir nesukelia korozijos. Kalcio nitrato savybės:

- Trumpesni rišimosi terminai;
- Veikia kaip prieššaltinis priedas;
- Stabdoma armatūros korozija betone;
- Kompensuojamas (plastiklių) lėtinamasis poveikis;
- Ilgesnį laiką išlaiko gaminių stiprumines savybes (Emoto *et al.* 2007).

1.4 lentelė. Kalcio nitrato savybės

Kalcio Nitratas (Ca(NO ₃) ₂)	Tankis	: 1.25±0.03 kg/L
	pH	: 6,00 – 8,00
	Chlorido kiekis	: ≤ 0,1 proc.
	Šarmo kiekis	: ≤ 10 proc.

Veikiant žemoms temperatūroms yra aktualu, kad kalcio nitratas efektyviai veiktų kietafazėse reakcijose, didintų hidratacijos procesus eksploatuojant žemose temperatūrose. Dėl ypatingų savybių (gera sorbcija, didelis savitasis paviršius, tinkami dalelių matmenys ir cheminė sudėtis), kalcio nitrato priedas betone galėtų atlikti aukščiau minėtas funkcijas. Kalcio nitratas nuo užšalimo apsaugo naudodamas cemento hidratacijos šilumą ir mažai keičia vandens užšalimo temperatūrą. Naudojant plastikius reikia mažiau vandens ir cemento, bet sulėtėja hidratacijos reakcijos. Tokiu atveju kalcio nitratas pagreitina rišimąsi.

1.2.2. Kalcio nitrato įtaka tešlos rišimosi trukmei

Mišinio rišimosi pabaigos palyginimas naudojant skirtingos klasės cementą pavaizduotas 1.6 lentelėje., pagal Viko prietaiso rezultatus, 5 °C temperatūroje, kai pridedami skirtingi kiekiai kalcio nitrato ir natrio nitrato įmaišų. Rišimosi pradžios trukmės nurodytos valandomis (Mišinio cemento ir vandens santykis w/c = 0.4).

1.5 lentelė. Cemento tešlos rišimosi pabaigos laikas esant skirtingam priedų kiekiui (pagal Justnes *et al.* 1995)

CEMENTAS	CEM I 42,5R	CEM II A-V 42,5R	CEM I 52,5R-LA
<u>Ca(NO₃)₂ (%)</u>			
0.00	8.10 (100)	6.75 (100)	7.40 (100)
0.25	5.50 (67.9)	5.41 (80.1)	5.80 (78.4)
0.50	5.25 (64.8)	4.41(65.3)	3.00 (40.5)
0.75	5.33 (65.8)	5.83 (86.4)	4.60 (62.2)
1.00	4.30 (53.1)	5.70 (84.4)	1.80 (24.3)
<u>NaNO₃ (%)</u>			
0.25	5.60 (69.1)	5.15 (76.3)	6.10 (82.4)
0.50	5.55 (68.5)	6.55 (97.0)	5.40 (73.0)
1.00	6.00 (74.1)	7.52 (111.4)	4.80 (64.9)

Kaip matome iš atliktų bandymų pridėjus 1 % kalcio nitrato priedo, nuo cemento masės, buvo užfiksuota anksčiausia tešlos rišimosi pabaiga. Cemento tešlos su 1 % kalcio

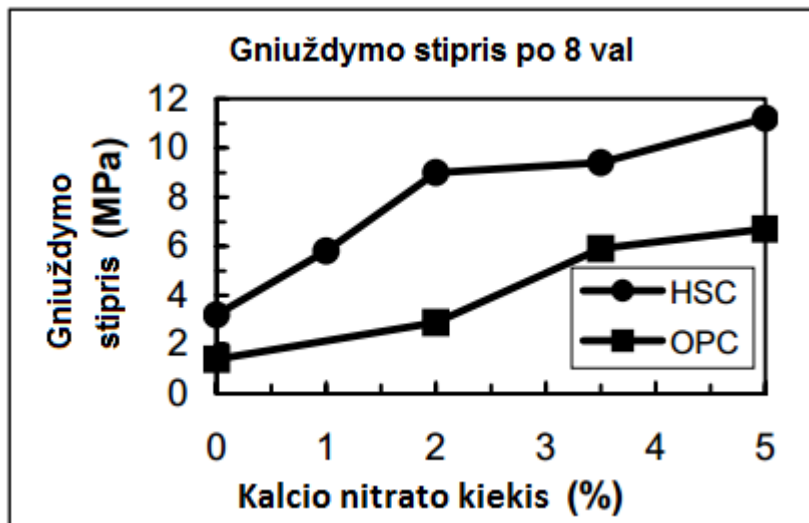
nitrato įmaiša rišimosi pabaiga užfiksuota net 228 min anksčiau, nei bandinio be kalcio nitrato priedo (Justnes *et al.* 1995).

Kalcio nitratas kaip priedas cemento tešlose ir betonuose gali būti naudojamas su 2 % jo priedu, nuo rišamosios medžiagos masės, tokio tipo mišinys 120 min nepraras klampumo savybių. Dozuojant kalcio nitrato kiekį tarp 2 ir 3 % klampumas išlieka tinkamas 60 min. Tačiau pridėjus 3 % kalcio nitrato priedo klampumas kinta labia greitai, todėl norint formuoti didelius betono gaminius yra nerekomenduojama naudoti tokio tipo mišinį, kurio klampa greitai mažėja.

Taip pat nustatyta, kad kalcio nitratas turi poveikį mišinių tiksotropiškumui. Kuo didesnis kiekis yra įmaišoma kalcio nitrato priedo, tuo mišinys yra tiksotropiškesnis ir jį lengviau galima sutankinti. Esant kalcio nitrato priedams mišiniuose yra sumažinamas jų klampumas bei didėja šlyties įtempiai, mažėja slankumas (Skripkiūnas *et al.* 2016; Banfill 2003).

1.2.3. Kalcio nitrato įtaka betono gaminiams

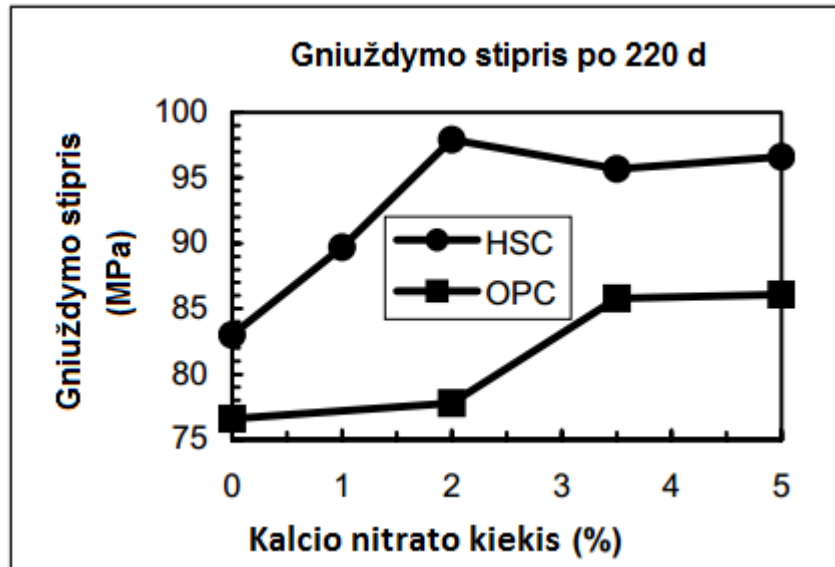
Ankstyvasis gniuždymo stipris (po 8 val. po užmaišymo), naudojamas didelio stiprumo betonas (HSC) ir įprastinis betonas (OPC). Rezultatai pavaizduoti 1.1 pav.



1.1 pav. Gniuždymo stipris praėjus 8 val. po užmaišymo (pagal Justnes *et al.* 1995)

Atlikus tyrimus yra nustatyta, jog betonas su kalcio nitrato priedais daug reičiau kietėja ir įgauna didesnę gniuždymo stiprį, nei betonas be šio priedo. Didžiausi gniuždymo stiprio rezultatai nustatyti su 5 % kalcio nitrato.

Gniuždymo stipris (po 220 dienų kietėjimo), naudojamas didelio stiprumo cementas (HSC) ir įprastinis cementas (OPC) bei skirtingas kiekis kalcio nitrato įmaišų. Rezultatai pavaizduoti 1.2 pav.

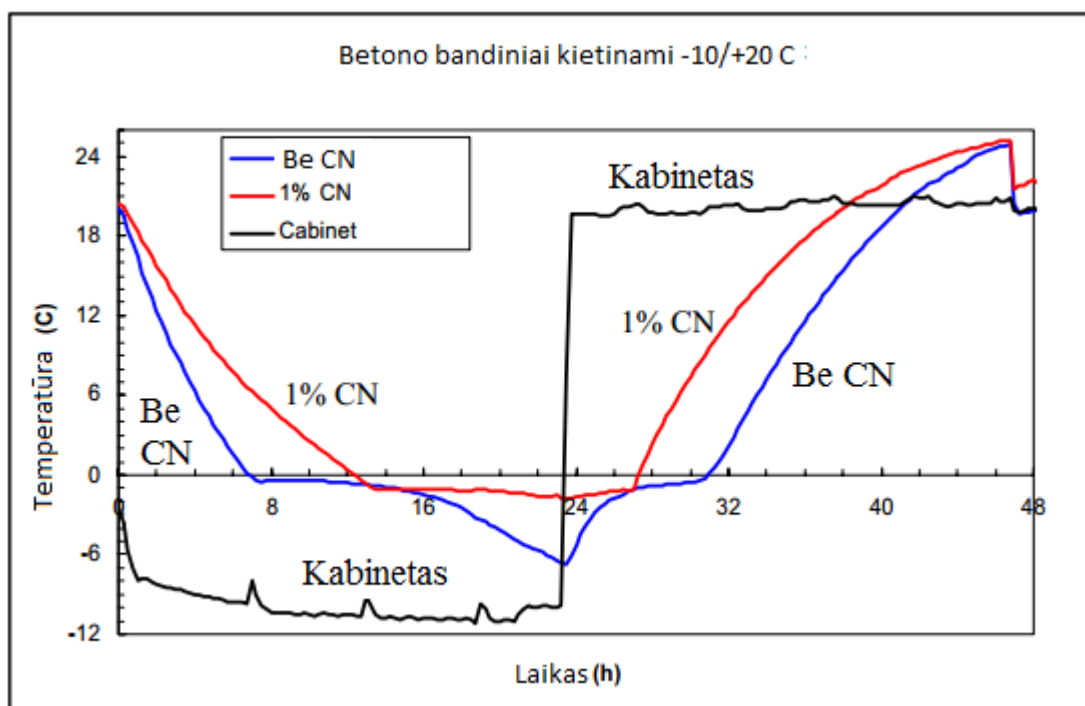


1.2 pav. Betono bandinių gniuždymo stipris praėjus 220 dienų po užmaišymo (pagal Justnes *et al.* 1995)

Iš atliktų tyrimų matomos ilgalaikės betono gaminių kietėjimo tendencijos. Pridėjus kalcio nitrato įmaišos kiekį nuo 1 % iki 5 %, visais atvejais ilgalaikės gniuždymo stiprio savybės buvo nustatytos geresnės, nei bandinių, kurie buvo formuojami su mišiniu be kalcio nitrato priedo. Betonui, kuriam buvo naudotas didesnio stiprumo cementas didžiausias stipris pasiektas su 2 % kalcio nitrato. Gaminiuose su įprastinio stiprumo cementu geriausi gniuždymo stiprio rezultatai nustatyti su 5 % kalcio nitrato kiekiu (Justnes *et al.* 1995).

1.2.4. Kalcio nitrato įtaka betono mišinių kietėjimui žemoje temperatūroje

Aptariamas 100x100mm kūbo bandinio kietėjimas vieną dieną -10°C temperatūroje, o kitą dieną $+20^{\circ}\text{C}$ temperatūroje.



1.3 pav. Betono bandinių temperatūros priklausomybė nuo laiko (pagal Justnes *et al.* 1995)

1.3 pav. nurodyta, kaip greitai krenta arba kyla temperatūra įprastinio betono mišinio ir mišinio su 1% CN įmaiša, kai bandiniai kietinami skirtingose temperatūrose. Taip pat nustatyta, jog žemiausią temperatūrą pasiekė bandiniai be kalcio nitrato, tai yra -7°C , lyginant su bandiniais, kuriuose buvo įmaišyta 1 % kalcio nitrato, pastarųjų temperatūra nukrito iki $-1,5^{\circ}\text{C}$ (Justnes *et al.* 1995).

Žemiausia temperatūra prie kurios gali vykti mišinio kietėjimas yra 5°C . Jei ši temperatūra yra žemesnė, tokiu atveju yra būtina naudoti papildomus priedus mišinyje. Tokiu būdu apsaugant betono mišinį nuo užšalimo. Buvo atliekami tyrimai panaudojus 6 % (nuo cemento kiekio) kalcio nitrato priedą, ir kietinamas betono mišinys esant -5 , -10 , -15 ir -20°C temperatūrai. Šių bandinių gniuždymo stipris lyginamas su bandiniais, kurie kietinami vandenyje $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Gniuždymo stipris buvo nustatinėjamas po 7, 14, 28 parų po bandinių kietėjimo. Rezultatai parodė, jog kalcio nitratas yra tinkamas priedas, kai betonas yra kietinamas žemoje temperatūroje. Bandymuose naudojamas CEM I 42,5 R tipo portlandcementis. Taip pat pridėta 0,5 % superplastiklio. Betono mišinio sudėtis pateikta 1.6 lentelėje.

1.6 lentelė. Betono mišinio sudėtis (pagal Karagöl *et al.* 2013)

Medžiagos		Kontrolinis mišinys	Prieššaltinis mišinys
Kalcio nitrato kiekis (%)		0	6%
V/C santykis		0.40	0.40
Cementas (kg)		400	400
Kalcio nitratas (kg)		–	24
Vanduo (kg)		160	160
Superplastiklis (%)		0.5	0.5
Oras		0.02	–
Naturalūs užpildai (kg)	0–2 mm	498	487
	2–4 mm	256	251
	4–8 mm	352	344
	8–16 mm	638	625

Atlikus slankumo bandymą su mišiniu be kalcio nitrato – nustatytas 4 cm slankumas.

O kai pridėti 6 proc. kalcio nitrato, slankumas pasiekė 6 cm.

Gniuždymo stiprio rezultatai pateikiami 1.7, 1.8, 1.9 lentelėse.

1.7 lentelė. Gniuždymo stiprio rezultatai po 7 parų išlaikymo žemoje temperatūroje (pagal Karagöl *et al.* 2013)

Temperatūra (°C)	Stipris po 7 šaldymo parų (MPa)		Stipris po 7 šaldymo parų + 7 dienų vandenyje (MPa)		Stipris po 7 šaldymo parų + 14 dienų vandenyje (MPa)		Stipris po 7 šaldymo parų + 28 dienų vandenyje (MPa)		7 dienų kietinimas vandenyje
	S1	C1	S1*	C1*	S1**	C1**	S1***	C1***	
–5	35.93	7.92	44.69	29.63	38.71	13.91	38.69	26.18	Kontrolinis vanduo (CW7)
–10	18.23	7.81	24.51	10.41	21.27	9.63	35.30	17.85	37.96
–15	16.10	6.97	15.58	10.65	17.26	9.82	35.28	16.42	Vanduo su CN (SW7)
–20	15.53	6.55	11.68	12.42	14.35	9.81	33.26	15.10	45.95

S1 - bandiniai su 6 % kalcio nitrato ir 7 dienas išlaikyti žemoje temperatūroje.

C1 - bandiniai be kalcio nitrato ir išlaikyti 7 dienas žemoje temperatūroje.

S1* - bandiniai su 6 % kalcio nitrato ir 7 dienas išlaikyti žemoje temperatūroje + 7 dienas laikyti vandenyje normalioje temperatūroje.

C1* - bandiniai be kalcio nitrato ir išlaikyti 7 dienas žemoje temperatūroje + 7 dienų laikymą vandenyje normalioje temperatūroje.

S1** - bandiniai su 6 % kalcio nitrato ir 7 dienas išlaikyti žemoje temperatūroje +14 dienų laikyti vandenyje normalioje temperatūroje.

C1** - bandiniai be kalcio nitrato ir išlaikyti 7 dienas žemoje temperatūroje +14 dienų laikyti vandenyje normalioje temperatūroje.

S1*** - bandiniai su 6 % kalcio nitrato ir 7 dienas išlaikyti žemoje temperatūroje +28 dienas laikyti vandenyje normalioje temperatūroje.

C1*** - bandiniai be kalcio nitrato ir išlaikyti 7 dienas žemoje temperatūroje +28 dienas laikyti vandenyje normalioje temperatūroje.

CW7 - bandiniai išlaikyti 7 dienas vandenyje, normalioje temperatūroje, bandiniai be kalcio nitrato priedo.

SW7 - bandiniai išlaikyti 7 dienas vandenyje, normalioje temperatūroje, bandiniai su 6% kalcio nitrato priedu.

1.8 lentelė. Gniuždymo stiprio rezultatai po 14 parų kietinimo žemoje temperatūroje (pagal Karagöl *et al.* 2013)

Temperatūra (°C)	Stipris po 14 šaldymo parų (MPa)		Stipris po 14 šaldymo parų + 7 dienų vandenyje (MPa)		Stipris po 14 šaldymo parų + 14 dienų vandenyje (MPa)		Stipris po 14 šaldymo parų + 28 dienų vandenyje (MPa)	
	S2	C2	S2*	C2*	S2**	C2**	S2***	C2***
-5	26.30	7.56	35.75	18.19	24.25	14.02	55.17	23.80
-10	24.22	3.42	16.86	8.29	17.91	11.90	48.34	19.09
-15	16.31	4.02	16.01	9.38	17.03	11.55	37.56	16.84
-20	6.54	3.67	15.99	9.99	17.05	11.86	34.36	14.03

1.9 lentelė. Gniuždymo stiprio rezultatai po 28 parų kietinimo žemoje temperatūroje (pagal Karagöl *et al.* 2013)

Temperatūra (°C)	Stipris po 28 šaldymo parų (MPa)		Stipris po 28 šaldymo parų + 7 dienų vandenyje (MPa)		Stipris po 28 šaldymo parų + 14 dienų vandenyje (MPa)		Stipris po 28 šaldymo parų + 28 dienų vandenyje (MPa)		28 dienų kietinimas vandejeje
	S3	C3	S3*	C3*	S3**	C3**	S3***	C3***	
-5	33.21	3.12	32.29	31.41	29.10	30.46	57.51	21.92	Kontrolinis vanduo (CW28)
-10	10.76	1.31	17.02	11.32	20.01	12.55	52.93	19.60	
-15	5.35	0.88	16.59	10.50	17.28	13.35	51.35	14.15	51.40
-20	4.13	0	14.90	10.64	15.94	12.84	47.02	16.61	Vanduo su CN (SW28) 46.57

Gniuždymo stipris su kalcio nitratu ir be jo buvo sumažintas dėl žemos temperatūros. Tačiau visi bandiniai su kalcio nitratu pasiekė didesnę stiprį nei bandiniai be šio priedo.

Gniuždymo stipris bandinių C1, C2 ir C3 pasiekė – 7,92, 7,56 ir 3,12 MPa. O bandiniai su 6 % kalcio nitratu S1, S2 ir S3 buvo 35,93 , 26,30 ir 33,21 MPa stiprumą, kai buvo kietinami -5 °C temperatūroje. Iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, kad kalcio nitratas esant įvairioms kietinimo temperatūroms, suteikė bandiniams didesnę gniuždymo stiprį.

Betonas su kalcio nitratu pasiekė pakankamą gniuždymo stiprį po 14 dienų kietėjimo -10 °C temperatūroje.

Kalcio nitratas turėjo didelę įtaką ankstyvajam betono gniuždymo stipriui. Rezultatai parodė, kad šis priedas yra gera priemonė greitinti mišinių kietėjimą. Remiantis rišimosi laiku, gniuždymo stipriu bei kitomis savybėmis, galima kalcio nitratai laikyti tinkamu prieššaltiniu priedu mišiniuose (Karagöl *et al.* 2013).

1.3. Betono mišinio sudėčių parinkimo principai

Mišinio sudėties parinkimo tikslas – atsižvelgiant į gamybos technologiją nustatyti tokį komponentų santykį, kad mišinys būtų reikiamo slankumo, betono konstrukcijos – pakankamo stiprumo ir kitų būtinų savybių. Kartu svarbu įvertinti ir ekonominius reikalavimus: galimą mažiausią cemento, stambiojo užpildo išėigą arba bendrą mažiausią kainą. Todėl parenkant betono mišinio sudėtį turi būti žinomi tam tikri pradiniai reikalavimai. Pagrindiniai iš jų:

1. Būtinės betono savybės pagal betonuojamos konstrukcijos paskirtį, gamybos būdą ir eksploataavimo sąlygų ypatumus.
2. Reikiamas betono stiprumas ir trukmė, per kurią tai turi būti pasiekta.
3. Betono mišinio standumas ir slankumas, įvertinant gaminamos konstrukcijos tipą ir jos formavimo technologiją.
4. Betono mišinio komponentų parametrai ir duomenys, atitinkantys norimas gauti savybes.
5. Papildomos eksploatacinės konstrukcijos betono savybės: tempiamasis stipris, deformacijų modulis, susitraukimo deformacijos, nelaidumas vandeniui, atsparumas šalčiui ir kt. Praktikoje betono kokybę ir savybes įprasta nustatyti vienu techniniu plačios sąvokos rodikliu – betono klase.

Betono sudėčiai parinkti taikomos įvairios matematinės jo savybių ir įvairių kitų charakteristikų prieklausos. Projektinis betono stiprumas nustatomas teisingai parinkus vandens ir cemento santykį (V/C) arba cemento kiekį. Pagal vandens kiekį nustatomas reikiamas betono mišinio slankumas. Nustatyta, kad V/C yra pagrindinis veiksnys, nuo kurio priklauso betono savybės.

Kaip buvo minėta, vandens išėiga priklauso nuo to, kokio slankumo betono mišinį reikia gauti. Tačiau tai turi būti patikrinta išankstiniais bandymais, atsižvelgiant į užpildų vandens įgertį.

Optimalus stambiųjų ir smulkiųjų užpildų santykis turi būti toks, kad betono tankis būtų kuo didesnis, o cemento išėiga mažiausia.

Užpildų santykis turi didelės įtakos ne tik betono gniuždymo stipriui, bet ir kitoms fizinėms bei mechaninėms savybėms: tamprumo ir deformacijų moduliui, susitraukimo ir valksnumo deformacijoms ir kt. Nustatyta, kad kuo daugiau smulkiųjų frakcijų, tuo tamprumo ir deformacijų moduliai mažesni, susitraukimo ir valksnumo deformacijos didesnės. Tai rodo, kad nukrypus nuo optimalaus visų užpildų frakcijų santykio keičiasi projektinės fizinės ir mechaninės betono savybės, kurios gamybos sąlygomis yra

nekontroliuojamos. Sumažėjus tamprumo ir deformacijų moduliui ir dėl to, kad betonas labiau susitraukia, jo valkšnumas didesnis, betoninėse ir gelžbetoninėse konstrukcijose padidėja pavojus atsirasti neleistino dydžio plyšiams, įlinkiams ir kitoms deformacijoms.

Betono savybės ir kokybė labiausiai susiję su vandens ir cemento santykio pakeičiais. Betono stiprumas beveik tiesiogiai priklauso nuo V/C santykio, kai visos kitos sąlygos vienodos. V/C turi panašios įtakos betono fizinėms ir mechaninėms savybėms kaip ir užpildų smulkiosios frakcijos didinimas. Kai V/C didesnis, betono mišinyje yra daugiau laisvojo vandens, kuriam garuojant irsta struktūra, didėja poringumas.

Tai rodo, kad tinkamas betono mišinių parinkimas ir pastovus jų sudėties palaikymas visą statybos periodą yra svarbus veiksnys konstrukcijų projektiniam ilgaamžiškumui užtikrinti (Gumuliauskas 2001).

2. NAUDOTOS MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODIKOS

2.1. Užpildų tyrimų rezultatai

2.1.1. Smėlio piltinio tankio nustatymas

Smėlio piltinis tankis nustatomas, sveriant sausą smėlį standartiniame žinomo tūrio inde (LST EN 1097-3:2002). Rezultatai pateikiami 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Smėlio piltinio tankio tyrimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai		
		1	2	3
Tuščio indo masė	m,g	196,59	196,59	196,59
Indo su smėlio bandiniu masė	m ₁ ,g	1750,02	1770,03	1785,93
Indo tūris	V,cm ³	1000	1000	1000
Smėlio piltinis tankis	$\rho_{s.pl} = \frac{m_1 - m}{V}, g/cm^3$	1,553	1,573	1,589
Vidurkis	$\rho_{s.pl.vid.}, g/cm^3$	1,572		

Išvada: Nustatytas Smėlio piltinis tankis lygus 1,572 g/cm³.

2.1.2. Smėlio dalelių tankio nustatymas

Užpildo dalelių tankis - tai sauso užpildo masės ir jo dalelių užimamo tūrio, įskaitant dalelėse esančias uždaras ir atviras poras, santykis (LST EN 1097-6:2013). Rezultatai pateikiami 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Smėlio dalelių tankio tyrimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai	
		1	2
Smėlio masė	m,g	15	15
Piknometro su vandeniu masė	m ₁ ,g	145,47	139,72
Piknometro su smėliu ir vandeniu masė	m ₂ ,g	154,73	148,92
Smėlio dalelių tankis	$\rho_{s.t} = \frac{m \cdot \rho_v^*}{m + m_1 - m_2}, g/cm^3$	2,613	2,586
Vidurkis	$\rho_{s.t.vid.}, g/cm^3$	2,6	

ρ_v^* - vandens tankis (1 g/cm³).

Išvada: Nustatytas smėlio dalelių tankis lygus $2,6 \text{ g/cm}^3$.

2.1.3. Smėlio tuštymėtumo nustatymas

Nustačius ir apskaičiavus smėlio dalelių tankį ir piltinį tankį, buvo apskaičiuotas smėlio tuštymėtumas jis buvo randamas pagal formulę (LST EN 1097-3:2002):

$$T = ((\rho_{s,t} - \rho_{s,pl}) / \rho_{s,t}) \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

čia $\rho_{s,pl}$ - smėlio piltinis tankis, g/cm^3 ; $\rho_{s,t}$ - smėlio dalelių tankis, g/cm^3 .

Išvada: Nustatyta, kad smėlio tuštymėtumas lygus 39,538 %.

2.1.4. Smėlio drėgnio nustatymas

Užpildo drėgnis - tai užpilde esančio vandens masės ir sauso užpildo masės santykis (LST EN 1097-6:2013). Rezultatai surašomi į 2.3 lentelę.

2.3 lentelė. Smėlio drėgnio tyrimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetai	Bandiniai
Smėlio bandinio masė	m, g	1085,45
Išdžiovinto smėlio masė	m_1, g	1060,24
Smėlio drėgnis	$W_s = ((m - m_1) / m_1) \cdot 100, \text{proc.}$	2,38

Išvada: Nustatytas smėlio drėgnis lygus 2,38 %.

2.1.5. Smėlio granulimetrinės sudėties ir stambumo modulio nustatymas

Granulimetrinė sudėtis - užpildo dalelių pasiskirstymas pagal stambumą, išreikštas išbirų per nustatytą sietų skaičių masės procentais (LST EN 933-1:2012). Gauti tyrimo rezultatai įrašomi į 2.4 lentelę ir braižomas smėlio granulimetrinės sudėties grafikas pateiktas 2.1 paveiksle.

2.4 1 lentelė. Smėlio dalinių, suminių liekanų ir išbirų nustatymo rezultatai

Sieto akelių dydis, mm	Smėlio liekana ant sieto m_i , g	Dalinė liekana a_i , proc.	Suminė liekana A_i , proc.	Išbira B_i , proc.
6 (8)	0,0	0,0	0,0	100,0
4 (5)	29,74	2,974	2,974	97,026
2 (2,5)	95,77	9,577	12,551	87,449
1 (1,25)	151,62	15,162	27,713	72,787
0.5 (0,63)	226,71	22,671	50,384	49,616
0.25 (0,315)	312,58	31,258	81,642	18,358
0,125 (0,14)	137,67	13,767	95,409	4,591
Masė P ant dugno. g		45,20		
$\Sigma m_i + P$, g		999,29		
$100[m - (\Sigma m_i + P)]/m < l$, proc.		0,071		

Dalinės liekanos ant kiekvieno sieto a_i (%) apskaičiuojamos pagal formulę:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \%, \quad (2.2)$$

čia m_i – liekanos ant skaičiuojamojo sieto masė, g; m - bandinio masė, g.

Išbiros pro kiekvieną sietą B_j , % apskaičiuojamos pagal formulę:

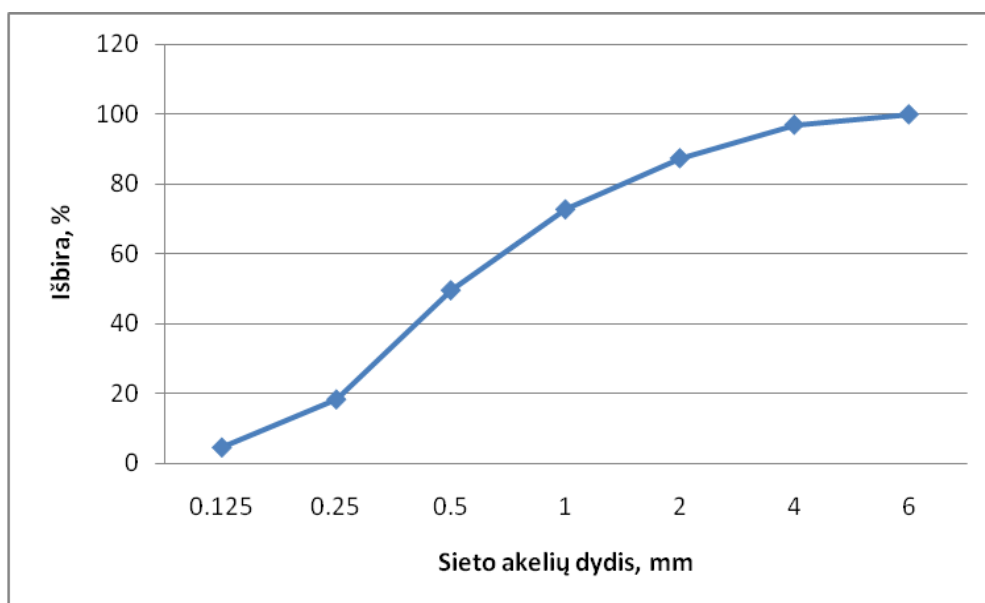
$$B_j = 100 - A_j, \%, \quad (2.3)$$

čia A_j - suminė liekana ant kiekvieno sieto, %.

Žinodami sumines liekanas ant kiekvieno sieto A_j , %, apskaičiuojame smėlio stambumo modulį M_s pagal formulę:

$$M_s = \frac{A_2 + A_1 + A_{0,5} + A_{0,25} + A_{0,125}}{100}, \quad (2.4)$$

čia $A_2, A_1, A_{0,5}, A_{0,25}, A_{0,125}$ - suminės liekanos ant sietų, kurių akelių dydis 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,125 mm, arba sietų, kurių akelių dydis 2,5 mm, 1,25 mm, 0,63 mm, 0,315 mm, 0,14 mm.



2.1 pav. Smėlio granulimetrinės sudėties kreivė

2.1.6. Žvirgždo piltinio tankio nustatymas

Užpildo piltinis tankis nustatomas sveriant sausą užpildą standartiniame žinomo tūrio inde (LST EN 1097-3:2002). Rezultatai surašomi į 2.5 lentelę.

2.5. lentelė. Žvirgždo piltinio tankio nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai		
		1	2	3
Tuščio indo masė	m, g	310,12	310,12	310,12
Indo su žvirgždu masė	m ₁ , g	3143,24	3154,42	3120,44
Indo tūris	V, cm ³	2000	2000	2000
Žvirgždo piltinis tankis	$\rho_{z.pl} = \frac{m_1 - m}{V}, g / cm^3$	1,417	1,422	1,405
Vidurkis	$\rho_{z.pl.vid.}, g / cm^3$	1,415		

Išvada: Nustatytas žvirgždo piltinis tankis lygus 1,415 g / cm³.

2.1.7. Žvirgždo dalelių tankio nustatymas

Stambiojo užpildo dalelių tankis buvo apskaičiuojamas pagal tam tikros masės sausojo užpildo dalelių tūrį, kuris nustatomas hidrostatinėmis svarstyklėmis (LST EN 1097-6:2013). Gautieji rezultatai įrašomi į 2.6 lentelę.

2.6 lentelė. Žvirgždo dalelių tankio nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai	
		1	2
Sausojo žvirgždo masė	m, g	246,92	83,86
Įmirkyto žvirgždo masė ore	m_1, g	248,01	84,14
Vandenyje pasverto žvirgždo masė	m_2, g	154,74	53,12
Žvirgždo dalelių tankis	$\rho_{z.t} = \frac{\rho_v^* \cdot m}{m_1 - m_2}, g/cm^3$	2,647	2,703
Vidurkis	$\rho_{z.t.vid.}, g/cm^3$	2,675	

ρ_v^* - vandens tankis ($1 g/cm^3$)

Išvada: Nustatytas žvirgždo piltinis tankis lygus $1,415 g/cm^3$.

2.1.8. Žvirgždo tuštymėtumo nustatymas

Tuštymėtumas - tai birios medžiagos tuštumų, esančių tarp grūdelių, tūrio ir viso tūrio santykis (LST EN 1097-3:2002). Nustačius ir apskaičiavus žvirgždo dalelių tankį ir piltinį tankį, reikia apskaičiuoti žvirgždo tuštymėtumą pagal formulę:

$$T = \frac{\rho_{z.t} - \rho_{z.pl}}{\rho_{z.t}} \cdot 100, \% , \quad (2.5)$$

$$T = \frac{2,675 - 1,415}{2,675} \cdot 100 = 47,10\%,$$

čia $\rho_{z.pl}$ - žvirgždo piltinis tankis, g/cm^3 ; $\rho_{z.t}$ - žvirgždo dalelių tankis, g/cm^3 .

Išvada: Nustatytas žvirgždo tuštymėtumas lygus 47,10 %.

2.1.9. Žvirgždo drėgnio nustatymas

Užpildo drėgnis – tai užpilde esančio vandens masės ir sausojo užpildo masės santykis (LST EN 1097-6:2013). Gautieji bandymo rezultatai įrašomi į 2.7 lentelę.

2.7 lentelė. Žvirgždo drėgnio nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo	Bandiniai
Žvirgždo bandinio masė	m,g	1401,56
Išdžiovinto žvirgždo masė	m ₁ ,g	1393,25
Žvirgždo drėgnis	$W_s = ((m - m_1) / m_1) \times 100$, proc.	0,6

Išvada: Nustatytas žvirgždo drėgnis lygus 0,6 %.

2.1.10. Žvirgždo granulimetrinės sudėties nustatymas

Užpildo granulimetrinė sudėtis nustatoma pagal liekanas ant sietų, susidariusias sijoiant sausąjį užpildą per standartinių sietų rinkinį (LST EN 933-1:2012). Bandymo rezultatai pateikiami 2.8 lentelėje, o žvirgždo granulimetrinės sudėties kreivė pavaizduota 2.2 pav.

2.8 lentelė. Žvirgždo dalinių, suminių liekanų ir išbirų nustatymo rezultatai

Sieto akelių dydis, mm	Žvirgždo liekana ant sieto m_i , g	Dalinė liekana a_i , proc.	Suminė liekana A_i , proc.	Išbira B_i , proc.
31,5 (40)	0,0	0,0	0,0	100,0
16 (20)	127,51	4,250	4,250	95,75
8 (10)	2095,99	69,866	74,116	25,884
4 (5)	713,94	23,798	97,914	2,086
2 (2,5)	49,55	1,65	99,564	0,436
1 (1,25)	1,07	0,0357	99,599	0,401
Masė P ant dugno. g		0		
$\Sigma m_i + P$, g		2988,06		
$100[m - (\Sigma m_i + P)]/m < l$, proc.		0,4		

Dalinės liekanos ant kiekvieno sieto a_i apskaičiuojamos pagal formulę:

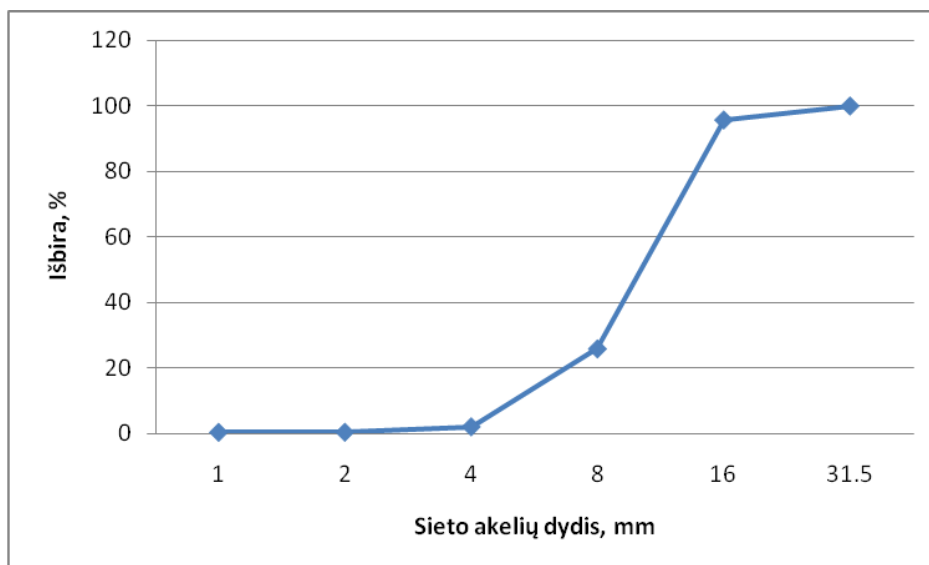
$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

čia m_i - liekanos ant skaičiuojamojo sieto masė, g; m – bandinio masė, g.

Išbiros per kiekvieną sietą B_j apskaičiuojamos pagal formulę:

$$B_j = 100 - A_j, \% \quad (2.7)$$

čia A_j – suminė liekana ant kiekvieno sieto, %.



2.2 pav. Žvirgždo granulometrinės sudėties kreivė

2.2. Portlandcemenčio savybių tyrimo metodai

2.2.1 Portlandcemenčio piltinio tankio nustatymas

Bandymą atlikome su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu. Nustatyti laisvai supilto portlandcemenčio masės ir jo užimamo tūrio santykį (LST EN 1455:1996). Gautieji rezultatai įrašyti į 2.9 lentelę.

2.9 lentelė. Portlandcemenčio piltinio tankio tyrimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai (1)	Bandiniai (2)
Indo masė	m, g	193,48	
Indo su cementu masė	m _l , g	1223,53	1253,94
Indo tūris	V, cm ³	1000	
Portlandcemenčio piltinis tankis	ρ _{c.pl} , g/cm ³	1,03	1,06
Vidurkis	ρ _{c.pl.vid} , g/cm ³	1,045	

Portlandcemenčio piltinis tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_{c.pl} = \frac{m_1 - m}{V}, g/cm^3, \quad (2.8)$$

Išvada: Nustatytas portlandcemenčio piltinis tankis lygus 1,045 g/cm³.

2.2.2. Portlandcemenčio savitojo tankio nustatymas

Bandymą atlikome su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu. Nustatyti sauso portlandcemenčio dalelių masės ir jų užimamo tūrio santykį (LST EN 1455:1996). Gauti rezultatai įrašomi į 2.10 lentelę ir pagal formulę apskaičiuojamas portlandcemenčio savitasis tankis.

2.10 lentelė. Portlandcemenčio savitojo tankio tyrimo rezultatai

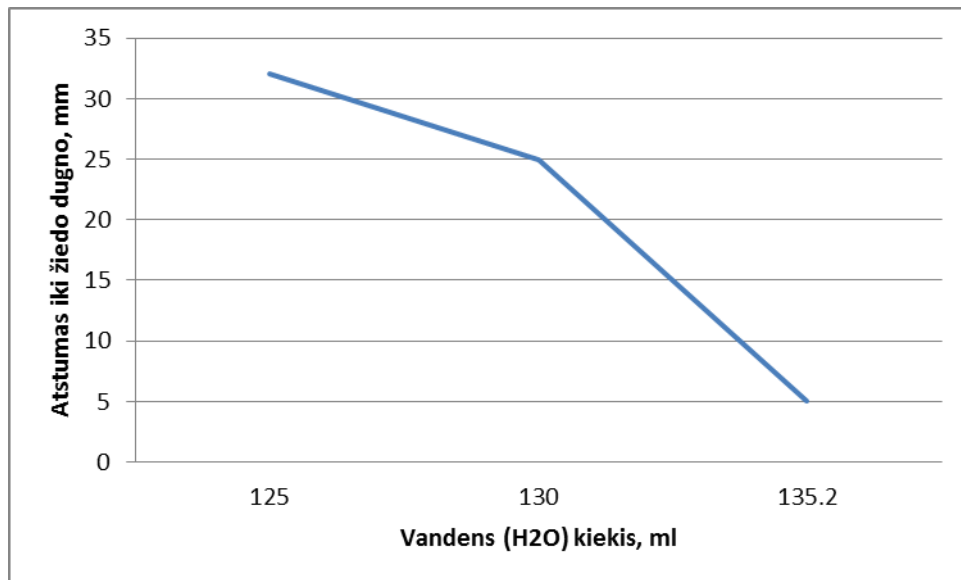
Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai	
		1	2
Portlandcemenčio miltelių masė	m, g	3	3
Portlandcemenčio miltelių tūris	V, cm ³	0,95	0,95
Portlandcemenčio savitasis tankis	$\rho_{c.t} = m/V$, g/cm ³	3,16	3,16

Išvada: Portlandcemenčio savitasis piltinis tankis lygus 3,16 g/cm³.

2.2.3. Portlandcemenčio normalaus tirštumo tešlos nustatymas

Normalaus tirštumo portlandcemenčio tešla apibūdinama vandens kiekiu pagal portlandcemenčio masę, procentais. Tirštumas nustatomas Viko prietaisu. Normalaus tirštumo portlandcemenčio tešla yra tokios konsistencijos, kad Viko prietaiso strypelis per 6 ± 1 mm nepasiekia žiedo dugno (LST EN 196-3:2005+A1:2009).

Bandymą atlikome su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu. Gauti rezultatai pateikiami 2.3 pav.



2.3 pav. Normalaus tirštumo tešlos nustatymo grafikas

Reikiamo vandens santykis nuo portlandcemenčio kiekio, kai naudojamas CEM I 42,5 N portlandcementis:

$$V(\%) = \frac{V}{C} \cdot 100\% ; \quad (2.9)$$

$$V(\%) = \frac{V}{C} \cdot 100\% = \frac{135,2}{500} \cdot 100\% = 27,04\%.$$

Išvada: Reikiamas vandens santykis nuo portlandcemenčio kiekio yra 27,04 %.

2.2.4. Portlandcemenčio rišimosi pradžios ir pabaigos nustatymas

Bandymą atlikome su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu. Portlandcemenčio tešlos rišimosi laikas nustatomas Viko prietaisu smingant adatai į normalaus tirštumo tešlą. Rišimosi pradžia yra laikas nuo tešlos užmaišymo iki to momento, kai adatai lieka 4 ± 1 mm iki dugno. Rišimosi pabaiga – laiko tarpas nuo tešlos užmaišymo pradžios iki to momento, kai adata įsminga į portlandcemenčio tešlą ne daugiau kaip 0,5 mm gylyje (LST EN 196-3:1996). Gauti rezultatai surašomi į 2.11 lentelę.

2.11. lentelė. Portlandcemenčio tešlos rišimosi pradžios ir pabaigos rezultatai

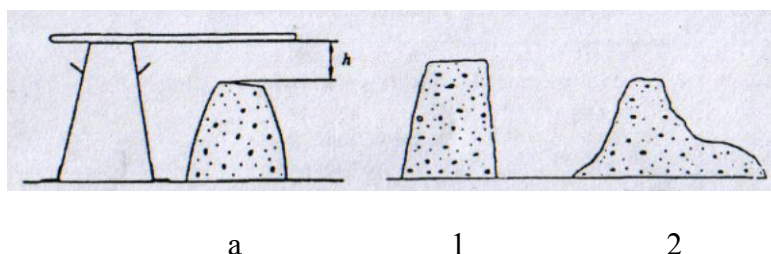
Rodiklis	Laikas	
	Val.	Min.
Tešlos užmaišymo pradžia	10	20
Rišimosi pradžia	12	40
Rišimosi pabaiga	14	35

Išvada: Taigi cemento tešlos rišimosi pradžia užfiksuota po 140 min. O rišimosi pabaiga po 255 min.

2.3. Betono mišinio slankumo tyrimas

Slankumo rodiklio nustatymas anksčiau apskaičiuotam plastiškajam betono mišiniui. Darbo metu kūginė forma ir pagrindas sudrekinami. Betono mišinio kūginė forma pripildoma trimis vienodo storio sluoksniais, kiekvieną iš jų sutankinant 25 metalinio strypo dūriais (per tankinamo paviršiaus sluoksnio storį), spirale nuo formas krašto į centrą. Betono mišinio paviršius išlyginamas.

Kūginė forma vertikaliu judesiu (per 3-7 sek.) nukeliama nuo betono mišinio pagrindo ir pastatoma šalia jo. 5 mm tikslumu pamatuojamas betono mišinio kūgio nuoslūgis (iki aukščiausio taško), palyginti su kūgine forma (LST EN 12350-2:2009/P:2011).



2.4 pav. Mišinio nuoslūgio pobūdis: a – slankumo matavimas; 1 – normalus (taisyklingas suslūgimas); 2 – nuslinkęs (netaisyklingas suslūgimas)

2.4. Oro kiekio šviežiame mišinyje nustatymas

Šviežiame skiedinyje taikomi du oro kiekio nustatymo metodai, tinkantys skiediniams su mineraliniais rišikliais ir normalaus tankio arba lengvaisiais užpildais: A metodas – slėgio metodas ir B metodas – alkoholio metodas.

Kai oro kiekis mažesnis negu 20 %, taikomas A metodas. Kai oro kiekis 20 % arba didesnis, taikomas B metodas. Tam tikras skiedinio tūris supilamas į specialų matavimo indą. Ant skiedinio paviršiaus užpilamas vanduo ir, panaudojus oro slėgį arba alkoholio ir vandens mišinį, vanduo, spaudžiamas į skiedinį, išstumia orą iš visų porų. Sumažėjęs vandens lygis parodo iš skiedinio išstumto oro tūrį.

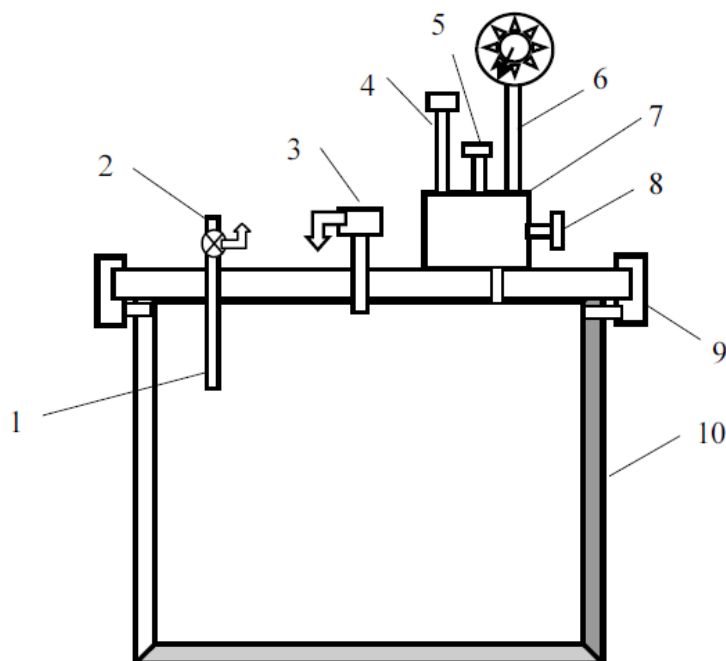
Metodo įranga:

1. Bandinio konteineris ir dangtis yra metalinis indas (bandinio konteineris) su metaliniu dangčiu, prie kurio yra hermetiška oro kamera (slėgio kamera), su kuria sujungtas slėgio matuoklis (2.5 pav., 2) matuoja oro slėgį.

2. Plūktuvas, sudarytas iš standaus, vandens neįgeriančio, apytikriai 40 mm skersmens apskritimo ir 200 mm ilgio strypo. Plūktuvo gale plukiamasis paviršius turi būti plokščias ir statmenas išilginei plūktuvo ašiai. Plūktuvo masė turi būti $0,250 \pm 0,015$ kg.

3. Kastuvėlis.

4. Išlyginimo peilis.



2.5 pav. Bandymo prietaiso metalinio indo ir dangčio scheminis vaizdas: 1 – prailginimo vamzdelis kalibravimui; 2 – ventilis A; 3 – ventilis B; 4 – pompa; 5 – pagrindinis oro ventilis; 6 – manometras; 7 – oro išleidimo ventilis; 8 – oro kamera; 9 – uždarymo mechanizmas; 10 – metalinis indas

Ėminių ėmimas, paruošimas ir laikymas:

Šviežio skiedinio tūris šiam bandymui turi būti mažiausiai 1,5 l arba bent 1,5 karto didesnis už reikalingą atlikti bandymą. Skiedinio jungtinio ėminio sklidumo vertė turi būti nustatyta. Iki bandymo, siekiant išvengti netikro rišimosi, bandomasis mišinys turi būti lengvai sujudinamas rankiniu būdu mentele arba išlyginimo peiliu nuo 5 iki 10 s, mišinio papildomai nemaišant.

Slėgio metodas:

Tam tikras slėgis sudaromas uždarytame prietaise rankine pompa arba oru, tiekiamu iš suslėgtojo oro vamzdyno per prietaiso viršutinėje dalyje esantį ventilį. Prietaiso dangtis turi būti su oro tiekimo, oro išleidimo ir vandens išleidimo bei vandens tiekimo ventiliais. Dangtis turi būti lygaus vidinio paviršiaus, suformuojančio oro erdvę virš prietaiso konteineryje

esančio bandinio. Šio matavimo prietaiso veikimo principas pagrįstas žinomo oro tūrio, esant žinomam slėgiui sandarioje oro kameroje, palyginimu su nežinomu oro tūriu konteineryje, pripildytame skiedinio, kai abi kameros sujungiamos atidarius oro ventili. Mažėjantis oro slėgis oro kameroje parodo oro kiekį skiedinio bandinyje. Oro slėgis matomas iš graduoto oro procentais manometro rodmenų, kai slėgiai kameroje sulyginami.

Bandymas atliekamas prietaiso konteinerį visiškai užpildant skiediniu keturiais apytikriai vienodais sluoksniais, kurių kiekvienas sutankinamas 10 plūktuvo paspaudimų, vienodai juos paskirstant, kad skiedinio paviršius būtų plokščias. Lyginimo peiliu nubraukiamas skiedinio perteklius, skiedinio paviršius išlyginamas lygiai su prietaiso konteinerio briaunų viršumi. Švariai nušluostoma prietaiso konteinerio išorė, nusausinamas ir sandariai uždaromas prietaiso konteinerio dangtis. Tarp oro kameros ir konteinerio su bandiniu uždaromas pagrindinis oro ventilis. Oro erdvė po dangčiu virš skiedinio užpildoma vandeniu per ventili A, laikant atidarytą ventili B, kol išstumiamas visas oras, esantis virš skiedinio paviršiaus. Oras pumpuojamas į sandariai uždarytą oro kamerą, kol pasiekiamas pastovus oro slėgis. Tuomet rankine pompa yra pripumpuojamas slėgis, iki manometras parodo 0 vertę. Taip pat reikia prietaisą supurtyti ir patikrinti, ar nulinis rodmuo nepakito. Jei pakito manometro pradinis rodmuo, reikia vėl nustatyti nulinę vertę panaudojant rankinę pompą bei oro nuleidimo ventili. Palaukus 5-10 s, yra atidaromas oro tiekimo į mišinį ventilis ir stebima, kokį oro kiekį iš mišinio išstūmė ant mišinio buvęs vanduo (LST EN 12350-7:2009).

2.5. Betono mišinio tankio nustatymas

Pagamintas reikiamos konsistencijos betono mišinys sudedamas į alyva išteptas formas. Mišinys formose sutankimas, 1 min vibruojant ant laboratorinės aikštelės.

Sutankintojo betono mišinio perteklius nužeriamas metaline liniuote lygiai su indo kraštais. Matavimo indas buvo pasirinktas toks, kad mažiausias jo matmuo būtų nemažesnis už stambiojo užpildo betone didžiausiąjį dydį, padaugintą iš keturių. Forma su betono mišiniu pasverinama, rezultatai įrašomi į lentelę ir apskaičiuojamas betono mišinio tankis ρ_{bm} , kg/m³ bei sumaišytojo mišinio tūris V_b , l (LST EN 12350-6:2009).

2.6. Betono gniuždymo stiprio nustatymas

Betono stipris nustatomas bandant 150 mm dydžio kubus arba Ø150x300 mm cilindrų. Suformuoti betono bandiniai nuo 16 val. iki 3 parų kietinami formose. Po to jie išimami iš formų ir laikomi kietėjimo režiminėje kameroje. Praėjus 7 ir 28 paroms bandiniai

gniuždomi presu, gauti rezultatai įrašomi į lentelę ir apskaičiuojamas kubelių gniuždymo stipris.

Jei bandymuose buvo naudojami betono bandiniai – betono kubai, kurių matmenys 10x10x10 cm, betono gniuždymo stipris perskaičiuojamas į standartinių bandinių stiprį (15x15x15 cm), dauginant iš koeficiento $K=0,95$ (LST EN 12390-3:2009).

2.7. Ribinių šlyties įtempių nustatymas

Betono mišinių ribinių šlyties įtempiai priklauso nuo daugelio veiksnių: V/C santykio, užpildų stambumo, jų koncentracijos mišinyje, cemento kiekio ir kt (Samarai *et al.* 1989; Skripkiūnas *et al.* 2004).

Tyrimų metu taip pat buvo nustatyti nevibruojamo mišinio ribiniai šlyties įtempiai, pagal standartinio kūgio, kuris naudojamas nustatant slankumą, nuoslūgį taikant formulę:

$$\tau_0 = \frac{0,00815 \cdot \rho_m}{\left(\sqrt{\frac{0,498}{30 - SL}} - 0,001724 - 0,024 \right)^2}, \quad (2.10)$$

čia τ_0 - ribiniai šlyties įtempiai, Pa; ρ_m - mišinio tankis, kg/m^3 ;

SL – kūgio nuoslūgis (slankumas), cm.

2.8. Betono gniuždymo stiprio nustatymas kietinant žemoje temperatūroje

Betono bandiniai nuo 16 val. iki 3 parų laikomi šaldymo kameroje, kurioje palaikoma pastovi -5 arba 5 °C temperatūra. Po to bandiniai išimami ir betono stipris nustatomas bandant 150 mm dydžio kubus arba Ø150x300 mm cilindrus. Po to jie išimami iš formų ir laikomi kietėjimo režiminėje kameroje. Praėjus 7 ir 28 paroms bandiniai gniuždomi presu, gauti rezultatai įrašomi lentelę ir apskaičiuojamas kubelių gniuždymo stipris.

Jei bandymuose buvo naudojami betono bandiniai – betono kubai, kurių matmenys 10x10x10 cm, betono gniuždymo stipris perskaičiuojamas į standartinių bandinių stiprį (15x15x15 cm), dauginant iš koeficiento $K=0,95$ (LST EN 12390-3:2009).

2.9. Mišinyje naudojamo superplastiklio savybės

Aptariamame darbe yra naudojamas superplastiklis MC-Powerflow 3100, kuris pagamintas polikarboksilato pagrindu. Šis superplastiklis naudojamas surenkamų gelžbetonio konstrukcijų, didelio stiprumo ir ilgaamžiškumo gaminiams gaminti. Taip pat įmaišomas į mišinius, kai norima gauti savaime susitankinantį, prekinį, architektūrinį bei su nedideliu vandens ir cemento santykiu betoną. Minėtojo superplastiklio gamintojo pateikiamos savybės pateiktos 1.4 lentelėje.

2.12 lentelė. Superplastiklio MC-Powerflow 3100 savybės

Fizikinės priedo charakteristikos	Skystis
Tankis	apie $1,07 \pm 0,02 \text{ kg /dm}^3$
Dozės	0,1- 5,0% nuo cemento masės
Maksimalus chloridų kiekis	<0,10 proc.
Maksimalus šarmų kiekis	<2,0 proc.
Laikymo periodas	1 metai nuo pagaminimo datos

2.10. Sukietėjusio betono bandinių tankio nustatymas

Pagal standartą galimas bandinių tankio nustatymo būdas – bandinys toks koks gautas išėmus iš formos. Sukietėję, tokie kokie gauti betono bandiniai yra išmatuojami ir apskaičiuojami jų tūriai $V, \text{ cm}^3$, tuomet pasveriami ir apskaičiuojamas jų tankis $\rho \text{ g/cm}^3$. Tankis apskaičiuojamas bandinių svorį $m, \text{ g}$ padalinus iš bandinių tūrio $V, \text{ cm}^3$ (LST EN 12390-7/P).

3. BETONO MIŠINIO IR SUKIETĖJUSIO BETONO TIRIAMOJI DALIS

3.1. Betono sudėtis

Betono sudėtį sudaro cementas, žvirgždo skalda, smėlis ir vanduo, šie kiekiai paskaičiuoti 1 m³ betono mišinio. Taip pat naudojamas superplastiklis MC-POWER FLOW 3100 (0,5 % nuo cemento kiekio) bei kalcio nitrato (Ca(NO₃)₂) priedai atskiriems bandiniams 1%, 2%, 3% nuo cemento kiekio. Betono mišinių sudėtys pateiktos 3.1 ir 3.2 lentelėse.

3.1 lentelė. Betono sudėtis su CEM I 42,5 N portlandcemenčiu (1 m³)

Medžiaga	Žymuo	Kiekis
Cementas CEM I 42,5 N	C	310 kg
Žvirgždo skalda	Ž	1005 kg
Smėlis	S	925 kg
Vanduo	V	170 kg
Super plastiklis (0,5%)	S _p	1,55 kg
Kalcio nitratas KN 1%; 2%; 3%	KN	3,1; 6,2; 9,3 kg

3.2 lentelė. Betono sudėtis su CEM I 42,5 R portlandcemenčiu (1 m³)

Medžiaga	Žymuo	Kiekis
Cementas CEM I 42,5 R	C	310 kg
Žvirgždo skalda	Ž	1005 kg
Smėlis	S	925 kg
Vanduo	V	170 kg
Super plastiklis (0,5%)	S _p	1,55 kg
Kalcio nitratas KN 1%; 2%; 3%	KN	3,1; 6,2; 9,3 kg

3.2. Betono mišinio slankumo tyrimas

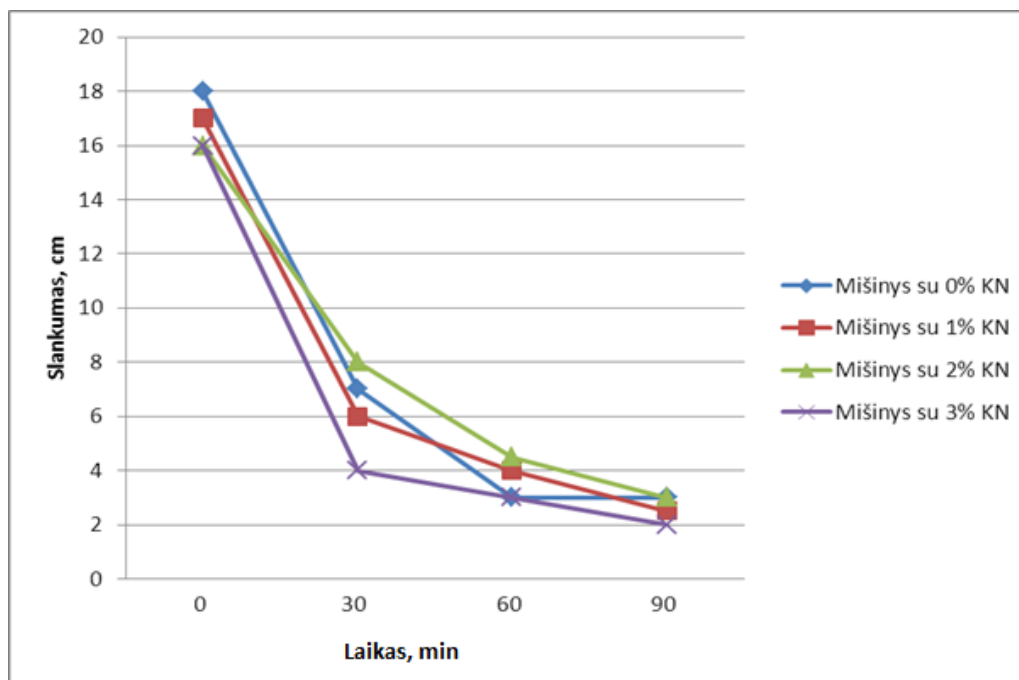
Slankumo rodiklio nustatymas anksčiau apskaičiuotam plastiškajam betono mišiniui, kai naudojamas CEM I 42,5 N bei CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčiai. Rezultatai surašomi į 3.3 ir 3.4 lentelę, taip pat grafiškai rezultatai pavaizduojami 3.1 ir 3.2 pav.

3.3 lentelė. Betono slankumo rezultatai

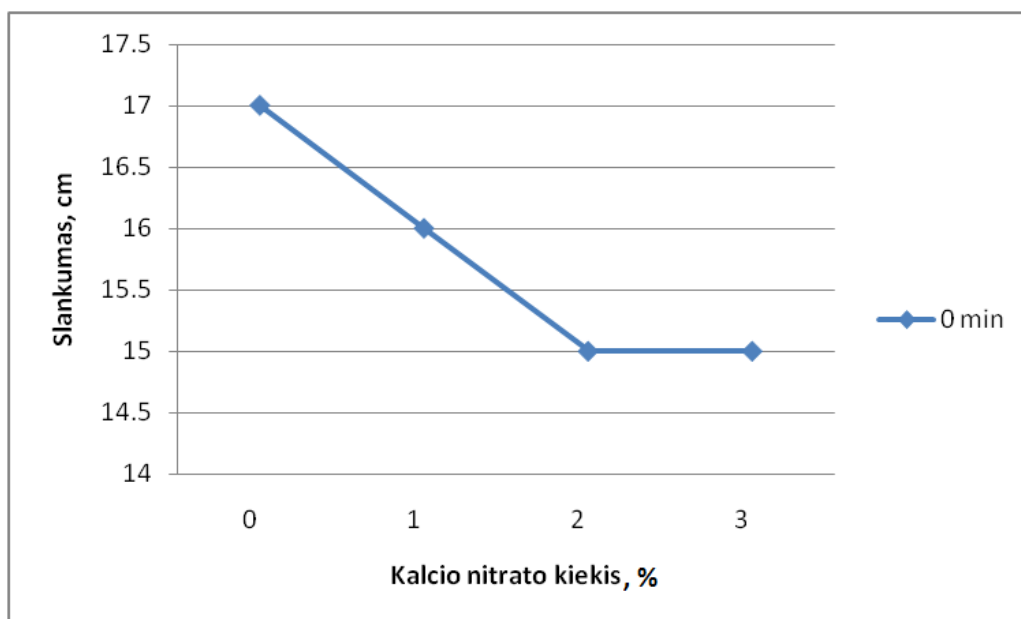
Bandiniai (CEM I 42,5 N portlandcementis)	Slankumas, cm			
	Po užmaišymo	Po 30 min	Po 60 min	Po 90 min
Betonas 0% KN, 0,5% S _p	18	7	3	3
Betonas 1% KN, 0,5% S _p	17	6	4	2,5
Betonas 2% KN, 0,5% S _p	16	8	4,5	3
Betonas 3% KN, 0,5% S _p	16	4	3	2

3.4 lentelė. Betono slankumo rezultatai

Bandiniai (CEM I 42,5 R portlandcementis)	Slankumas, cm
	Po užmaišymo
Betonas 0% KN, 0,5% S _p	18
Betonas 1% KN, 0,5% S _p	17
Betonas 2% KN, 0,5% S _p	16
Betonas 3% KN, 0,5% S _p	16



3.1 pav. Betono mišinio su CEM I 42,5 N slankumo priklausomybė nuo laiko



3.2 pav. Betono mišinio su CEM I 42,5 R slankumo priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio

Atlikus mišinio slankumo bandymus, naudojant kaip rišamąją medžiagą CEM I 42,5 N bei CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčius galima matyti tendenciją, jog kuo daugiau kalcio nitrato priedo įmaišėme į mišinį, tuo mišinio slankumas buvo mažesnis. Taip pat galime teigti, kad kuo daugiau laiko praėjo po užmaišymo, tuo slankumas atitinkamai mažėjo. Iš pav. kreivių galima teigti, kad pridėjus 3 % kalcio nitrato kiekį nuo cemento masės, buvo gautos pačios mažiausios slankumo reikšmės. Tai yra iš karto po užmaišymo gautas slankumas buvo 16 cm, po 30 min gautas slankumas – 4 cm, po 60 min – 3 cm, bei po 90 min gautas pats mažiausias 2 cm slankumas. Pridėjus atitinkamai 1 ir 2 % kalcio nitrato kiekį, buvo gautos taip pat mažesnės slankumo reikšmės nei mišinio be kalcio nitrato priedų.

3.3. Oro kiekio šviežiame mišinyje nustatymas

Bandymai buvo atliekami naudojant CEM I 42,5 N bei CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčius mišiniuose. Rezultatai surašomi į 3.5 ir 3.6 lentelę.

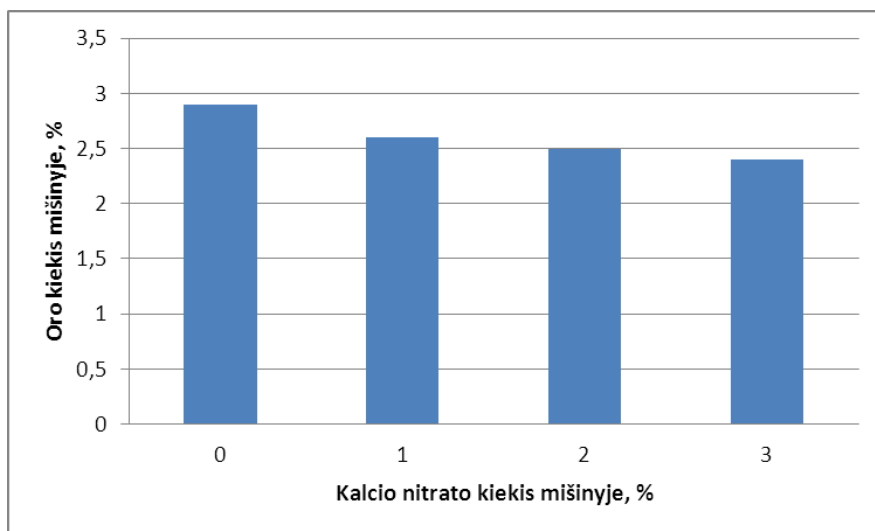
3.5 lentelė. Oro kiekio skiedinyje rezultatai

Bandiniai su CEM I 42,5 N	Oro kiekis mišinyje, proc.
Betonas 0% KN, 0,5% S _p	2,9
Betonas 1% KN, 0,5% S _p	2,6
Betonas 2% KN, 0,5% S _p	2,5
Betonas 3% KN, 0,5% S _p	2,4

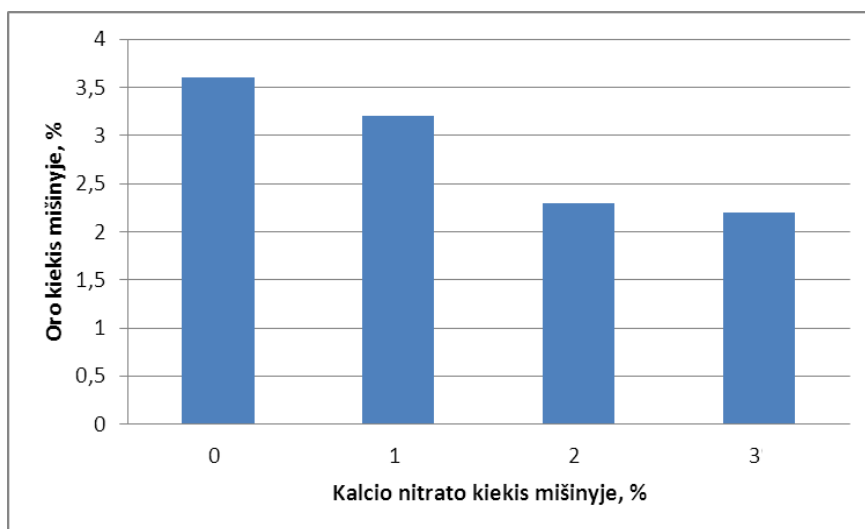
3.6 lentelė. Oro kiekio skiedinyje rezultatai

Bandiniai su CEM I 42,5 R	Oro kiekis mišinyje, proc.
Betonas 0% KN, 0,5% S _p	3,6
Betonas 1% KN, 0,5% S _p	3,2
Betonas 2% KN, 0,5% S _p	2,3
Betonas 3% KN, 0,5% S _p	2,2

Norint išsiaiškinti, kokią įtaką betono mišinių oro kiekiui turi kalcio nitrato procentinis kiekis, bandymai buvo atliekami su skirtingais portlandcemenčio tipais. Į mišinius pridedant 1 %, 2 %, 3 % kalcio nitrato priedo, taip pat buvo naudojamas superplastiklio priedas – 0,5 % nuo portlandcemenčio kiekio. Vieni bandymai buvo atlikti naudojant CEM I 42,5 N – normalaus kietėjimo portlandcementį. O kitai partijai naudotas CEM I 42,5 R – ankstyvojo kietėjimo portlandcementis. Rezultatai pateikiami grafiškai 3.3 pav bei 3.4 pav.



3.3 pav. Oro kiekis mišinyje su portlandcemenčiu CEM I 42,5 N



3.4 pav. Oro kiekis mišinyje su portlandcemenčiu CEM I 42,5 R

Iš pateiktų rezultatų nustatyta, kad pridėjus 1, 2 arba 3 % kalcio nitrato priedo kiekį, nuo cemento masės, buvo gautas mažesnis oro kiekis mišiniuose, lyginant su mišiniu be kalcio nitrato priedo. Atlikus bandymus su skirtingų tipų portlandcemenčiais, buvo gautos labai panašios tendencijos, abiem atvejais mažiausias oro kiekis buvo gautas pridėjus 3 % kalcio nitrato priedo kiekį. Tai yra 2,4 % su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu, bei 2,2 % su CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčiu. Taip pat nustatyta, jog kuo daugiau kalcio nitrato priedo įmaišėme į mišinį, tuo oro kiekis mišinyje buvo mažesnis, taigi pridėjus 1 % buvo gautos atitinkamai 2,6 % (CEM I 42,5 N) ir 3,2 % (CEM I 42,5 R) oro kiekis mišinyje. O pridėjus 2 % gauta atitinkamai 2,5 % (CEM I 42,5 N) ir 2,3 % (CEM I 42,5 R).

3.4. Betono mišinio tankio nustatymas

Rezultatai įrašomi į 3.7 lentelę ir apskaičiuojamas betono mišinio tankis bei sumaišytojo mišinio tūris.

Atliekant šiuos bandymus, naudotas CEM I 42,5 N tipo portlandcementis.

3.7 lentelė. Betono mišinio tankio nustatymo rezultatai

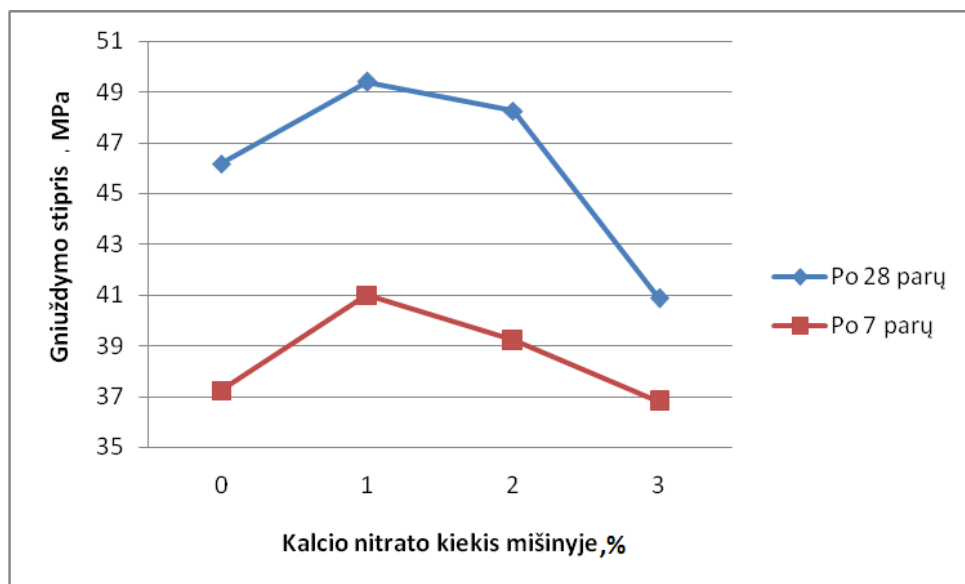
Parametras	Žymuo ir matavimo vienetas	Duomenys			
		0% KN	1% KN	2% KN	3% KN
Indo masė	m_1 , kg	0,32	0,32	0,32	0,32
Indo masė su betonu	m_2 , kg	5,06	5,11	5,14	5,07
Betono masė	$m_b = m_2 - m_1$, kg	4,74	4,79	4,82	4,75
Formų tūris	V , l	2	2	2	2
Betono mišinio tankis	$P_{bm} = m_b/V$, kg/m ³	2370	2390	2410	2370

Nustačius betono mišinio tankį su skirtingais kiekiais kalcio nitrato priedo, buvo gautas mažiausias tankis su 3 % bei 0 % šio priedo tai yra 2,37 kg/m³. O didžiausias tankis gautas įmaišius 2 % kalcio nitrato – 2,41 kg/m³. Tačiau matome, jog tankių reikšmės buvo gautos labai panašios ir skirtumus tarp rezultatų dydžių galima paaiškinti dėl mažo bandinių kiekio, bei nevieniškai vienodai atliekamų bandymų. Todėl galime teigti, kad kalcio nitratas kaip priedas mišinyje pastarojo tankiui įtakos neturi.

3.5. Betono bandinių gniuždymo stiprio nustatymas su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu

Betono stipris nustatomas bandant 100 mm dydžio kubus. Suformuoti betono bandiniai vieną parą kietinami formose. Po paros jie išimami iš formų ir laikomi vandenyje.

Praėjus 7 ir 28 paroms po suformavimo bandiniai gniuždomi presu, gauti rezultatai fiksuojami ir apskaičiuojamas kubelių gniuždymo stipris. Taip pat rezultatai pateikiami grafiškai 3.5 pav.



3.5 pav. Betono gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio

Atliekant suketėjusių betono bandinių gniuždymo stiprio bandymą su rišamąją medžiaga - portlandcemenčiu CEM I 42,5 N mišinyje, buvo gauti rezultatai po 7 bei po 28 kietėjimo parų. Nustačius gniuždymo stiprį po 7 parų, jau buvo galima matyti tendencijas, kuris kalcio nitrato priedo kiekis buvo efektyviausias. Taigi po 7 parų iš rezultatų nustatyta, jog pridėjus 1 % kalcio nitrato, buvo gautas didžiausias bandinių gniuždymo stipris, tai yra 41 Mpa, o po 28 parų 49,4 MPa. Lyginant su bandiniais, kuriuose nebuvo kalcio nitrato priedo, jų gniuždymo stipris buvo gautas mažesnis, po 7 parų - 37,24 MPa, po 28 parų - 46,17 MPa. Pridėjus 2 % kalcio nitrato buvo gautas taip pat didesnis gniuždymo stipris nei bandiniuose be kalcio nitrato, tai yra - 39,2 MPa po 7 parų, bei 48,26 MPa po 28 parų. Tačiau pridėjus 3 % kalcio nitrato priedo kiekį, buvo gautas mažiausias gniuždymo stipris, kuris mažesnis už bandinius be kalcio nitrato – 36,8 MPa po 7 parų ir 40,85 MPa po 28 parų, todėl galime teigti, kad pridėti 3 % kalcio nitrato priedo yra neefektyvu ir toks priedo kiekis mažina stiprumines gaminio savybes.

3.6. Ribinių šlyties įtempimų nustatymas

Tyrimų metu taip pat buvo nustatyti nevibruojamo mišinio, su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu, ribiniai šlyties įtempimai, pagal standartinio kūgio, kuris naudojamas nustatant slankumą, nuoslūgį taikant formulę, reikšmės gautos įvertinant mišinio slankumą iš

karto, 30 min, 60 min, 90 min po užmaišymo, rezultatai surašomi į 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 lenteles.

3.8 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai iškart po betono mišinio užmaišymo

Parametras	Žymuo ir matavimo vienetas	Duomenys			
		0% KN	1% KN	2% KN	3% KN
Mišinio tankis	$\rho_m, kg/m^3$	2370	2390	2410	2370
Kūgio nuoslūgis	SL, cm	18	17	16	16
Ribiniai šlyties įtempiai	τ_0, Pa	628	696	767	755

3.9 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai po 30 min nuo betono mišinio užmaišymo

Parametras	Žymuo ir matavimo vienetas	Duomenys			
		0% KN	1% KN	2% KN	3% KN
Mišinio tankis	$\rho_m, kg/m^3$	2370	2390	2410	2370
Kūgio nuoslūgis	SL, cm	7	6	8	4
Ribiniai šlyties įtempiai	τ_0, Pa	1407	1500	1350	1655

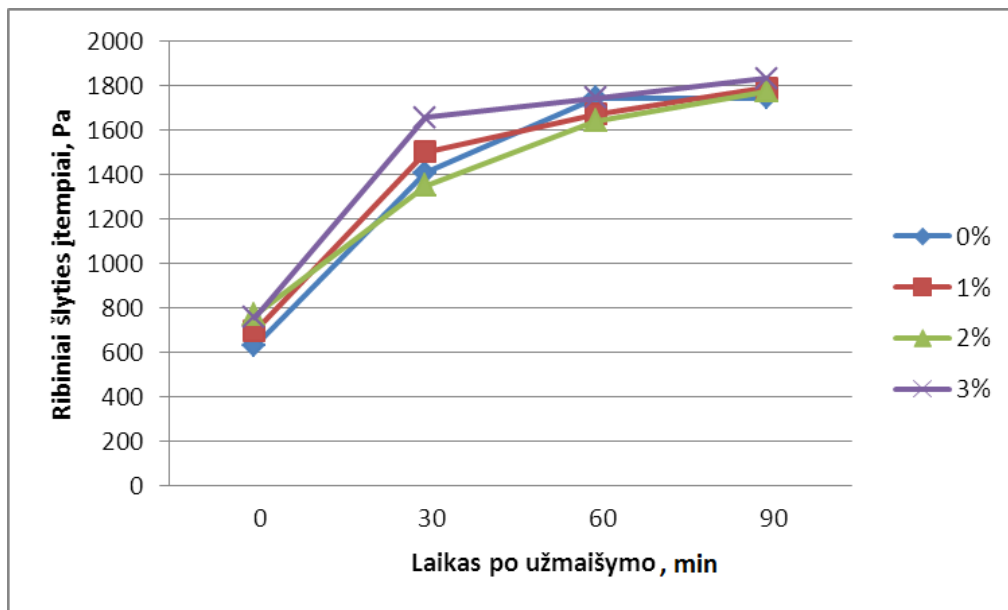
3.10 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai iškart po 60 min nuo betono mišinio užmaišymo

Parametras	Žymuo ir matavimo vienetas	Duomenys			
		0% KN	1% KN	2% KN	3% KN
Mišinio tankis	$\rho_m, kg/m^3$	2370	2390	2410	2370
Kūgio nuoslūgis	SL, cm	3	4	4,5	3
Ribiniai šlyties įtempiai	τ_0, Pa	1742	1669	1640	1742

3.11 lentelė. Ribiniai šlyties įtempiai iškart po 90 min nuo betono mišinio užmaišymo

Parametras	Žymuo ir matavimo vienetas	Duomenys			
		0% KN	1% KN	2% KN	3% KN
Mišinio tankis	$\rho_m, kg/m^3$	2370	2390	2410	2370
Kūgio nuoslūgis	SL, cm	3	2,5	3	2
Ribiniai šlyties įtempiai	τ_0, Pa	1742	1786	1771	1830

Ribinių šlyties įtempių rezultatai pateikiami grafiškai 3.6 pav.



3.6 pav. Ribinių šlyties įtempių priklausomybė nuo laiko

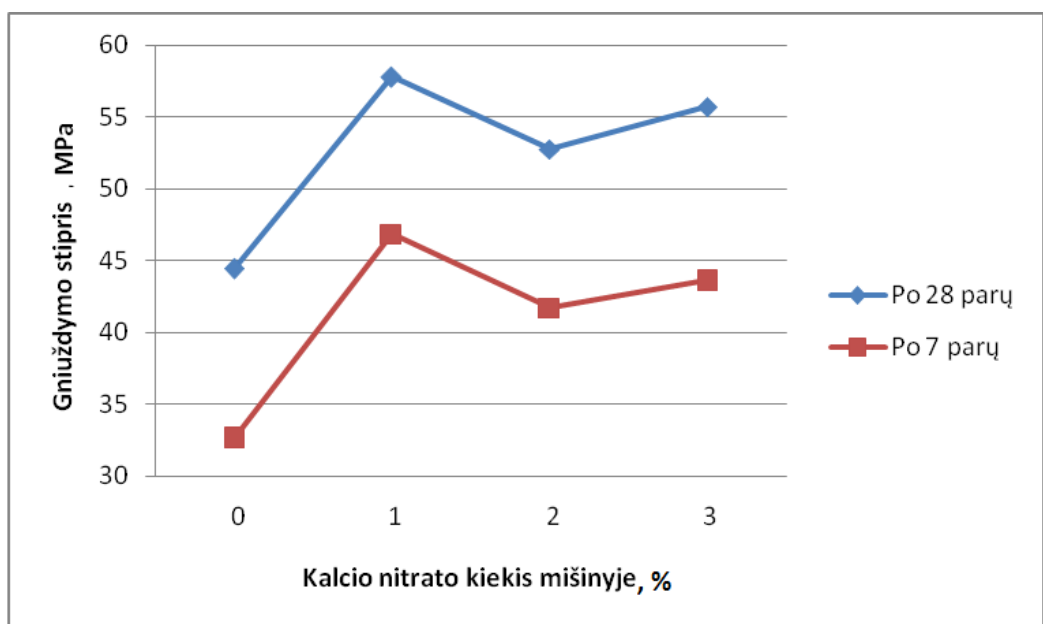
Paskaičiuotos ribinių šlyties įtempių reikšmės yra proporcingos reikšmėms gautoms atlikus mišinio slankumo bandymą. Remiantis skaičiavimais nustatyta, jog kuo mažesnis mišinio slankumas, tuo didesnis ribinis šlyties įtempis. Šiuo atveju pridėjus 3 % kalcio nitrato priedo kiekį nuo cemento kiekio ir atlikus skaičiavimus praėjus 90 min po mišinio užmaišymo, buvo gauti didžiausi ribiniai šlyties įtempiai – 1830 Pa. Mažinant kalcio nitrato priedo kiekį, ribiniai šlyties įtempiai atitinkamai mažėja, o bandiniuose be kalcio nitrato priedo, ribiniai šlyties įtempiai gauti mažiausi.

3.7 Betono bandinių gniuždymo stiprio rezultatai kietinant skirtingose temperatūrose

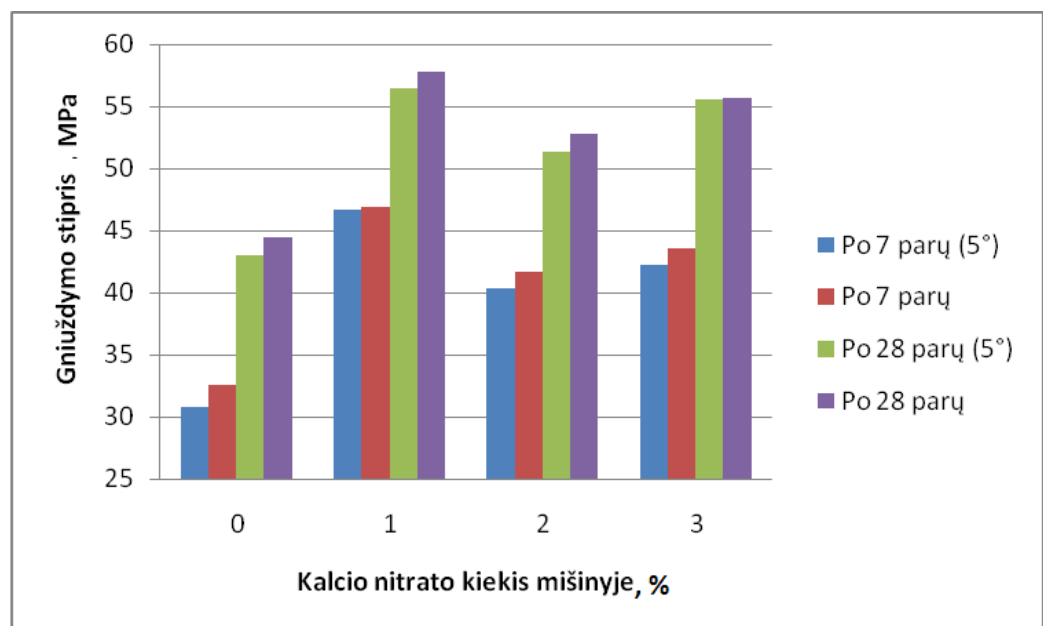
3.7.1. Betono bandinių gniuždymo stipris kietinant 5 °C temperatūroje

Betono gniuždymo stipris nustatomas bandant 100 mm dydžio kubus ir bandinius formuojant su CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčiu. Suformuoti betono bandiniai parą normaliomis sąlygomis (20 °C) kietinami formose. Po to jie išimami iš formų ir laikomi vandenyje. Praėjus 7 ir 28 paroms bandiniai gniuždomi presu, gauti rezultatai fiksuojami ir apskaičiuojamas kubelių gniuždymo stipris. Gniuždymo stiprio rezultatai pateikiami 3.7 pav. Bandiniai, kurie buvo kietinami prie 5 °C temperatūros buvo kietinami tokia pačia metodika, tik išlaikomi formose dvi paras, po to sudedami į vandenį tolimesniam kietinimui.

Gniuždymo stiprių palyginimas, pirmas dvi paras kietinant žemoje 5 °C temperatūroje ir kietinant normaliomis sąlygomis yra pateikiamas grafiškai 3.8 pav.



3.7 pav. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio



3.8 pav. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio

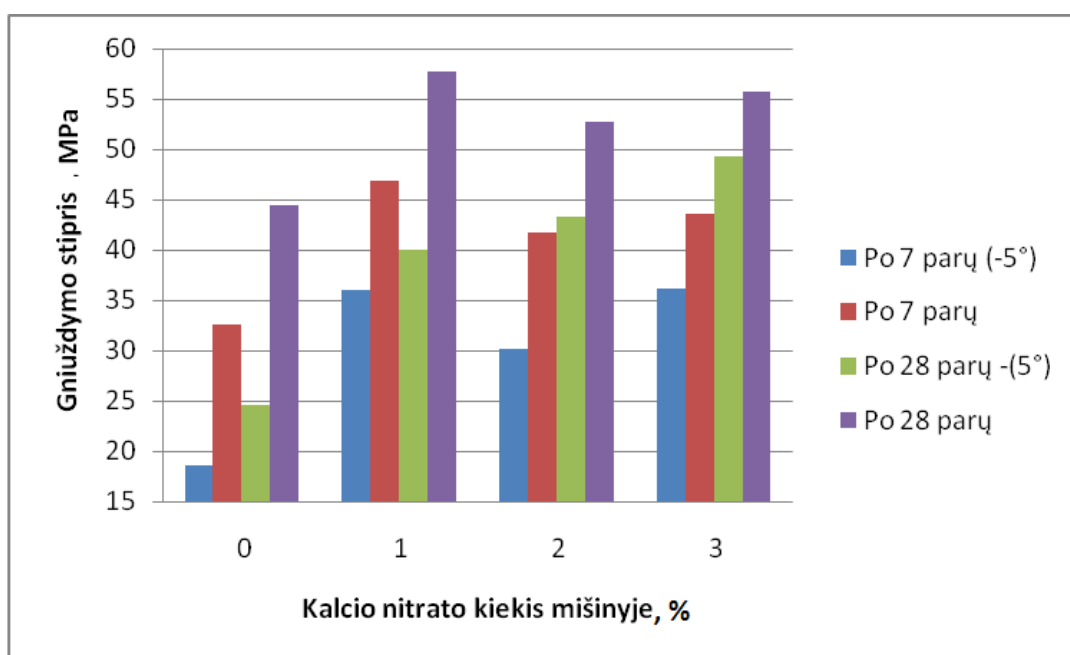
Lyginant gniuždymo stiprio reikšmes kietinant betoną skirtingose temperatūrose buvo gauti panašūs rezultatai. Didžiausias gniuždymo stipris nustatytas bandiniuose, kurie buvo kietinami normaliomis sąlygomis su 1 % kalcio nitrato priedo kiekiu – 46,87 Mpa po 7 parų ir 57,78 Mpa po 28 parų. Bandiniai kurie 2 paras buvo kietinami žemoje temperatūroje po 7 parų su 1 % kalcio nitrato kiekiu pasiekė – 46,65 MPa, o po 28 parų – 56,45 MPa. Taigi lygindami skirtingų temperatūrų kietėjimo sąlygų poveikį nustatyta, kad po 7 parų atlikus bandymą, rezultatai su 1 % kalcio nitratu skyrėsi 0,47 %, o po 28 parų 2,3 %. Įmaišius 2 ir 3 % kalcio nitrato ir kietinant skirtingomis sąlygomis, taip pat buvo gauti didesni stiprumo

rezultatai lyginant su bandiniais, kuriuose kalcio nitrato priedo nebuvo naudojama. Iš rezultatų nustatyta, kad dėl žemos temperatūros įtakos ir pridėjus įvairų kiekį kalcio nitrato priedo, stiprumas sumažėja ne daugiau kaip 2,3 %.

3.7.2 Betono bandinių gniuždymo stipris kietinant -5 °C temperatūroje

Betono bandiniai su CEM I 42,5 R portlandcemenčiu pirmas dvi paras laikomi šaldymo kameroje, kurioje palaikoma pastovi -5 °C temperatūra. Po to bandiniai išimami ir betono stipris nustatomas bandant 100 mm dydžio kubus. Po 2 parų jie išimami iš formų laikomi vandenyje. Praėjus 7 ir 28 paroms bandiniai gniuždomi presu, gauti rezultatai fiksuojami ir apskaičiuojamas kubelių gniuždymo stipris.

Gniuždymo stiprių palyginimas, pirmas dvi paras kietinant žemoje temperatūroje ir kietinant normaliomis sąlygomis yra pateikiamas grafiškai 3.9 pav.



3.9 pav. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio

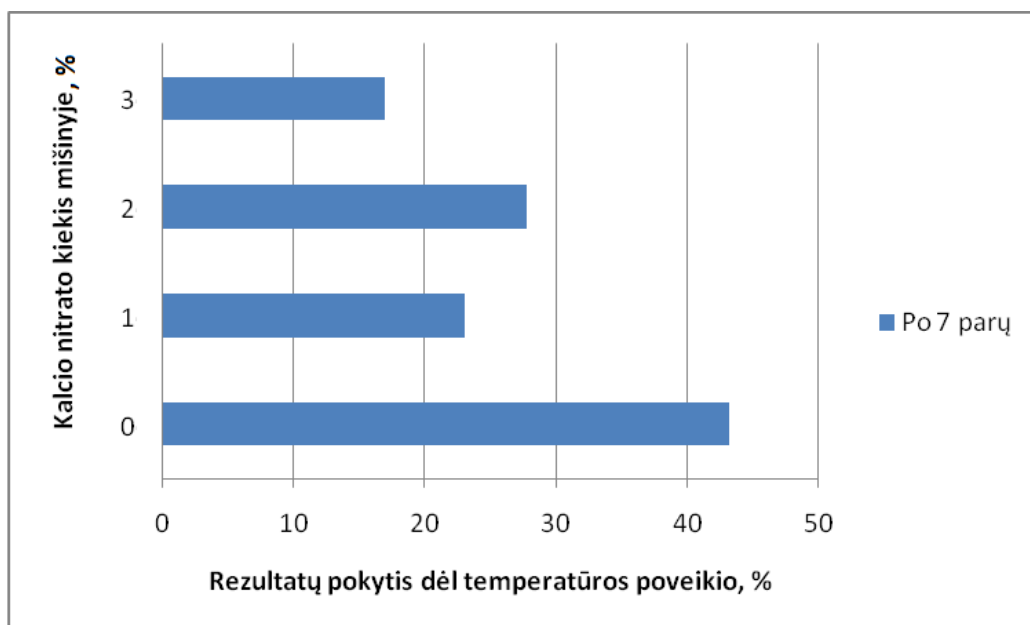
Kietinant pirmas dvi paras -5 °C temperatūroje bandinius, be kalcio nitrato priedo, buvo gauti patys mažiausi gniuždymo stiprio rezultatai. Po 7 parų kietinimo atliktas gniuždymo stiprio bandymas parodė, jog betono gniuždymo stiprio vertė yra 18,54 MPa, o po 28 parų kietėjimo – 24,54 MPa. Šie rezultatai parodo, kad dar žemesnė temperatūra betono kietėjimui turi didelę įtaką.

Didžiausias gniuždymo stipris nustatytas bandiniams, kurie buvo kietinami normaliomis sąlygomis su 1 % kalcio nitrato priedo kiekiu – 46,87 Mpa po 7 parų ir 57,78

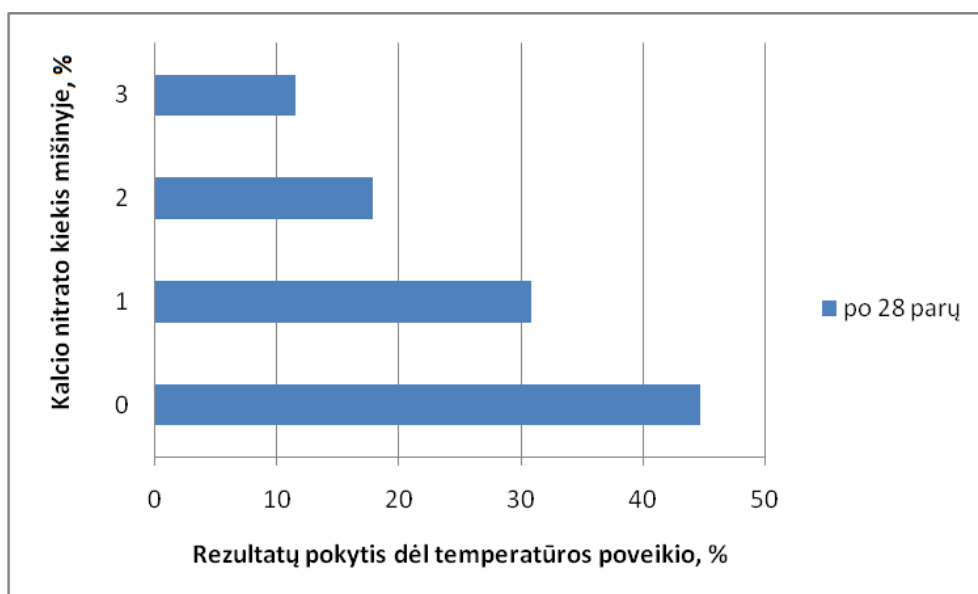
Mpa po 28 parų. Bandiniai kietinti žemoje temperatūroje, kurie pasiekė didžiausią gniuždymo stiprį po 7 parų buvo su 3 % kalcio nitrato kiekiu pasiekė – 36,21 MPa, o po 28 parų – 49,28 MPa stiprį. Įmaišius 1 ir 2 % kalcio nitrato ir kietinant skirtingomis sąlygomis, taip pat buvo gauti didesni stiprumo rezultatai lyginant su bandiniais, kuriuose kalcio nitrato priedo nebuvo naudojama. Bandymų rezultatų skirtumas dėl žemos temperatūros įtakos bandinių gniuždymo stipriui pavaizduoti grafiškai 3.10 ir 3.11 pav.

3.10 pav. matoma kiek procentaliai kito, bandinių su skirtingais priedo kiekiais, gniuždymo stiprio reikšmės, lyginant su betono bandiniais, kurie buvo kietinami normaliomis sąlygomis. Rezultatai gauti po 7 parų kietėjimo.

3.11 pav. matomas taip pat procentinis rezultatų pokytis, lyginant žemoje temperatūroje ir normaliomis sąlygomis kietintų bandinių gniuždymo stipris, po 28 parų kietėjimo.



3.10 pav. Rezultatų pokyčio dėl temperatūros poveikio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio po 7 parų kietėjimo

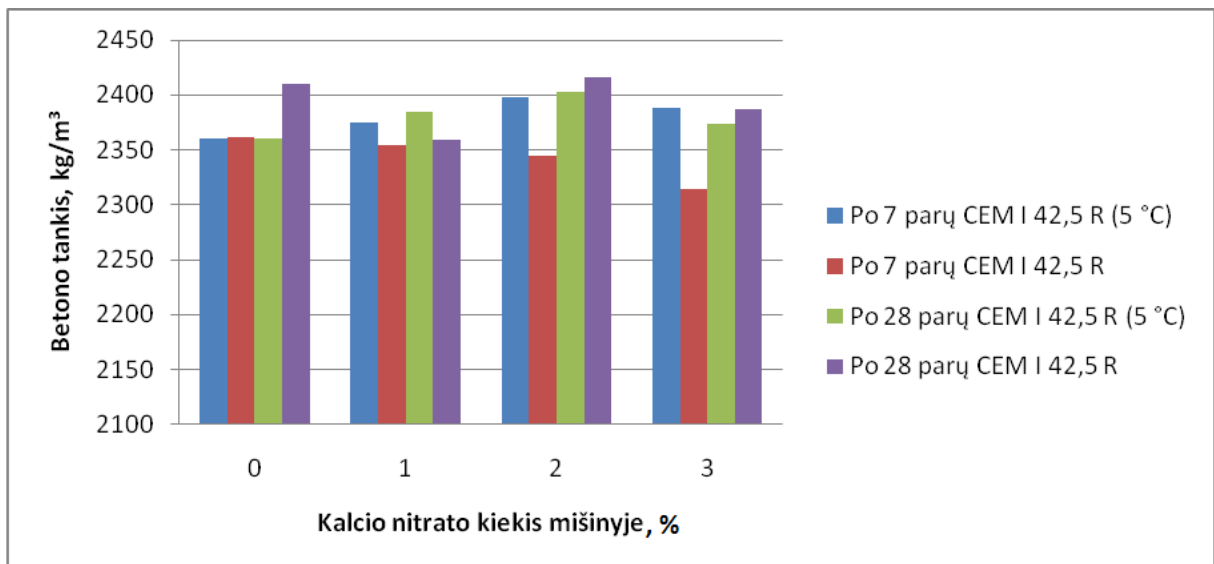


3.11 pav. Rezultatų pokyčio dėl temperatūros poveikio priklausomybė nuo kalcio nitrato kiekio po 28 parų kietėjimo

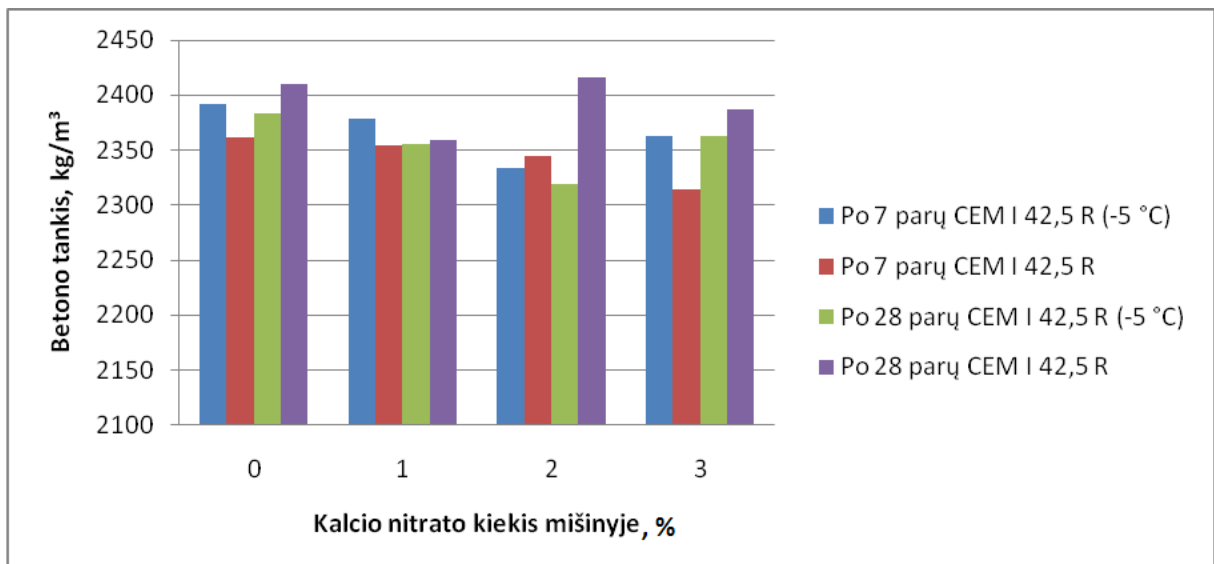
Bandiniai kietinami pirmas dvi paras -5°C temperatūroje, kurie pasiekė didžiausią gniuždymo stiprį buvo su 3 % kalcio nitrato kiekiu ir pasiekė – 36,21 MPa, o po 28 parų – 49,28 MPa stiprį. Bandiniai be kalcio nitrato dėl žemos temperatūros po 7 parų kietėjimo prarado – 43,13 % savo stiprumo, o su 3 % kalcio nitrato kiekiu – 16,93 %. Bandiniai be kalcio nitrato dėl žemos temperatūros po 28 parų kietėjimo prarado - 44,78 % savo stiprumo, o su 3 % kalcio nitrato kiekiu – 11,56 %.

3.8. Sukietėjusių betono bandinių tankio nustatymas

Išvairiomis sąlygomis kietintų betono bandinių tankių reikšmės, grafiškai lyginamos su normaliomis sąlygomis kietinto betono tankių reikšmėmis 3.12 ir 3.13 pav.



3.12 pav. Sukietėjusių betono bandinių tankiai



3.13 pav. Sukietėjusių betono bandinių tankiai

Apskaičiuoti sukietėjusių bandinių tankiai svyruoja nuo 2314 kg/m³ iki 2416 kg/m³. Tankių reikšmės yra proporcingos bandinių gniuždymo stipriui, kuo stiprumas didesnis, tuo tankis taip pat didesnis. Šiuo atveju didžiausias bandinio tankis apskaičiuotas bandiniuose, kurie buvo kietinami paprastomis sąlygomis 28 paras tai yra – 2416 kg/m³. O mažiausias apskaičiuotas bandinius kietinant paprastomis sąlygois 7 paras bei įmaišius 3 % kalcio nitrato tai yra – 2314 kg/m³. Tokio tankio betonai yra priskiriami normaliesiems betonams, nes tankis yra didesnis kaip 2000 kg/m³, bet nedidesnis kaip 2600 kg/m³.

IŠVADOS

1. Atlikus mišinio slankumo bandymus, naudojant kaip rišamąją medžiagą CEM I 42,5 N bei CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčius, galima matyti tendenciją, jog kuo daugiau kalcio nitrato įmaišos įmaišėme į mišinį, tuo mišinio slankumas buvo mažesnis. Galima teigti, kad pridėjus 3 % kalcio nitrato kiekį nuo cemento masės, buvo gautos pačios mažiausios slankumo reikšmės - po 90 min gautas 2 cm slankumas.
2. Nustatyta, jog kuo mažesnis mišinio slankumas, tuo didesnis ribinis šlyties įtempis. Šiuo atveju pridėjus 3 % kalcio nitrato priedo kiekį nuo cemento kiekio ir atlikus skaičiavimus praėjus 90 min po mišinio užmaišymo, buvo gauti didžiausi ribiniai šlyties įtempiai – 1830 Pa. Mažinant kalcio nitrato priedo kiekį, ribiniai šlyties įtempiai atitinkamai mažėja, o bandiniuose be kalcio nitrato priedo, ribiniai šlyties įtempiai gauti mažiausi.
3. Atlikus bandymus su skirtingais portlandcemenčiais, buvo gautos labai panašios tendencijos, abiem atvejais mažiausias oro kiekis buvo gautas pridėjus 3 % kalcio nitrato priedo kiekį. Tai yra 2,4 % su CEM I 42,5 N tipo portlandcemenčiu bei 2,2 % su CEM I 42,5 R tipo portlandcemenčiu. Taip pat nustatyta, jog kuo daugiau kalcio nitrato priedo įmaišėme į mišinį tuo oro kiekis mišinyje buvo mažesnis.
4. Atliekant sukietėjusių betono bandinių gniuždymo stiprio bandymą su rišamąją medžiaga - portlandcemenčiu CEM I 42,5 N mišinyje, po 7 parų iš rezultatų nustatyta, jog pridėjus 1 % kalcio nitrato, buvo gautas didžiausias bandinių gniuždymo stipris, tai yra 41 MPa, o po 28 parų 49,4 MPa. Palyginimui bandiniai, kuriuose nebuvo kalcio nitrato priedo, jų gniuždymo stipris buvo gautas mažesnis, po 7 parų - 37,24 MPa, po 28 parų - 46,17 MPa.
5. Didžiausias gniuždymo stipris nustatytas bandiniams, kurie buvo kietinami normaliomis sąlygomis su 1 % kalcio nitrato priedo kiekiu – 46,87 MPa po 7 parų ir 57,78 MPa po 28 parų.
6. Bandiniai, kurie buvo kietinami žemoje 5 °C temperatūroje po 7 parų su 1 % kalcio nitrato kiekiu, pasiekė 46,65 MPa, o po 28 parų – 56,45 MPa.
7. Kietinant pirmas dvi paras -5 °C temperatūroje bandinius be kalcio nitrato priedo buvo gauti patys mažiausi gniuždymo stiprio rezultatai. Po 7 parų kietinimo atliktas gniuždymo stiprio bandymas parodė, jog betono gniuždymo stipris yra 18,54 MPa, o po 28 parų kietėjimo – 24,54 MPa. Šie rezultatai parodo, kad dar žemesnė temperatūra betono kietėjimui turi didelę įtaką.

8. Bandiniai be kalcio nitrato dėl žemos temperatūros po 7 parų kietėjimo prarado 43,13 % savo stiprumo, o su 3 % kalcio nitrato kiekiu – 16,93 %. Bandiniai be kalcio nitrato dėl žemos temperatūros po 28 parų kietėjimo prarado - 44,78 % savo stiprumo, o su 3 % kalcio nitrato kiekiu – 11,56 %.
9. Nustatyta, kad betono bandinių tankiai svyruoja nuo 2314 kg/m^3 iki 2416 kg/m^3 . Tankių reikšmės yra proporcingos bandinių gniuždymo stipriui, kuo stiprumas didesnis, tuo tankis yra taip pat didesnis. Šiuo atveju didžiausias bandinio tankis apskaičiuotas bandiniuose, kurie buvo 28 paras kietinami paprastomis sąlygomis, tai yra – 2416 kg/m^3 . Mažiausias apskaičiuotas tankis bandiniuose, kietintuose paprastomis sąlygomis 7 paras bei įmaišius 3 % kalcio nitrato, tai yra – 2314 kg/m^3 .

NAUDOTA LITERATŪRA

- Banfill, P.-F.-G. 2003. *The rheology of fresh cement and concrete – a review, in Proc. of 11th International Cement Chemistry Congress*. Durban, South Africa, 13 p.
- Betono priedais prekiaujančios įmonės internetinė svetainė* [žiūrėta 2016-05-23]. Prieiga per internetą: www.altis.lt
- Deltuva J. 1991. *Betono užpildų technologija: paskaitų konspektas. 1 dalis*. Kaunas: Technologija. 158 p.
- Deltuva, J. 1998. *Heterogeninių statybinių mišinių sandara ir savybės*. Kaunas: Technologija. 263 p.
- Deltuva, J. 1982. *Statybinės medžiagos. Mokslas*. Vilnius. 348 p.
- Evan, G., 2008. *Cold Weather Concreting*. Precast Inc. Magazine, p. 1–7.
- Emoto, T., Bier T. A. 2007. *Rheological behavior as influenced by plasticizers and hydration kinetics. Cement and concrete research*. Ministry of Science & Technology, Egypt. p. 119–124.
- Gurskis, V. 2008. *Statybinės medžiagos. Mokomoji knyga*. Kaunas: Ardiva. 136 p.
- Gumuliauskas A., Gedrimas A. 2001. *Betono mišinio sudėties projektavimas*. proceedings of the 7th International Conference, Vilnius. p. 1-6.
- Justnes, H.; Nygaard, E. 1995. *Technical calcium nitrate as set accelerator for cement at low temperatures*. Norway, SINTEF, HYDRO A/S, R&D. 8 p.
- Justnes, H. 1995. *Calcium nitrate as a multifunctional concrete admixture*. Norway, SINTEF. 8 p.
- Justnes, H. and Nygaard, E.C. 1995. *Technical Nitrate as Set Accelerator for Cement at Low Temperatures*. p. 1766-1774.
- Kelpšienė, L.; Pelikša, M. 2008. *Statybinės medžiagos. Mokomoji knygelė laboratoriniams darbams atlikti*. Šiauliai: Šiaulių universitetas. 54 p.
- Kligys, M., Ablingytė, S. 2005. *Plastifikuojančių priedų įtaka betono mišinio reologinėms savybėms*. 8 – oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“. Vilnius.

Kičaitė, A.; Mačiulaitis, R. 2001. *Neorganinių rišamųjų medžiagų ir užpildų tyrimas*. Vilnius: Technika. 70 p.

Karagöl, F.; Demirboğa, R.; Kaygusuz, M.-A.; Yadollahi, M. M.; Polat, R. 2013. *The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures*. Cold Region Science and Technology, 35 p.

LST EN 206:2014 *Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 197-1:2011 *Cementas. 1 dalis. Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12350-2:2009/P:2011 *Betono mišinio bandymai. 2 dalis. Slankumo bandymas*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12350-5:2009 *Betono mišinio bandymai. 5 dalis. Sklidumo bandymas*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12350-6:2009 *Betono mišinio bandymai. 6 dalis. Tankis*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12390-3:2009 *Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12350-7:2009 *Betono mišinio bandymai. 7 dalis. Oro kiekis. Slėginiai metodai*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 206-1:2014 *Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12350-2:2003 *Šviežio betono bandymas. 2 dalis. Slankumo bandymas*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 1008:2005 *Vanduo betonui*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12620:2013 *Betono užpildai*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 480-1:2006+A1:2011 *Betono, statybinio ir injekcinio skiedinio priedai. Bandymo metodai. 1 dalis. Standartinis betonas ir standartinis skiedinys bandymams*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 1097-3:2002 *Užpildų mechaninių ir fizikinių savybių nustatymo metodai. 3 dalis. Piltinio tankio ir tuštymetumo nustatymas*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 1097-6:2013 *Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 6 dalis. Dalelių tankio ir įmirkio nustatymas*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

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

LST EN 196-3:2005+A1:2009 *Cemento bandymų metodai. 3 dalis. Rišimosi trukmių ir tūrio pastovumo nustatymas*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

LST EN 12390-7/P *Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

Lietuvos HSM duomenų archyvas [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2016-05-23]. Prieiga per internetą: www.lidata.eu

Macijauskas, M.; Gailius, A. 2014. *Influence of cement type and admixtures on rheological properties of cement pastes, Engineering Structures and Technologies*. 181 p.

Martusevičius, M.; Kaminskas, R.; Mituzas, R. 2002. *Rišamųjų medžiagų cheminė technologija*. Kaunas: Technologija. 271 p.

Naujokaitis, A. 2010. *Statybinės medžiagos. Sausieji statybiniai mišiniai*. Vilnius: Technika. 364 p.

Naujokaitis, A. 2006. *Statybinės medžiagos. Užpildai*. Vilnius: Technika. 247 p.

Naujokaitis, A. 2007. *Statybinės medžiagos. Betonai*. Vilnius: Technika. 354 p.

Skripkiūnas G., Kičaitė A., Macijauskas M. 2016. *The influence of calcium nitrate on the plasticizing effect of cement paste*. Vilnius: Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. 9 p.

Skripkiūnas, G.; Daukšys, M.; Štuopys, A.; Levinskas, R. 2005. *The Influence of cement particles shape and concentration on the rheological properties of cement slurry*. 158 p.

Statybinių medžiagų įmonės internetinė svetainė [žiūrėta 2016-05-23]. Interneto prieiga: www.vedrana.lt

Vektaris, B., Vilkas, V. 2006. *Betono tvarumas. Monografija*. Kaunas: Technologija. 30 p.

Žurauskienė, R.; Naujokaitis, A.; Mačiulaitis, R.; Žurauskas, R. 2012. *Statybinės medžiagos*. Vilnius: Technika. 540 p.