



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Renata Boris

PLASTIFIKUOJANČIO PRIEDO ĮTAKA BETONO MIŠINIO SAVYBĖMS

The influence of plasticizing additives on concrete mix properties

Baigiamasis magistro darbas

Statybos medžiagų ir dirbinių studijų programa, valstybinis kodas 62402T109

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

doc. dr. Gintautas Skripkiūnas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Renata Boris

**PLASTIFIKUOJANČIO PRIEDO ĮTAKA BETONO MIŠINIO
SAVYBĖMS**

The influence of plasticizing additives on concrete mix properties

Baigiamasis magistro darbas

Statybos medžiagų ir dirbinių studijų programa, valstybinis kodas 62402T109

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2011

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybinių medžiagų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos medžiagų ir dirbinių** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Plastifikuojančio priedo įtaka betono mišinio savybėms**

Autorius **Renata Boris**

Vadovas **doc. dr. Asta Kičaitė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe nagrinėjama plastifikuojančio priedo įtaka betono mišinio reologinėms savybėms.

Aprašomos naudojamos žaliavos ir tyrimų metodika. Tyrimams buvo pasirinkti dviejų rūšių portlandcementai CEM II/A-LL 42,5R ir CEM II/A-S 42,5N stambūs ir smulkūs užpildai, plastifikuojantis priedas Carboxyment 3220, skystasis stiklas ir vanduo.

Siekiant nustatyti, kokį poveikį daro plastifikuojantis priedas betono mišinio reologinėms savybėms, buvo atlikti betono mišinio slankumo, sklidumo, kūgio įsmigimo į betoną tyrimai. Išnagrinėtas plastifikuojantis priedo Carboxyment 3220 poveikis betono mišinio tankiui. Pasinaudojus atliktų tyrimų duomenimis bei formulėmis buvo apskaičiuoti ribiniai šlyties įtempiai. Atliktų tyrimų rezultatai parodo plastifikuojančio priedo panaudojimo galimybes ir pranašumus.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, anatinė dalis, metodinė dalis, eksperimentinė – tiriamoji dalis, išvados ir naudotos literatūros sąrašas.

Darbo apimtis - 62 psl. teksto, 22 paveikslai, 23 lentelės, 50 bibliografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai

Betonas, portlandcementis, plastiklis, slankumas, sklidumas, ribiniai šlyties įtempiai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Building Materials

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

Master Degree Studies **Construction Materials and Products** study programme Master's Thesis
Title **The influence of plasticizing additives on concrete mix properties**
Author **Renata Boris**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Asta Kičaitė**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

The final master thesis the influence of plasticizing additives on concrete mix properties.

Concrete material prepared using coarse and fine fillers, binder, additives and water. This paper examines the influence of plastifying additive Carboxyment 3220 on rheological properties of concrete mixture. For research two types of portland cement CEM II/A-LL and CEM II/A-S 42, 5N coarse and fine fillers, plastifying additive Carboxyment 3220, liquid glass and water. To determine the impact of plastifying additive on rheological properties of concrete mixture, concrete mobility, cone penetration depth, concrete mixture spread and density have been tested. Using research data and formulas marginal shear tensions were calculated. The research results show the advantages of plastifying additive usage.

The work consists of 6 parts: introduction, analitical part, methodological part, experimental – research part, conclusions and references list.

The volume of work – 62 text pages, 22 Fig., 23 tables, 50 bibliographical sources.

Keywords

Concrete, Portland cement, plasticizers, plasticity, spread, threshold shear stress.

TURINYS

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS.....	9
1. ANALITINĖ DALIS.....	11
1.1. Betono gamybos medžiagos.....	11
1.1.1. Betonų klasifikacija.....	11
1.1.2. Rišamosios medžiagos	12
1.1.3. Betono užpildai ir jų įtaka betono savybėms.....	14
1.1.4. Vanduo	16
1.2. Betono priedų naujos galimybės ir perspektyva.....	17
1.2.1. Cheminių priedų skirstymas ir jų rūšys.....	17
1.2.2. Betono gamyboje naudojami priedai.....	21
1.2.3. Naujos kartos priedai.....	23
1.2.4. Kompanijos „Poliplast“ priedai betonams	24
1.2.5. Plastifikuojantys priedai, pateikiami Lietuvos rinkai.....	25
1.2.6. Priedų įtaka betono savybėms	26
1.2.7. Efektyvus plastifikatorių panaudojimas betonuose.....	27
1.3. Betono mišinio sudėčių parinkimo principai.....	28
1.4. Betono mišinio slankumo tyrimas.....	30
2. METODINĖ DALIS	32
2.1. Užpildų tyrimo metodai.....	32
2.1.1. Smėlio piltinio tankio nustatymas	32
2.1.2. Smėlio dalelių tankio nustatymas.....	32
2.1.3. Smėlio tuštymėtumo nustatymas.....	33
2.1.4. Smėlio drėgnio nustatymas	34
2.1.5. Smėlio granulimetrinės sudėties ir stambumo modulio nustatymas	34
2.1.6. Žvirgždo piltinio tankio nustatymas.....	36
2.1.7. Žvirgždo dalelių tankio nustatymas	37
2.1.8. Žvirgždo tuštymėtumo nustatymas	37
2.1.9. Žvirgždo vandens įmirkio nustatymas	38
2.1.10. Žvirgždo drėgnio nustatymas	39
2.1.11. Žvirgždo granulimetrinės sudėties nustatymas	39
2.2. Portlandcemenčių tyrimo metodai.....	42
2.2.1. Portlandcemenčio piltinio tankio nustatymas.....	42

2.2.2. Portlandcemenčio savitojo tankio nustatymas	42
2.2.3. Portlandcemenčio savitojo paviršiaus nustatymas	43
2.2.4. Portlandcemenčio normalaus tirštumo tešlos nustatymas	45
2.3. Betono mišinio slankumo tyrimas	46
2.4. Betono mišinio sklidumo nustatymas.....	46
2.5. Kūgio įsmigimo gylio į betoną nustatymas	48
2.6. Ribinių šlyties įtempimų apskaičiavimas	49
2.7. Vandens atsiskyrimo kiekio nustatymas	49
2.8. Betono bandinių savybių tyrimas	49
2.8.1. Betono mišinio tankio nustatymas	49
2.9. Betono mišinio sudėties parinkimas.....	50
3. EKSPERIMENTINĖ – TIRIAMOJI DALIS	52
3.1. Normalaus tirštumo cemento tešlos tyrimas	52
3.2. Betono mišinio slankumo tyrimas.....	53
3.3. Betono mišinio kūgio įsmigimo gylio į betoną tyrimas	56
3.4. Betono mišinio sklidumo tyrimas.....	58
3.5. Betono bandinių tankio tyrimas	61
3.6. Betono bandinių gniuždomojo stiprio nustatymas	61
3.7. Ribinių šlyties įtempių nustatymas.....	62
3.8. Vandens atsiskyrimo kiekio nustatymas	64
IŠVADOS.....	65
NAUDOTOS LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	66
PRIEDAI	68

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Mišinio tekėjimo schema.....	30
2.1 pav. Smėlio granulimetrinės sudėties kreivė.....	36
2.2 pav. Žvirgždo granulimetrinės sudėties kreivė.....	41
2.3 pav. Mišinio nuoslūgio pobūdis:.....	46
2.4 pav. Kratytuvas ir kūginė forma mišinio sklidumui nustatyti.....	47
2.5 pav. Pasklidimo matavimo schema.....	47
2.6 pav. Kūgio įsmigimo gylio nustatymo prietaisas.....	48
3.1 pav. Carboxymet 3220 plastiklio poveikis portlandcemenčio CEM II/ A-LL 42,5 R normalaus tirštumo tešlos vandens poreikiui.....	52
3.2 pav. Carboxymet 3220 plastiklio poveikis portlandcemenčio CEM II/ A-S 42,5N normalaus tirštumo tešlos vandens poreikiui	52
3.3 pav. Betono mišinio be plastifikuojančio priedo slankumo priklausomybė nuo laiko.....	53
3.4 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu slankumo priklausomybė nuo laiko 15 ± 1 °C temperatūroje.....	54
3.5 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu slankumo priklausomybė nuo laiko prie 20 ± 1 °C temperatūros.....	55
3.6 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančio priedo ir 0,5 % skystojo stiklo slankumo priklausomybė nuo laiko.....	55
3.7 pav. Kūgio įsmigimo į betono mišinius be superplastiklio gylio priklausomybė nuo laiko 15±1 ^o temperatūroje.....	56
3.8 pav. . Kūgio įsmigimo gylio į betono mišinį su 1,25% superplastikliu priklausomybė nuo laiko 15±1 ^o temperatūroje.....	56
3.9 pav. Kūgio įsmigimo gylio į betono mišinį su 1,25% superplastikliu priklausomybė nuo laiko 20 ± 1 °C temperatūroje.....	57
3.10 pav. Kūgio įsmigimo gylio į betono mišinį su 1,25 % plastifikuojančiu priedu ir 0,5 % skystuoju stiklu priklausomybė nuo laiko.....	57
3.11 pav. Betono mišinio sklidumo bandymo atvejis.....	58
3.12 pav. Betono mišinio be plastifikuojančio priedo, sklidumo priklausomybė nuo laiko.....	58
3.13 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu sklidumo priklausomybė nuo laiko prie 15 ± 1 °C temperatūroje.....	59
3.14 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu, pasklidimo priklausomybė nuo laiko 20 ± 1 °C temperatūros.....	59

3.15 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu ir 0,5 % skystuoju stiklu sklidumo priklausomybė nuo laiko.....	60
---	----

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Pagrindinės cheminių betono priedų grupės.....	21
1.2 lentelė. Pagrindinės betono su superplastikliu REBAmix F2 (FM) savybės.....	23
1.3 lentelė. Priedų, naudojamų nuo praeito amžiaus 30 – ujų metų, sąrašas.....	24
2.1 lentelė. Smėlio piltinio tankio tyrimo rezultatai.....	32
2.2 lentelė. Smėlio dalelių tankio nustatymo rezultatai.....	33
2.3 lentelė. Smėlio drėgnio nustatymo rezultatai.....	34
2.4 lentelė. Smėlio dalinių, suminių liekanų ir išbirų nustatymo rezultatai.....	35
2.5 lentelė. Smėlio piltinio tankio tyrimo rezultatai.....	37
2.6 lentelė. Žvirgždo dalelių tankio nustatymo rezultatai.....	38
2.7 lentelė. Žvirgždo vandens įmirkio nustatymo rezultatai.....	39
2.8 lentelė. Žvirgždo drėgnio nustatymo rezultatai.....	39
2.9 lentelė. Žvirgždo dalinių, suminių liekanų ir išbirų nustatymo rezultatai.....	40
2.10 lentelė. Portlandcemenčio piltinio tankio tyrimo rezultatai.....	42
2.11 lentelė. Portlandcemenčio savitojo tankio tyrimo rezultatai.....	43
2.12 lentelė. Oro klampos ir $\sqrt{0,1\eta}$ priklausomybė nuo temperatūros.....	44
2.13 lentelė. Portlandcemenčio CEM II/ A-LL 42,5R savitojo paviršiaus nustatymo rezultatai.....	45
2.14 lentelė. Portlandcemenčio CEM II/ A-S 42,5N savitojo paviršiaus nustatymo rezultatai.....	45
2.15 lentelė. Betono mišinių sudėtys.....	51
3.1 lentelė. Betono mišinių tankio vertės.....	61
3.2 lentelė. Bandinių gniuždomojo stiprio rezultatai.....	61
3.3 lentelė. Betono mišinių su portlandcemenčiu CEM II/A-LL 42,5R ribiniai šlyties įtempiai	62
3.4 lentelė. Betono mišinių su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5N ribiniai šlyties įtempiai	62
3.5 lentelė. Vandens atsiskyrimo kiekio iš betono mišinio nustatymo rezultatai.....	64

ĮVADAS

Betonas ir jo gaminiai naudojami nuo XVIII a. vidurio, kai buvo išrastas portlandcementis.

Betonas tai medžiaga naudojama visuose pastatuose ir statiniuose, todėl šalies projektuotojai ir mokslininkai daug dėmesio skiria šios medžiagos savybių tyrinėjimui, tobulinimui ir praktiniam taikymui. Šiuo metu yra sukurta daug vertingų mokslinio tyrimo darbų, sėkmingai taikomų projektuojant pastatų ir statinių statybą, gaminant betono bei gelžbetonio konstrukcijas.

Betonai gaminami iš vietinių, dažnai – kintamų charakteristinių žaliavų. Jų savybes prognozuoti yra svarbu, nes būtina parinkti gamybos technologinius procesus ir įrengimus, kad pagamintų betoninių dirbinių struktūra, savybės bei kokybiniai rodikliai tenkintų naudotojų poreikius. Būtina mažinti betono konstrukcijų masę, transporto bei montavimo išlaidas.

Betoninių dirbinių gamyba yra susijusi su nemažomis energijos sąnaudomis. Darbo ir energijos sąnaudų mažinimas, galimybė gaminti vienetinius norimos formos ir savybių gaminius, greitai ir patikimai sujungti surenkamuosius gaminius į konstrukcijas yra pastarojo meto gamybos technologijų tobulinimo sritys.

Lietuvai atgavus nepriklausomybę, įvyko akivaizdi betono ir gelžbetonio pramonės pertvarka, atsirado naujų gamybos technologijų, leidžiančių pagaminti geresnės kokybės dirbinius, kontroliuoti gamybos procesus, komponentų savybių rodiklius, reguliuoti technologinio proceso kitimo ribas.

Betono dirbiniams gaminti naudojamas cementas ir vietinės naudingosios iškasenos – užpildai. Svarbu, kad šios medžiagos būtų naudojamos taupiai ir racionaliai.

Dažniausiai statyboje naudojami betonai, kurių rišamoji medžiaga yra cementai ar kitos neorganinės rišamosios medžiagos. Betono mišinys yra sudėtinga daugiakomponentė polidispersinė sistema, gaunama cemento ir užpildų mišinį užmaišius su vandeniu. Šią sistemą sudaro mažos ir stambesnės cemento dalelytės, smulkiojo ir stambiojo užpildo grūdėliai, gali būti atitinkamų priedų, vandens ir išsiurbto oro. Betono savybės priklauso nuo mišinių struktūros komponentų savybių. Pagrindiniai komponentai, lemiantys betono mišinio struktūrą, yra cemento tešla, į kurios sudėtį įeina cementas, vanduo ir priedai.

Norint išgauti gerų betono ir jo mišinio savybių, į mišinį dedami įvairūs priedai, kurie pagreitina betono mišinio rišimąsi, padaro jį plastiškesnį, pagreitina kietėjimą, padidina stiprumą, nelaidumą vandeniui ir atsparumą šalčiui. Parinkus tinkamą priedo kiekį, norima linkme galima keisti ir reguliuoti betono reologines savybes. Tai rodo, kad betonai yra viena iš universalusių statybinių medžiagų, kuriai galima suteikti pačių įvairiausių savybių: gana smarkiai keisti stiprumą, reologines savybes, tankį ir kt.

Baigiamojo darbo tikslas – ištirti plastifikuojančio priedo Carboxyment 3220 ir skystojo stiklo poveikį betono mišinio su skirtingais portlandcemenčiais savybėms.

Darbo uždaviniai:

- Ištirti betono mišinio žaliavų savybes;
- Nustatyti plastifikuojančio priedo ir skystojo stiklo poveikį betono mišinio reologinėms savybėms (slankumui, sklidimui, kūgio įsmigimui ir betono mišinį gyliui);
- Ištirti plastifikuojančio priedo poveikį kitoms betono mišinio savybėms (tankiui, vandens atsiskyrimui iš betono mišinio, stpriui gniuždant);
- Ištirti temperatūros poveikį betono mišinio su plastifikuojančiu priedu reologinėms savybėms;
- Paskaičiuoti betono mišinio ribinius šlyties įtempius;
- Atlikti gautų tyrimų rezultatų aptarimą.

1. ANALITINĖ DALIS

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 ir megastruktūra.

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. Makrostruktūrą priklauso nuo skiedinio sudėties, smėlio granulimetrinė sudėties, dalelių formos, jų šiurkštumo bei įmaišų pobūdžio ir kiekio.

Megastruktūra – tai betono su stambiaisiais užpildais struktūra (Naujokaitis 2007).

Betonas – sukietėjęs tam tikromis sąlygomis, racionaliai parinktas rišamosios medžiagos, užpildų ir vandens mišinys. Į betono mišinį galima pridėti įvairių priedų, koreguojančių betono mišinio arba betono technines savybes.

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

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.

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.

Normalusis betonas – tai betonas, kurio tankis po džiovinimo yra didesnis kaip 2000 kg/m^3 , bet ne didesnis kaip 2600 kg/m^3 .

Pagrindiniai sukietėjusio betono kokybės rodikliai: gniuždymo stipris, tankis, atsparumas šalčiui (Žurauskienė et al. 2004).

Geros kokybės betono dirbiniams gaminti reikia, kad betono mišinys būtų reikiamos konsistencijos, atitiktų esamas tankinimo priemones. Betono mišinio konsistencijai nustatyti ir technologiškumui nustatyti naudojami prietaisai: kūgis, Vebe cilindras, sklidumo ir sutankinamumo analizės staliukas (Naujokaitis 2007).

Kompozitinėms medžiagoms gaminti naudojamos rišamoji dalis (mineralinė arba organinė), užpildai, vanduo ir įvairūs priedai, suteikiantys galimybę kompozitui įgauti reikiamą formą ir savybes.

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 – greitas 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 piritro degėnų; trūkstant SiO_2 – trepelio, opokos arba diamito. Kai įkrovoje per mažai Al_2O_3 , pridedama aliuminatingų moliių. 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 ($\text{SO}_3 < 4\%$) (ENV 197–2:2000). Į tokį cementą įmaišant granuliuoto aukštakrosnių šlako (6

– 35 %), SiO₂ 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/m³. Cemento savitąjį tankį didina C₄AF ir C₂F. 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/m³. Silosuose susigulint cementui, jo piltinis tankis padidėja iki 1400 – 1700 kg/m³.

Pagrindinės standartų (EN 196–1 ir 196–3) apibrėžtos savybės yra vandens kiekis normaliai tirštai tešlai gauti, rišimosi pradžia, tūrio pastovumas ir stipris gniuždant. Portlandcemenčio rišimosi pradžios trukmei nustatyti naudojama normaliai tiršta tešla. Tai tešla, kurį gaunama užmaišant cementą tokiu vandens kiekis, kai Viko prietaiso 50 ± 1 mm ilgio ir 10 ± 0,5 mm skersmens stulpelis įtvirtintas prietaiso slankiklyje laisvai grimzdamas į 40 ± 0,2 mm aukščio žiede esančią tešlą, sustoja nepasiekia žiedo dugno per 6 ± 1 mm. Slankiklio su strypeliu masė 300 ± 1 g.

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 C₃A, taigi ir sumaltas grynas klinkeris, todėl į malamą klinkerį būtina įdėti gipso, kuris C₃A sujungia į etringitą. Smulkiai sumaltas cementas rišasi greičiau. Rišimasis būna lėtesnis, kai vandens ir cemento santykis didesnis. Kartais rišimasis būna tariamasis.

Cemento tūrio pastovumui nustatyti naudojamas Le-Šateljė žiedas. Tūrio netolygaus kitimo priežastis yra per daug dideli laisvojo CaO ir MgO arba gipso kiekiai. Kietėjančiame cemente 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 % SO₃. Priešingu atveju etringitas susidaro jau sukietėjusiam cemente 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 x 4 x 16) po 2, 7 ir 28 parų. Pagal stiprį gniuždant portlandcementis būna 32,5; 42,5 ir

52,5 klasės. Kai cementas yra greitai kietėjantis CEM I R, turi būti nustatomas ankstyvasis stipris gniuždant po dviejų parų.

Paprastojo portlandcemenčio sumalimo smulkumas yra 280 – 300 m³/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 stipris gniuždant yra daug didesnis už stiprį lenkiant. Cemento stipris gniuždant 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 (Statybos 2004).

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 480–1:2007).

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 aktyjų, dirbtinių užpildų, tokių kaip keramzitas, aktyasis stiklas, perlitas ir pan., mažesnis tūrinis svoris negu sunkiųjų užpildų, tad mažesnis esti ir betono tūrinis svoris, geresnės termoizoliacinės savybės.

Stambieji užpildai tai daugiau kaip 5 mm stambumo įvairių uolienuų ir žvirgždo skalda bei žvyras. Stambieji užpildai esti įvairių frakcijų: nuo 5 iki 10, nuo 10 iki 20, nuo 20 iki 40 ir nuo 40 iki 70 mm. Kaip smulkieji užpildai naudojamas gamtinis arba dirbtinis smėlis (Žurauskienė et al. 2008).

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. Smulkelių kiekis;
5. Smulkelių kokybė;
6. Fizikiniai reikalavimai
7. Stambiojo užpildo atsparumas irimui;
8. Stambiojo užpildo atsparumas dėvėjimuisi;
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 12620:2002).

Didžiausios įtakos betono savybėms turi užpildų granulimetrinė sudėtis, jų stiprumas ir švarumas.

Užpildų granulimetrinė sudėtis nustatoma persijojus paruoštą bandomąjį kiekį pro standartinius 0,14 – 70 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 išėiga. Norint gauti užpildų mišinį su mažiausiomis tuštumomis tarp grūdelių, reikia naudoti smulkius grūdelius. Tačiau jų smulkumas ir kiekis užpilde yra ribotas. Norint gauti reikiamo paslankumo 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 išėiga, kuri padidėja užpildant užpildų tuštumas. Užpildų tuštumėtumo įtaką galima reguliuoti stambiųjų ir smulkiųjų užpildų santykiu. Į

stambiuosius tuštumėtus užpildus įdėti smulkieji gali užpildyti stambiujų 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. užpildu stiprumas turi užtikrinti reikiama betono stipruma. 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. 2008)

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 (Statybos 2004).

Vanduo turi atitikti LST EN 1008:2003 standarto reikalavimus.

Organinių priemaišų pvz., fenolo neturi viršyti 10 mg/l. Vandens paviršiuje neturi būti naftos, kitų riebalinės kilmės produktų. Vandens rūgštingumas neturi viršyti 15 mg/l. Rūgščių šarmų pusiausvyra neturi būti mažesnė kaip 4 ir ne aukštesnė kaip 12,5 (Несветаев 2006).

1.2. Betono priedų naujos galimybės ir perspektyva

1.2.1. Cheminių priedų skirstymas ir jų rūšys

Nuo betono kokybės priklauso monolitinių betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų ilgaamžiškumas. Tačiau jų ilgaamžiškumo negalima nagrinėti atsietai nuo aplinkos, kurios iš esmės neįmanoma pakeisti. Dėl to ieškoma būdų ir metodų gaminti tokį betoną, kurio konstrukcijos ir statiniai galėtų patikimai funkcionuoti įvairioje aplinkoje. Daugeliu atveju tai pasiekama naudojant cheminius priedus, kurie lemia atitinkamo betono savybes. Pagal pagrindinį pobūdį cheminius priedus galima suskirstyti į tokias 7 grupes:

1. plastikliai;
2. orą įsiurbiantys;
3. plastikliai – orą įsiurbiantys;
4. tankinantieji;
5. dujodariai (putokšliai);
6. kietėjimo greitikliai;
7. kietėjimo lietikliai.

Labiausiai paplitusi 1 grupės priedai, nes jie padeda derinti betono mišinio reologines savybes.

Šiai grupei priklauso plastikliai ir superplastikliai. Tai priedai leidžiantys didinti betono mišinio slankumą, skystinti, padidinti betono stiprumą, nedidinant cemento išeigos, sutrumpinti kietėjimo trukmę, taupyti cementą.

Vienas iš šios grupės atstovų yra sulfatinių mielių raugas (SDB). Šis priedas maišomas į monolitinių betono ir gelžbetonio konstrukcijų, surenkamų gelžbetonio konstrukcijų ir gaminių, sunkiojo betono mišinius.

SDB naudojamas dėl šių savybių:

- 8 – 10 % reikia mažiau cemento;
- Pagerina betono technines savybes (slankumą, plastiškumą);
- Padidina atsparumą šalčiui bei nelaidumą vandeniui;
- Sulėtina rišimosi procesą;
- Sumažina šilumos išsiskyrimą betono kietėjimo pradžioje (betonas nesutrūkinėja).

Plastifikavimo efektas padidėja, kai cementas smulkiau sumaltas ir jame yra daugiau trikalčio silikato (daugiau kaip 50 %).

Maišant betoną su portlandcementu, SDB dedama 0,1 – 0,25 % cemento masės.

Truputį daugiau (0,4 %) SDB gali būti maišoma, norint sulėtinti betono mišinio slankumo mažėjimą, kai betonuojama karštame klimato, arba sulėtinti kietėjimą ir sumažinti betono temperatūrą, kuri pakyla dėl egzoterminių reakcijų, betonuojant masyvius statinius (Deltuva 1982).

Antros ir trečios grupės priedai padeda reguliuoti betono mišinio porėtumą ir padidinti betono atsparumą šalčiui bei agresyviajai aplinkai. Dėl jų įtakos mažesnės vienodai išsidėsčiusios poros neleidžia laisvai migruoti vandeniui ar agresyviems skysčiams bei dujoms į betono vidų ir pažeisti jo struktūrą. Iš dalies ir 4 grupės priedus galima priskirti prie 2 ir 3 grupės priedų, nes tankesnis betonas yra taip pat atsparesnis įvairiems poveikiams.

Natrio metilo (etilo) silikonatas (GKŽ – 11) yra organinis silicio junginys su hidrofobinėmis plastifikuojančiomis savybėmis. Paprastai jie maišomi tam, kad betonai, kietėjantys normalios temperatūros ir drėgmės aplinkoje, būtų atsparesni šalčiui ir plastiškesni. Šis priedas, maišant betono (skiedinio) mišinius, įtraukia oro ir sudaro daugybę smulkių burbuliukų, kurie vienodai pasiskirsto po visą betono tūrį. Natrio silikonatai hidrofobizuoja vidinį porų ir kapiliarų paviršių, dėl to betonai būna nelaidūs vandeniui ir patvarūs. Priedas rekomenduojamas tokioms konstrukcijoms kurios turi būti ypač atsparios šalčiui.

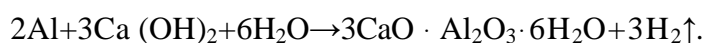
Priedų GKŽ – 11 maišoma (cemento masės %) į:

- Sunkiuosius betonus 0,05 – 0,2;
- Lengvuosius betonus 0,1 – 0,3;
- Statybinius skiedinius 0,15 – 0,35.

Priedai kietėjimo pradžioje šiek tiek sulėtina stiprumo augimą, tačiau stiprumas po 28 parų nebūna mažesnis. Priedų padauginus, gali paspartėti mišinio tirštėjimas, sumažėti plastiškumas ir stiprumas vėlesniu kietėjimo laikotarpiu. GKŽ – 11 naudojamas gaminant paprastas ir iš anksto įtemptas konstrukcijas visų rūšių (gyvenamajai ir civilinei, pramoninei, kelių, hidrotechninei) statybai.

5 grupės priedai naudojami lengviems betonams gaminti (Statybos 2004).

Aliuminio pudra maišoma į aktyuosius arba poringuosius betonus. Ji būna dviejų markių: PAK-3 ir PAK-4. Dujos išsiskiria dėl aliuminio cheminės reakcijos ir šarmų, esančių cemento tešloje:



Išsiskirdamas vandenilis išpučia masę. Kuo smulkesni aliuminio milteliai, tuo daugiau išsiskiria dujų: jeigu aliuminio pudra išsisijuoja pro sietą Nr. 008 (lyginamasis paviršius 600–700 m²/kg), tai jos 1 g išskiria 0,5–0,6 dm³ dujų.

Aliuminio pudra blogai maišosi su vandeniu, todėl į maišytuvą pilama jos suspensijos, stabilizuotos paviršių aktyvinančiomis medžiagomis (SDB, PO – 6, kanifolija arba ūkišku muilu).

Vandens – aliuminio suspensija ruošama šitaip: į specialų maišytuvą arba indą paeiliui dedama aliuminio pudra, paviršių aktyvinančios medžiagos ir pilamas vanduo masės santykiu 1

: 0,05 : 30. Gerai pamaišius 2 – 3 min, suspensiją galima naudoti. Gaminant aktytus ir lengvus betonus, aliuminio pudros į 1 m³ maišoma 0,3 – 1,3 kg. Tikroji dozė nustatoma bandymu (Laukaitis 2000).

6 grupės priedai ne tik greitina kietėjimą, bet jų esant, betonas gali kietėti ir neigiamoje temperatūroje.

Priedai, greitinantys cemento rišimą ir kietėjimą, yra kalcio chloridas, natrio chloridas, druskos rūgštis, geležies chloridas, aliuminio sulfatas, kalcio nitratas, kalcio aliuminio chloridas, statybinis (pusvandeninis) gipsas ir jų kompleksai. Iš anksto patikrinus, leidžiama naudoti natrio sulfatą, aliuminio chloridą, trivalentės geležies nitratą Fe(NO₃)₃ ir kt.

Šių cheminių priedų dedama tam, kad padidėtų stiprumas kietėjimo pradžioje, mažiau reikėtų cemento, trumpiau būtų galima laikyti gaminius šiluminėse kameroose. Nurodytus priedus rekomenduojama maišyti į betonus ir statybinius skiedinius, gaminamus su paprastu, pucolaniniu ir šlakiniu portlandcemenčiu neleidžiama jų naudoti betonams ir skiediniams, gaminamiems su aluminatiniu cementu.

Šūtinant gaminius normaliam slėgyje, naudojami tie patys priedai, išskyrus natrio sulfatą; apdorojant autoklavuose, neleidžiama naudoti chloro druskų.

Kalcio chloridas yra chloro vandenilio rūgšties kalcio druska, gerai tirpstanti vandenyje. Įmaišius jo į betonus ir statybinius skiedinius, pagreitėja rišimasis ir kietėjimas, mišinys pasidaro slankesnis. Tačiau kalcio chloridas sukelia armatūros koroziją, todėl į betonus jo maišoma retai.

Į nearmuotas konstrukcijas, kietėjančias teigiamoje temperatūroje, leidžiama dėti kalcio chlorido ne daugiau kaip 3 %, į armuotas - ne daugiau kaip 2 % cemento masės. Betoną šūtinant, chloro druskos dedama 1 – 1,5 %.

Įmaišius kalcio chlorido, betono, kietėjusio normalioje aplinkoje, stiprumas po vienos paros padidėja 1,6 – 2,5 karto; po trijų parų – 1,3 – 1,8; po septynių parų – 1,2 – 1,3 karto. 28 paros kietėjusio betono, į kurį įmaišyta kalcio chlorido, stiprumas yra 10 – 20 % didesnis negu betono be priedo.

Priedas efektyvesnis šlakinio ir pucolaninio cemento betonuose, negu paprasto portlandcemento betonuose.

Į maišytuvą pilamas 1,12 – 1,22 tankio darbinės koncentracijos kalcio chlorido tirpalas.

Kalcio chloridą gamina chemijos gamyklos ir tiekia kaip koncentruotą tirpalą cisternomis arba metalinėmis statinėmis.

7 grupės priedai naudojami rišimui sulėtinti (Statybos 2004; Laukaitis 2000).

Naudojant priedus galime padaryti tokias išvadas:

1. Mažėja cemento sąnaudos;

2. Pagerėja betono techninės savybės (slankumas, plastiškumas);
3. Padidėja atsparumas šalčiui
4. Padidėja nelaidumas vandeniui;
5. Sulėtėja rišimosi procesas;

1.1 lentelė. Pagrindinės cheminių betono priedų grupės

Priedų ir jų poveikio grupės	Pagrindiniai priedai ir jų medžiagų tipai
Plastikliai	Sulfatų mielių raugas (SDB), melasos žlaugtas (UPB), superplastiklis – skystikis (C-3), dofenas (DF), SBS.
Orą išsiurbiantys	Neutralizuotą orą išsiurbianti derva (SNV), sintetinis paviršiaus aktyvusis priedas (SPD), sulfanolas (S), Fl, Per, Co, Nbk ir kt.
Plastikliai – orą išsiurbiantys	Adipo plastiklis (PAŠČ – 1), natrio metilo (etilo) silikonatas (GKŽ10, GKŽ11), Mic ir kt.
Tankinantieji	Kalcio nitratas, geležies chloridas, geležies nitratas, geležies sulfatas, dervos TEG – 1 ir DEG – 1.
Dujodariai (putokšliai)	Polihidrosiloksanas (GKUC – 94), aliuminio pudra (PAK) ir kt.
Kietėjimo greitikliai	Kalcio chloridas, natrio sulfatas, natrio nitritas, kalcio nitritas-nitratas-chloridas, kalcio nitritas-nitratas, poliamidinė derva (S – 89), Rhe, Feb, Poz ir kt.
Kietėjimo lėtikliai	Cukraus melasa (SP), sulfitinis mielių raugas, natrio metilo (etilo) silikonėtas, Polihidrosiloksanas, Ret, Ren ir kt.

1.2.2. Betono gamyboje naudojami priedai

Conflo įmaiša – bechloris pastovios konsistencijos rudas skystis, nedegus, mažo klampumo, gerai maišosi su vandeniu. Jo dedama nuo 0,125 l / 50 kg iki 0,25 l / 50 kg cemento kiekio. Tada galima 10 – 15% sumažinti cemento; padidina sukietėjusio betono stiprumą gniuždant.

Wintaplas – bespalvis, skystojo pavidalo plastiklis greitinantis cemento rišimąsi, be chloridų. Tinka naudoti su visų rūšių cementais ir esant neigiamai temperatūrai iki - 4 °C. Gerai maišosi su vandeniu. Dedama nuo 2,5 l / 50 kg iki 5,0 l / 50 kg cemento kiekio.

FEBMIX DH – rusvos spalvos miltelinis plastiklis, gerai tirpstantis vandenyje. Naudojamas su visų rūšių cementais. Maišant įtraukia orą, didėja slankumas ir atsparumas šalčiui. Dozuojama 20 g / 50kg arba 40g / 50kg cemento kiekio. Mišinio konsistencija priklauso nuo užpildų stambumo, todėl galima pasigaminti bandomuosius mišinius su plastikliu ir nustatyti optimalų plastiklio kiekį.

POZZOLITH 90 – tamsiai rudas skystis, kuriame nėra šarmų, pH – 5 – 6, 1,18 kg/l tankio. Aktyvioji medžiaga – lignosulfatai. Rekomenduojama dozė - 0,1 – 0,9 % cemento masės. Konkrečiu atveju reikiamas kiekis priklauso nuo pasirinktų betono mišinio charakteristikų ir nustatomas bandant. Plastiklį galima naudoti kartu su orą įtraukiančiomis įmaišomis. Siekiant nepažeisti įtraukto oro porų sistemos rekomenduojama nenaudoti POZZOLITH 90 daugiau kaip 0,5 % cemento masės. Įmaiša disperguoja cementą ir apsaugo smulkias cemento daleles nuo reaglomeracijos. Gaunama vienalytė cemento pasta, sumažėja vidinės trinties jėgos ir pagerėja betono mišinio slankumas. Gaminant betono mišinį, įmaišą supilama į jau sudrėkintą betono mišinį arba su trečdaliu maišymui skirtu vandeniu.

C – 3 – naftaleno sulforūgštis ir formaldehido kondensacijos produktas, neutralizuotas natrio šarmu. Tai įvairios molekulinės masės natrio druskų, natrio sulfato ir natrio lignosulfatų mišinys. Gaminant vandeninių tirpalų pavidalo. Tirpalas neutralios arba šarminės reakcijos (pH – 7-9), 33 – 38 % konsistencijos. Įdėjus optimalų plastiklio kiekį (0,4 – 0,8 % cemento masės), betono mišinio slankumas, nekeičiant kitų komponentų, padidėja kelis kartus, o stiprumas sumažėja. Cemento kiekį galima sumažinti 10 – 20 %, Tačiau kontrolinis stiprumas išlieka. Plastiklis C–3 efektyviausias naudojant cementus, kuriuose ne daugiau kaip 8 % trikalčio aluminato. Dedant plastiklio C–3, nedidinant slankumo gaunami stipresni betonai. Įdėjus 0,6 % C-3 gniuždymo stiprumas po 28 parų kietėjimo normaliomis sąlygomis – 53,7 MPa, o be plastiklio 37,3 MPa. Įmaiša padidina betono nelaidumą vandeniui. Atlikti betonų, gamintų su Akmenės „Cemekos“ cementu, tyrimai. Šie betonai atitinka tik XF1 aplinkos poveikio klasei keliamus reikalavimus, todėl kartu su plastikliu C–3 į betoną, skirtą šalčiui atsparioms konstrukcijoms, reikia dėti kitų šalčio atsparumą didinančių įmaišų. Efektyviausiai plastiklio veikiamas 25, 45 minutes, vėliau betonas staigiai standėja. Todėl naudojant šį plastiklį, būtina gerai organizuoti betono klojimo darbą.

LUBRICON TB – efektyvus plastiklis modifikuotų lignosulfonatų pagrindu, skirtas mažo slankumo cementiniams betono mišiniams gaminti. Tai rudas vandeninis 1,13-1,15 g/cm³ tankio skystis, pH – 4,5 – 5,0, Na₂O < 0,5 %, chloridų kiekis < 0,05 %, nelakiųjų medžiagų – 30 – 31 %. LUBRICON TB yra paviršiaus aktyvioji medžiaga, disperguojanti cemento, pucolanų ir užpildo daleles. Gaunamas vienalytiškesnis mažesnio v/c santykio betono arba skiedinio mišinys, kuriame mažiau vandens. Pilamas į jau sudrėkintą mišinį. Minimalus įmaišos kiekis – 0,2 %, maksimalus – 1,0 % cemento ir mikroužpildų masės. Įmaišos efektyvumui didinti rekomenduojama daryti bandomuosius mišinius, nes įmaišos dozei įtakos turi užpildų rūšis jų granulimetrinė sudėtis, maišymo trukmė, mišinio tankinimo būdas ir kitos įmaišos.

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 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. Atlikus tyrimus nustatytos fizinės – mechaninės savybės pateiktos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Pagrindinės betono su superplastikliu REBAmix F2 (FM) savybės

Betono savybė	Be įmaišos	Su REBAmix F2 (FM)
Vandens kiekis normalaus tirštumo tešlai, %	27,3	23,5
Vandens kiekio sumažėjimas, %	-	14,75
Rišimosi pradžia, min	115	120
Rišimosi pabaiga, min	230	185

(Naujokaitis 2007).

Skystasis stiklas – natrio silikato skystasis stiklas (Na_2SiO_3) tai orinė skysta rišančioji medžiaga. Skystojo stiklo žaliava kvarcinio smėlio ir kalcinuotos sodos (Na_2CO_3) arba potašo (K_2CO_3) mišinys, kuris lydomas 1300 – 1400 °C temperatūroje. Skystojo stiklo tankumas – 1,3 – 1,5, vandens jame yra apie 50 – 70 %. Pagrindinė skystojo stiklo dalis – natrio arba kalio silikatas. Dydis n vadinamas skystojo stiklo moduliū. Kuo mažesnis modulis, tuo lengviau tirpsta luitas vandenyje. Plačiau vartojamas skystasis natrio stiklas (ugniai atspariems betonams, rūgštims atspariems skiediniams ir betonams gaminti) (Interneto prieiga: www.vedrana.lt).

1.2.3. Naujos kartos priedai

Paprasčiausias ir efektyviausias būdas pakeisti betono mišinio savybes ir padidinti jo kokybę yra sukurti technologijas panaudojant cheminius priedus.

Šiuolaikinėje betono gamybos technologijoje cheminiai priedai tampa tokie pat svarbus, kaip ir rišamosios medžiagos, užpildai ir vanduo betono mišinyje. Priedų naudojimas yra efektyviausias būdas gauti kuo geresnės kokybės betoną, nenaudojant labai didelių išlaidų. Betono mišiniuose naudojant šiuolaikinius priedus gali būti pasiektas didelis stipris, vandens nepralaidumas, atsparumas šalčiui ir betono ilgaamžiškumas.

Priedai, priklausantys atitinkamai normai plastifikatorių ir superplastifikatorių klasei, žinomi jau nuo 30 – ujų metų, praeito amžiaus.

1.3 lentelė. Priedų, naudojamų praeito amžiaus nuo 30 – ujų metų, sąrašas

Metai	Pagrindiniai cheminiai priedai	Vandens sumažėjimas, %
1932	Sulfoninti naftalenformaldehydai	15 – 25
1939	Lignosulfonatai	5 – 15
1960	Sulfoninti melaminformaldehydai	10 – 25
1993	Polikarboksilatai (akrilatai)	20 – 30
1997	Polikarboksilato esteriai	25 – 40

Tirpūs vandenyje polimeriniai plastifikuojantys priedai įgalina suformuoti paviršinę plėvelę, pristabdyti pradinę hidrataciją ir kt. Savo ruožtu plastifikuojantis veiksnys, kaip žinoma, priklauso nuo molekulinės sandaros, prigimties, apimties ir hidrofilinių grupių padėties, molekulinės masės ir kt.

Ekonominiu požiūriu prieinamiausi techniniai lignosulfanatai (LST). Šių polimerų sandaroje yra iki 20 struktūrinių vienetų, kurių molekulinė masė 20000 – 30000 g/mol. Tik dalis turi sulfonatų

grupe. LST molekulė apgaubia cemento daleles plėvele, turinčia neigiamą krūvį. Elektrostatinės jėgos padeda nedaug atstumti daleles ir padidinti klojingumą.

Kiekvienas struktūrinis fragmentas suteikia didelį efektą cemento dalių dispergavimui palyginti su lignosulfonatais. Hidratacijos proceso lėtėjimas priklauso nuo priedų dozavimo.

Prie naujos kartos superplastifikatorių, polikarboksilato ir akrilato pagrindu, priklauso junginiai, suteikiantys betono tešlai didelį slankumą esant žemoms V/C vertėms (iki 0,28 – 0,3), kai gaminami tankūs betonai. Betono sudėtyje dėl polikarboksilatų poveikio modifikuojasi kopolimerai. Jų pagrindinė grandinė yra molekulės su laisvomis karboksilinėmis grupėmis ir dažnai su natrio druskomis.

Naujų superplastifikatoriaus rūšių sintezės procesų ir savybių įvairovė suteikia galimybę reguliuoti betono mišinio reologines savybes ir vandens mažinimą.

1.2.4. Kompanijos „Poliplast“ priedai betonams

Šiuolaikinėje statyboje dažnai yra naudojamas betonas ir gaminiai iš jo. Statybų kokybė yra susijusi su betono kokybe.

Šiuo metu priedai, kurie yra įvedami nedideliais kiekiais, naudojami įvairių klasių betonuose, taip pat yra kuriami nauji betonai, tokie kaip didelio stiprio, savaime susitankinantis betonas.

Grupės „Poliplast“ pagrindiniai plastifikatoriai yra priedai Poliplast 1 ir Poliplast 3, kurie pasireiškia kaip cheminės sintetinės įmaišos. Pagrindinė priedo Poliplast 3 savybė yra išlaikyti betono mišinio slankumą iki 1,5 valandos.

Norint išsaugoti betono oro įsiurbtį yra sukurti nauji plastifikatoriai, savo sudėtimi jie niekuo nesiskiria nuo pastarųjų, tačiau sumažina oro kiekį betono mišinyje iki 1,8 – 2,2 % .

Kad betonas kuo greičiau pasiektų savo stiprį, yra sukurtas kitas priedas – Relamiks. Šis priedas padeda kuo greičiau pasiekti betonui stiprį, kartais net nenaudojant pašildymo.

Betono modifikatorius PFM – NLK – plastifikatoriaus mišinys su orų įsiurbiančiais bei hidrofobiniais komponentais. Naudojant šį priedą, parenkant atitinkamą betono sudėtį, yra gaunami vandeniui nepralaidūs betonai, atsparūs plyšimams bei šalčiui. Atsparumas šalčiui panaudojus šį priedą gali siekti iki 400 ciklų.

Kad būtų galima dirbti statybos darbus žiemos metu, kompanija „Poliplast“ sukūrė priedus su prieš šaltiniu efektu: Krioplast SP15 – 1, Krioplast SP15 – 2, Krioplast P25 – 1. Šie priedai leidžia atlikti statybos darbus -15 – -25°C temperatūroje, tai pat gauti aukštos kokybės betonus, kuriuos galima transportuoti esant neigiamai temperatūrai iki klojimo vietos.

2006 – 2007 m. kompanija „Poliplast“ išleido naujų rūšių priedų.

Plastifikatorių grupę papildė naujas superplastifikatorius Poliplast 2VU, svarbiausia jo savybė išlaikyti vandenį betono mišiniuose. Mišiniai išlaiko vienalytiškumą ir turi pakankamą slankumą, o

laikas per kurį mišinys pristatomas į statybos aikštelę, nepakeičia mišinio savybių. Plonų konstrukcijų gamybai yra naudojamas kitas plastifikatorius – Poliplast SUB, kuris skirtas savaime susitankinantiems betonams (Макишаева 2007).

Nauji priedai, kurie pagreitina stiprio gavimą, Relamiks H ir Relamiks S. Jie išsiskiria labai mažu kiekiu betone – 0,3 – 0,4 % cemento masės. Relamiks S leidžia gauti glotnų paviršių, tokia savybė ypač svarbi, kai yra labai dideli reikalavimai gaminio paviršiui.

Kad būtų galima prailginti betono mišinio gyvavimo laiką, yra sukurtas priedas Poliplast – 180. Betono slankumas yra išlaikomas iki trijų valandų, betonas greičiau įgauna savo stiprį, o taip pat yra išvengiama betono išsisluoksniavimo (Ратинов 1989).

Didelio stiprio betono gamybai yra sukurtas priedas-modifikatorius Poliplast – 3 MB. Mišiniai su šiuo priedu turi didesnę slankumą, betono klasė pagal stiprį yra V80.

Kompanija „Poliplast“ yra lyderis gaminant įvairius priedus, nuolat ieško sprendimų gaminant naujus, orientuojasi į naudotojų poreikius. Pagrindinė gaminamų produktų savybė yra jų kokybės išlaikymas (Макишаева 2007).

Kompanija „Poliplast“ gamina didelį asortimentą priedų įvairių savybių.

Betono ir gelžbetonio gamybos technologijos reikalauja priedų, atliekančių įvairias funkcijas, plastifikatoriaus betono kietėjimo greitiklio arba lietiklio efektu, tam, kad gauti didelio atsparumo šalčiui betoną (Вовк 2006).

1.2.5. Plastifikuojantys priedai, pateikiami Lietuvos rinkai

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

Plastifikatorius Winmix – 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.

Sikament® BV 3 M – tai universalus plastifikatorius, skirtas visų rūšių betonavimo darbams, ypači grindų betonavimui (taip pat šildomoms grindims) bei pamatams.

1.2.6. Priedų įtaka betono savybėms

Didinti statybos efektyvumą yra vienas iš svarbiausių technikos ir ekonomikos uždavinių. Efektyvias medžiagas ir konstrukcijas, atitinkančias šiuolaikinius eksploatacinius reikalavimus, galima sukurti tik optimaliai parenkant ir išdėstant jas sudarančius komponentus. Tiksliai parinkus visų komponentų, iš kurių gaminama medžiaga, dalių santykį, galima gauti visas norimas savybes. Tačiau daugiakomponentės medžiagos savybės priklauso ne tik nuo komponentų santykio, bet ir nuo jų savybių, tarpusavio sąveikos, išsidėstymo gaminyje, gamybos būdo ir daugelio kitų veiksnių (Deltuva 2000).

Šiuo metu plačiai naudojami plastikliai ir kiti betono priedai. Juos naudojant pasiekama minimali V/C riba. Dėl to labai sumažėja cementinės tešlos tūris, kurio ne visuomet pakanka, kad būtų užpildytos užpildo tuštymės. Todėl atsirado aktualus poreikis mažinti užpildų tuštumingumą (Skripiūnas 1996).

Plastifikuojančių priedų poreikis gaminant betoną, tiek Lietuvoje, tiek ir kitose šalyse nuolat didėja. Efektyviausi šiuo metu gaminami plastifikuojantys priedai – superplastikliai – tai melamino 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 %) (Skripiūnas 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.

1.2.7. Efektyvus plastifikatorių panaudojimas betonuose

Plečiantis monolitinei statybai pastaraisiais metais pradėjo augti ir plastifikatorių panaudojimas įvairių klasių ir markių betonams, tačiau jų panaudojimas turi būti racionalus. Pirmasis patentas plastifikatoriui buvo išduotas prieš 70 metų. C – 3 superplastifikatorius buvo pradėtas plačiai naudoti 1978 metais (Калашников 1999). Plastifikatoriai buvo gaminami tokie, kad jų pridėjus buvo galima gauti tokį betono mišinį, kuriame būtų kuo mažiau vandens ir būtų kuo didesnis stipris, tankis ir vandens pralaidumas, kuris gaunamas sumažinant V/C santykį betono mišinyje, nekeičiant cemento kiekio. Sumažinant V/C santykį panaudojant plastifikatorių galima reguliuoti betono savybes. Plastifikatoriai yra naudojami sumažinti cemento ir vandens sąnaudoms.

Pagal priimtas normas panaudojant superplastifikatorius betono mišinyje vandens kiekis yra sumažinamas iki 20 %, taip pat padidinamas betono mišinio slankumas nuo 2 – 4cm iki >20 cm, nekeičiant vandens kiekio mišinyje. Tačiau gali įvykti ir šalutiniai efektai, tokie kaip, padidėję oro įsiurbimas į betono mišinį, padidėjęs betono nusėdimas.

Dažniausiai plastifikatorių kiekis neturi neviršyti 0,4 – 0,8 % nuo cemento masės, tačiau kartais gali būti naudojama iki 3 %. Plastifikatoriai gali būti sauso pavidalo arba skysto.

Palyginus neseniai pasirodė nauja įmaišų rūšis, kuri leidžia sumažinti vandens kiekį iki 30 % t.y. hiperplastifikatoriai. Jų kiekis betono mišinyje neturi viršyti 0,2 – 0,4 % (Барраков 1990).

Įvairioms cemento rūšims yra naudojami skirtingi priedai. Plastifikatorius C – 3 (Poliplast –1) yra naudojamas betonuose, kurie yra tankinami vibruojant, tam, kad būtų galima gauti didesnio stiprio betoną ir sumažinti cemento sąnaudas. Melment F10 yra naudojami didelio stiprio betonams ir gaminat sausų statybinių mišinių (Несветаев 2002; Макишаева 2007).

1.3. Betono mišinio sudėčių parinkimo principai

Mišinio sudėties parinkimo tikslas – atsižvelgiant į gamybos technologiją nustatyti tokių komponentų santykį, kad mišinys būtų reikiamo slankumo, betono konstrukcijos – pakankamo stiprumo ir kitų būtinų savybių. Kartu savrbu įvertinti ir ekonominius reikalavimus: galima 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. Būtinios 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 klasė.

Betono sudėčiai parinkti taikomos įvairios matematinės jo savybių ir įvairių kitų charakteristikų priklausos. 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 gniuždomajam stiprumui, bet ir kitoms fizinėms bei mechaninėms savybėms: tamprumo ir deformacijų moduliui, susitraukimo ir valkšnumo deformacijoms ir kt. Nustatyta, kad kuo daugiau smulkiųjų frakcijų, tuo tamprumo ir deformacijų moduliai mažesni, susitraukimo ir valkšnumo 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 (Statybos 2004).

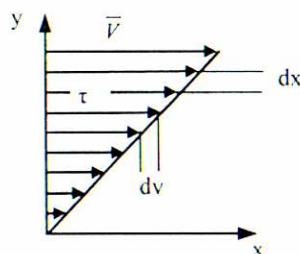
1.4. Betono mišinio slankumo tyrimas

Mišiniui tekant (jo transportavimo arba tankinimo metu), jeigu tekėjimas laminarinis, atskiri mišinio sluoksniai juda skirtingais greičiais (1.1 pav.). Sluoksniai, esantys arčiau sienelės, kuri turi įtakos mišinio tekmei, teka mažesniu greičiu (V), sluoksniai, esantys toliau nuo sienelės, teka didesniu greičiu ($V+dV$). Jeigu atstumas tarp skirtingais greičiais tekančių sluoksnių dx , tai tekėjimo greičio gradientas γ apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\gamma = \frac{dV}{dx}, \quad (1.1)$$

čia: dV - greičių skirtumas tarp sluoksnių;

dx - atstumas tarp sluoksnių.



1.1 pav. Mišinio tekėjimo schema

Mišinio tekėjimą sukelia tam tikras slėgis arba jėga F . Šios jėgos santykis su sluoksnių sąveikos paviršiaus plotu vadinamas šlyties įtempimas τ .

$$\tau = \frac{F}{A}, \quad (1.2)$$

čia: F - jėga, veikianti mišinį ir priverčianti jį tekėti;

A - sluoksnių sąveikos paviršiaus plotas.

Ryšį tarp greičio gradiento arba skysčio tekėjimo greičio ir šlyties įtempimų, arba slėgio (jėgos), sukeliančio skysčio tekėjimą, nusako tekėjimo lygtis. Tikrojo skysčio (Niutoninio) tekėjimo lygtis:

$$\tau = \eta \cdot \gamma, \quad (1.3)$$

čia: τ - šlyties įtempimai, Pa;

γ - greičio gradientas, s^{-1} ;

η - klampio, Pa s.

Proporcingumo koeficientas tarp greičio gradiento ir šlyties įtempimų, kurie sukelia tą greičio gradientą, vadinamas klampiu η .

Struktūriniai skysčiai, kokie paprastai ir būna statybiniai mišiniai, pradeda tekėti ne iš karto, o tik pasiekus šlyties įtempimams arba slėgiui, kuris veikia skystį, tam tikrą dydį, kuris suardo vidinės struktūros ryšius. Jiems būdinga dar viena reologinė charakteristika - ribiniai šlyties įtempimai τ_0 . Ribiniai šlyties įtempimai - tai šlyties įtempimai, sukeltantys skysčio tekėjimą.

Mišinio klojumas (konsistencija) - tai mišinio gebėjimas užpildyti formą ir sutankėti klojimo metu. Mišinio konsistencija gali kisti nuo labai standžios (mažo drėgnumo mišinys) iki labai plastiškos (takūs mišiniai). Naudojami ir savaime sutankėjantys mišiniai, kuriems tankinti nereikalingas joks mechaninis poveikis. Šie mišiniai, veikiami savojo svorio, pasklinda formoje ir sutankėja pasišalinant orui iš mišinio, tačiau vanduo iš mišinio neatsiskiria ir mišinys neišsisluoksniuoja (Deltuva 1982).

2. METODINĖ DALIS

2.1. Užpildų tyrimo metodai

2.1.1. Smėlio piltinio tankio nustatymas

Smėlio piltinis tankis buvo nustatomas, sveriant sausą smėlį standartiniame žinomo tūrio inde.

Smėlis prieš bandymą buvo išdžiovinamas 110 ± 5 °C temperatūroje iki pastovios masės ir ataušinamas iki kambario temperatūros. Sausas švarus 1 litro (dm^3) talpos matavimo indas pastatomas ant horizontalaus paviršiaus po kūgiu. Smėlis laboratoriniu samteliu buvo pilamas į kūgį iš ne didesnio kaip 5 cm aukščio nuo indo viršaus. Kūgio apatinė sklendė atidaroma ir smėlis pilamas tol, kol pradeda byrėti per matavimo indo kraštus. Smėlio perteklius metaline liniuote nubraukiamas lygiai su matavimo indo kraštais, nesutankinant smėlio viršutinio sluoksnio.

Matavimo indas su smėliu buvo pasveriamas 0,2 % tikslumu. Piltinis tankis nustatomas tris kartus, o gauti rezultatai įrašomi į 2.1 lentelę.

2.1 lentelė. Smėlio piltinio tankio tyrimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetai	Bandiniai		
		1	2	3
Tuščio indo masė	m, g	202		
Indo su smėlio bandiniu masė	m_1 , g	1839	1852	1849
Indo tūris	V, cm^3	1000		
Smėlio piltinis tankis	$\rho_{s.pl}$, g/cm^3	1,637	1,65	1,647
Vidurkis	$\rho_{s.pl.vid}$, g/cm^3	1,645		

$$\rho_{s.pl} = \frac{m_1 - m}{V}, \text{ g / cm}^3. \quad (2.1)$$

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.

Smėlio dalelių tankis buvo nustatomas pagal tam tikros masės sauso smėlio tūrį piknometre.

Į piknometrą supilama 15 g išdžiovinto iki pastovios masės smėlio (prasijoto per 2,5 mm sieta, pasverto 0,01 g tikslumu). Paskui į piknometrą pripilama distiliuoto vandens. Šis mišinys turi užimti trečdalį piknometro tūrio.

Piknometras pasvirai statomas į smėlio arba vandens vonią. Piknometro turinys buvo kaitinamas 15-20 min, kol iš smėlio grūdelių tarpų pasišalina oro burbuliukai. Paskui piknometras ataušinamas iki kambario temperatūros, jo išorinis paviršius nusausinamas. Į piknometrą iki žymės pripilama distiliuoto vandens. Vandens menisko apatinė žymė turi sutapti su piknometre esančia žyme. Piknometras su smėliu ir vandeniu pasveriamas 0,05 g tikslumu. Tada piknometro turinys išpilamas, piknometras išplaunamas, jo paviršius nusausinamas. Į jį iki žymės buvo pripilama distiliuoto vandens. Vandens menisko apatinė žymė sutapo su piknometre esančia žyme. Vandens pilnas piknometras pasveriamas 0,05 g tikslumu. Gauti tyrimo rezultatai įrašomi 2.2 lentelę:

2.2 lentelė. Smėlio dalelių tankio nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetai	Bandiniai	
		1	2
Smėlio masė	m, g	15	
Piknometro su vandeniu masė	m ₁ , g	36,3	38,4
Piknometro su smėliu ir vandeniu masė	m ₂ , g	45,4	47,5
Smėlio dalelių tankis	ρ _{s,t} , g/cm ³	2,586	2,542
Vidurkis	ρ _{s,t,vid} , g/cm ³	2,564	

$$\rho_{s,t} = \frac{m \cdot \rho_v^*}{m + m_1 - m_2}, \text{ g / cm}^3 \quad (2.2)$$

2.1.3. Smėlio tuštymėtumo nustatymas

Nustačius ir apskaičiavus smėlio dalelių tankį ir piltinį tankį, buvo apskaičiuotas smėlio tuštymėtumas jis buvo randamas pagal formulę:

$$T = ((\rho_{s,t} - \rho_{s,pl}) / \rho_{s,t}) \cdot 100, \% \quad (2.3)$$

$$T = ((2,564 - 1,645) / 2,564) \cdot 100 = 35,842\%.$$

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

2.1.4. Smėlio drėgnio nustatymas

Užpildo drėgnis - tai užpilde esančio vandens masės ir sauso užpildo masės santykis.

Šis rodiklis buvo nustatomas pagal smėlyje esančio vandens masę.

Smėlio bandinys 1000 g buvo pasveriamas 2 % tikslumu ir supilamas į metalinį indą, kurio masė žinoma. Paskui išdžiovinamas 110 ± 5 °C temperatūroje iki pastovios masės. Išdžiovintas bandinys pasveriamas su indu 2 % tikslumu, indo masė atimama. Gauti tyrimo rezultatai įrašomi į 2.3 lentelę.

2.3 lentelė. Smėlio drėgnio nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetai	Bandiniai
Smėlio bandinio masė	m,g	2944
Išdžiovinto smėlio masė	m_1 ,g	2886,01
Smėlio drėgnis	$W_s = ((m - m_1) / m_1) \cdot 100$	2,01

2.1.5. Smėlio granulimetrinės sudėties ir stambumo modulio nustatymas

Granulimetrinė sudėtis tai užpildo dalelių pasiskirstymas pagal stambumą, išreikštas išbirų per nustatytą sietų skaičių masės procentais. Smėlio granulimetrinė sudėtis buvo nustatoma sijojant smėlį pro standartinių sietų rinkinį.

Smėlio bandinys buvo išdžiovinamas 110 ± 5 °C temperatūroje ir atsveriamas 1000 g smėlio. Atsvertas smėlis rankomis arba mechaniniu sijotuvu sijojamas pro standartinių sietų kolonėlę. Sietai su didesnėmis akutėmis dedami viršuje, o smulkesnėmis - apačioje. Sijoti baigiama, kai per 1 min pro kiekvieną sietą persijojama ne daugiau kaip 0,1 % bandinio masės. Gauti tyrimo rezultatai įrašomi į 2.4 lentelę ir braižomas smėlio granulimetrinės sudėties grafikas pateiktas 2.1 paveikle.

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

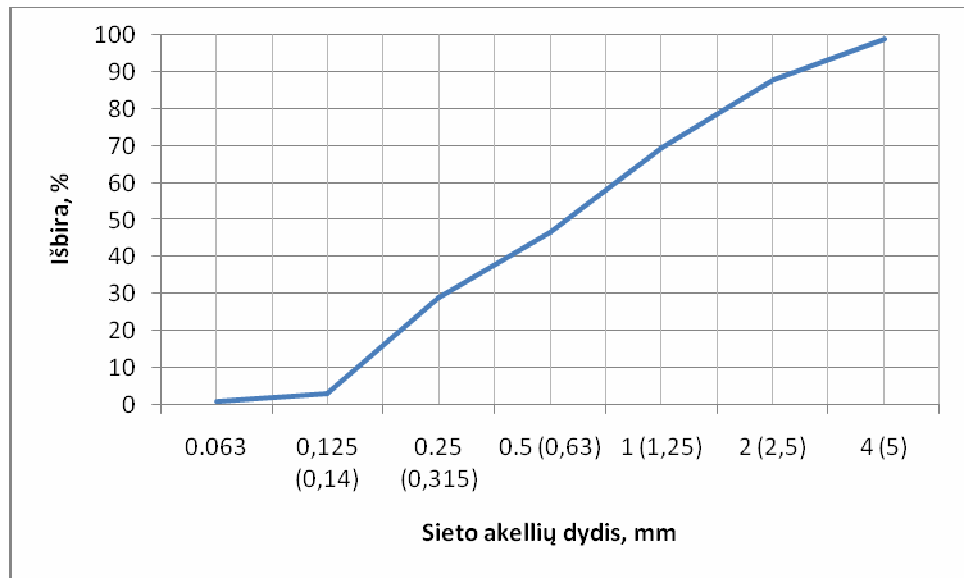
Sieto akelių dydis, mm	Smėlio liekana ant sieto m_i , g	Dalinė liekana a_i , %	Suminė liekana A_i , %	Išbira B_i , %
4 (5)	11,87	1,187	1,19	98,81
2 (2,5)	108,85	10,89	12,08	87,92
1 (1,25)	183,85	18,39	30,47	69,53
0.5 (0,63)	229,22	22,92	53,39	46,61
0.25 (0,315)	175,28	17,53	70,92	29,08
0,125 (0,14)	260,31	26,03	96,95	3,05
0,063 (-)	20,59	2,10	99,05	0,95
Masė P ant dugno, g		3,29		
$\Sigma m_i + P$, g		993,26		
$100[m - (\Sigma m_i + P)]/m < 1$, %		0,674 % < 1 %		

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

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \% \quad (2.4)$$

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

Suminės liekanos ant kiekvieno sieto A_j , % skaičiuojamos kaip suma dalinių liekanų ant skaičiuojamojo sieto ir didesnių akučių (viršutinių) sietų.



2.1 pav. Smėlio granulimetrinės sudėties kreivė

Išbiros pro kiekvieną sietą B_j , % apskaičiuojamos pagal formulę:

$$B_j = 100 - A_j, \% \quad (2.5)$$

čia A_j - suminė liekana ant kiekvieno sieto, %.

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

$$M_s = \frac{A_2 + A_1 + A_{0.5} + A_{0.25} + A_{0.125}}{100}, \quad (2.6)$$

$$M_s = \frac{12,08 + 30,47 + 53,39 + 70,92 + 96,95}{100} = 2,638.$$

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.

2.1.6. Žvirgždo piltinio tankio nustatymas

Užpildo piltinis tankis buvo nustatomas sveriant sausą užpildą standartiniame žinomo tūrio inde.

Sausas, švarus matavimo indas buvo pasveriamas ir pastatomas ant horizontalaus paviršiaus. Žvirgždas laboratoriniu samteliu pilamas į matavimo indą iš ne didesnio kaip 5 cm aukščio nuo matavimo indo viršaus, kol pradeda byrėti per matavimo indo kraštus. Pilant žvirgždą, samtelis judinamas į šalis. Žvirgždo perteklius buvo nubraukiamas strypu lygiai su matavimo indo kraštais,

nesutankinant žvirgždo viršutinio sluoksnio. Matavimo indas su užpildu buvo pasveriamas 0,2 % tikslumu. Buvo bandomi trys bandiniai, o gautieji rezultatai įrašomi į 2.5 lentelę.

2.5 lentelė. Smėlio piltinio tankio tyrimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetai	Bandiniai		
		1	2	3
Tuščio indo masė	m, g	308	309	309
Indo su žvirgždu masė	m ₁ , g	3195	3204	3191
Indo tūris	V, cm ³	2000		
Žvirgždo piltinis tankis	ρ _{ž.pl.} , g/cm ³	1,444	1,448	1,441
Vidurkis	ρ _{ž.pl.vid.} , g/cm ³	1,444		

$$\rho_{z.pl} = \frac{m_1 - m}{V}, g/cm^3 \quad (2.7)$$

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.

Bandiniai buvo išdžiovinti džiovinimo spintoje 110 ± 5 °C temperatūroje ir pasveriami. Paskui bandiniai merkami į indą su vandeniu, kad virš užpildo paviršiaus būtų ne plonesnis kaip 2 cm storio vandens sluoksnis. Užpildas buvo mirkomas 2 val.

Tada užpildas išimamas iš vandens ir tuoj pat sveriamas svarstyklėmis, o vėliau - hidrostatinėmis svarstyklėmis. Bandymas kartojamas su antruoju bandiniu. Gautieji rezultatai įrašomi į 2.6 lentelę.

2.1.8. Žvirgždo tuštymėtumo nustatymas

Tuštymėtumas - tai birios medžiagos tuštumų, esančių tarp grūdelių, tūrio ir viso tūrio santykis. Birių medžiagų, tokių kaip žvirgždas tuštumos susidaro tarp atskirų grūdelių.

Nustačius ir apskaičiavus žvirgždo dalelių tankį ir piltinį tankį, buvo apskaičiuotas žvirgždo tuštymėtumas pagal formulę:

$$T = \frac{\rho_{z,t} - \rho_{z,pl}}{\rho_{z,t}} \cdot 100, \% \quad (2.8)$$

$$T = \frac{2,537 - 1,444}{2,537} \cdot 100 = 43,082\%.$$

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

2.6 lentelė. Žvirgždo dalelių tankio nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai		
		1	2	3
Sausojo žvirgždo masė	m,g	300		
Įmirkytojo žvirgždo masė ore	m_1, g	305,3	305,06	307,25
Vandenyje pasverta žvirgždo masė	m_2, g	189,01	186,54	187,09
Žvirgždo dalelių tankis	$\rho_{z,t}, \text{g/cm}^3$	2,58	2,531	2,5
Vidurkis	$\rho_{z,t,vid}, \text{g/cm}^3$	2,537		

Čia: ρ_v - vandens tankis (1 g/cm^3).

2.1.9. Žvirgždo vandens įmirkio nustatymas

Žvirgždo įmirkis buvo nustatomas įmirkant stambų užpildą vandenyje ir apskaičiuojant įgertojo vandens kiekį.

Žvirgždo bandinio masė priklauso nuo didžiausiojo užpildo dalelių stambumo D_{\max} . Išdžiovintas žvirgždo bandinys ($110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje) buvo merkiamas į vandenį. Vandens sluoksnis virš bandinio buvo ne plonesnis kaip 2 cm. Bandinys laikomas vandenyje 48 val. Paskui išimtas iš vandens ir pasvertas. Gauti bandymo rezultatai įrašomi į 2.8 lentelę.

2.7 lentelė. Žvirgždo vandens įmirkio nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai		
		1	2	3
Sausojo žvirgždo bandinio masė	m,g	300		
Įmirkytojo žvirgždo bandinio masė	m ₁ ,g	305,3	305,06	307,25
Smėlio drėgnis	$W_i = ((m - m_1) / m_1) \cdot 100$	1,767	1,687	2,417
Vidurkis	$W_{i,vid}, \%$	1,957		

2.1.10. Žvirgždo drėgno nustatymas

Užpildo drėgnis tai užpilde esančio vandens masės ir sausojo užpildo masės santykis.

Žvirgždo drėgnis buvo nustatomas pagal drėgno užpildo masės sumažėjimą ji išdžiovinus.

Bandinio masė priklauso nuo stambiojo užpildo didžiausiojo dalelių stambumo. Žvirgždo bandinys supilamas į metalinį indą ir pasveriamas. Paskui bandinys išdžiovinamas džiovavimo spintoje 110 ± 5 °C temperatūroje iki pastovios masės. Išdžiovintas bandinys su indu vėl sveriamas. Gautieji bandymo rezultatai įrašomi į 2.8 lentelę.

2.8 lentelė. Žvirgždo drėgno nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai
Žvirgždo bandinio masė	m,g	3772
Išdžiovinto žvirgždo masė	m ₁ ,g	3766
Žvirgždo drėgnis	$W_s = ((m - m_1) / m_1) \cdot 100$	0,159

2.1.11. Žvirgždo granulimetrinės sudėties nustatymas

Užpildo granulimetrinė sudėtis nustatoma pagal liekanas ant sietų, susidariusias sijojant sausąjį užpildą per standartinių sietų rinkinį.

Bandinio masė parenkama pagal stambiojo užpildo didžiausiąjį dalelių stambumą. Žvirgždo bandinys išdžiovinamas 110 ± 5 °C temperatūroje iki pastovios masės. Iš išdžiovintos imties buvo atsveriamas 3000 g žvirgždo. Atsvertas žvirgždas rankomis buvo sijojamas per standartinių sietų kolonėlę. Sietai su stambesnėmis akutėmis dedami viršuje, o su smulkesnėmis - apačioje. Sijoti

baigiama, kai per 1 min pro kiekvieną sietą persijojama ne daugiau kaip 0,1 % bandinio masės. Gauti tyrimo rezultatai įrašomi į 2.9 lentelę ir braižomas stambiojo užpildo granulimetrinės sudėties grafikas, kuris pateiktas 2.2 paveiksle.

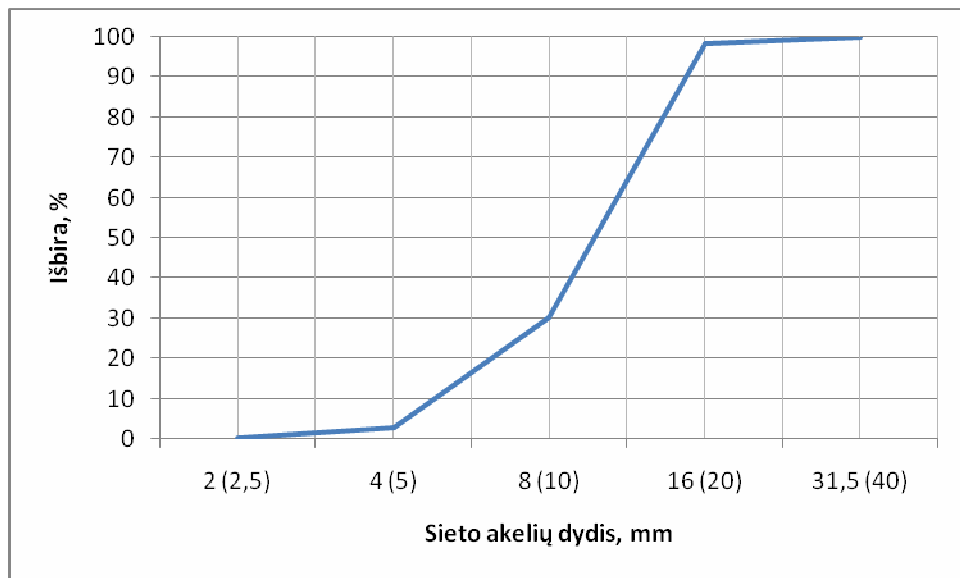
2.9 lentelė. Žvirgždo dalinių, suminių liekanų ir išbirų nustatymo rezultatai

Sieto akelių dydis, mm	Žvirgždo liekana ant sieto m_i , g	Dalinė liekana $A_i >$ %	Suminė liekana A_i , %	Išbira B_i , %
31,5 (40)	0	0	0	100
16 (20)	45	1,5	1,5	98,5
8 (10)	2049	68,3	69,8	30,2
4 (5)	816	27,2	97	2
2 (2,5)	83	2,77	99,77	0,23
Bandinio masė m , g			3000	
Masė P ant dugno, g			5	
$\Sigma m_i + P$, g			2998	
$100 [117 - (\Sigma m_j + P)] / m <$ 1, %			0,067 < 1 %	

Dalinės liekanos ant kiekvieno sieto a_i apskaičiuojamos pagal formulę:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \% \quad (2.10)$$

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



2.2 pav. Žvirgždo granulimetrinės sudėties kreivė

Suminės liekanos ant kiekvieno sieto A_j skaičiuojamos kaip dalinių liekanų ant skaičiuojamojo sieto ir dalinių liekanų ant sietų su stambesnėmis akutėmis suma. Išbiros per kiekvieną sietą B_j apskaičiuojamos pagal formulę:

$$B_j = 100 - A_j, \% \quad (2.11)$$

čia A_j - suminė liekana ant kiekvieno sieto, %.

2.2. Portlandcemenčių tyrimo metodai

2.2.1. Portlandcemenčio piltinio tankio nustatymas

Nustatyti laisvai supilto portlandcemenčio masės ir jo užimamo tūrio santykį

Pasveriamas standartinis indas ir pastatomas ant horizontalaus paviršiaus po bandymo kūgiu. Portlandcementis į bandymo kūgį pilamas laboratoriniu samteliu iš ne didesnio kaip 5 cm aukščio nuo jo viršaus. Kūgio dugne esanti sklendė atidaroma ir portlandcementis pilamas tolygiai į visą indą tol, kol jis pradeda byrėti per indo kraštus. Tada kaupas nubraukiamas metaline liniuote. Indas su portlandcemenčiu pasveriamas ir apskaičiuojamas portlandcemenčio piltinis tankis. Gautieji rezultatai įrašyti į 2.10 lentelę.

2.10 lentelė. Portlandcemenčio piltinio tankio tyrimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai 1		Bandiniai 2	
		1	2	1	2
Indo masė	m,g	201,78			
Indo su cementu masė	m ₁ , g	1210,36	1233,77	1330,96	1320,84
Indo tūris	V,cm ³	1000			
Portlandcemenčio piltinis tankis	$\rho_{c.pl}$, g/cm ³	1,01	1,03	1,13	1,12
Vidurkis	$\rho_{c.pl,vid}$, g/cm ³	1,02		1,13	

$$\rho_{c.pl} = \frac{m_1 - m}{V}, g / cm^3 \quad (2.12)$$

2.2.2. Portlandcemenčio savitojo tankio nustatymas

Savitasis sauso portlandcemenčio tankis tai jo dalelių masės ir jų užimamo tūrio santykis.

Į piknometrą supilamas pasirinktas kiekis žibalo (apie 5 – 7 ml). Paskui pasveriamas 3 g portlandcemenčio miltelių ir supilama į piknometrą. Piknometras atsargiai pavartomas, kad pasišalintų oras, ir 10 min. leidžiama mišiniui nusistovėti. Tada nustatomas žibalo tūrio padidėjimas. Jis atitinka portlandcemenčio miltelių tūrį. Gauti rezultatai įrašomi į 2.11 lentelę ir pagal formulę apskaičiuojamas portlandcemenčio savitasis tankis.

2.11 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	1,04	1,1
Portlandcemenčio savitasis tankis	$\rho_{c.t}=m/V$, g/cm ³	2,88	2,73

2.2.3. Portlandcemenčio savitojo paviršiaus nustatymas

Portlandcemenčio savitasis paviršius buvo nustatomas automatiniu Bleino aparatu (Testing). Laboratorijoje santykinis drėgnis buvo ne didesnis kaip 65 %, temperatūra $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Naudojama aparatūra ir medžiagos buvo laboratorijos temperatūros, apsaugotos nuo oro drėgmės poveikio. Cemento savitajam paviršiui nustatyti rekomenduojama jo sluoksnelių tūtoje daryti $e = 0,500$ poringumo. Tokiu atveju reikalingas bandiniui cemento kiekis m , apskaičiuojamas taip:

$$m_1 = 0,500 \cdot \rho \cdot V, g \quad (2.13)$$

čia: ρ – cemento tankis, g/cm³ ;

V – cemento sluoksnelio prietaiso tūtoje tūris, cm³.

Ant į tūtą įdėto perforuoto sluoksnelio uždedamas filtro skritulėlis. Pasvertasis cementas m_1 atsargiai, be nuostolių suberiamas į tūtą. Cementas tūtoje, atsargiai pastuksenamas, išlyginamas ir ant jo paviršiaus uždedamas filtro skritulėlis. Į tūtą įstatomas tūtos plunžeris ir atsargiai spaudžiamas tol, kol jo galvutės apačioje esantis ribotuvas pasieks tūtos briauną ir į ją atsirems. Poto plunžeris atsargiai patraukimas į viršų apie 5 mm, pasukamas 90°C kampu ir vėl atsargiau prispaudžiamas iki atramos. Plunžeris ištraukiamas. Gaunamas žinomo poringumo cemento sluoksnelis, pagal kurio pralaidumą orui apskaičiuojamas savitasis paviršius.

Atsargiai nesuardant suformuoto cemento sluoksnelio, tūtos kūgiškais galas įkišamas į tepalų pateptą aparato manometro vamzdelio specialiąją angą ir stebima, ar kinta skysčio lygis. Kai skysčio lygis pastovus, įjungiamas prietaisas.

Per tą patį cemento sluoksnelį oras perleidžiamas dar kartą, užrašant trukmę ir temperatūrą. Apskaičiuojamas gautų trukmių vidurkis.

Po to paruošimas antras bandinys – nustatomas jo pralaidumas.

Apskaičiuojamas savitasis paviršius S , gaunamas iš priklausomybės:

$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1\eta}} \times \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)}, \text{cm}^2 / g \quad (2.14)$$

čia: K – prietaiso konstanta;

e – sluoksnelio poringumas;

t – matavimo trukmė, s;

ρ – savitasis cemento tankis, g/cm³ ;

η – oro klampa (Pa·s) bandymo temperatūroje (2.12 lentelė)

2.12 lentelė. Oro klampis ir $\sqrt{0,1\eta}$ priklausomybė nuo temperatūros

Laboratorijos patalpos temperatūra, °C	Oro klampa, η , Pa·s	$\sqrt{0,1\eta}$
16	0,00001800	0,001342
17	0,00001805	0,001344
18	0,00001810	0,001345
19	0,00001815	0,001347
20	0,00001819	0,001349
21	0,00001824	0,001351
22	0,00001829	0,001353
23	0,00001834	0,001354
24	0,00001839	0,001356

Toliau 2.13 ir 2.14 lentelėse pateikiami CEM II/ A-LL 42,5 R ir CEM II/ A-S 42,5 N cementų bandymų rezultatai.

2.13 lentelė. Portlandcemenčio CEM II/ A-LL 42,5R savitojo paviršiaus nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai			
		1	2	3	4
Portlandcemenčio tankis	ρ , g/cm ³	3,0			
Portlandcemenčio kiekis	m, g	2,89			
Laikas (vidurkis)	t, s	128,01	131,95	132,60	135,48
Temperatūra	T, °C	21,2	21,5	21,7	22,1
Oro klampis	η , Pa·s	0,00001825	0,00001827	0,00001828	0,00001829
Savitasis paviršius	cm ² /g	4149,7536	4210,8252	4211,4277	4233,7551

2.14 lentelė. Portlandcemenčio CEM II/ A-S 42,5 N savitojo paviršiaus nustatymo rezultatai

Rodiklis	Žymuo ir matavimo vienetas	Bandiniai		
		1	2	3
Portlandcemenčio tankis	ρ , g/cm ³	3,0		
Portlandcemenčio kiekis	m, g	2,89		
Laikas (vidurkis)	t, s	77,10	89,87	87,14
Temperatūra	T, °C	22,2	22,2	22,2
Oro klampis	η , Pa·s	0,00001830	0,00001830	0,00001830
Savitasis paviršius	cm ² /g	3216,1288	3472,2711	3397,6738

(LST EN 196-6:1996).

2.2.4. Portlandcemenčio normalaus tirštumo tešlos nustatymas

Bandymui bus naudojami dviejų tipų portlandcemenčiai:

1. CEM II/ A-LL 42,5 R,
2. CEM II/ A-S 42,5 N.

Portlandcemenčio tešla vadinamas portlandcemenčio ir vandens mišinys. Tirštumas buvo nustatomas Viko prietaisu. Normalaus tirštumo portlandcemenčio tešla yra tokios konsistencijos, kad Viko prietaiso strypelis per 6 ± 1 mm nepasiekia žiedo dugno.

Nustatyti vandens kiekį, kuris būtinas, kad portlandcemenčio tešla būtų normalaus tirštumo.

Į indą supilama 125 g vandens. Pasveriami 500 ± 1 g portlandcemenčio ir per 7 ± 2 sek. suberiama į jau esantį vandenį, pastoviai maišant. Subėrus portlandcementį, maišoma tol kol gaunama vienalytė masė.

Viko prietaiso žiedas patepamas alyva ir su kaupu pripildomas paruoštos portlandcemenčio tešlos. Tešlos perteklius metaline liniuote švelniais pjovimo judesiais nubraukiamas taip, kad žiedas būtų pilnas, o paviršius lygus.

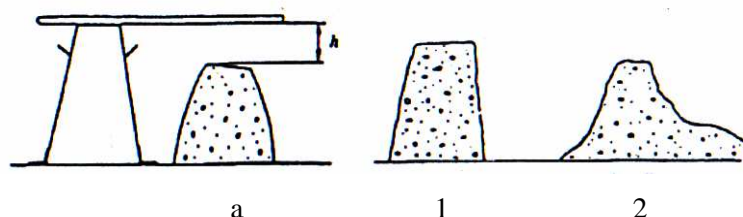
Metalinė plokštelė su žiedu, pripildytu portlandcemenčio tešlos, padedama po Viko prietaiso strypeliu ir šis nuleidžiamas taip, kad liestų žiede esančios portlandcemenčio tešlos paviršių. Praėjus 4 min. nuo bandymo pradžios, strypelis paleidžiamas smigti į tešlą. Po 30 s strypelis fiksuojamas. Nustatomas atstumas nuo metalinės plokštelės iki strypelio. Šis atstumas turi būti lygus 6 ± 1 mm. Jei atstumas yra didesnis, bandymas kartojamas didinant vandens kiekį (± 2 % nuo

sausų medžiagų masės) ruošiamoje portlandcemenčio tešloje. Jei atstumas yra mažesnis, bandymas kartojamas didinant portlandcemenčio kiekį ($\pm 2\%$ nuo sausų medžiagų masės) ruošiamoje portlandcemenčio tešloje. Bandymas baigiamas, kai gaunama normalaus tirštumo tešla. Gauti rezultatai pateikiami paveikslų grafikuose.

2.3. Betono mišinio slankumo tyrimas

Slankumo nustatymui buvo naudojama forma – tuščiaviduris nupjautinis kūgis, kuris buvo pastatomas ant horizontalios pagrindo plokštės, forma ir pagrindas sudrėkinami vandeniu.

Kūginė forma buvo pripildoma mišinio trimis vienodo storio sluoksniais, kiekvieną jų sutankinant 25 metalinio strypo dūriais. Mišinio paviršius nulyginamas nubraukiant mentele. Kūginė forma nuo bandinio turi būti atsargiai nutraukiama per (5 – 10 s) nuo mišinio ir pastatoma šalia jo. Mišinio suslūgimas gali būti taisyklingo arba netaisyklingo pobūdžio (2.3 pav.).



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

Jeigu mišinio suslūgimas netaisyklingo pobūdžio, bandymas kartojamas naudojant kitą mišinio bandinį iš tos pačios imties. Slankumas buvo nustatomas matuojant mišinio nuoslūgį – atstumą nuo aukščiausio mišinio taško iki kūginės formos viršaus (Skripkiūnas 2007).

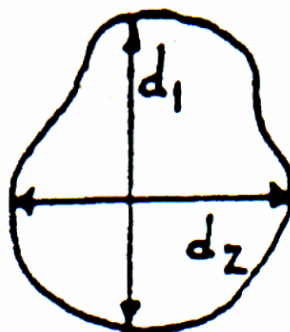
2.4. Betono mišinio sklidumo nustatymas

Sklidumui nustatyti buvo naudojamas kratymo staliukas ir kūginė forma. Kratymo staliukas padedamas ant plokščio horizontalaus pagrindo, turi būti galimybė lankstais pritvirtintą viršutinę kratymo staliuko plokštę pakelti į reikiamą aukštį iki viršutinio ribotuvo, kad staliuko plokštė galėtų laisvai kristi iki apatinio ribotuvo. Kratymo staliukas ir forma sudrėkinami, kad neliktų vandens pertekliaus. Metalinė kūginė forma pastatoma kratymo staliuko viršutinės plokštės centre. (2.4 pav.). Kūginė forma pripildoma betono mišiniu dviem vienodo aukščio sluoksniais, kiekvieną jų sutankinant dešimčia lengvų paspaudimų tankinimo strypu.



2.4 pav. Kratytuvas ir kūginė forma mišinio sklidumui nustatyti

Betono paviršius nulyginamas mentele. Kūginė forma atsargiai nutraukiama nuo mišinio. Atliekami 15 sukratymų pakeliant kratytuvo viršutinę plokštę už rankenos iki ribotuvo (40 ± 1 mm) ir paleidžiant laisvai kristi. Sklidumo rodiklis buvo nustatomas, išmatavus pasklidusio mišinio skersmenį (2.5 pav.) dviem statmenomis kryptimis ir apskaičiavus šių matavimų vidurkį.



2.5 pav. Pasklidimo matavimo schema

Sklidos vertė f yra apskaičiuojama pagal formulę:

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2}; \quad (2.15)$$

čia: d_1, d_2 – pasklidusio mišinio skersmenys, mm.

Pagal apskaičiuotą sklidumo vertę nustatyta sklidumo klasė F3 (Skripkiūnas 2007).

Betono mišinio išsisluoksniavimas buvo įvertinamas pasklidimo metu. Cementinė tešla neatsiskirė nuo stambaus užpildo, šiuo atveju pažymiu, kad betono mišinys neišsisluoksniavo ir todėl šis bandymas buvo priimtinas (Nagroekienė et al. 2005).

2.5. Kūgio įsmigimo gylio į betoną nustatymas

Kūgio įsmigimo gylis į betoną buvo nustatomas naudojantis nestandartiniu metodu. Nustatant betono mišinio konsistenciją kūgio įsmigimo metodu, buvo naudojamas smailas kūgis. Ant kūgio papildomai buvo uždedamas 1kg svoris (2.6 pav.) Nustatant konsistenciją, mišinys buvo dedamas mentele į indą, sutankinamas sukrėtimais į grindis, mišinio sluoksnis nulyginamas mentele. Kūgis su svoriu paleidžiamas laisvai smigti nuo mišinio paviršiaus 30 s. Kūgio įsmigimo gylis milimetrais yra mišinio konsistencijos rodiklis (Skripkiūnas 2007).



2.6 pav. Kūgio įsmigimo gylio nustatymo prietaisas

Stambiagrūdžiuose mišiniuose buvo nustatomas pagal mišinio paviršiuje susikaupusio vandens kiekį per tam tikrą laiką. Mišinys sudedamas į 0,75 l tūrio indą, sutankinamas jame, uždengiamas vandens garams nelaidžia medžiaga ir paliekamas ramiai stovėti 4 h. Po 2 h ir po 4 h pipete nusiurbiamas vanduo, susikaupęs mišinio paviršiuje, supilamas į stiklinę ir pasveriamas. Mišinio vandens atsiskyrimo rodiklis išreiškiamas atsiskyrusio vandens tūrio santykiu su indo su mišiniu tūriu su minuso ženklu.

2.6. Ribinių šlyties įtempimų apskaičiavimas

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 įtempimai, pagal standartinio kūgio, kuris naudojamas nustatant slankumą, nuoslūgį taikant formulę:

$$\tau_0 = \frac{0,00815 \cdot \rho_m}{\left(\sqrt{\frac{0,498}{30 - SL}} - 0,001724 - 0,024 \right)^2}, \quad (2.16)$$

čia: τ_0 - ribiniai šlyties įtempimai, Pa;

ρ_m - mišinio tankis, kg / m^3 ;

SL – kūgio nuoslūgis (slankumas), cm.

2.7. Vandens atsiskyrimo kiekio nustatymas

Stambiagrūdžiuose mišiniuose vandens atsiskyrimo kiekis buvo nustatomas pagal mišinio paviršiuje susikaupusio vandens kiekį per tam tikrą laiką. Mišinys sudedamas į 0,75 l tūrio indą, sutankinamas jame, uždengiamas vandens garams nelaidžia medžiaga ir paliekamas ramiai stovėti 4 h. Po 2 h ir po 4 h pipete nusiurbiamas vanduo, susikaupęs mišinio paviršiuje, supilamas į stiklinę ir pasveriamas.

2.8. Betono bandynių savybių tyrimas

2.8.1. Betono mišinio tankio nustatymas

Betono mišinio tankis – tai sutankinto sukietėjusio betono tūrio vieneto masė. Matavimo indas buvo parinktas toks, kad mažiausias jo matmuo būtų ne mažesnis už stambiojo užpildo betone didžiausią dydį (D_{max}), padaugintą iš keturių.

Pagamintas reikiamos konsistencijos betono mišinys buvo pilamas į pasvertą 2 l talpos matavimo indą ir tankinamas ant laboratorinės vibroaikštelės. Sutankinto betono mišinio perteklius nužeriamas metaline liniuote lygiai su indo kraštais. Indas su betono mišiniu pasveriamas, rezultatai surašyti 3.1 lentelėje ir apskaičiuojamas betono mišinio tankis ρ_{bm} , kg/m^3 , ir sumaišyto mišinio tūris V_b , l (Navickas 2007).

2.9. Betono mišinio sudėties parinkimas

Atlikus visus betono žaliavų savybių tyrimus toliau buvo nustatoma betono mišinio sudėtis.

Atitinkamos klasės betono stipris gniuždant f_b turi tenkinti sąlyga:

$$f_b \geq f_{bk} + \lambda S_n \quad (2.17)$$

čia: f_{bk} – reikiamas betono stipris gniuždant, MPa,

S_n – Betono stiprio gniuždant standartinis nuokrypis,

λ – koeficientas, kurio reikšmės priklauso nuo imčių skaičiaus n .

$$f_b = 37 + 1,48 \cdot 3 = 42 \text{ MPa.}$$

Vandens ir cemento santykis V/C yra pagrindinis veiksnys, nuo kurio priklauso betono savybės ir yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V/C = \frac{A \cdot k_0 \cdot f_c}{f_b + 0,5 \cdot A \cdot k_0 \cdot f_c}, \text{ kai } V/C \geq 0,4 \quad (2.18)$$

čia: A – koeficientas, nusakantys medžiagų kokybę,

k_0 – koeficientas, priklausantis nuo oro kiekio betono mišinyje,

f_c – cemento stipris gniuždant, MPa,

f_b – betono stipris gniuždant, MPa.

$$V/C = \frac{0,6 \cdot 0,95 \cdot 50}{42 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 50} = 0,506$$

Vandens kiekis V_0 parenkamas pagal betono mišinio konsistenciją ir didžiausią užpildo stambumą.

$$\text{Vandens kiekis } 1\text{m}^3 \text{ betono } V_0 = 215 \text{ l/m}^3$$

$$V = 0,9 \cdot V_0, \text{ kai } 2\alpha. \quad (2.19)$$

$$\text{Taigi gaunu } V = 0,9 \cdot 215 = 193,5 \text{ l/m}^3.$$

Cemento kiekis C , kg/m^3 , apskaičiuojamas taip:

$$C = \frac{V}{V/C}; \quad (2.20)$$

$$C = \frac{193,5}{0,506} = 382 \text{ kg/m}^3.$$

Stambaus užpildo kiekis St , kg/m^3 , apskaičiuojamas taip:

$$St = \frac{1000}{\frac{T_{st} \cdot 2\alpha}{\rho_{stp}} + \frac{1}{\rho_{st}}}; \quad (2.21)$$

čia: T_{st} – stambaus užpildo tuštymėtumas, vieneto dalimis;

α – stambaus užpildo dalelių praskyrimo koeficientas,

$\rho_{st} \rho_{stp}$ – stambaus užpildo dalelių tankis ir piltinis tankis, g/cm^3 .

$$St = \frac{1000}{\frac{0,431 \cdot 2 \cdot 1,46}{1,444} + \frac{1}{2,537}} = 790 kg / m^3,$$

Smėlio kiekis Sm , kg/m^3 , apskaičiuojamas taip:

$$Sm = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{St}{\rho_{st}} + V \right) \right] \cdot \rho_{sm}; \quad (2.22)$$

čia: C , St , V – cemento, stambaus užpildo, vandens kiekiai, kg ;

ρ_c , ρ_{st} , ρ_{sm} – cemento, stambaus užpildo ir smėlio dalelių tankiai, g/cm^3 .

$$Sm = \left[1000 - \left(\frac{382}{3,0} + \frac{790}{2,537} + 193,5 \right) \right] \cdot 2,564 = 943 kg / m^3,$$

Plastifikuojančio priedo kiekis priimamas 0,5 iki 2%.

$$Pl = C \frac{x}{100}; \quad (2.23)$$

$$Pl = \frac{382 \cdot 1}{100} = 3,82 kg / m^3.$$

(Navickas 2007, Баженов 1984).

Atlikus visus skaičiavimus nustatyti medžiagų kiekiai reikalingi $1 m^3$ betono mišinio, kurie pateikiami 2.15 lentelėje.

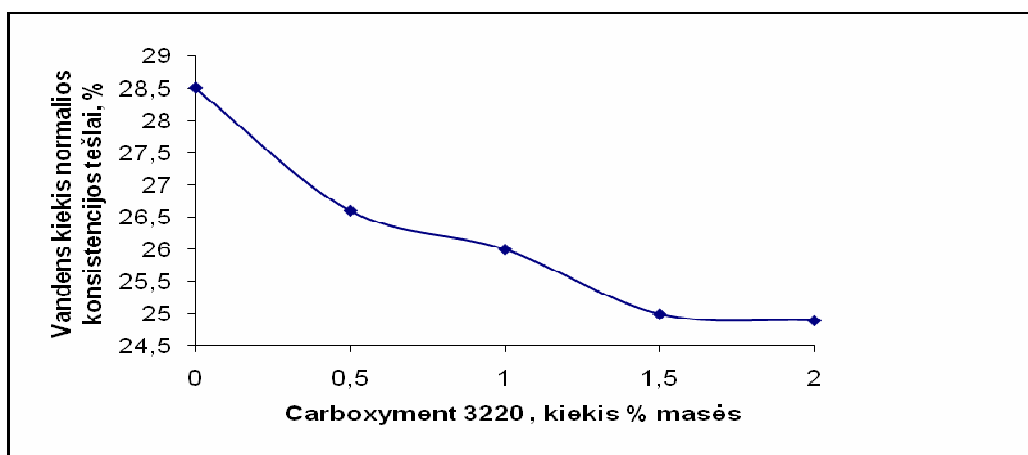
2.15 lentelė. Betono mišinių sudėtys

	Medžiagų kiekiai $1 m^3$ betono mišinio, kg		
	B I	B II	B III
Stambus užpildas	790		
Smulkus užpildas	966		
Cementas CEM II/A-LL 42,5 R CEM II/A-S 42,5N	382	306	
Vanduo	170	136	
v/c	0,44		
Carboxyment 3220	-	6,32	
Skystasis stiklas	-	-	1,528

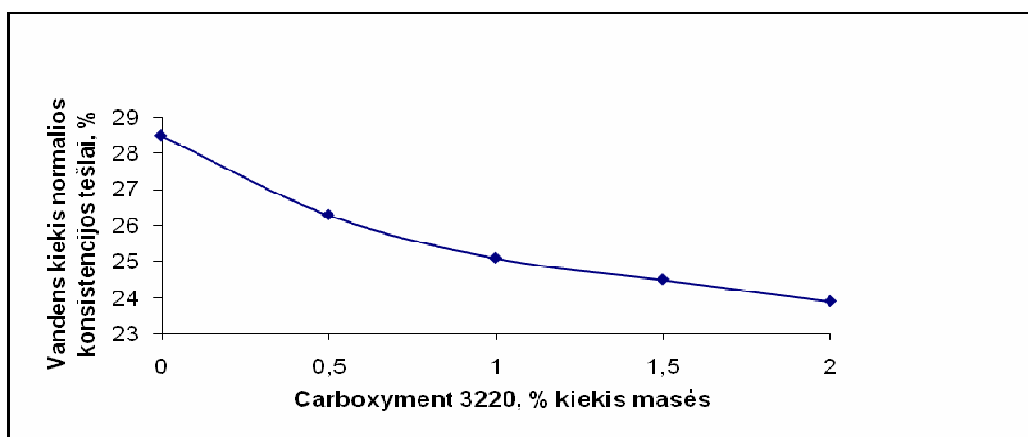
3. EKSPERIMENTINĖ – TIRIAMOJI DALIS

3.1. Normalaus tirštumo cemento tešlos tyrimas

Tyrimų rezultatai rodo, kad didėjant plastiklio kiekiui cementinėje tešloje, vandens kiekis normalios konsistencijos tešlai gauti mažėja. Šis priedas efektyvus dedant jų į cementinę tešlą 0,5...2,0 % (sausos medžiagos) skaičiuojant nuo cemento masės. Didesni plastiklio kiekiai mažai sumažina vandens kiekį normalios konsistencijos cementiniai tešlai dėl maksimalaus cemento dalelių dispergavimo efekto padidėjimo. Optimalus vandens ir plastiklio kiekis normalaus tirštumo tešlai pateikiami 3.1 ir 3.2 paveiksluose.



3.1 pav. Carboxyment 3220 plastiklio poveikis portlandcementčio CEM II/ A-LL 42,5 R normalaus tirštumo tešlos vandens poreikiui



3.2 pav. Carboxyment 3220 plastiklio poveikis portlandcementčio CEM II/ A-S 42,5 N normalaus tirštumo tešlos vandens poreikiui

Iš pateiktų 3.1 ir 3.2 paveikslų matyti akivaizdus vandens kiekio sumažėjimas normalios konsistencijos tešlos gavimui didėjant plastiklio kiekiui. Galima daryti išvadą, kad optimaliausias

plastifikuojančio priedo kiekis normalios konsistencijos tešlai gauti yra 1 – 1,5 %. Didesnis kiekis esminių pokyčių neturi.

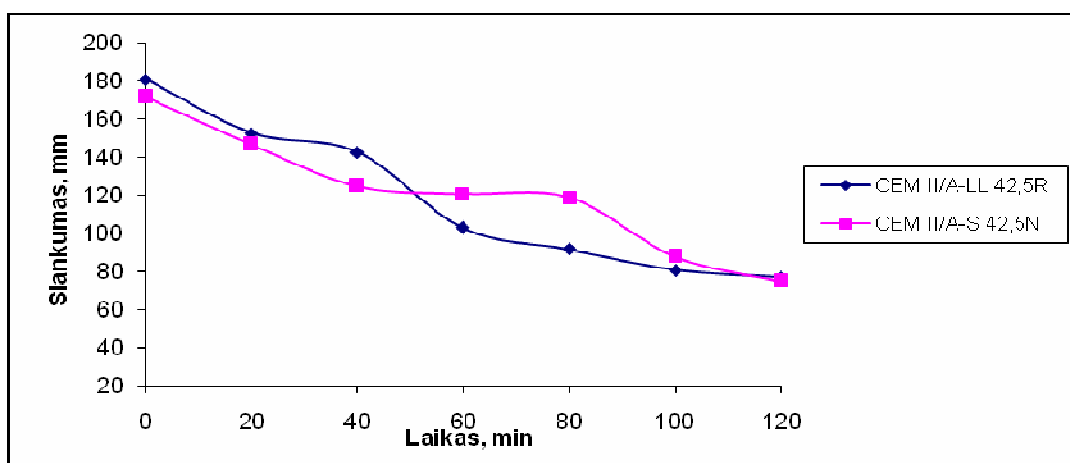
Plastikliai mažina vandens tirpalo įtempį cemento dalelių paviršiuje ir didina cemento dalelių drėkinamumą bei elektrokinetinį potencialą, kas sukelia cemento dalelių dispergavimo kartu ir plastifikavimo efektą. Tačiau dėl priedo adsorbcijos ant cemento dalelių paviršiaus lėtėja cemento hidratacijos procesas, mažėja hidratacijos laipsnis.

3.2. Betono mišinio slankumo tyrimas

Betono mišinio slankumas buvo nustatomas naudojant kūginę formą. Darbo metu ruošiamas 8 l betono mišinys. Betono mišinio slankumo, sklidumo ir įsmigimo gylio rodikliai buvo tiriami kas 20 min 2 valandas. Aplinkos temperatūra atliekant pirmus tyrimus išlaikoma 15 ± 1 °C, betono mišinio – 15 ± 1 °C, vėliau temperatūra buvo keliama iki 20 ± 1 °C, betono mišinio – 20 ± 1 °C.

Tyrimams buvo ruošiamos trijų rūšių betono mišinių sudėtys: B I naudojant portlandcemenčius be plastifikuojančio priedo Carboxyment 3220, B II - su 1,25 % priedu, B III - su 1,25 % plastifikuojančiu priedu ir 0,5 % skystuoju stiklu.

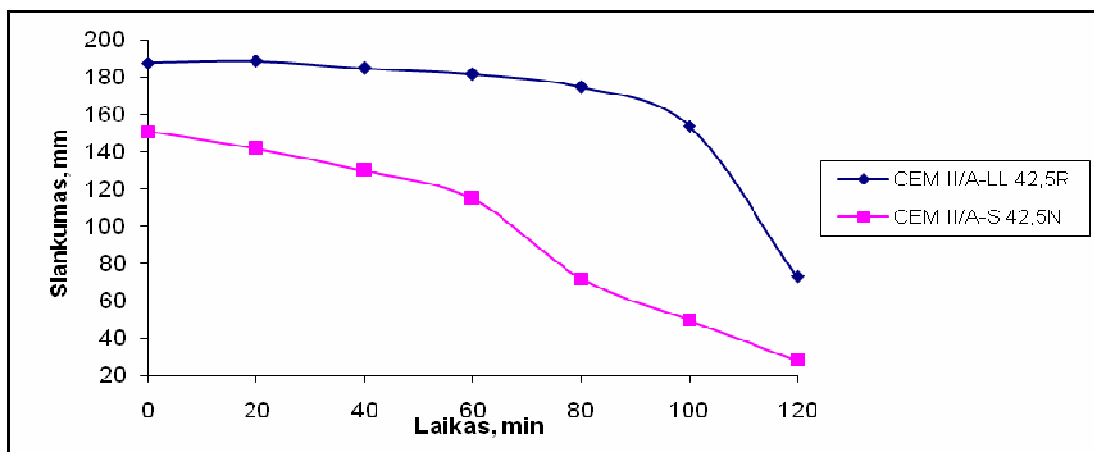
Betono mišinyje vandens ir cemento santykis V/C buvo išlaikomas pastovus (Navickas 2007). Toliau atlikti tyrimų rezultatai pateikiami paveikslų grafikuose.



3.3 pav. Betono mišinio be plastifikuojančio priedo slankumo priklausomybė nuo laiko

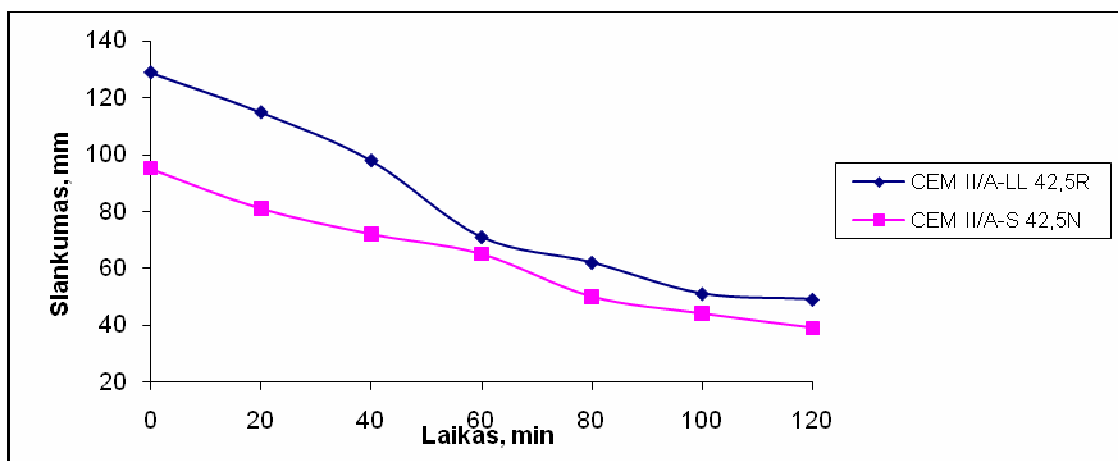
Iš 3.3 pav. matyti, kad pradiniai betono mišinių slankumo rezultatai mažai skiriasi, tačiau naudojant portlandcemenį CEM II/A-LL 42,5R gauta didesnė slankumo vertė. Po 20 min betono mišinių slankumas sumažėjo tolygiai. Po 80 min naudojant portlandcemenį CEM II/A-LL 42,5 slankumas sumažėjo 49,2 %, o naudojant portlandcemenį CEM II/A-S 42,5N – 30,8 %. Po 2 valandų nustatytas nedidelis papildomas slankumo sumažėjimas, naudojant portlandcemenį CEM II/A-LL 42,5R 57,5 %, o naudojant portlandcemenį CEM II/A-S 42,5N – 56,4 %.

Toliau atlikti tyrimų rezultatai prie abiejų 15 ± 1 °C ir 20 ± 1 °C temperatūrų pateikiami paveiksluose. Nustatyta, kad įvedus plastifikuojančio priedo 1,25 % kiekį, vandens ir cemento sąnaudos mišinyje sumažėja iki 80 %. Atlikti tyrimai rodo, kad naudojant plastifikuojantį priedą galima sumažinti vandens ir cemento sunaudojamus kiekius.



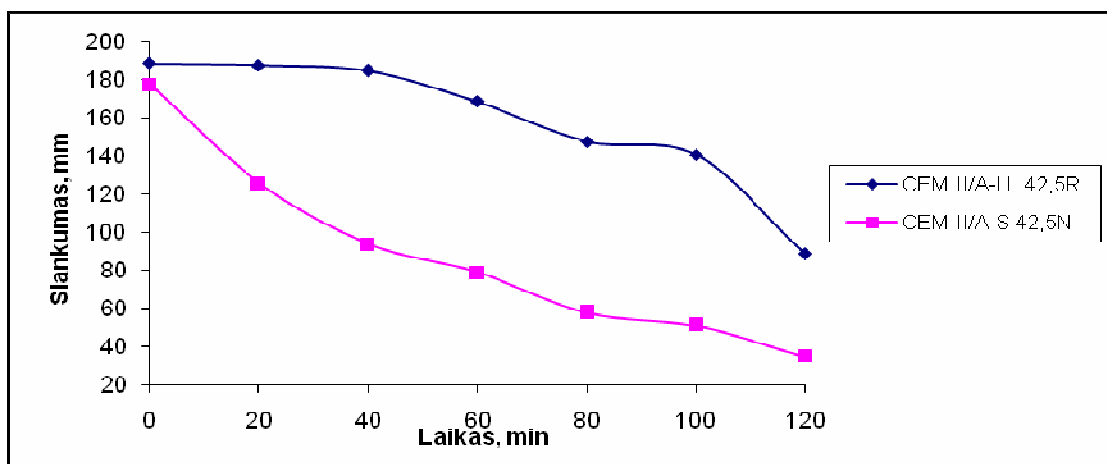
3.4 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu slankumo priklausomybė nuo laiko 15 ± 1 °C temperatūroje

3.4 pav. matyti, kad betono mišinio naudojant portlandcementį CEM II/A-LL 42,5 R slankumo vertė yra didesnė negu naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N. Toks slankumas išlieka iki 80 min. Naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N betono mišinio slankumo vertė yra mažesnė ir mažai kinta iki 60 min. Po 2 valandų buvo pastebėtas betono mišinių slankumų sumažėjimas. Naudojant portlandcementį CEM II/A-LL 42,5R betono slankumo sumažėjimas siekia – 61,4 %, o naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5N– 81,5 %.



3.5 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu slankumo priklausomybė nuo laiko 20 ± 1 °C temperatūroje

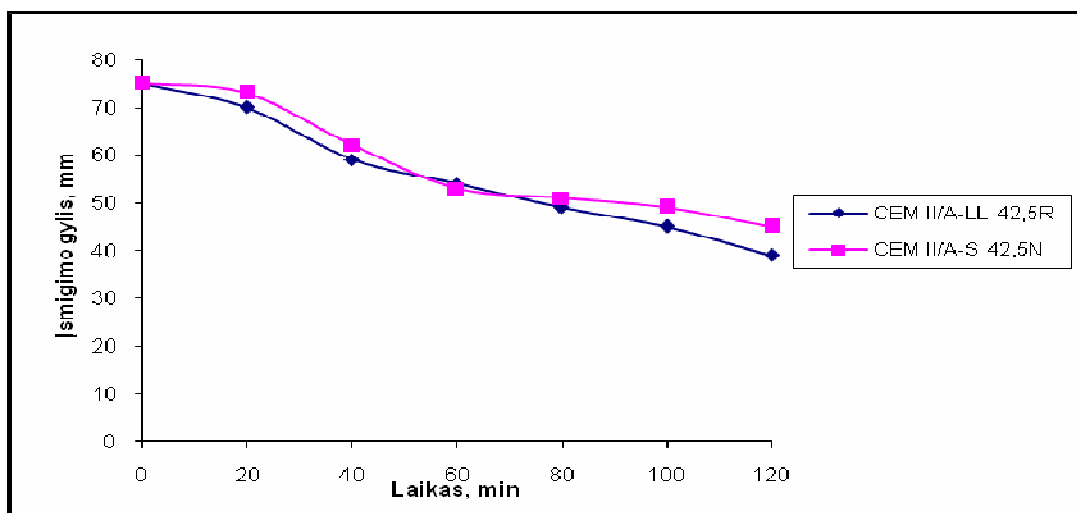
Iš 3.5 pav. matyti 20 ± 1 °C temperatūroje naudojant skirtingus portlandcemenčius gautos mažesnės betono mišinių slankumo vertės. Mišinio slankumas tolygiai mažėja iki 40 min, vėliau staigiau mažėja. Po 2 valandų betonų mišinių slankumas naudojant skirtingus portlandcemenčius yra panašus 4 – 5 cm. Tačiau mažesnis slankumas yra betono mišinio su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5 N.



3.6 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu ir 0,5 % skystojo stiklo slankumo priklausomybė nuo laiko

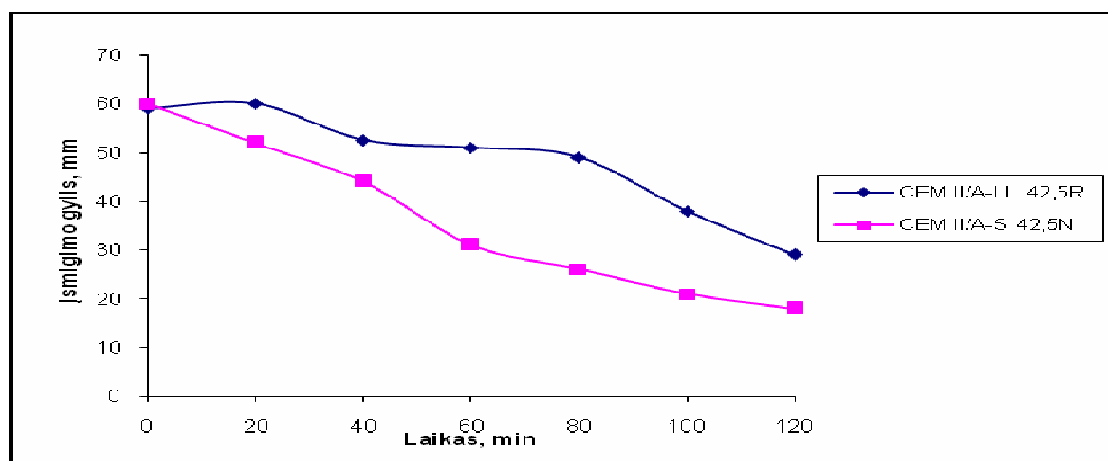
3.6 pav. matyti, kad betono mišinio naudojant portlandcementį CEM II/A-LL 42,5 R slankumo vertė yra didesnė negu naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N. Mišinio slankumas tolygiai mažėja iki 60 min, vėliau staigiau mažėja. Naudojant CEM II/A-S 42,5 N klasės portlandcementį betono mišinio slankumo vertė yra mažesnė. Po 2 valandų buvo pastebėtas betono mišinių slankumų sumažėjimas. Naudojant portlandcementį CEM II/A-LL 42,5 R betono slankumo sumažėjimas siekia – 52,9 %, o naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5N– 80,3 %.

3.3. Betono mišinio kūgio įsmigimo gylio į betoną tyrimas



3.7 pav. Kūgio įsmigimo gylio į betoną mišinius be superplastiklio priklausomybė nuo laiko $15\pm 1^{\circ}$ temperatūroje

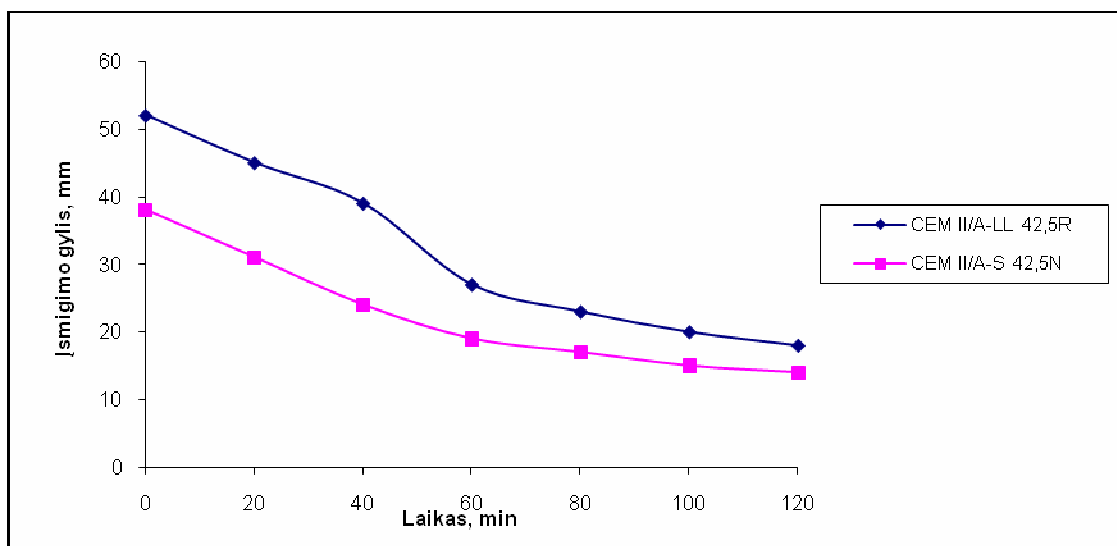
Iš 3.7 pav. pateiktų kreivių matyti, kad naudojant skirtingus portlandcemenčius kūgio gylio įsmigimo į betoną rezultatai yra panašūs. Pradiniai kūgio įsmigimo rezultatai yra vienodi ir siekia 75 mm. Naudojant abu portlandcemenčius kūgio gylio įsmigimo į betoną verčių mažėjimo tendencijos yra analogiškos.



3.8 pav. Kūgio įsmigimo gylio į betoną mišinį su 1,25 % superplastikliu priklausomybė nuo laiko $15\pm 1^{\circ}$ temperatūroje

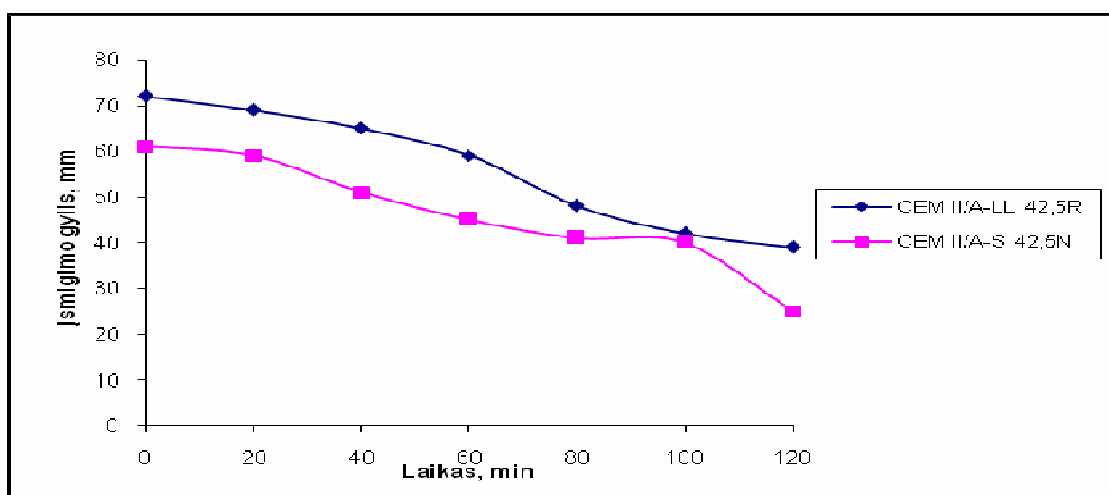
3.8 pav. matyti, kad pradinės kūgio įsmigimo gylio į betoną naudojant skirtingus portlandcemenčius ir superplastiklį vertės yra panašios. Praėjus 20 min. išryškėja skirtumai. Kūgio gylio įsmigimo į betoną mišinį su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5 N bei superplastikliu po 40 min, pasireiškia staigesnis sumažėjimas. Praėjus 120 min betono mišinio su portlandcemenčiu

CEM II/A-S 42,5 N kūgio gylio įsmigimo į betoną vertė liko mažesnė 11 mm palyginus su betono mišiniu su portlandcemenčiu CEM II/A-LL 42,5 R.



3.9 pav. Kūgio įsmigimo gylio į betono mišinį su 1,25 % superplastikliu priklausomybė nuo laiko 20 ± 1 °C temperatūroje

3.9 paveiksle matyti, kad pradinės kūgio įsmigimo gylio į betono mišinius vertės 20 ± 1 °C temperatūroje yra mažesnės negu 15 ± 1 °C temperatūroje. Nuo pat pradžių įsmigimo gylis į betono mišinius mažėja tolygiai. Praėjus 120 min kūgio įsmigimo gylio vertės sumažėjo daugiau negu dvigubai.



3.10 pav. Kūgio įsmigimo gylio į betono mišinį su 1,25 % plastifikuojančiu priedu ir 0,5 % skystuoju stiklu priklausomybė nuo laiko

Analizuojant kūgio įsmigimo gylio į betono mišinius su skirtingais portlandcemenčiais mažiausia reikšmė gauta panaudojus portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N ir yra 38 mm prie 20 ± 1

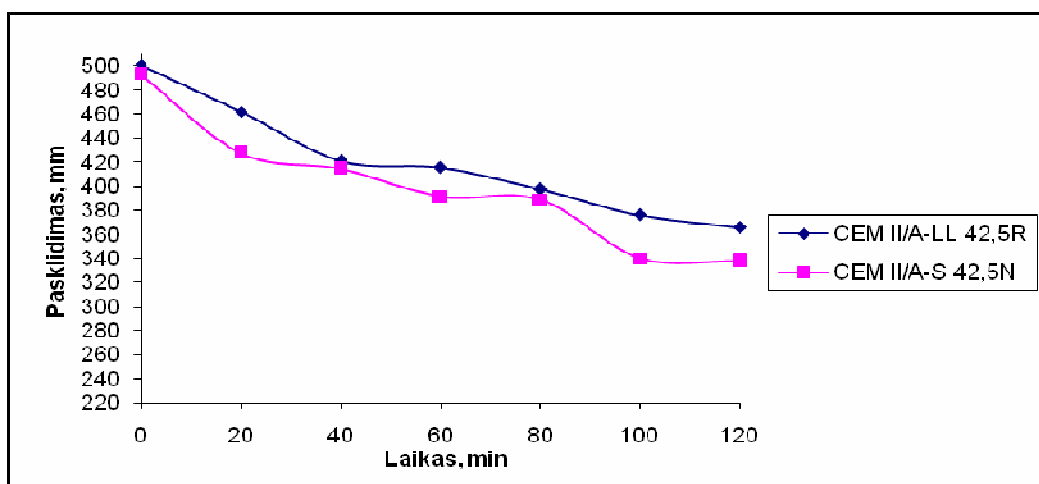
°C temperatūros. Prie 15 ± 1 °C temperatūros pradiniai kūgio įsmigimo gylio į betoną rezultatai panaudojus plastifikuojantį priedą ir papildomai skystąjį stiklą yra panašūs ir svyruoja 60 – 72 mm. Betono mišinyje be plastifikuojančio priedo gauta didžiausia kūgio įsmigimo gylio reikšmė 75 mm

3.4. Betono mišinio sklidumo tyrimas

Bandymų metu buvo įvertinamas betono mišinio išsisluoksniavimas pasklidimo metu. 3.11 paveiksle pateiktas betono mišinio sklidumo bandymo atvejis, kuriame gerai matyti, kad cementinė tešla neatsiskirė nuo stambaus užpildo. Pateiktas bandymas 3.11 paveiksle buvo užfiksuotas tiriant betono mišinio sklidumą su 1,25 % plastifikuojančio.



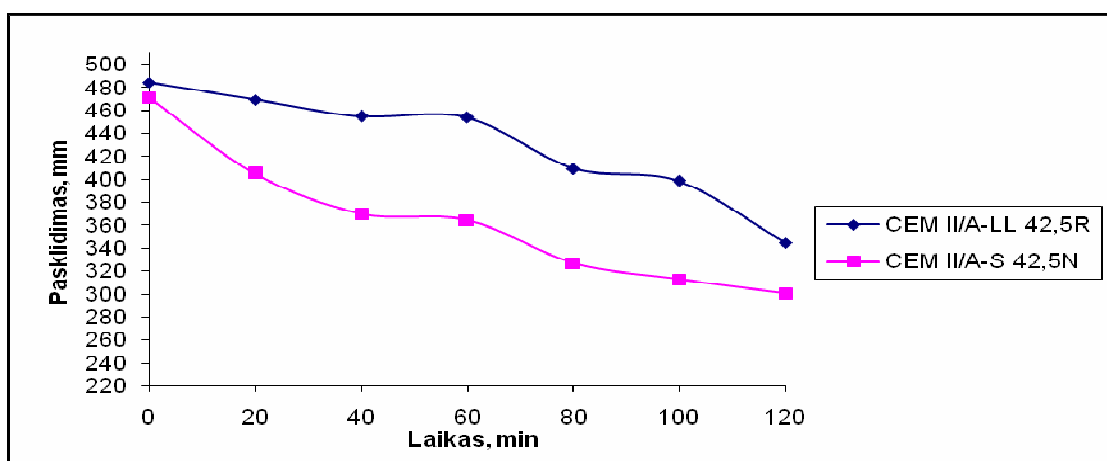
3.11 pav. Betono mišinio sklidumo bandymo atvejis



3.12 pav. Betono mišinio be plastifikuojančio priedo sklidumo priklausomybė nuo laiko

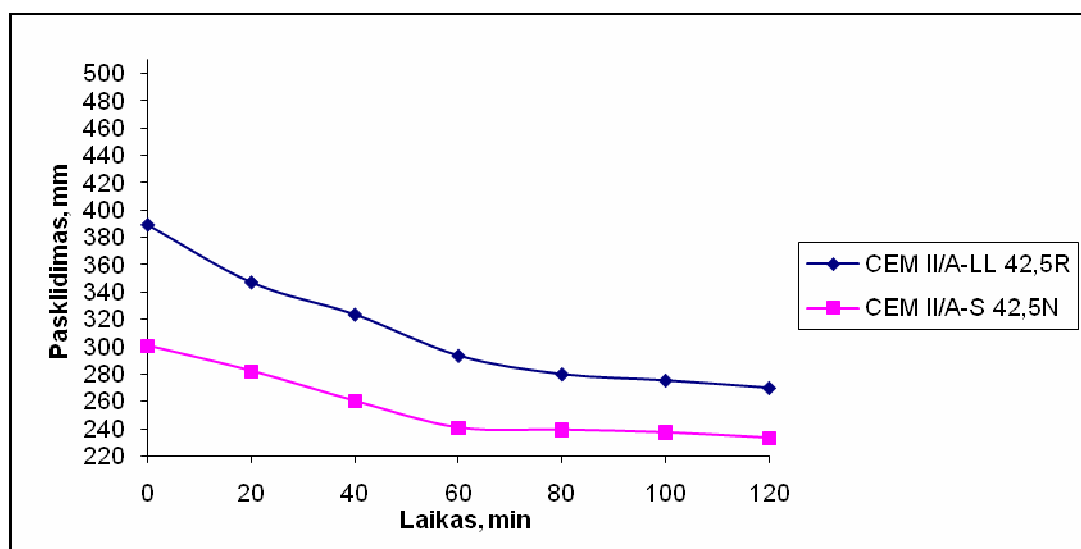
3.12 pav. matyti, kad betono mišinių sklidumas pradeda mažėti jau po 20 min. Po 120 min betono mišinio sklidumo rodiklio vertė vienu atveju sumažėjo 26,9 %, o antruoju – 31,6 %.

Mažesnės betono mišinio sklidimo vertės buvo gautos naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N.



3.13 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu sklidimo priklausomybė nuo laiko prie 15 ± 1 °C temperatūroje

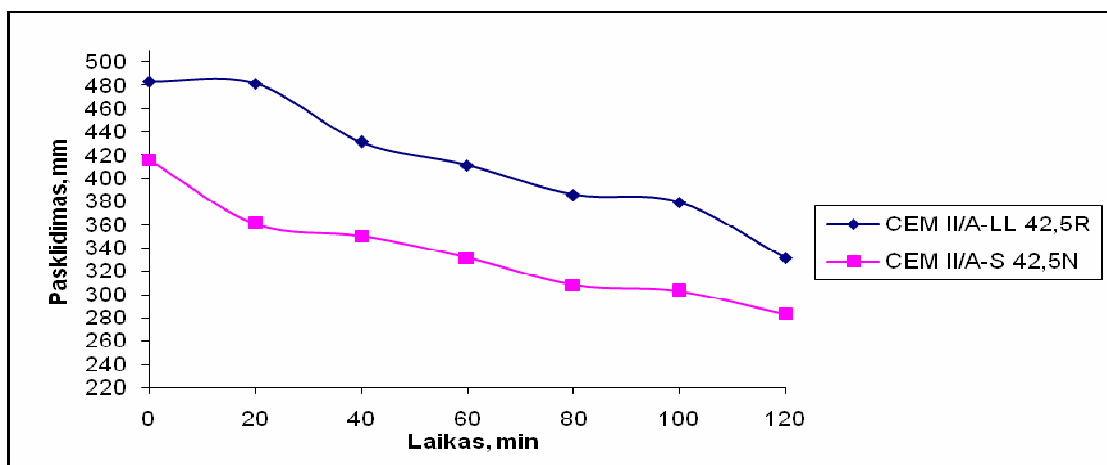
Iš 3.13 pav. pateiktų kreivių matyti, kad betono mišinio, naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N per 40 min su superplastikliu, sklidimas mažėjo staigiau. Po 2 val. betono mišinio, naudojant portlandcementį CEM II/A-LL 42,5 R su plastifikuojančiu priedu pasklidimas sumažėjo-28,9 %, o naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N – 36,3 %.



3.14 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu, pasklidimo priklausomybė nuo laiko 20 ± 1 °C temperatūros

3.14 paveiksle matyti, kad 20 ± 1 °C temperatūroje betonų naudojant abu portlandcemenčius mišinių sklidimas pradeda mažėti jau ir po 20 min. Tendencijos yra panašios, tačiau naudojant CEM II/A-S 42,5 N klasės portlandcementį gaunamas žymiai mažesnis pasklidimo rezultatas.

Toliau pateikiami betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančio priedo ir 0,5 % skystojo sklidumo rodiklių tyrimų rezultatai.



3.15 pav. Betono mišinio su 1,25 % plastifikuojančiu priedu ir 0,5 % skystuoju stiklu sklidumo priklausomybė nuo laiko

3.15 paveiksle matyti, kad betonų naudojant abu portlandcemenčius mišinių sklidumas pradeda mažėti jau po 20 min. Naudojant CEM II/A-S 42,5 N klasės portlandcementį gaunamas žymiai mažesnis pasklidimo rodiklio rezultatas. Nagrinėjant betono mišinio sklidumo rezultatus buvo pastebėtas gana didelis sumažėjimas. Praėjus 120 min naudojant portlandcementį CEM II/A-LL 42,5 R su plastifikuojančiu priedu ir 0,5 % skystojo stiklo sklidumas sumažėjo – 31,4 %, o naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N – 31,9 %.

3.5. Betono bandinių tankio tyrimas

Ruošiant skirtingų sudėčių betonus buvo nustatomas betono mišinio tankis, kuris buvo apskaičiuojamas pasveriant žinomo tūrio indą su mišiniu, bandymo rezultatai surašyti į 3.1 lentelę.

3.1 lentelė. Betono mišinių tankio vertės

Betono mišinių sudėtys	Tankis, g/cm ³	
	CEM II/A-LL 42,5R	CEM II/A-S 42,5N
B I	2,38	2,39
B II	2,38	2,41
B III	2,44	2,41

Iš 3.1. lentelės duomenų matosi, kad betono mišinių tankio vertės mažai skiriasi. Jų vertės kinta nuo 2,38 iki 2,41 g/cm³. Šiek tiek didesnės tankio vertės gaunamos betono mišinių su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5 N. Tikriausiai, tai darė poveikį ir betono mišinių reologinėms savybėms.

3.6. Betono bandinių gniuždomojo stiprio nustatymas

Tyrimų metu buvo suformuoti bandiniai ir praėjus 28 paroms atliktas stiprio gniuždant tyrimas.

3.2 lentelė. Bandinių gniuždomojo stiprio rezultatai

Betono mišinių sudėtys	Gniuždomasis stipris, MPa	
	CEM II/A-LL 42,5R	CEM II/A-S 42,5N
B I	43,26	42,17
B II	45,23	42,48
B III	42,38	42,1

Iš 3.2 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad didžiausia gniuždomojo stiprio vertė gauta naudojant portlandcemenčių CEM II/A-LL 42,5 R su 1,25 % plastifikuojančio priedo. Visais atvejais didžiausias gniuždomasis stipris gaunamas betono bandinių su portlandcemenčiu CEM II/A-LL 42,5 R.

3.7. Ribinių šlyties įtempių nustatymas

Betono mišinių ribinių šlyties įtempiai priklauso nuo daugelio veiksnių: V/C santykio, užpildų stambumo, jų koncentracijos mišinyje, portlandcemenčio kiekio ir kt. Tyrimų metu taip pat buvo apskaičiuoti nevibruojamo mišinio ribiniai šlyties įtempiai. Skaičiavimai buvo atliekami pagal formulę 2.16 ir pateikti 3.3, 3.4 lentelėse. Didesnės betono mišinių ribinių šlyties įtempimų vertės gaunamos naudojant portlandcementį CEM II/A-S 42,5 N. Tai yra susiję su betono mišinių slankumo vertėmis.

3.3 lentelė. Betono mišinių su portlandcemenčiu CEM II/A-LL 42,5 R ribiniai šlyties įtempiai

Laikas, min	Ribiniai šlyties įtempiai, Pa		
	CEM II/A-LL 42,5 R		
	B I	B II	B III
0	632	589	583
20	815	583	589
40	883	607	607
60	1173	626	709
80	1257	670	849
100	1343	808	897
120	1375	1408	1280

3.4 lentelė. Betono mišinių su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5 N ribiniai šlyties įtempiai

Laikas, min	Ribiniai šlyties įtempiai, Pa		
	CEM II/A-S 42,5 N		
	B I	B II	B III
0	690	828	651
20	856	890	1003
40	1010	974	1241
60	1039	1083	1359
80	1054	1416	1531
100	1288	1599	1590
120	1391	1790	1728

Atlikus tyrimą nustatyta, kad laikui bėgant, mažėjant mišinio slankumui, ribiniai šlyties įtempiai didėja. Kai betono mišinio slankumas bandymo pradžioje yra didžiausias, cementinė tešla mažina trintį tarp užpildo dalelių, todėl ribiniai šlyties įtempiai yra mažiausi. Praėjus 120 minučių

slankumas sumažėja tuomet cemento tešla atlieka klijuojančiosios medžiagos vaidmenį, nes trukdo užpildui sklisti, todėl ribiniai šlyties įtempiai didesni.

3.8. Vandens atsiskyrimo kiekio nustatymas

Ruošiant skirtingų sudėčių betonus buvo nustatomas vandens atsiskyrimo kiekis iš betono, o rezultatai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Vandens atsiskyrimo kiekio iš betono mišinio nustatymo rezultatai

Betono mišinių sudėtys	Vandens atsiskyrimo kiekis, ml			
	po 2 h		po 4 h	
	CEM II/A-LL 42,5R	CEM II/A-S 42,5N	CEM II/A-LL 42,5R	CEM II/A-S 42,5N
B I	2,43	2,92	1,85	2,10
B II	0,85	0,51	1,24	0,62

Iš 3.5 lentelės matyti, kad vandens atsiskyrimo kiekis buvo didžiausias be plastifikuojančio priedo. Vandens atsiskyrimo rodiklis gaunamas mažiausias mišinyje panaudojant plastifikuojantį priedą. Tokiu atveju vandens ir cemento kiekis mišinyje buvo mažesnis, bet buvo išlaikomas tas pats V/C santykis. Labiausiai vanduo išsiskirdavo pirmas 2 valandas, vėliau buvo pastebėtas mažesnis vandens atsiskyrimas.

IŠVADOS

1. Norint gauti gerų savybių betoną ir jo mišinį yra dedami įvairūs priedai, kurie pagreitina arba sulėtina betono mišinio rišimąsi, padaro jį plastiškesnį, pagreitina kietėjimą, padidina stiprumą, nelaidumą vandeniui.
2. Panaudojant plastifikuojančius priedus galima sumažinti vandens bei cemento kiekius, tai šiandien yra aktualu, ekonomiška, ypač augant cemento kainoms.
3. Atlikus normalaus tirštumo cemento tešlos tyrimą buvo nustatyta, kad plastifikuojantis priedas sumažina vandens kiekį, reikiamą gauti normalaus tirštumo tešlai. Įdėjus 2 % plastifikuojančio priedo nuo cemento masės, normalaus tirštumo cemento tešla gaunama naudojant CEM II/A-LL 42,5 R klasės portlandcementį 26,0 %, o CEM II/A-S 42,5 N klasės portlandcementį – 25,6 %.
4. Atlikus tyrimus 15 °C temperatūroje buvo nustatyta, kad betono mišinių su portlandcemenčiais CEM II/A-LL 42,5R CEM II/A-S 42,5N be superplastiklio slankumas mažėja tolygiai. Sklidumas mažėja netolygiai. Betono mišinio su portlandcemenčiu CEM II/A-LL 42,5 R sklidumas sumažėjo 26,9 %, o su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5 N – 31,6 %. Atlikus kūgio įsmigimo į betono mišinius su abiem portlandcemenčiais nustatyta, kad rodiklių kitimo tendencijos yra panašios.
5. Panaudojus superplastiklį 1,25 % Carboxyment 3220 15 °C temperatūroje betono mišinių slankumas padidėja. Betono mišinys su portlandcemenčiu. CEM II/A-LL 42,5 R išlaiko pradinį slankumą apie 100 min, o su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5 N apie 60 min. Sklidumo bandymo atveju betono mišinys su CEM II/A-LL 42,5 R išlaiko pradinį sklidumą apie 60 min.
6. Betono mišinių reologinėms savybėms temperatūra daro didelį poveikį. Padidėjus temperatūrai 5 °C betono mišinio su portlandcemenčiu CEM II/A-LL 42,5 R bei superplastikliu pradinis slankumas sumažėja 5,9 cm, o su portlandcemenčiu CEM II/A-S 42,5 N – sumažėja 5,6 cm.
7. Vertinant betono mišinio konsistenciją sklidumo rodikliu bei kūgio įsmigimo gyliu gaunamos panašios kitimo tendencijos.
8. Į betono mišinį įdėjus 1,25 % plastifikuojančio priedo bei papildomai 0,5 % skystojo stiklo esminės įtakos betono mišinio reologinėms savybėms nebuvo pastebėta.
9. Įdėjus į betono mišinį plastifikuojančio priedo, didėjant kūgio nuoslūgiui (mišinio slankumui), ribiniai šlyties įtempimai mažėja.

NAUDOTOS LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Betono gaminių gamybos įmonės internetinė svetainė* [žiūrėta 2010-10-12]. Interneto prieiga: www.perdanga.lt
- Betono gaminių gamybos įmonės internetinė svetainė* [žiūrėta 2010-10-12]. Interneto prieiga: www.markuciai.lt
- Čechovas, A., Sergejevas, A. 1976. *Betonai ir skiediniai*. Vilnius: Mokslas, 1976.
- Fibroblok blokelių gamybos įmonės internetinė svetainė* [žiūrėta 2009-10-12]. Interneto prieiga: www.fibroblok.ru
- Finoženok O., Žurauskienė R. 2009. *Betono atliekų antrinio naudojimo betono mišiniuose galimybės. Lietuvos mokslininkų konferencija „Mokslas Lietuvos ateitis“*. 1 tomas, Nr. 5, 5 – 9.
- Galaszewski J., Szwabawski J. 2001. *Influence of superplasticizers on setting times*. The 7th International Conference. Vilnius, 2001.
- Goberis, S., Antonovič V. 2007. *Kaitrai atsparūs šamotbetoniai*. Technika, Vilnius. 360 p.
- Grumuliauskas A., Abromavičius G. 2001. *Betono mišinio sudėties projektavimas*. The 7th International Conference. Vilnius, 2001.
- Deltuva J. 1991. *Betono užpildų technologija: paskaitų konspektas*. 1 dalis. Kaunas: Technologija, 1991.
- Deltuva, J. 1998. *Heterogeninių statybinių mišinių sandara ir savybės*. Kaunas: Technologija, 1998. 263 p.
- Deltuva, J. 1982. *Statybinės medžiagos*. Mokslas, Vilnius. 348 p.
- Emoto, T., Bier T. A. 2007. *Rheological behavior as influenced by plasticizers and hydration kinetics*. Cement and concrete research. 37 (2007) 647 – 654. 648 – 651.
- Jarunavičius, A. 2007. *Plastifikuojančio priedo „Winmix“ naudojimas betono tyrimams. [Using of Plastifying Additives „Winmix“ for Investigation of Concrete]. 10-oji Lietuvos mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“*. Vilnius, 50-54.
- Kaulakienė A. ir kt. *Kalbininkų patarimai studentams: teorija ir praktika*. Vilnius: Technika, 2007. 149 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". 2005 m. kovo 25 d. Vilnius.
- LST EN 12620:2002. *Betono užpildai*. Vilnius, 2002.
- LST EN 480-1:2007. *Betono, statybinio ir injekcinio skiedinio priedai. Bandymo metodai. 1 dalis. Standartinis bandymų betonas ir skiedinys*. Vilnius, 2007.
- LST EN 12390-7:2003. *Betonas. Bandymo metodai. Betono tankis*. Vilnius, 2003. 10 p.
- LST EN 206-1:2002/A1:2004. *Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis*. Vilnius, 2004.
- LST 196-6:1996. *Cementas. Bandymo metodai. 6 dalis. Smulkumo nustatymas*. Vilnius, 2000.
- LST 197-1:2000. *Cementas. 1 dalis. Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai*. Vilnius, 2000. 26 p.
- LST EN 12350-2:2009. *2 dalis . Šviežio betono bandymas. Slankumo bandymas*. Vilnius, 2009. 16 p.
- LST EN 12350-5:2011. *Šviežio betono bandymas. 5 dalis. Sklidumo bandymas*. Vilnius, 2011. 18 p.
- LST EN 1008:2003. *Vanduo betonui. Techniniai vandens ėminių ėmimo, bandymo ir tinkamumo reikalavimai, įskaitant grąžinamą iš gamybos betono pramonėje vandenį, pakartotinai naudojamą betono mišiniui ruošti*. Vilnius, 2003.
- Marčiukaitis, G. 1998. *Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo principai*. Vilnius: Technika, 1998. 134 p.
- Matusevičius M. ir kt. 2002. *Rišamųjų medžiagų cheminė technologija*. Kaunas: Technologija, 2002. 206 p.
- Naujokaitis A. 2007. *Statybinės medžiagos. Betonai*. Vilnius: Technika, 2007. 355 p.
- Naujokaitis A. 2006. *Statybinės medžiagos. Užpildai*. Vilnius: Technika, 2006. 247 p.

- Navickas, A. A., Skripkiūnas, G. Gečys, R. 2007. *Medžiagotyros ir statybinių medžiagų laboratoriniai darbai: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2007. 109 p.
- Polimerinius priedus gaminančios įmonės internetinė svetainė* [žiūrėta 2011-03-11]. Interneto prieiga: www.superplast.ru
- Priedus teikiančios įmonės internetinė svetainė* [žiūrėta 2011-01-20]. Interneto prieiga: www.srava.lt
- Rixon, R., Mailvaganan, N., 1999. *Chemical admixtures for concrete*. E & FN Spon, London. 437.
- Samarai, M. A.; Ramakrishnan, V.; Malhotra, V. M. 1989. *Effect of retempering with superplasticizer on properties of fresh and hardened concrete mixed at higher ambient temperatures // Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete*. Third international conference. Ottawa.
- Skripkiūnas G., Daukšys M. 2004. *Influence of chemical admixtures on rheological properties and dilatancy of cement slurries*. The 8th International Conference. Vilnius, 2004.
- Skripkiūnas, G., Mindaugas D. 2004. *Dilatancy of cement slurries with chemical admixtures*. *Journal of civil engineering and management*. ISSN 1392-3730, Vol X, No 3, 227 – 233.
- Skripkiūnas, G., 2007. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės*. Mokslas ir studijos, 2007. „Vita Litera“. 334 p.
- Statybos inžinieriaus žinynas* 2004. Lietuvos statybos inžinierių sąjunga. Technika: Vilnius. 650 p.
- Statybinių medžiagų įmonės internetinė svetainė* [žiūrėta 2011-05-20]. Interneto prieiga: www.vedrana.lt
- Vektaris B. 1998. *Smulkiagrūdžiai statybiniai mišiniai ir skiediniai*. Kaunas: Technologija, 1998.
- Žurauskienė R., Nagrockienė D. 2008. *Statybinių medžiagų ir dirbinių technologija*. Vilnius: Technika, 2008. 185 p.
- Žurauskienė R., Nagrockienė D., Mačiulaitis R., Kičaitė A., Petrikaitis F. 2004. *Statybinės medžiagos, laboratoriniai darbai*. 1 dalis. Vilnius: Technika, 2004. 106 p.
- Афанасьев, Н. Ф., Целуйко М. К. 1989. *Добавки в бетоны и растворы*. Киев: 1989. 127 p.
- Батраков В.Г. 1990. *Модифицированные бетоны*. М.:Стройиздат. 1990. 400 с.
- Баженов Ю. М. 1987. *Технология бетона: учеб. пособие для вузов*. Москва: Высшая школа, 1987. 415 p.
- Баженов Ю. М. 1984. *Технология бетонных и железобетонных изделий: учебное пособие*. Москва: Стройиздат, 1984. 672 p.
- Вовк А.И., и др., 2006. *"Полипласт Новомосковск". Строительные материалы*. Июль. 2007. УДК 666.972.16: С. 34 – 35.
- Калашников. В.И. и др., 1999. *Классификационная оценка цементов в присутствии суперпластификаторов для высокопрочных бетонов. // Известия вузов. Строительство*. 1999. №1. С 39-42.
- Макишаева Е.А., 2006. *ООО "Полипласт Новомосковск". Строительные материалы*. Июль. 2007. УДК 666.972.16: С. 28 – 29.
- Несветаев Г.В. и др., 2002. *Оценка пластификаторов применительно к отечественным цементам// Бетон и железобетон в 3 тысячелетии*. Материалы Второй международной науч. конф. Ростов-на-Дону: РГСУ. 2002. С. 269 – 274.
- Несветаев Г.В. и др., 2006. *Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах и других строительных смесях// Бетон и железобетон в 3 тысячелетии*. Материалы Второй международной науч. конф. Ростов-на-Дону: РГСУ. 2006. С. 335 – 341.
- Ратинов В. Б., и др., 1989. *Добавки в бетон*. Москва: Стройиздат, 1989. 186 с.

PRIEDAI