



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Erika Baranauskaitė

Plastifikuojančio priedo kiekio įtaka betono savybėms

The plastificating additive quantity influence to concrete characteristics

Baigiamasis magistro darbas

Statybos medžiagų ir dirbinių studijų programa, valstybinis kodas 621J82001

Statybų technologijos mokslo kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(parašas)

Doc. dr. G. Skripkiūnas
(vardas, pavardė)

(data)

Erika Baranauskaitė

Plastifikuojančio priedo kiekio įtaka betono savybėms

Plastificating quantity of additive on concrete properties

Baigiamasis magistro darbas

Statybos medžiagų ir dirbinių studijų programa, valstybinis kodas 621J82001

Statybų technologijos mokslo kryptis

Vadovas

doc. dr. D. Nagrockienė
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(parašas)

(data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. L. Rutkienė
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(parašas)

(data)

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Statybų technologijos studijų kryptis

Statybos medžiagų ir dirbinių studijų programa, valstybinis kodas 621J82001

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
doc. dr. Gintautas Skripkiūnas
(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

..... Nr.

Vilnius

Studentui (ei).....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema:

.....

patvirtinta 2013 m. lapkričio X d. dekanų potvarkiu Nr. 702 st.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2013 m. birželio X d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....

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

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

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

.....

(Vardas, pavardė)

.....

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybinių medžiagų katedra

Egz. sk. 3
Data 2013 05 16

Magistro baigiamasis darbas
Plastifikuojančio priedo kiekio įtaka betono savybėms

Erika Baranauskaitė

Kalba

☒ lietuvių

☐ užsienio

ANOTACIJA

Baigiamojo magistro darbo tikslas yra ištirti plastifikuojančio priedo kiekio įtaką betono savybėms. Šiam tikslui pasiekti buvo išnagrinėta lietuvių ir užsienio literatūra. Darbe aprašomos naudojamos žaliavos, išnagrinėjamos aštuonios skirtingos betono sudėtys, kurios skiriasi cemento tipu ir plastifikuojančio priedo kiekiu. Tyrimams buvo naudoti dviejų rūšių portlandcemenčiai CEM I 42,5N ir CEM II/A-LL 42,5N, stambusis ir smulkusis užpildas, plastifikuojantis priedas ir vanduo. Remiantis tyrimų metodika buvo nustatytos sukietėjusio betono savybės: tankis, gniuždymo stipris po 7 ir 28 kietėjimo parų, ultragarso impulso sklaidimo greitis, vandens įmirkis. Atlikus tyrimus, nustatytas optimalus plastifikuojančio priedo kiekis betone. Eksperimentinėje dalyje atliktų tyrimų rezultatai yra lyginami tarpusavyje ir pateikiami grafiškai.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, metodinė dalis, eksperimentinė dalis, išvados ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 61 p., 22 paveikslai, 8 lentelės, 58 bibliografiniai šaltiniai.

Reikšminiai žodžiai: klintinis cementas, stambus užpildas, smulkus užpildas, plastifikuojantys priedai, gniuždymo stipris.

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybinių medžiagų katedra

Egz. sk. 3
Data 2005 06 16

Magistro baigiamasis darbas
The plastificating additive quantity influence to concrete characteristics
Erika Baranauskaitė

Kalba

☐ lietuvių

☒ užsienio

ANOTACIJA

The main aim of Master's thesis is to investigate the quantity of additive plastificating influence on concrete properties. To achieve this goal, Lithuanian and foreign literature has been explored. Thesis describes the use of raw materials, eight different concrete compositions are being examined, which differ in type of cement and plasticizers on the additive content. Two types of portland cement was used in research (CEM I 42,5N and CEM II/A-LL 42,5N), large and minor aggregates, plasticizers supplement and water. Based on the research methodology, the hardened concrete properties were found: density, compressive strength after 7 and 28 days of curing, the ultrasonic pulse propagation velocity, water absorbtion. After tests, the optimal plastificating supplement amount was found. In experimental part research results are compared with each other and are presented graphically.

The work consists of 6 parts: introduction, the metodical part, experimental part, conclusion, references, appendices.

Work size – 62 text pages, 22 pictures, 8 tables and 58 bibliographical sources.

limestone cement, coarse aggregate, fine aggregate, plastificating additive, compressive strength.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
TERMINAI IR APIBRĖŽTYS	10
ĮVADAS	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA	14
1.1. Baigiamojo darbo temos aktualumas	14
1.2. Klinties cemento poveikis betono savybėms	15
1.3. Plastifikuojančių priedų poveikis betono savybėms	16
1.4. Portlandcemenčio kietėjimas ir hidratacija	17
1.5. Cementai	19
1.6. Užpildai	22
1.7. Vanduo, vandens ir cemento santykis	25
1.8. Cheminių priedų rūšys	26
2. TYRIMŲ METODIKA	32
2.1. Žaliavos ir joms keliami reikalavimai	32
2.2. Betono sudėtis	34
2.3. Betono bandinių formavimas ir kietinimas	35
2.4. Smėlio savybių nustatymas	35
2.4.1. Smėlio piltinio tankio nustatymas	35
2.4.2. Smėlio dalelių tankio nustatymas	36
2.4.3. Smėlio ir žvirgždo drėgnio nustatymas	37
2.4.4. Žvirgždo piltinio tankio nustatymas	37
2.4.5. Žvirgždo dalelių tankio nustatymas	38
2.4.6. Žvirgždo drėgnio nustatymas	39
2.5. Betono savybių nustatymo metodika	39
2.5.1. Betono mišinio slankumo nustatymas	39

2.5.2. <i>Betono bandinių tūrio nustatymas</i>	40
2.5.3. <i>Betono tankio nustatymas</i>	41
2.5.4. <i>Gniuždymo stiprio nustatymas</i>	41
2.5.5. <i>Ultragarso impulso sklaidimo greičio nustatymas</i>	42
2.5.6. <i>Betono bandinių įmirkio normaliosiomis sąlygomis nustatymas</i>	43
3. EKSPERIMENTĖ DALIS	44
3.1 Betono tankio tyrimo rezultatų analizė	44
3.2. Betono gniuždymo stiprio tyrimų rezultatų analizė	46
3.3. Ultragarso impulso sklaidimo greičio tyrimo rezultatų analizė	50
3.4. Bandinių įmirkio normaliosiomis sąlygomis nustatymas	52
IŠVADOS	57
LITERATŪRA	58
PRIEDAI	62

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1pav. Džiovinimas smėlis fr. 0/4.....	34
2pav. Žvirgždas fr. 4/16.....	34
3pav. Suslūgimo atvejai.....	40
4pav. Suslūgimo matavimas.....	40
5pav. Betono tankis, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą.....	44
6pav. Betono tankis, naudojant CEM I 42,5N cementą.....	45
7pav. Betono tankis, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementus.....	45
8pav. Betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą.....	46
9pav. Betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą.....	47
10pav. Betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM I 42,5N cementą.....	47
11pav. Betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM I 42,5N cementą.....	48
12pav. Betono gniuždymo stipris bandymo rezultatai po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementą.....	49
13pav. Betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementą.....	49
14pav. Ultragarso impulso sklaidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė naudojant kelių rūšių cementus po 1 paros.....	50
15pav. Ultragarso impulso sklaidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė naudojant kelių rūšių cementus po 7 kietėjimo	51
16pav. Ultragarso impulso sklaidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė naudojant kelių rūšių cementus po 28 kietėjimo parų.....	52
17pav. Įmirkio priklausomybė nuo CEM II/A-LL 42,5N cemento tipo ir skirtingo plastifikuojančio priedo kiekio.....	53
18pav. Įmirkio priklausomybė nuo CEM I 42,5N cemento tipo ir skirtingo plastifikuojančio priedo kiekio.....	54
19pav. Įmirkio kinetika naudojant CEM II/A-LL 42,5N.....	54
20pav. Įmirkio kinetika naudojant CEM I 42,5N.....	55
21pav. Betonų su skirtingais cementais įmirkis po 72 val	56

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Mechaniniai ir fizikiniai cemento reikalavimai, išreikšti charakteristinėmis vertėmis.....	21
2 lentelė. Pagrindinės cheminių betono priedų grupės.....	29
3 lentelė. Priedų, naudojamų praeito amžiaus nuo 30 –ųjų metų, sąrašas.....	30
4 lentelė. AB „Akmenės cementas“ naudojamo cemento charakteristikos.....	32
5 lentelė. Medžiagų kiekiai 1 m ³ betono mišinio, kg.....	32
6 lentelė. Tiriamajame darbe naudojamų užpildų charakteristikos.....	33
7 lentelė. CEM II/A-LL 42,5N cemento charakteristikos.....	34
8 lentelė. CEM I 42,5N cemento charakteristikos.....	34

TERMINAI IR APIBRĖŽTYS

Betonas – medžiaga, gauta sumaišius rišamąją medžiagą, stambiuosius ir smulkiuosius užpildus bei vandenį, pridėjus priedų bei įmaišų arba jų nepridėjus, betono reikiamos savybės susiformuoja, kai jis kietėja.

Cementas – tam tikros cheminės sudėties neorganinių medžiagų milteliai, kurie su vandeniu sudaro ilgainiui sukietėjančią tešlą.

Portlandcementis – tai hidraulinė rišamoji medžiaga, kurios sudėtyje vyrauja kalcio silikatai.

Priedas (įmaiša) – medžiaga, kuri pridedama į betono mišinį jo ruošimo metu ir kurios mažas kiekis cemento masėje modifikuoja betono mišinio arba betono savybes.

Cemento akmuo – sukietėjusi cemento tešla.

Vandens – cemento santykis – cemento tešlos vandens ir cemento masių santykis mišinyje.

Užpildas – biri mineralinė ar organinė medžiaga, sudaranti neaktyvią betono ar skiedinio dalį.

Gamtinis užpildas – mineralinės kilmės užpildas, kuris gaunamas tik mechaninio perdirbimo būdu.

Dirbtinis užpildas – užpildas, kuris gaunamas mineralinę žaliavą gamybos procese paveikus termiškai ar modifikavus kitaip.

Antrinis užpildas – užpildas, pagamintas iš anksčiau statyboje jau naudotų medžiagų jas perdirbant.

Užpildo stambumas – užpildo charakteristika, apibūdinama apatinio sieto (d) ir viršutinio sieto (D) akelių matmenimis.

Stambus užpildas – užpildas, kurio stambiosios dalelės D ne mažesnės kaip 4 mm ir d ne mažesnis kaip 2 mm.

Smulkus užpildas – tai biri natūrali arba dirbtinė akmens medžiaga sudaryta iš 0 – 4 mm frakcijos dydžio dalelių.

Mikroužpildas – užpildas, kurio didžioji dalis išbyra per 0,063 mm akelių sietą. Dalelių matmenys yra 0,005 – 0,063 mm ribose, savitasis paviršius didesnis kaip 100 m²/kg.

Stambesniosios dalelės – užpildo dalis, kuri lieka ant rečiausiojo sieto, apibrėžiančio užpildo stambumą.

Smulkesniosios dalelės – užpildo dalis, kuri išbyra per tankiausiąjį sietą, apibūdinantį užpildo stambumą.

Granulimetrinė sudėtis – dalelių pagal stambumą pasiskirstymas išreikštas išbirų per nustatytą sietų skaičių masės %.

Gniuždymo stipris – tai medžiagos, kuri suyra veikiamą gniuždymo apkrovos, stiprumo riba, išreikšta sugniuždžiusios jėgos ir gniuždomo ploto santykiu.

Įtrauktasis oras – betono mikroskopinės oro pūslelės, susidarančios ruošiant betono mišinį su specialiai įterptomis aktyvaus paviršiaus medžiagomis. Paprastai pūslelių dydis kinta nuo 10 mkm iki 300 mkm, o forma – sferinė arba jai artima.

Skystiklis/plastiklis – įmaiša, kurią įdėjus, nekeičiant konsistencijos, galima sumažinti vandens kiekį betono mišinyje arba, nekeičiant vandens kiekio, padidinti betono mišinio slankumą/sklidumą, arba gauti abu rezultatus kartu.

Superskystiklis/superplastiklis – įmaiša, kurią įdėjus, nekeičiant konsistencijos, galima gerokai sumažinti vandens kiekį betono mišinyje arba, nekeičiant vandens kiekio, gerokai padidinti betono mišinio slankumą/sklidumą, arba gauti abu rezultatus kartu.

IVADAS

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.

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.

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 surenkamuosiuos gaminius į konstrukcijas yra pastarojo meto gamybos technologijų tobulinimo sritys.

Projektuojant betono mišinio sudėtį, reikia parinkti medžiagas tinkamas betonui gaminti. Betono sudėtis ir komponentai yra parenkami taip, kad atitiktų reikalavimus, keliamus betono mišiniui ir betonui. Bendruoju atveju cemento, užpildų, vandens, priedų (įmaišų), neorganinių priedų tinkamumas nustatomas pagal Lietuvoje galiojančius standartus.

Pagrindiniai reikalavimai, keliami betonui, yra gniuždymo stipris bei plastiškumas. Šios savybės priklauso nuo vandens kiekio. Didinant vandens kiekį betono mišinyje jis tampa plastiškesnis, lengviau apdirbamas, tačiau sumažėja jo stiprumas. Sumažinus vandens kiekį, galutinis betono stipris padidėja, tačiau sumažėja betono mišinio plastiškumas, su juo sunku dirbti. Pasiiekti abu tikslus, norimą betono stiprumą bei mišinio plastiškumą galima naudojant cheminius priedus. Šių priedų betono mišinį dedama iki 3% nuo cemento masės. Cheminių priedų vartojimo srityje praktika yra pralenkusi mokslą. Praktikoje naudojama daug įvairios cheminės sudėties priedų, kurių sąveika su cementu ir užpildais iki šiol nepakankamai ištirta. Tačiau eksperimentais įrodyta, kad tokius cheminius priedus betono gamyboje naudoti racionalu. Cheminių, plastifikuojančių priedų įtaka skirtingos sudėties betono mišiniuose gali būti skirtinga. Nežinant plastifikuojančių priedų sąveikos mechanizmo, jų panaudojimo sąlygas reikia nustatyti eksperimentais. Cheminis priedas yra tik mažytė dalelė bendroje betono ar skiedinio sudėtyje, tačiau juo galime suteikti betonui naujų savybių, kurių betonas be priedų negalėtų turėti.

Baigiamojo magistro darbo tikslas ištirti plastifikuojančio priedo kiekio įtaką betono savybėms, panaudojant skirtingų tipų cementus, esant vienodoms betono mišinių sudėtimis ir gamybos sąlygoms.

Pagrindiniai darbo uždaviniai yra:

- Parinkti optimalią betono sudėtį;
- Nustatyti plastifikuojančio priedo kiekio įtaką betono tankiui;
- Nustatyti plastifikuojančio priedo kiekio įtaką ultragarso impulso sklidimo greičiui;
- Nustatyti plastifikuojančio priedo kiekio įtaką betono įmirkiui normaliosiomis sąlygomis;
- Nustatyti plastifikuojančio priedo kiekio įtaką betono gniuždymo stipriui;
- Palyginti gautus bandinių rezultatus ir pateikti išvadas.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Baigiamojo darbo temos aktualumas

Betono mišinys yra sudėtinga daugiakomponentė polidispersinė sistema, kuri gaunama cemento ir užpildų bei priedų mišinį sumaišius su vandeniu. Šią sistemą sudaro mažos ir stambesnės cemento dalelės, smulkiojo ir stambiojo užpildo dalelės, atitinkami priedai, vanduo ir įtrauktasis oras. Savo savybėmis betono mišiniai užima tarpinę vietą tarp rišliųjų skysčių ir keitųjų kūnų. Betono mišinių savybės priklauso nuo jų struktūros ir pagrindinių betono ir skiedinių gamybai naudojamų medžiagų – cemento, užpildų, vandens. Kitos medžiagos, vadinamos betono priedais, naudojamos gana seniai. Tai vienas iš paprasčiausių ir lanksčiausių būdų pagerinti betono mišinio savybes, sumažinti medžiagų, energijos ir darbo sąnaudas, padidinti darbo našumą gaminant betoną ir gelžbetonį.

Šiuo metu vienas iš svarbiausių cemento pramonės, kartu ir statybos pramonės uždavinių – mažinti anglies dioksido išmetimą į aplinką. Nuo industrializacijos pradžios, daugiau naudojant anglies, gamtinių dujų ir mazuto bei iškirtus tropinius miškus, anglies dioksido kiekis atmosferoje padidėjo maždaug 25 %. Maždaug 50 % antropogeninio šiltnamio efekto sudaro anglies dioksidas. Jei nebus imtasi mažinti anglies dioksido, po 100 metų vidutinė oro temperatūra pakils $2,5^{\circ}\text{C}$. Šis klimato istorijai neįprastas staigus atšilimas turėtų įtakos pasauliniam klimato pasikeitimui. Taigi, kad kuo mažiau būtų išmetama anglies dioksido, vienas, iš būdų – daugiau gaminti ir naudoti cementų, kuriuose dalis klinkerio būtų pakeista mineraliniais priedais, t. y. klintimis, pucolanais, šlakais ir pan.

Vieni iš perspektyviausių priedų tiek technologiniu, tiek ekonominiu požiūriu yra klintis ir šlakai. Klinties ir šlakų portlandcemenčių (CEM II) naudojimas Europoje pastaraisiais metais nuolat augo, šių cementų bei jų gaminių (betonų, skiedinių) tyrimams skiriama daug mokslinių darbų. Lietuvoje gaminamas tiek klinties, tiek šlakinis portlandcementis, todėl siekiant platesnio šių portlandcemenčių naudojimo būtina ne tik žinoti specifines jų savybes, bet ir plačiai betono pramonėje naudojamų priedų, tokių kaip superplastikliai, lėtikliai, greitikliai ir pan., poveikio jų savybėms ypatumus. Kaip žinoma, šie cheminiai priedai gali iš esmės keisti betonų savybes. Lietuvos sąlygomis racionaliausia būtų plėsti klinties portlandcemenčio naudojimą, nes klintis yra vietinė cemento gamybos žaliava ir pats pigiausias priedas. Tokio portlandcemenčio daugiausia naudojama ir Europoje.

1.2. Klinties cemento poveikis betono savybėms

Laikoma, kad pagrindinis klinties priedo poveikis cemento savybėms yra fizinio pobūdžio. Sumaltos kartu su klinkeriu klinties dalelės yra labai smulkios, t. y. žymiai smulkesnės nei cemento (klinkerio) dalelės. Nepaisant didelio smulkumo, jos neturi aglomeravimosi savybių, tolygiai pasiskirsto cemente. Autorių A. Allahverdi ir S. Salemo (Allahverdi, Salem 2010) darbuose teigiama, kad sumalto klinkerio dalelės klinties dalelės veikia kaip tepalas ir užtikrina tolygesnį cementuojančių dalelių pasiskirstymą bei tolygesnę tankesnę kietėjančio cementinio karkaso struktūrą, ypač esant mažesniai vandens ir cemento santykiui. Autoriai (Allahverdi, Salem 2010) dar išnagrinėjo, kad klinties priedas netgi turi dispergavimo savybių ir pagerina aglomeruotus linkusių ir sunkiai išmaišomų priedų, tokių kaip silicio dioksido dulkės sklaidą cementinėje matricoje (Allahverdi, Salem 2010).

Mokslinio tyrimo metu buvo įrodyta, kad klinties priedas dėl mažesnio kaip klinkerio tankio didina teslos išeigą esant tam pačiam vandens ir cemento santykiui ir gerina betonų slankumą bei užpildų pasiskirstymą (Yahia, Tanimura 2005). Tie patys mokslininkai mokslinio tyrimo metu nustatė, kad didelio smulkumo klinties priedas didina cemento teslos klampą, taigi ir reikalingą vandens ir cemento santykį, tai turi įtakos betonų ilgaamžiškumo savybėms, tokioms kaip atsparumas šalčiui, cheminiam aplinkos poveikiui ir pan. Mokslininkai (Bonavetti *et al.* 2003; Nedhi *et al.* 1996; Voglis *et al.* 2005) nustatė, kad klinties priedas didina arba neturi įtakos ankstyvajam stipriui, tačiau sumažina stiprį vėlesniais kietėjimo laikotarpiais. Ankstyvasis kietėjimo laikotarpis tai kietėjimas po dviejų parų, o vėlyvasis po septynių ir daugiau parų. Klinties priedas turi ir cheminį poveikį, labai smulkios jos dalelės yra kaip kalcio hidroksido kristalizacijos centrai ir skatina C3S hidrataciją, o reakcijos su C3A pasekmė yra karboaluminatų susidarymas (Nehdi 2003).

Mokslininkų grupė ištyrė, kad klinties priedas cemento klinkeryje mažina vandens sanaudas normalaus tirštumo cemento teslai paruošti. Jie nustatė, kad 15 % cemento klinkerio pakeitus klintimis vandens sanaudos sumažėja 2 % lyginant su pradiniu klinkeriu, o didinant kiekį iki 3 % - sanaudos sumažėja 3 % (Tsivilis *et al.* 1999).

Taip pat buvo nustatyta nustatyta, jog stiprumo savybėms klintis turi dviejopą įtaką. Didelis jos kiekis (35 %) betono gniuždymo stiprį po 28 parų sumažina gana ženkliai apie 40 %, lyginant su pradiniu cemento klinkeriu, o nedidelis kiekis (5 %) nežymiai padidina apie 5 %. Nustatyta, kad 5-10 % klinkerio pakeitus klintimis, gniuždymo stipris po 2 ir 7 parų gaunamas didesnis, negu pradiniu bandiniu, be klinties priedų (Tsivilis *et al.* 1999).

Autoriai Halalas, Kadris, ir kt. (Hallal *et al.* 2007) atliko tyrimus kuriais nustatė cemento pastos nestabilumą, kurios sudėtyje yra organinių ir mineralinių priemaišų.. Po atliktų bandymų buvo

suformuluotos svarbiausios išvados: didelis W/C santykis, pastos tekėjimo laikas, padarytos su C1 cementu ir SP2 superplastifikatoriumi sueina į unikalią vertę įvairioms superplastifikatoriaus dozėms. Pastai, padarytai su C2 cementu ir SP2 superplastifikatoriumi, tekėjimo laiko vertės yra artimos ir lieka pastovios visoms superplastifikatoriaus dozėms ypač, kai W/C santykis viršija 0.4. Susimaišymai su klinties milteliais atstovauja geriausiam reologiniam suderinamumui su panaudotais superplastifikatoriais. Klinties miltelių pridėjimas gali pagerinti išsklaidymą ir duoti tam tikrą suderinamumą poros cemento superplastifikatoriui.

Viename moksliniame straipsnyje, kurio autoriai yra Heikalas, Morsis (Heikal *et al.* 2007) ir kt. buvo aprašyti tyrimai su paprastuoju portlandcemenčiu bei silicio garais. Jų teigimu pirmąją bandymų dieną paprastojo portlandcemenčio elektrinis laidumas buvo didesnis negu portlandcemenčio su silicio garais. Padidėjus polimerų kiekiui elektrinis laidumas mažėja. Esant silicio garams ir vandeniniam padidėjimui, laisvas kalkių turinys mažėja.

1.3. Plastifikuojančių priedų poveikis betono savybėms

Daug darbų skirta klinties portlandcemenčių bei jų betonų savybių modifikavimui naudojant superplastiklius (SP). Naujų, ypač efektyvių SP atsiradimas žymiai išplėtė galimas klintinio cemento naudojimo sritis. Tyrimai rodo, kad klinties portlandcemenčiams, priešingai nei kitokiems, pvz., pucolanų portlandcemenčiams, tinka visi dažniausiai naudojami SP, SP leidžia žymiai sumažinti užmaišymui reikalingą vandens kiekį, t. y. eliminuoja betono eksploatacinių savybių prastėjimą dėl padidinto V/C, kai naudojamas klinties portlandcementis. Autoriai Bonavetis ir Bentzsinis (Bonavetti *et al.* 2003; Bentz *et al.* 2001) nustatė, kad gaminant ypač tankius stiprius betonus su mažu V/C (0,25 -0,30), kuriuose SP naudojimas būtinas, klinties priedo (tam tikro kiekio, dažniausiai iki 15 – 20 %) poveikis betono stiprumo savybėms nėra žymus, palyginus su betonų iš cemento be priedų. Kitų autorių (Bonavetti *et al.* 2003; Tsivilis *et al.* 2001) teigimu, tokio betono stipris vėlesniais kietėjimo laikotarpiais gali būti tik šiek tiek mažesnis (7 – 10 %), tačiau toks betonas pasižymi smulkesnėmis nesusiekiančiomis poromis, taigi, ir mažesniu pralaidumu, tolygesne struktūra ir atitinkamai geresnėmis eksploatacinėmis savybėmis.

Mokslininkai (Bentz, Conway 2001) teigia, kad klinties priedas betonuose su mažu V/C atskiesdamas (pakeisdamas) cemento daleles sudaro prielaidas visiškai išnaudoti cemento rišamąsias savybes, t. y. įvykti visiškai cemento hidratacijai. (Bentz *et al.* 2001). Mokslininkas Tayloras (Taylor 1997) ištyrė, kad norint jog cementas (be priedų) visiškai hidratuotųsi, V/C turi būti mažiausiai 0,38, esant mažesniai V/C cementas visiškai nesiidratinėja, taigi dalis cemento dalelių lieka kaip mikroužpildai. Nustatyta, kad klinties priedas palengvina linkusių aglomeruotis silicio dioksido dalelių dispergavimą ir pagerina jų sklaidą cemente, silicio dioksido priedas yra

papildoma cementuojanti medžiaga, būtina gaminant didelio tankio stiprius betonus, jis pagerina stiprumo savybes vėlesniu kietėjimo laikotarpiu, cheminį atsparumą. SP naudojimas yra neatsiejama tokių betonų gamybos dalis (Bonavetti *et al.* 2003; Nedhi *et al.* 1996).

Efektyviausi šiuo metu gaminami 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. Techniniai lignosulfonatai nėra labai efektyvūs plastikliai, nes didesni jo kiekiai (daugiau kaip 0,25 % nuo cemento kiekio) žymiai lėtina cemento rišimąsi ir kietėjimą.

Daugelio mokslininkų nuomone, cemento rišimosi ir kietėjimo lėtinimo priežastimi yra redukuojančios medžiagos, esančios LST sudėtyje (angliavandeniai, organinės rūgštys ir jų junginiai). O juose esančios cukringos medžiagos nežymiai lėtina cemento hidrataciją ir kietėjimą. Be to, techniniai lignosulfonatai sumažina paviršiaus įtempį fazių sąlyčio paviršiuje „skystis – oras“ ir dėl to padidina oro įtraukimą į betono mišinį. Kiekviena dešimtoji procento dalis LST priedo padidina oro kiekį betono mišinyje ($0,8 = 0,9 \%$) (Skripkiūnas 1996).

1.4. Portlandcemenčio kietėjimas ir hidratacija

Portlandcementis yra ne tik skirtingų mineralų konglomeratas, bet ir įvairių dydžių cemento dalelių mišinys. Dėl to portlandcemenčio hidratacija ir kietėjimas yra labai sudėtingas procesas, kurio metu įvairaus dydžio dalelės hidratuojasi skirtingu greičiu, o mineralų hidratacijos procesai dengia vieni kitus. Susidarę hidratai gali sąveikauti tarpusavyje ir todėl kartu kinta galutinė hidratų sudėtis (Martusevičius *et al.* 2002).

Taigi norint nustatyti bandinių mineralinės sudėties kitimą, cemento hidratacijos metu buvo atlikta rentgeno difrakcinė, vienalaikė terminės analizės. Analizuojant rentgeno difrakcinės analizės kreives, buvo identifikuotas pagrindinis cemento hidratacijos junginys – portlanditas. Atlikus šią analizę autoriai Eisinas ir Baltakys (Eisinas, Baltakys 2009) tvirtina, jog pagrindinės hidratacijos reakcijos vyksta per pirmąsias hidratacijos paras. Be to buvo nustatyta, jog per 28 paras nehidratuoto alito ir belito mineralai hidratuojasi nevisiškai. Šio tyrimo metu autoriai patvirtina, jog po 3 cemento hidratacijos parų susidaro 9 % portlandito, po septynių kietėjimo parų pastarojo junginio kiekis nedaug tepakinta, apie 10 %. O štai po 28 parų susidariusio portlandito kiekis padidėja jau iki 13 %.

Betono kietėjimui tirti buvo atlikta nemažai tyrimų. Vienas iš tokių tyrimų tai kalcio karbonato įtaka betono hidratacijai. Mokslininkas Matchėjus ir kt. (Matschei *et al.* 2007) nagrinėjo kalcio karbonato įtaką betono hidratacijai ir padarė skaičiavimais paremtas išvadas, kad sulfatas

išlaisvintas nuo sulfoaluminato karbonizacijos reaguoja su vandeniu, kalcio hidroksidu ir etringito mineralu. Papildomas etringito sudarymas didina pastos kietųjų dalelių apimtį ir nuspėjama, kad šis mechanizmas galėtų būti išdėstytas, kad padidintų erdvę pildančias pastos ypatybes, galbūt privesdamas prie poringumo sumažėjimo ir sukietintos cemento pastos pralaidumo. Erdvę pildančios reakcijos įvyksta greitai, tai vyksta naudojant pvz: klintis.

Portlandcemenčio kietėjimo greitis taip pat priklauso ir nuo aplinkos temperatūros, 0 – 8 °C temperatūroje jis 2 – 3 kartus mažesnis negu 20 °C temperatūroje. Todėl žemesnėje temperatūroje kietėjantiems betonams portlandcementis gaminamas dedant daugiau C_3A . Neigiamoje temperatūroje vandeniui virtus ledu, cementai be specialių priedų nekietėja. Dabar taikomi du hidroterminio betono apdorojimo būdai: šutinimas 80 – 95 °C temperatūroje ir autoklavinis apdorojimas 174 – 195 °C temperatūroje (slėgis 0,8 – 1,2 MPa). Sočiųjų garų aplinkoje šutinami betono gaminiai, kietėdami 8 – 16 val., įgauna ~70 % klasės stiprumo. Kietinant autoklave, po 8 – 12 val. gaunamo cementinio akmens stiprumas siekia klasei būdingą stiprumą.

Betoną šutinant padidėja C_3S , C_4AF ir C_3A hidratacijos sparta, o C_2S dar nehidratuoja. Hidratacijos metu susidaro labiau kristalizavęsi ir būdingesnių bazės savybių kalcio hidrosilikatai (C-S-H). Į portlandcemenčius rišimosi spartai reguliuoti visada dedama iki 5 % gipso, kuris hidratacijos metu reaguoja su C_3A . Susidarantis kompleksinis junginys vadinamas trisulfohidroaluminatu arba etringitu. Rišimąsi lėtinantis gipso priedo poveikis aiškinamas tuo, kad virš hidratuojamų C_3A dalelių susidaro etringito junginio plėvelė, trukdanti vandeniui patekti į gilesnius C_3A sluoksnius. Po tam tikro laiko vandens slėgis šią plėvelę suardo, ir reaguoja gilesni C_3A sluoksniai. Procesas vyksta cikliška, tad ir cemento rišimasis pradžioje sulėtėja. Šutinant susidaręs etringitas persikristalizuoja į monosulfohidroaluminatą. Kietinant autoklaviniu būdu, kai temperatūra pakyla iki > 100 °C monosulfohidroaluminatas suyra, ir Al bei SO_4 jonai pereina į gelio sudėtį. Šiuo būdu gauti cemento mineralų hidratai esti iš daugiau kristalų, tuo paaiškinamas didesnis cementinio akmens stiprumas.

Nagrinėjamų literatūros šaltinių autorių teigimu (Горчаков, Баженов 1986, Воробьев 1979, Deltuva *et al.* 1982, Naujokaitis 2003, Naujokaitis 2007, Montvila 2003) kiekvienas portlandcementis skiriasi savo savybėmis bei paskirtimi. Greitai kietėjantis portlandcementis (CEM I 42,5 R) gaminamas dedant 5 % kietėjimo greitį reguliuojančių priedų. Šis portlandcementis gaminamas dviejų klasių: 42,5 R ir 52,5 R. Tris paras kietėjęs jis pasiekia ne mažesnę 50 % klasės stiprį. Plačiai naudojamas statybinių mišinių gamyboje.

1.5. Cementai

Portlancementis – cementas, tai pagrindinė vandenyje ir ore kietėjanti rišamoji medžiaga, gaunama iš klintinių uolienu ir molio tam tikros sudėties mišinio, išdegus jį iki sukepimo ir sumalus su priedais. Iš dalies žaliavų mišinį galima pakeisti aukštakrosnių šlakais, nefilininiu šlamu, opoka, tačiau žaliavų sudėtyje po degimo privalo būti tam tikras kiekis pagrindinių metalų oksidų: 62 – 67 % CaO , 20 – 25 % SiO_2 , 4 – 8 % Al_2O_3 , 2 – 5 % Fe_2O_3 . Be šių oksidų, cemente būna ir kenksmingų priemaišų. Pagrindiniai procesai yra žaliavų paruošimas šlapiuoju arba sausuoju būdu, degimas iki sukepimo ir klinkerio malimas su priedais. Gaminant šlapiuoju būdu žaliavos yra trupinamos, malamos ir sumaišomos su dideliu kiekiu vandens. Paruošta vienalytė masė vadinama šlamu. Sausuoju būdu – žaliavos susmulkinamos, sumaišomos, o iš miltelių gaminamos granulės. Išdegtos ir sukepusios žaliavos vadinamos klinkeriu. Tai žalsvai pilki amorfinio stiklo milteliai. Degimo – sukepimo metu susidarę klinkerio junginiai vadinami mineralais (Naujokaitis 2007).

Portlancementis pradeda rištis ne anksčiau kaip po 45min, o baigia ne vėliau kaip po 10 valandų. Cementinio akmens stiprumas sparčiai didėja pirmąsias 2 – 7 paras ir didėja ištisus mėnesius ir metus.

Pagal standartą (LST EN 197-1 2001), cementas – tai tam tikros cheminės sudėties neorganinių medžiagų milteliai, kurie su vandeniu sudaro ilgainiui sukietėjančią teslą. Įprastiniai cementai skirstomi į 27 atmainas, iš jų 5 yra pagrindinės.

- CEM I – portlandcementis;
- CEM II – sudėtinis portlandcementis;
- CEM III – šlakinis cementas;
- CEM IV – pucolaninis cementas;
- CEM V – sudėtinis cementas.

CEM I – tai portlandcementis tik su 5 % priedų, CEM II – tai sudėtinis portlandcementis su 6 – 20 % arba iki 35 % priedų. CEM III – tai šlakinis portlandcementis su 35 – 65 % priedų, CEM IV – pucolaninis portlandcementis su 11 – 55 % priedų, CEM V – sudėtinis cementas, turintis 18 – 50 % šlako priedų ir 18 – 50 % priedų. Su daugiau klinkerio portlandcementis jungiasi ir kietėja greičiau ir 90 % stiprį pasiekia po trijų parų kietėjimo. Portlandcementis pradeda jungtis ne anksčiau kaip po 45 min., o baigia ne vėliau kaip po 12 valandų. Portlandcemenčio kietėjimui ypač svarbi yra aplinkos temperatūra. Krintant temperatūrai portlandcementis kietėja lėčiau, esant nuliui laipsnių neketėja, o kylant aplinkos temperatūrai, jis kietėja sparčiau. Paprastas, normaliai sukietėjęs portlandcementis yra atsparus šalčiui.

Šlakinis portlancementis – šis portlandcementis gaminamas iš portlandcemenčio klinkerio ir aukštakrosnių metalurginių šlakų bei gipso kartu sumalus. Dažniausiai naudojami granuliuotieji

šlakai, gaminami staigiai ataušinus ketaus ir kitų metalų aukštakrosnių šlakus. Šlakinis portlandcementis naudojamas tiems patiems tikslams kaip ir paprastas portlandcementis. Šie cementai kietėdami išskiria mažiau šilumos, todėl naudojami masyvioms konstrukcijoms, yra atsparesni sulfatų poveikiui bei kaitrai, tačiau šalčiui atvirkščiai – mažiau atsparūs. Tinka povandeniniams, hidrotechniniams statiniams.

Mikrodulkių portlandcementis (CEM II/A-D) – šis portlandcementis gaminamas iš klinkerio mikrodulkių. Mikrodulkės malamos kartu su klinkeriu, gali būti natūralios arba specialiai paruoštos.

Pucolaninis portlandcementis (CEM II/A-P; CEM II/B-P; CEM II/A-Q; CEM II/B-Q). Šis portlandcementis gaminamas keturių atmainų su hidrauliniiais priedais. Šie priedai gali būti gamtiniai arba dirbtiniai. Tai smulkiai sumaltos medžiagos, kurios suteikia hidrauliškumo savybių. Hidrauliniai priedai padidina portlandcemenčio atsparumą vandeniui, druskoms, jis pigesnis. Dirbtiniai priedai neturi pastebimai didinti vandens sąnaudų normaliai tešlai gauti, mažinti betono ar skiedinio stiprumo ar skatinti armatūros korozijos. Pucolaniniai portlandcemenčiai atsparesni sulfatams, nes vykstant hidratacijai susidaro atsparesni hidroaluminatai. Šiems cementams sumaišyti sunaudojama daugiau vandens, o betonai ne tokie atsparūs šalčiui ir oro veiksniams, didesnės jų susitraukimo ir brinkimo deformacijos. Betonai su šiais cementais tinka naudoti konstrukcijoms vandenyje ir po žeme.

Pelenų portlandcemenčiai – šie portlandcemenčiai taip pat gaminami keturių atmainų (CEM II/A-V; CEM II/B-V; CEM II/A-W; CEM II/B-W). Šių cementų gamybai naudojami elektrostatiniais arba mechaniniais filtrais sugaudyti kūrenant susmulkintomis akmens anglimis susidarantys pelenai. Pelenai gali būti rugštieji ir baziniai. Pelenų portlandcemenčių paskirtis tokia pati kaip ir pucolaninių portlandcemenčių.

Skalūnų portlandcementis – šis cementas gaminamas dviejų atmainų (CEM II/A-T; CEM II/B-T). Aktyvusis priedas – degtas ir smulkiai sumaltas skalūnas. Toks priedas gali hidrauliškai kietėti, jam būdinga hidraulinis aktyvumas.

Klentinis portlandcementis – gaminamas keturių atmainų (CEM II/A-L; CEM II/B-L; CEM II/A-LL; CEM II/B-LL). Jis gaunamas maišant maltas klintis su klinkeriu. Šiame cemente negali būti molio bei organinių priemaišų.

Sudėtinis portlandcementis – šis cementas gaminamas dviejų atmainų (CEM II/A-M; CEM II/B-MM) su įvairiais priedais: aukštakrosnių šlakais, silicinėmis mikrodulkėmis, gamtiniais ir degtais pusolanais, siliciniais ir kalciniais pelenais, degtu skalūnu bei klintimis.

Šlakinis cementas – gaminamas iš trijų atmainų (CEM III/A; CEM III/B; CEM III/C). Šių cementų pagrindinis skirtumas nuo šlakinių portlandcemenčių yra tai, jog žymiai sumažinta portlandcemenčio klinkerio dalis, daugiau dedama smulkiai sumaltų aukštakrosnių šlakų. Rišasi ir

kietėja lėčiau, sukietėjęs cementinis akmuo mažesnio stiprumo, tačiau atsparesnis mineralizuotam vandeniui.

Šlakinis sulfatams atsparus cementas – šlakinis sulfatams atsparus cementas gaminamas su portlandcemenčio klinkeriu, kuriame yra normuotas C_3A kiekis. Malant pridedama granuliuotų aukštakrosnių šlakų kaip ir įprastiniuose šlakiniuose cementuose. Šis cementas iš pradžių kietėja lėčiau, bet po 28 parų kietėjimo stipris siekia standartinį.

Pucolaninis cementas – šis cementas gaunamas dviejų atmainų (iš portlandcemenčio klinkerio, degant silicinėms mikrodulkėms, iš pucolano ar pelenų bei gipso. Šio cemento hidratacija mažai skiriasi nuo pucolaninio portlandcemenčio, todėl naudojamas analogiškai. Tinkamiausia naudoti kai kuriems sausiesiems mišiniams gaminti.

Sudėtinis cementas – cementas gaminamas dviejų atmainų (CEM V/A; CEM V/B). Gaunamas kartu sumalus portlandcemenčio klinkerį, aukštakrosnių šlakus, pucolaninius priedus arba silicinius pelenus, bei gipsą, kurio kiekis ribojamas.

Mūro cementai – gaunamas kartu sumalus portlandcemenčio klinkerį ir granuliuotą aukštakrosnių šlaką pridedant gipso. Mūro cementai naudojami mūro skiediniams ir sausiesiems mišiniams. Jie lėčiau kietėja ir yra žemesnių klasių, tačiau pigesni už kitus cementus.

Be šių cementų, yra ir kiti cementai – tai baltasis ir spalvotieji portlandcemenčiai, aliuminatinis cementas rūgštims atsparus cementas, fosfatiniai cementai (Naujokaitis 2007).

Standartinės cemento stiprumo klasės yra trys: 32.5, 42.5, 52.5. Šios klasės nustatomos bandant bandinių gniuždomąjį stiprį po 28 parų kietėjimo. Remiantis standartu (LST EN 197-1 2001), cemento ankstyvasis stiprumas apibūdinamas gniuždymo stipriu, nustatomu po 2 arba 7 parų. Pagal ankstyvąjį stiprumą kiekviena stiprumo klasė yra skiriama į dvi ankstyvojo stiprumo klases. Tai įprastinio ankstyvojo stiprumo klasė, kuri žymima raide N, ir didelio ankstyvojo stiprumo klasė, kuri žymima raide R.

Betono mišinio gamybai naudojamam cementui yra keliami tam tikri cheminiai reikalavimai, kurie nurodyti 1 lentelėje. Yra nustatomi kaitmenys, netirpmenys, sulfatų (SO_3) kiekis, chloridai, pucolaniškumas.

1 lentelė. Mechaniniai ir fizikiniai cemento reikalavimai (LST EN 197–1: 2001)

Gniuždymo stipris, MPa					Rišimosi pradžia, min.	Tūrio pastovumas, mm
Stiprumo klasė	Ankstyvasis		Standartinis, 28 paros			
	2 paros	7 paros				
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10

1 lentelės pabaiga

32,5 R	≥ 10	-				Foliosos pasargu
42,5 N	≥ 10	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	≥ 60	
42,5 R	≥ 20	-				
52,5 N	≥ 20	-	$\geq 52,5$	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30	-				

Daugumoje literatūros šaltinių autoriai portlandcemenčio apibrėžimą pateikia panašiai. Pagal LST EN 197 – 1 (2001) standartą, portlandcemenčiu vadinama hidraulinė rišamoji medžiaga, kurios sudėtyje vyrauja kalcio silikatai (70-80 %). Portlandcementis gaunamas sumalus klinkerį ir tam tikrą kiekį gipso. Gipso dedama tiek, kad portlandcementyje būtų ne mažiau kaip 1,0 – 1,5 ir ne daugiau kaip 3,5 – 4,0 % SO_3 . Portlandcemenčio tankis (be mineralinių priedų) yra 3,05 – 3,15 g/cm^3 . Jo piltinis tankis priklauso nuo sutankinimo, nes nesutankinto cemento piltinis tankis yra 1,10 g/cm^3 , vidutiniškai sutankinto – 1,30 g/cm^3 , labai sutankinto – 1,60 g/cm^3 .

1.6. Užpildai

Gaminant betoną yra naudojami užpildai. Betono ir skiedinio užpildai sudaro 85 % jų masės. Tai gamtinės uolienos arba dirbtinės medžiagos. Dažniausiai užpildų gaunama iš gamtinių uolienų, kurios specialiai išvalomos, iškasamos ir perdirbamos, išvalomos trupinamos, rūšiuojamos ir tiekiamos betonų gamintojams.

Užpildai gali būti susidarę gamtoje dūlėjant gamtinėms uolienoms: smėliui, žvirgždui. Jų grūdėliai būna įvairių formų: apskriti, plokšti ir pailgi, paviršius nuzulintas, nugludintas. Pagal grūdelių stambumą užpildai skirstomi į stambiuosius, smulkiuosius, smulkeles ir mikroužpildus.

Tinkamai parinkus užpildų grūdelių dydį, jų tarpusavio santykį ir rūšį galima pagaminti norimų savybių dirbinius. Nuo užpildų savybių, 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 mišinyje užpildo daleles (Naujokaitis 2007).

Kad užpildų kokybė atitiktų LST EN 12620:2002 standarto 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.

Sunkiems betonams vartojami smėlis (smulkus užpildas), žvirgždas, žvyras, skalda arba žvirgždo skalda. Lengviems betonams naudojami lengvi natūralūs užpildai: susmulkinta pemza, trepelas, tufas bei dirbtiniai užpildai, tai keramzitas, kūryklų šlakas, agloporitas, perlitas, medienos trupiniai ir pjuvenos, stiklo trupiniai, mažos putų polistireno granulės (1-3 mm), polipropileno pluošteliai ir kt. Gamtiniai užpildai gaunami perdirbus gamtines uolienas arba gaminat iš augalinės kilmės žaliavų: medienos, šiaudų, linų ir daugeliokitų. Dirbtiniams užpildams priskiriami kai kurie specialiai gaminami produktai arba pramonės atliekos, kurių struktūra persiformavo gamybos procese, tai keramzitas, šlakai, polimerinės medžiagos (Matschei 2007)

Stambusis užpildas toks, kurio dalelių stambumas (D) ne didesnis kaip 4 mm. Ir (d) ne mažesnis kaip 2mm. Stambusis užpildas dažniausiai būna natūralus žvirgždas – trupintų žvirgždo ir smėlio kiekių santykis žvyre būna netinkamas ir nepastovus, tai jis sijojamas atskiriant į smėlį ir žvirgždą. Stambesni kaip 63 mm dydžio grūdėliai yra trupinami į žvirgždo skalda, natūralių uolienu skalda arba dirbtinis (Naujokaitis 2007).

Smulkus užpildas – smėlis, nuosėdinė, iš smulkių nuolaužų susidariusi biri uoliena. Kaip smulkus užpildas sunkiajam betonui naudojamas smėlis, kurio dalelės yra 0,125 (0,16). 4 (5) mm, o jų tankis didesnis kaip 1,8 g/cm³. Betonų gamybai naudojamas gamtinis smėlis, susidaręs yrant gamtinėms uolienoms, taip pat dirbtinis, gaunamas smulkinant gamtines uolienas ir atsijas. Gamtinis smėlis yra įvairių mineralų grūdelių (daugiausia kvarco, feldšpatų, kalcito, žėručių ir kt.) mišinys. Smėlio, naudojamo betono gamybai, kokybė priklauso nuo dalelių sudėties ir kenksmingų priemaišų. Užpildas turi būti sudarytas iš įvairaus dydžio dalelių (įvairių frakcijų), be to, stambių,

vidutinių ir smulkių dalelių kiekis (t.y. užpildo dalelių sudėtis) nustatomas naudojantis patikrintomis rekomendacijomis tokiu būdu, kad mažesnės dalelės būtų tuštumose tarp stambių dalelių. Kuo tankiau sudėtos užpildo dalelės, tuo mažesnis tuštumų tūris. Smėlio granulimetrinė sudėtis nustatoma prasijojant išdžiovintus (1000 g) bandinius per standartinių sietų rinkinius 4 (5); 2 (2,5); 1 (1,25); 0,5 (0,63); 0,25 (0,315); 0,125 (0,16) mm. Smėlyje, kuris naudojamas kaip užpildas, gali būti ne daugiau kaip 5% nuo 4 iki 8 (10) mm žvirgždo dalelių, o didesnių negu 8 (10) mm dalelių neturi būti. Smėlis nuo smulkių dalelių apvalomas jį praplaunant. Gamtiniame smėlyje ir skaldoje gali būti organinių priemaišų (pavyzdžiui, augalų liekanų skilimo produktų), organinių humusinių rūgščių, kurios sumažina betono stiprumą ir net suardo cementą. Organinės priemaišos nustatomos kalorimetriniu metodu. Smėlis yra tinkamas betonui, jeigu skystis – 3 % NaOH tirpalas virš smėlio – nenusida. o arba jo spalva būna šviesesnė už etalono (Kičaitė *et al.* 2001).

Žvirgždas yra žvyre esantys apvaliai kampuotos ir apvalios formos, apzulinti magminės ir nuosėdinės kilmės uolienų nuolaužų gabaliukai. Žvirgždas išgaunamas, sijojant žvyrą. Reikalinga žvirgždo frakcija gaunama parenkant atitinkamus sietus, paskui žvirgždas yra plaunamas, kad pasišalintų molio ir aleurito priemaišos (Leeman, Winnefeld 2007).

Stambių užpildų kokybė apibūdinama atsižvelgiant į grūdelių formą, uolienos ar kitos medžiagos savybes (stiprį, atsparumą šalčiui), granulimetrinę sudėtį ir žalingų priemaišų kiekį. Žvirgždas būna apskritos, pailgos formos, paviršius nuzulintas, lygus, o skalda yra šiurkščių paviršių grūdeliai. Geriausia laikoma skalda, kurios grūdeliai yra kubo arba artimos jam formos. Reikalavimai užpildamas yra nusakomi normatyvinėje ir gamintojo dokumentacijoje, vartotojo (pirkėjo) arba projektuotojo užsakyme. Užpildai suteikia betonams specifines savybes: stiprumą, atsparumą šalčiui, spalvą, šilumos ar garso izoliavimo ar kitas savybes. Lietuvoje vyrauja magminių uolienų nuotrupos, daugiausia granito dalelės, o smėliuose kvarco dalelės. Yra keletas gamyklų, kuriose iš žvyro gaminami betono užpildai: fracinis žvirgždas, žvirgždo skalda ir smėlis. Pakruojo regione veikia dolomito perdirbimo gamykla, ruošianti užpildą-skaldą betonams ir keliams. Kaip lengvasis užpildas naudojamos specialiai pagamintos mažos putų polistirolų granulės, kurių skersmuo 1 – 3 mm, bei mineralinės vatos granulės, kurių skersmuo ne didesnis kaip 8 mm. Toks užpildas yra kartu ir armuojanti medžiaga. Armuojančios medžiagos funkciją atlieka polipropileno plaušai (Heikal *et al.* 2006).

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

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

Užpildų fizikinės ir mechaninės savybės daro esminę įtaką daugeliui betono savybių. Labai stipriems sunkiesiems betonams maišyti reikia naudoti stipresnius užpildus negu parenkamas betono stiprumas, t. y. užpildų stiprumas turi užtikrinti reikiamą betono stiprumą. Jeigu numatyta betono klasė aukštesnė 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).

1.7. Vanduo, vandens ir cemento santykis

Visiems puikiai žinoma, kad betonas – tai mišinys, susidedantis iš cemento, užpildų (smėlio, žvyro arba skaldos) bei vandens. Pagrindiniai reikalavimai, keliami betonui, yra stiprumas gniuždymui bei plastiškumas. Šios savybės priklauso nuo vandens kiekio. Didinant vandens kiekį betono mišinyje, jis tampa plastiškesnis, lengviau apdirbamas, tačiau sumažėja jo stiprumas. Sumažinus vandens kiekį, galutinis betono stipris padidėja, tačiau sumažėja betono plastiškumas, su juo sunku dirbti. Pasiiekti abu tikslus – norimą galutinį betono stiprumą bei plastiškumą – galime cheminių priedų pagalba.

Vanduo betono mišiniui ruošti, kietėjančiam betonui laistyti turi būti be kenksmingų priemaišų – sulfatų, mineralinių ir organinių rūgščių, riebalų, cukraus ir kt., trukdančių betonui normaliai kietėti. Vanduo, kuriame druskų yra ne daugiau kaip 5000 mg/l, sulfatų mažiau kaip

2700 mg/l ir kurio pH<4, tinka mišiniui ruošti ir kietėjančiam betonui laistyti. Geriausiai tinka geriamasis bei švarus upių ir ežerų vanduo.

Betonui geriausiai tinka geriamasis vandentiekio ir švarus upių bei ežerų vanduo (Statybos technologija...2004).

Vanduo turi atitikti LST EN 1008:2003 standarto reikalavimus.

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

Vandens ir cemento santykis – tai vandens kiekis (kg) kubiniame metre betono, padalytas iš cemento kiekio. Santykis svyruoja tarp 0,8 ir 0,3 gaminant betoną stacionariame ar mobiliajame mazge. Šis santykis – tai teorinė vidutinė vertė, kuri gali keistis transportavimo ir vibracijos metu. Kuo jis mažesnis, tuo betono kokybė geresnė. Daugelis architektų ir inžinierių galvoja, jog vandens ir cemento santykis yra vienintelis betono kokybei svarbus dalykas. Tačiau būtina atsiminti tai, kad pilant betoną šis santykis pakinta.

1.8. Cheminių priedų rūšys

Norint išgauti geras skiedinio, betono ir jo mišinio ypatybes, į mišinį dedama įvairių priedų, kurie pagreitina arba sulėtina betono mišinio rišimąsi, padaro jį plastiškesnį, pagreitina kietėjimą, padidina stiprumą, nelaidumą vandeniui ir atsparumą šalčiui. Parinkus tinkamus priedus, jų ypatybes ir kiekį, norima linkme galima keisti ir derinti kitas betono ypatybes. Tai rodo, kad betonas yra viena universaliausių statybinių medžiagų, kuriai galima suteikti pačių įvairiausių ypatybių: gana smarkiai keisti stiprumą, tankį, šilumines ypatybes, deformuoti ir kita (Eisinas, Baltakys 2009).

Priedai naudojami rišančiųjų medžiagų, betonų ir statybinių skiedinių savybėms pagerinti. Jie įmaišomi arba į rišančiąją medžiagą arba įterpiami kartu su kitais betono ir skiedinio komponentais ruošiant mišinius. Priedai maišomi kaip sausi milteliai arba vandeniniai tirpalai ir suspensijos.

Priedai į betoną yra cheminės medžiagos, kurių nedidelis kiekis įvedamas į betono mišinį ir chemiškai bei fiziškai keičia betono savybes. Cheminiai priedai gali būti skysti, miltelių arba granuliuoto pavidalo. Priedų kiekis į betono mišinį yra nedidelis, todėl skaičiuojant medžiagų kiekį m³, priedų svoris neįtraukiamas. Kaip jau buvo minėta, cheminiai priedai keičia betono mišinio ir sukietėjusio betono savybes.

Kietėjimą greitinantys priedai keičia rišimosi bei kietėjimo trukmę. Greitinančiais priedais spartinamas kietėjimas esant žemesnei aplinkos temperatūrai. Kietėjimą lėtinantieji priedai dažnai

vartojami gipso betonuose. Priedai – mikroužpildai vartojami geriau sutankinti ir tolygumui pasiekti, rišamųjų medžiagų kiekiui betone sumažinti. Priedai – putokšliai ir dujodariai vartojami betono poringumui padidinti. Aktyvūs mineraliniai priedai padidina rišamųjų medžiagų patvarumą agresyvioje aplinkoje.

Šiandieninėje betono pramonėje daugiausiai naudojamos šios priedų grupės:

- plastiklis;
- orą siurbiantys priedai;
- plastikliai – orą įsiurbiantys;
- lėtikliai;
- prieššaltinis priedas;
- dujodariai (putokšliai);
- kietėjimo greitikliai.

Plastiklis – pats paprasčiausias ir seniausiai žinomas betono priedas – plastiklis, kurio bazinė žaliava yra modifikuotas lignino sulfonatas. Dėl jo sudėtyje esančio medžio cukraus šie plastikliai turi rišimąsi lėtinančių savybių, todėl plačiai naudojami prekiniam betonui vasaros metu, betonui, kurio markė iki B35. Jam nekeliami ypatingi reikalavimai, tačiau šis priedas netinkamas gaminti betono konstrukcijom, kur vienas iš pagrindinių tikslų – kiek galima greičiau išimti elementus iš formų. Šis priedas dozuojamas 0,2 – 0,5% nuo cemento kiekio.

Superplastikliai – plastiklių grupės priedas, dėl savo įvairios paskirties bei skirtingų žaliavų ši grupė yra daug platesnė. Superplastiklius galima būtų skirstyti į tris grupes:

tradiciniai superplastikliai – naftalino arba melanino dervų pagrindu, akrilato dervų pagrindu; naujos kartos – sintetiniai superplastikliai polikarboksileterio dervų pagrindu.

Superplastikliai veikia žymiai stipriau negu plastikliai, tai reiškia, kad jais galima gerokai sumažinti vandens kiekį, žymiai padidinti stiprumą bei plastiškumą. Superplastikliai naudojami prekinio betono ir betono konstrukcijų gamyboje, kur reikalingas aukštas pradinis stiprumas. Jie dozuojami 1-2% nuo cemento kiekio (Kodėl verta....2012).

Orą siurbiantys priedai ir plastikliai orą siurbiantys – priedai, kurie 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 (Statybos technologija...2004).

Lėtiklis – cheminis priedas, be kurio sunku išsiversti esant karštai vasarai, tai lėtiklis, kuris taip pat naudojamas betonuojant masyvius elementus be siūlių, jo pagalba reguliuojamas hidratacijos

procesas. Lėtiklis būtinas transportuojant betoną dideliais atstumais arba priverstinio laukimo atveju statybvietyje.

Prieššaltinis priedas – žiemos metu būtų sunku išsiversti be prieššaltinio priedo. Europoje neleidžiama naudoti priedų, kurie turi chloridų, nes jie sukelia gelžbetonio armatūros koroziją. Šie priedai veikia daugiau kaip greitikliai, taip pat turi cheminių medžiagų, kurios pakeičia vandens užšalimo tašką. Šie priedai turi šalutinį plastifikuojantį poveikį, todėl gaminant vidutinio stiprumo betonus galime nenaudoti plastiklio. Jo dedama 1-2% nuo cemento kiekio atsižvelgiant į temperatūrą. Naudojant prieššaltinį priedą galima dirbti iki -15°C . Be abejo, būtina laikytis visų reikalavimų, keliamų betonavimui žiemos metu. Tarkim, esant aplinkos temperatūrai -5°C , betono mišinio temperatūra turi būti ne žemesnė kaip $+10^{\circ}\text{C}$ (Kodėl verta....2011).

Dujodariai – naudojami lengviesiems betonams gaminti (Statybos technologija...2004). Aliuminio pudra maišoma į akytuosius arba poringuosius betonus. Ji būna dviejų markių: PAK-3 ir PAK-4. Dujos išsiskiria dėl aliuminio cheminės reakcijos ir šarmų, esančių cemento tešloje: $2\text{Al} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\uparrow$. Išsiskirdamas vandenilis išpučia masę. Kuo smulkesni aliuminio milteliai, tuo daugiau išsiskiria dujų.

Kietėjimo greitikliai – greitina kietėjimą, bet jų esant, betonas gali kietėti ir neigiamoje temperatūroje. Priedai, greitinantys cemento rišimą ir kietėjimą, yra kalcio chloridas, natrio chloridas, druskos rugštis, geležies chloridas, aliuminio sulfatas, kalcio nitratas, kalcio aliuminio chloridas, statybinis (pusvandenys) gipsas ir jų kompleksai. Iš anksto patikrinus, leidžiama naudoti natrio sulfatą, aliuminio chloridą, trivalentės geležies nitratą $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ir kt. Šių cheminių priedų dedama tam, kad padidėtų stiprumas kietėjimo pradžioje, mažiau reikėtų cemento, trumpiau būtų galima laikyti gaminius šiluminėse kamerose. 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 (Statybos technologija...2004).

Naudojant priedus galime padarytos tokias išvados:

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

Pagrindinės cheminių betono priedų grupės pateiktos 2 – oje lentelėje.

2 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 įsiurbiantys	Neutralizuotą orą įsiurbianti derva (SNV), sintetinis paviršiaus aktyvusis priedas (SPD), sulfanolas (S), Fl, Per, Co, Nbk ir kt.
Plastikliai – orą įsiurbiantys	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, poliamidin÷ derva (S – 89), Rhe, Feb, Poz ir kt.
Kietėjimo lėtikliai	Cukraus melasa (SP), sulfitinis mielių raugas, natrio metilo Polihidrosiloksanas, Ret, Ren ir kt.

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 – 40 metų, praeito amžiaus.

Tirpūs vandenyje polimeriniai plastifikuojantys priedai įgalina suformuoti paviršinę plėvelę, pristabdyti pradinę hidrataciją ir kt. Savo ruožtu plastifikuojantis veiksnys, kaip žinoma, priklauso nuo molekulės sandaros, prigimties, apimties ir hidrofiliųjų 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 grupę. LST molekulė apgaubia cemento daleles plėvele, turinčia neigiamą krūvį. Elektrostatinės jėgos padeda nedaug atstumti daleles ir padidinti klijingumą.

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.

3 lentelė. Priedų, naudojamų praeito amžiaus nuo 30 –ųjų 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

Betonas yra viena iš universaliausių statybinių medžiagų, kuriai galima suteikti pačių įvairiausių savybių: gana smarkiai keisti stiprumą, reologines savybes, tankį ir kt. (Deltuva 1982).

Mokslininkas Vovkas (Вовк 2006) tyrė betonų priedus šiuolaikinėje statyboje. Jo tyrimų rezultatai rodo, kad paprasčiausias ir efektyviausias būdas pakeisti betono mišinio savybes ir pagerinti kokybę yra cheminių priedų naudojimas. Jie tampa tokie pat svarbus, kaip ir rišamosios medžiagos, užpildai, vanduo betono mišinyje. Priedų naudojimas yra efektyviausias būdas gauti geresnės kokybės betoną. Didelis stipris, vandens nepralaidumas, atsparumas šalčiui ir betono ilgaamžiškumas, šios savybės yra gaunamos naudojant betono mišiniuose šiuolaikinius priedus.

Rusų mokslininkas Kalašnikovas (Калашников 2006) tyrė plastiklio C-3 panaudojimą betonuose. Buvo tiriama toks plastiklio priedo kiekis, kad jo pridėjus būtų gautas betono mišinys, kuriame būtų kuo mažiau vandens ir būtų pasiektas didesnis stiprumas ir tankis. Sumažinant vandens ir cemento kiekį panaudojant plastiklį galima reguliuoti betono savybes. Buvo nustatyta,

kad panaudojus plastiklį betono mišinyje vandens kiekis yra sumažinamas iki 20 %. Įvedus superplastiklį betono mišinio slankumas padidėja nuo 2–4 cm iki 20 cm, nekeičiant vandens kiekio mišinyje. Plastifikuojančio priedo kiekis bandymų metu neviršijo 0,4–0,8 % nuo cemento masės.

Kita rusų mokslininkė Makišaeva (Макишаева 2007) nagrinėjo „Poliplast“ kompanijos priedų įtaką betono mišinio kokybei. Pagrindinė šių priedų savybė yra išsaugoti betono mišinio slankumą iki 1,5 valandos. Mišiniai išlaiko vienalytiškumą ir turi pakankamą slankumą, o laikas per kurį mišinys pristatomas į statybos aikštelę nepakeičia mišinio savybių. Mokslininkai taip pat tyrė plastiklius, kurie prailgina betono mišinio gyvavimo laiką. Betono mišinys su priedu Poliplast-180 slankumą išlaiko iki trijų valandų. Toks betonas greičiau įgauna savo stiprį, o taip pat yra išvengiama betono išsisluoksniavimo.

Buvo atlikti plastifikuojančio priedo „Winmix“ tyrimai betone. Buvo gaminamas betono mišinys, kurio projektuojamas slankumas 5 cm, susidedantis iš cemento, vandens, smulkaus bei stambaus užpildo ir plastifikuojančio priedo. Gamybai naudojamas cementas, kurio klasė CEM II 42,5. Didžiausias leistinas užpildo stambumas D_{max} yra 20 mm, užpildų kokybė – vidutinė. Formavimo mišiniai $V/C = 0,49$. Kiekviena kubelių partija buvo gaminama su skirtingu plastifikuojančiu priedo „Winmix“ kiekiu. Plastifikuojančio priedo buvo dedama nuo 0,3 iki 0,9 %. Arūno Jarunavičiaus atlikti tyrimai parodė, kad naudojant plastifikuojantį priedą galima sumažinti vandens ir cemento sunaudojamus kiekius (Jarunavičiaus 2007).

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1. Žaliavos ir joms keliami reikalavimai

Atlikus literatūros analizę, susipažinus su betono gamybai naudojamomis medžiagomis ir jų savybėmis buvo parinktos rišamosios medžiagos, užpildai bei priedas betono gamybai.

Bandymams buvo naudotos kelios cemento rūšys: CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5 N, bei plastifikuojantis priedas.

CEM II/A-LL 42,5N cementas – naudojamas šiltuoju metų laiku patalpų viduje ir išorėje, taip pat masyvių konstrukcijų betonavimui. Geriausiai tinka vidaus apdailos darbams, perdangoms, laiptams, grindims, mūro ir tinko skiediniams. Su šiuo cementu užmaišyti skiediniai ir betonai nesisluoksniuoja, pasižymi dideliu plastiškumu, iš jų neatsiskiria vanduo, todėl yra tinkami naudoti ilgesnį laiką (Betono užpildų... 2011).

CEM I 42,5 N – tai gryniausias cemento tipas, nes kituose cementuose yra daug priedų, o šiame tik iki 5 %. Tai žalsvi pilkos spalvos milteliai, pagrindinė savybė – tai sukietėjusio cemento akmens gniuždymo stipris. CEM I 42,5 N stiprumo klasė 42,5 N, kuris yra gaminamas malant portlandcemenčio klinkerį ir gipsą. Jis gaminamas iš natūralių produktų, tačiau gali atsirasti nežymūs atspalvio pakitimai. Šis cementas tinka statybai šaltu oru.

4 lentelė. AB „Akmenės cementas“ naudojamo cemento charakteristikos

Žymuo	Piltinis tankis, kg/m ³	Savitasis tankis, kg/m ³	Savitasis paviršius, g/cm ²
CEM I 42,5 N	1200	3200	3700
CEM II/A-LL 42,5 N	1100	3100	4100

5 lentelė. CEM II/A-LL 42,5N cemento charakteristikos (Naujokaitis 2007)

Cemento savybės	CEM II/A-LL 42,5N
Mechaninės ir fizikinės	
Po 2 parų	21±3
Po 28 parų	47±3
Rišimosi pradžia, min	190
Tūrio pastovumas, mm	1,0

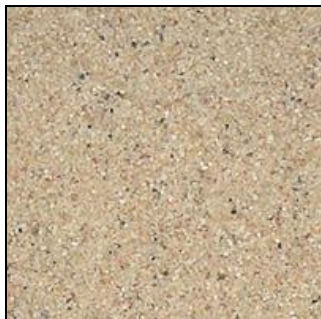
Vandens sąnaudos, %	25,0
Liekana ant st, 90mm sieto, %	4,3
Savitasis paviršius, (cm ² /g)	3600
Cheminės	
Kaitmenys, %	6,3
Netirpmenys, %	0,7
Sulfatų (SO ₃), kiekis %	2,6
Chloridai (Cl ⁻),%	0,004
Šarmų kiekis, sk Na ₂ O ekv, %	0,8
Hidratacijos šiluma, J/g	288

6 lentelė. CEM I 42,5N cemento charakteristikos

Cemento savybės	CEM I 42,5N
Mechaninės ir fizikinės	
Stipris gniuždant, MPa	
Po 1paros	-
Po 2 parų	22±3
Po 28 parų	50±3
Rišimosi pradžia, min	160
Tūrio pastovumas, mm	1,0
Vandens sąnaudos, %	24,3
Liekana ant st, 90mm sieto, %	3,5
Savitasis paviršius, (cm ² /g)	3500
Cheminės	
Kaitmenys, %	1,4
Netirpmenys, %	0,4
Sulfatų (SO ₃), kiekis %	2,8
Chloridai (Cl ⁻),%	0,003
Šarmų kiekis, sk Na ₂ O ekv, %	0,8
Hidratacijos šiluma, J/g	342

Naudojami užpildai – smėlis ir žvirgždas. Smėlis fr. 0/4 – džiovintas smėlis, pagal granulometrijos ir kokybinius rodiklius yra tinkamas sausų statybinių mišinių gamybai. Tai smėlis, atitinkantis LST EN 12620:2003 grupės standartą.

Stambusis užpildas žvirgždas fr. 4/16. Tai dažniausiai naudojamas betono gamyboje žvirgždas.



1pav. Džiovintas smėlis fr. 0/4



2pav. Žvirgždas fr. 4/16

7 lentelė. Tiriamajame darbe naudojamų užpildų charakteristikos (Naujokaitis 2007)

Užpildai	Frakcija	Charakteristika	Bandymų rezultatai
Žvirgždas	4/16	Dalelių tankis, kg/m ³	2300
		Vandens įgeriamumas, %	0,59
		Piltinis tankis, kg/m ³	1582
Smėlis	0/4	Dalelių tankis, kg/m ³	2650
		Vandens įgeriamumas, %	1,30
		Piltinis tankis, kg/m ³	1546

Atlikus tyrimus buvo nustatytas smėlio ir žvirgždo drėgnis, kurio vertė 0,59 % ir 1,30 %.

Vanduo – Betono mišiniams negalima vartoti vandens, kuriame yra daug organinių priemaišų, t.y. jo pH – ne mažesnis nei 4. Betono gamybai naudojamas vanduo atitinka LST EN 1008:2003 grupės standartą.

Plastifikuojantis priedas MC – PowerFLOW 3100. Tai plastiklis pagamintas naujausios MC polikarboksilato eterio technologijos pagrindu.

2.2. Betono sudėtis

8 lentelė. Medžiagų kiekiai 1 m³ betono mišinio, kg (Baranauskaitė 2012)

Partija	Cementas, kg	Smėlis, kg	Žvirgždas, kg	Vanduo, kg	Plastiklis, kg	V/C	
0L	455	700	119,0	180	0	0,4	S3
0.4L	455	700	119,0	162	1,82	0,36	S3
0.8L	45,5	700	119,0	126	3,64	0,28	S3
1.2L	455	700	119,0	90	5,46	0,2	S3

0N	455	700	119,0	162	0	0,36	S3
0.4N	455	700	119,0	144	1,82	0,32	S3
0.8N	455	700	119,0	144	3,64	0,32	S3
1.2N	455	700	119,0	126	5,46	0,28	S3

2.3. Betono bandinių formavimas ir kietinimas

Bandiniai buvo formuojami ir kietinami pagal LST EN 12390-2, tokiu eiliškumu:

- Į betono maišyklę suberiamas atsvertas neorganinis rišiklio kiekis, smulkus užpildas ir stambus užpildas ir viskas gerai išmaišoma.
- Reikalingas vandens kiekis sumaišomas su atsvertu priedo kiekiu, kuris įpilamas į sausą masę.
- Gautas mišinys sudedamas į $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ formas, išteptas alyva ir sutankinama ant vibracinio stalo.
- Po paros kietėjimo formos išardomos, gauti bandiniai išimami ir 28 paras išlaikomi vandenyje.
- Sukietėję ir išlaikę formą bandiniai paruošiami tyrimams.

2.4. Smėlio savybių nustatymas

2.4.1. Smėlio piltinio tankio nustatymas

Metodo esmė: nustatyti smėlio piltinį tankį, sveriant sausą smėlį standartiniame žinomo tūrio inde.

Naudojama iranga ir priemonės: standartinis cilindrinis matavimo indas, laboratorinis samtelis, metalinė liniuotė, svarstyklės.

Bandymo eiga. Smėlis prieš bandymą išdžiovinamas $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje iki pastovios masės ir ataušinamas iki kambario temperatūros. Pasveriamas sausas, švarus 1 l talpos matavimo indas ir pastatomas ant horizontalaus paviršiaus. Smėlis laboratoriniu samteliu pilamas į matavimo indą iš ne didesnio kaip 5cm aukščio nuo indo viršaus, kol pradeda byrėti per kraštus. Smėlio perteklius metaline liniuote nubraukiamas lygiai su matavimo indo kraštais, nesutankinant smėlio viršutinio sluoksnio (Žurauskienė et al. 2009).

Matavimo indas su smėliu pasveriamas 0,2 % tikslumu. Bandomi trys bandiniai.

Smėlio piltinis tankis yra apskaičiuojamas pagal tokią formulę :

$$\rho_{s,pl} = \frac{m_1 - m}{V} \cdot 100, \% ; \quad (1)$$

čia

$\rho_{s,pl}$ – smėlio piltinis tankis, g/cm³;

m – tuščio indo masė, g;

m_1 – indo su smėlio bandiniu masė, g;

V – indo tūris, cm³.

2.4.2. Smėlio dalelių tankio nustatymas

Metodo esmė: nustatyti smėlio dalelių tankį pagal tam tikros masės sauso smėlio tūrį piknometre.

Naudojama įranga ir priemonės: 100 ml tūrio piknometras, svarstyklės, stiklinis piltuvėlis, smėlio arba vandens vonia piknometru šildyti, sietas 5 mm dydžio, apvaliomis akutėmis.

Bandymo eiga. Atsvertas apie 30 g masės smėlio bandinys sijojamas pro 5 mm sieta. Tada išdžiovinamas džiovinimo spintoje 110 ± 5 °C temperatūroje. Į piknometrą pilama apie 15 g smėlio, pripilama distiliuoto vandens. Šis mišinys turi užimti trečdalį piknometro tūrio. Piknometras pasvirai statomas į smėlio arba vandens vonią. Piknometro turinys virinamas 15–20 min., kol pasišalina oro burbuliukai. Paskui piknometras ataušinamas iki kambario temperatūros, jo išorinis paviršius nusausinamas. Į piknometrą iki žymės pripilama distiliuoto vandens. Piknometras su smėliu ir vandeniu pasveriamas 0,05 g tikslumu. Tada piknometro turinys išpilamas, piknometras išplaunamas, į jį iki žymės pripilama distiliuoto vandens ir pasveriamas 0,05 g tikslumu. Smėlio dalelių tankis yra apskaičiuojamas pagal (2) formulę :

$$\rho_{s,t} = \frac{m \cdot \rho_v}{m + m - m_2}, \text{ g/cm}^3; \quad (2)$$

čia:

$\rho_{s,t}$ – smėlio dalelių tankis,

g/cm³; m – piknometro su smėliu masė, g;

m_1 – tuščio piknometro masė, g;

m_2 – piknometro su vandeniu masė, g ; ρ_v – vandens tankis, g/cm³ .

2.4.3. Smėlio ir žvirgždo drėgnio nustatymas

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

Metodo esmė. nustatyti smėlyje esančio vandens masę.

Bandymo eiga. Smėlio bandinys (100 g) pasveriamas 2 % tikslumu ir supilamas į metalinį indą, kurio masė yra žinoma. Paskui išdžiovinamas 110 ± 5 °C temperatūroje iki pastovios masės. Išdžiovintas bandinys pasveriamas su indu 2 % tikslumu, indo masė atimama. Tiriami mažiausiai du bandiniai. Smėlio ir žvirgždo drėgnis apskaičiuojami pagal (3) formulę:

$$W_s = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \%; \quad (3)$$

čia

m_1 – smėlio bandinio masė, g;

m_2 – išdžiovinto smėlio masė, g.

2.4.4. Žvirgždo piltinio tankio nustatymas

Metodo esmė: užpildo piltinis tankis nustatomas sveriant sausa užpilda standartiniame žinomo turio inde.

Naudojama įranga ir priemonės: svarstyklės, laboratorinis samtelis, metalinė liniuotė, 16 mm skersmens ir ~ 600 mm ilgio metalinis strypas, standartinis cilindrinis matavimo indas. Minimalus standartinio indo tūris nustatomas pagal didžiausių užpildo dalelių skersmenį D_{max} . Kai užpildo dalelių D_{max} yra 4 (5), tai standartinio indo tūris 1 dm³; kai užpildo dalelių D_{max} 31,5 (40) – standartinio indo tūris 10 dm³; kai užpildo dalelių D_{max} 63 (70) – standartinio indo tūris 20 dm³.

Bandymo eiga. Kai didžiausias žvirgždo dalelių stambumas 16 (20) ar 31,5 (40) mm, imamas 10 dm³ talpos matavimo indas. Sausas, švarus matavimo indas 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 metaline liniuote nubraukiamas lygiai su matavimo indo kraštais, nesutankinant žvirgždo viršutinio sluoksnio. Matavimo indas su užpildu pasveriamas 0,2 % tikslumu. Bandomi trys bandiniai.

Žvirgždo piltinis tankis apskaičiuojamas pagal (4) formulę :

$$\rho_{z,pl} = \frac{m_z - m}{V} \cdot 100, \%; \quad (4)$$

čia

$\rho_{z,pl}$ – žvirgždo piltinis tankis, g/cm³;

m – tuščio indo masė, g;

m_1 – indo su žvirgždu masė, g;

V – indo tūris, cm³.

2.4.5. Žvirgždo dalelių tankio nustatymas

Metodo esmė: stambiojo užpildo dalelių tankis apskaičiuojamas pagal tam tikros masės sausojo užpildo dalelių tūrį, kuris nustatomas hidrostatinėmis svarstyklėmis.

Naudojama įranga ir priemonės: hidrostatinės svarstyklės su perforuotu indu užpildams supilti, svarstyklės, indas užpildui mirkyti, sietai su 4 mm ir 31,5 mm dydžio kvadratinėmis akelėmis (arba 5 mm ir 40 mm dydžio apvaliomis akelėmis), džiovavimo spinta.

Bandymo eiga. Kai didžiausias užpildo dalelių stambumas 31,5 (40) mm, bandyminė imtis – 2,5 kg; kai didžiausias užpildo dalelių stambumas viršija 31,5 (40) mm, tai imtis – 5 kg. Stambesnes kaip 31,5 (40) mm užpildo daleles galima sutrupinti ir imtį sumažinti du kartus. Iš jos atsveriami du bandiniai po 1000 g. Bandinys išdžiovinamas džiovavimo spintoje 110 ± 5 °C temperatūroje. Paskui bandiniai merkami į indą su vandeniu, kad virš užpildo paviršiaus būtų ne plonesnis kaip 2 cm storio vandens sluoksnis. Užpildas mirkomas 2 h. Tada užpildas išimamas iš vandens ir tuoj pat sveriamas svarstyklėmis, o vėliau hidrostatinėmis svarstyklėmis. Bandymas kartojamas su antruoju bandiniu.

Žvirgždo dalelių tankis yra apskaičiuojamas pagal (5) formulę :

$$\rho_{z,t} = \frac{m \cdot \rho_v}{m_1 - m_2}, \text{g/cm}^3; \quad (5)$$

čia

$\rho_{z,t}$ – žvirgždo dalelių tankis, g/cm³;

m – sauso žvirgždo masė, g;

m_1 – įmirkyto žvirgždo masė, g;

m_2 – vandenyje pasverto žvirgždo masė, g;

ρ_v – vandens tankis, g/cm³.

2.4.6. Žvirgždo drėgnio nustatymas

Metodo esmė: žvirgždo drėgnis nustatomas pagal drėgnio užpildo masės sumažėjimą jį išdžiovinus.

Naudojama įranga ir priemonės: svarstyklės, džiovinimo spinta, indas.

Bandymo eiga: Bandinio masė priklauso nuo stambaus užpildo didžiausio dalelių stambumo. Jeigu užpildo dalelių Dmax yra 63 (70) mm, tai bandinio masė – 5 kg; kai Dmax yra 31,5 (40) mm, tai bandinio masė – 2,5 kg; jei Dmax yra 16 (20) mm, tuomet bandinio masė – 1,5 kg; kai Dmax yra 8 (10) mm, tai bandinio masė – 1 kg. Žvirgždo bandinys supilamas į metalinį indą ir pasveriamas. Paskui bandinys išdžiovinamas džiovinimo spintoje 110 ± 5 °C temperatūroje iki pastovios masės. Išdžiovinintas bandinys su indu vėl sveriamas.

Žvirgždo drėgnis yra nustatomas pagal tokią formulę :

$$W_z = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \% \quad (6)$$

čia

W_z – žvirgždo drėgnis, %;

m – žvirgždo bandinio ir indo masė, g;

m_1 – išdžiovininto žvirgždo ir indo masė, g.

2.5. Betono savybių nustatymo metodika

2.5.1. Betono mišinio slankumo nustatymas

Betono mišinys sutankinamas nupjautinio kūgio formoje. Betono mišinio, nukėlus nuo jo kūginę formą, suslūgimo didumas yra betono mišinio konsistencijos rodiklis.

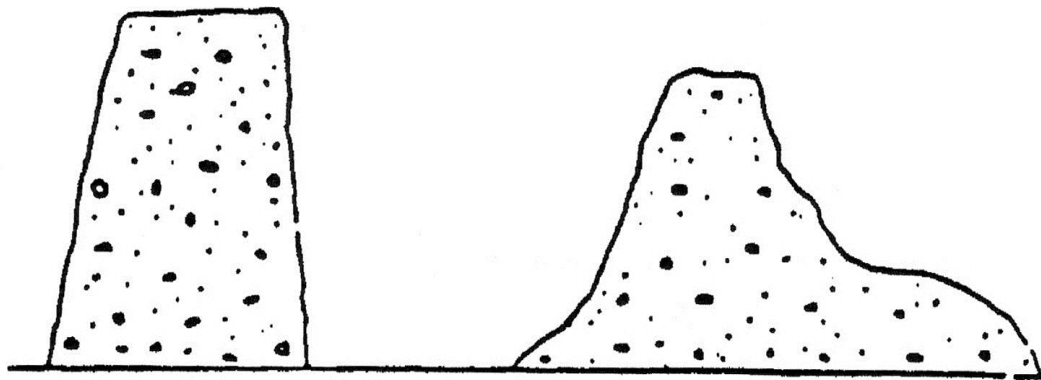
Bandymo tikslas: nustatyti betono mišinio konsistencijos rodiklį.

Naudojama įranga ir priemonės: forma bandiniui suformuoti, tankinimo strypas, piltuvas, liniuotė, pagrindo plokštė arba paviršius, permaišos indas, kastuvėlis, drėgnas audinys, mentelė, laikmatis.

Bandymo eiga. Sudrėkinama forma ir pagrindo plokštė; forma pastatoma ant horizontalios pagrindo plokštės arba paviršiaus. Pripildoma forma prie pagrindo plokštės arba paviršiaus pritvirtinama arba stipriai prispaudžiama, abiem kojomis primynus formos plokšteles.

Kiekvienas sluoksnis sutankinamas 25 tankinimo strypo dūriais. Pirmasis sluoksnis sutankinamas per visą jo storį taip, kad nebūtų daugomas pagrindas. Antrasis ir viršutinis sluoksniai

sutankinami per visą jų storį, taip kad strypas vos prasiskverbtų į ką tik paklotą žemiau esantį sluoksnį. Sutankinus viršutinį, betono mišinio paviršius sulyginamas pjaunamaisiais ir voluojamaisiais tankinimo strypo judesiais. Formos nukėlimo veiksmas turi būti atliktas per laiką nuo 2s iki 5s. Nukėlus formą nuo betono mišinio, iš karto išmatuojamas ir užrašomas slankumas (h), kuris nustatomas iš skirtumo tarp formos aukščio ir suslūgusio bandinio aukščiausio taško.

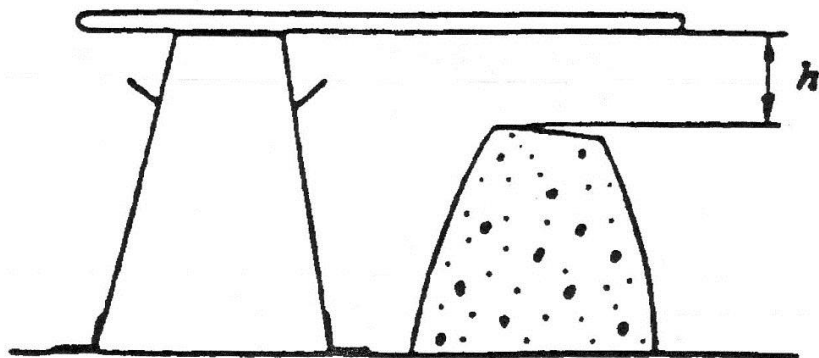


(a) normalus

(b) nuslinkęs

3pav. Suslūgimo atvejai

Jei suslūgimas taisyklingas slankumas matuojamas taip, kaip parodyta 4 paveiksle.



4pav. Suslūgimo matavimas

2.5.2. Betono bandinių tūrio nustatymas

Darbo tikslas: nustatyti bandinių po vakuumavimo mases m_5 ir m_6

Naudojama įranga ir priemonės: pjovimo staklės, džiovinimo spinta, techninės svarstyklės, vakuumavimo prietaisas.

Bandymo eiga. Bandinių tūris nustatomas sveriant bandinius hidrostatinėmis svarstyklėmis po jų įmirčio ciklinio vakuumavimo sąlygomis. Turint visus parametrus pagal (9) formulę apskaičiuojamas bandinių tūris:

$$V = \frac{m_4 - m_3}{\delta_v}, \text{ cm}^3; \quad (7)$$

čia

m_3 – mirkyto vakuume bandinio masė vandenyje, g;

m_4 – įmirkyto vakuume bandinio masė ore, g.

V – bandinio tūris, cm^3 .

2.5.3. *Betono tankio nustatymas*

Tankis tai natūralios būsenos medžiagos tūrio vieneto masė, išreikšta absoliučiai sausos medžiagos masės m ir tūrio V santykiu.

Bandymui atlikti naudojama įranga: džiovinimo spinta, techninės svarstyklės ir slankmatis.

Nustatymo eiga. Bandiniai džiovinami iki pastovios masės džiovinimo spintoje $110 \pm 5^\circ\text{C}$ temperatūroje. Kiekvienas bandinys pasveriamas techninėmis svarstyklėmis ir slankmačiu ismatuojamos jo plokštumos. Paskui pagal formules apskaičiuojami bandinių tūriai ir surandamas betono tankis.

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ g / cm}^3; \quad (8)$$

čia

ρ – medžiagos tankis, g / cm^3 ;

m – medžiagos masė, g;

V – medžiagos tūris, cm^3 .

2.5.4. *Gniuždymo stiprio nustatymas*

Stipris gniuždant – tai medžiagos kuri suyra veikiamo gniuždymo apkrovos, stiprumo riba, išreikšta gniuždymo jėgos ir gniuždomo ploto santykiu..

Naudojama įranga: bandymui naudojama gniuždymo bandymo mašina, atitinkanti EN 12390-4.

Bandymo eiga. Švariai nušluostomi visi bandymo mašinos atraminiai paviršiai ir nuo bandinio paviršių, kurie liesis su plokštėmis, pašalinami birūs grūdėliai arba pašalinės medžiagos. Kubiniai bandiniai padedami taip, kad apkrova veiktų statmenai formavimo kryptiai.

Norint nustatyti skiedinių stiprį gniuždant, iš jų gaminami 10x 10x 10 cm dydžio kvandiniai kurie paskui kietinami 28 paras, o paskui presu gniuždomi. Bandymui parenkamas hidraulinis presas. Bandiniai gniuždomi ir fiksuojama juos suatdžiusi gniuždymo jėga. Stipris gniuždant nustatomas gniuždant perlaužtas prizmių puseles tarp specialiųjų plokštelių, kurių gniuždymo plotas $S = 25 \text{ cm}^2$.

Stipris gniuždant apskaičiuojamas pagal (11) formulę:

$$f_c = \frac{F_c}{A_c}, \text{kgf} / \text{cm}^2; \quad (9)$$

čia

A_c - gniuždomasis bandinio plotas, cm^2 ;

F_c - ardančioji jėga, kgf.

2.5.5. Ultragarso impulso sklidimo greičio nustatymas

Ankstyvojo kietėjimo metu vykstančių procesų tyrimams buvo pritaikytas ultragarso impulso perdavimo trukmės registravimo šviežiose tešlose metodas. Ultragarsiniam cemento tešlos kietėjimo proceso tyrimui naudojamas komplektas, susidedantis iš ultragarsinio testavimo prietaiso, duomenų kaupiklio ir formos su įmontuotais 54 kHz dažnio davikliais. Šviežia cemento tešla sudedama į specialų konteinerį tarp dviejų ultragarso daviklių. Prietaisas registruoja kintančią kietėjimo metu ultragarso impulso perdavimo trukmę, pagal kurią apskaičiuojamas ultragarso impulso greitis (UIG). Kintant kietėjančios tešlos strukturai, t. y. susidarant kristalizacijos centrams (kristalų užuomazgoms, UIG didėja. Tuo metu, kai bandinio struktūroje susidaro kristalinės fazės, ultragarso impulso greičio augimas sulėtėja. Kristalų augimo stadijos metu UIG bandinyje dar palaipsniui didėja. Kristalizacijos procesui pasibaigus UIG praktiškai nekinta ar kinta labai nežymiai.

Ultragarso sklidimo greičio nustatymai taikomi betono ir kitų statybinių medžiagų defektoskopijoje nustatant medžiagų struktūros savybes neardančiomis priemonėmis.

Bandymui naudojama įranga: ultragarso impulso sklidimo greičio nustatymo prietaisas, slankmatis, specialus tepalas.

Bandymo eiga. Paimamas išdžiovintas bandinys ir išmatuojamas atstumas L, kuriuo sklis ultragarso bangos. Matavimo aparatūra kalibruojama pagal pateiktą ir nustatytą etaloną. Bandinys dedamas tarp tarp dviejų keitiklių su tam tikra sąlyčio terpe. Ir užrašoma ultragarso sklidimo trukmė t. Tada pagal (8) formulę apskaičiuojamas ultragarso sklidimo greitis.

$$V = \frac{L}{t}, m/s; \quad (10)$$

čia

L – atstumas išilgai sklidimo linijos, m;

t – ultragarso sklidimo trukmė, s.

2.5.6. *Betono bandinių įmirkio normaliosiomis sąlygomis nustatymas*

Darbo tikslas. nustatyti bandinių įmirkį normaliosiomis sąlygomis.

Naudojama įranga ir priemonės. džiovavimo spinta, bandinių sotinimo vandeni vonia, techninės svarstyklės, eksikatorius.

Bandymo eiga. Prieš bandymą iš betoninių kubelių partijos tyrimams parenkami ne mažiau kaip 5 kubeliai. Bandiniai džiovinami iki pastoviosios masės džiovavimo spintoje $110 \pm 5^\circ\text{C}$ temperatūroje. Bandiniai aušinami eksikatoriuje su bevandeniu kalcio chloridu ir ten laikomi iki tyrimo. Prieš bandymą bandiniai pasveriami svarstyklėmis ir nustatoma bandinio masė (m_0). Paskui bandiniai pamerkiami į vandenį bandinių sotinimo vonioje. Vandens temperatūra – $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$, vandens lygis virš bandinių ne mažesnis nei 2 cm. Bandiniai vandenyje išlaikomi $72 \pm 1\text{h}$. Paskui jie išimami iš vonios, apšluostomi drėgnu audeklu ir pasveriami techninėmis svarstyklėmis (m_1). Tada pagal (10) formulę apskaičiuojamas bandinių įmirkis normaliosiomis sąlygomis:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100, \%; \quad (11)$$

čia

m_0 – visiškai sauso bandinio masė, g;

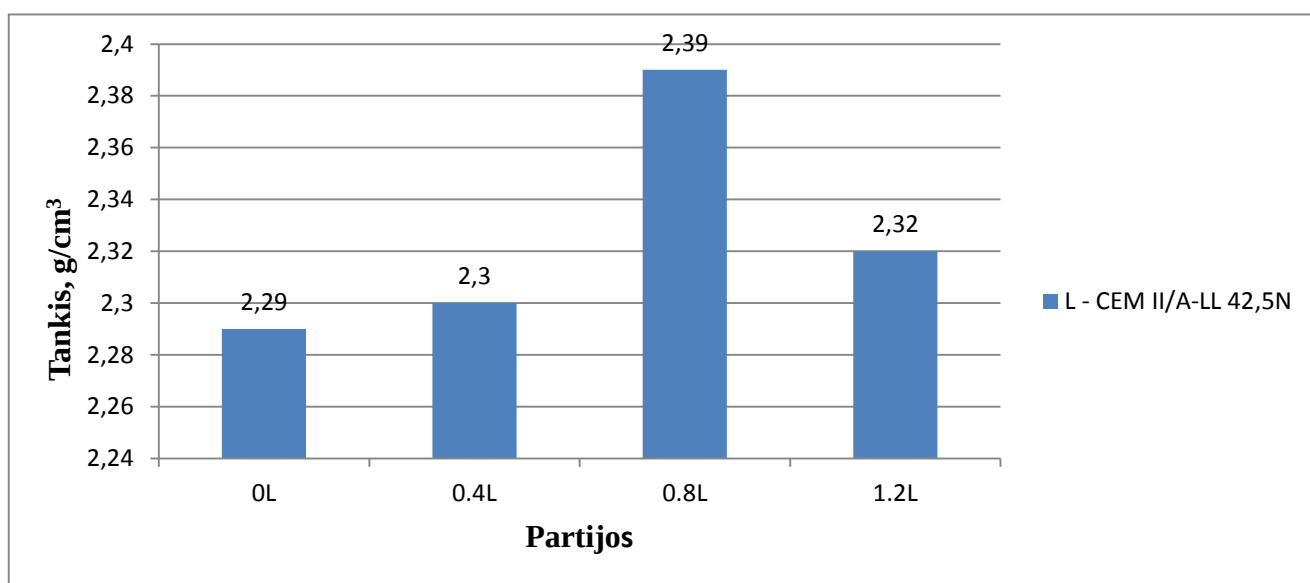
m_1 – normaliomis sąlygomis įmirkyto bandinio masė, g.

EKSPERIMENTĖ DALIS

Eksperimentinėje dalyje naudojant Microsoft Excel programą yra analizuojami apdoroti bandymų rezultatai.

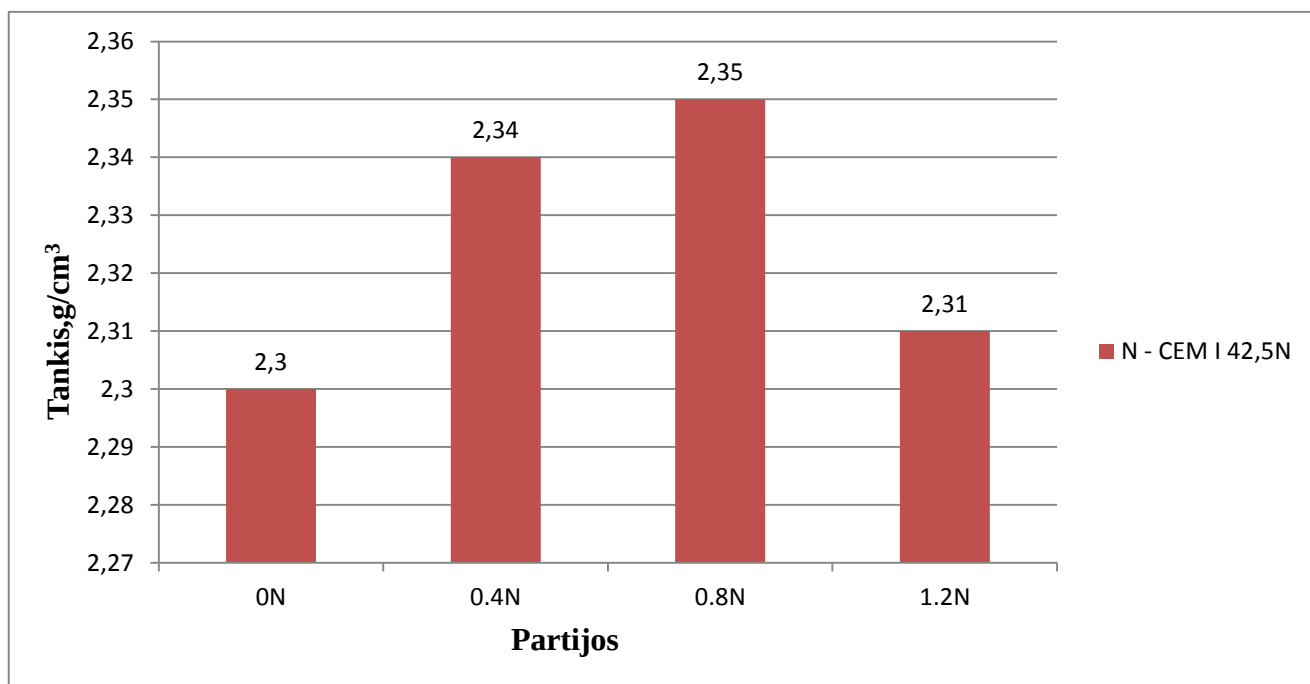
3.1 Betono tankio tyrimo rezultatų analizė

Sukietėjusių ir išdžiovintų iki pastovios masės betono bandinių tankio tyrimų rezultatai naudojant CEM II/A-LL 42,5N klintinį cementą pateikti 5 paveiksle, o naudojant CEM I 42,5 N cementą 6 paveiksle.



5 pav. Betono tankis, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą

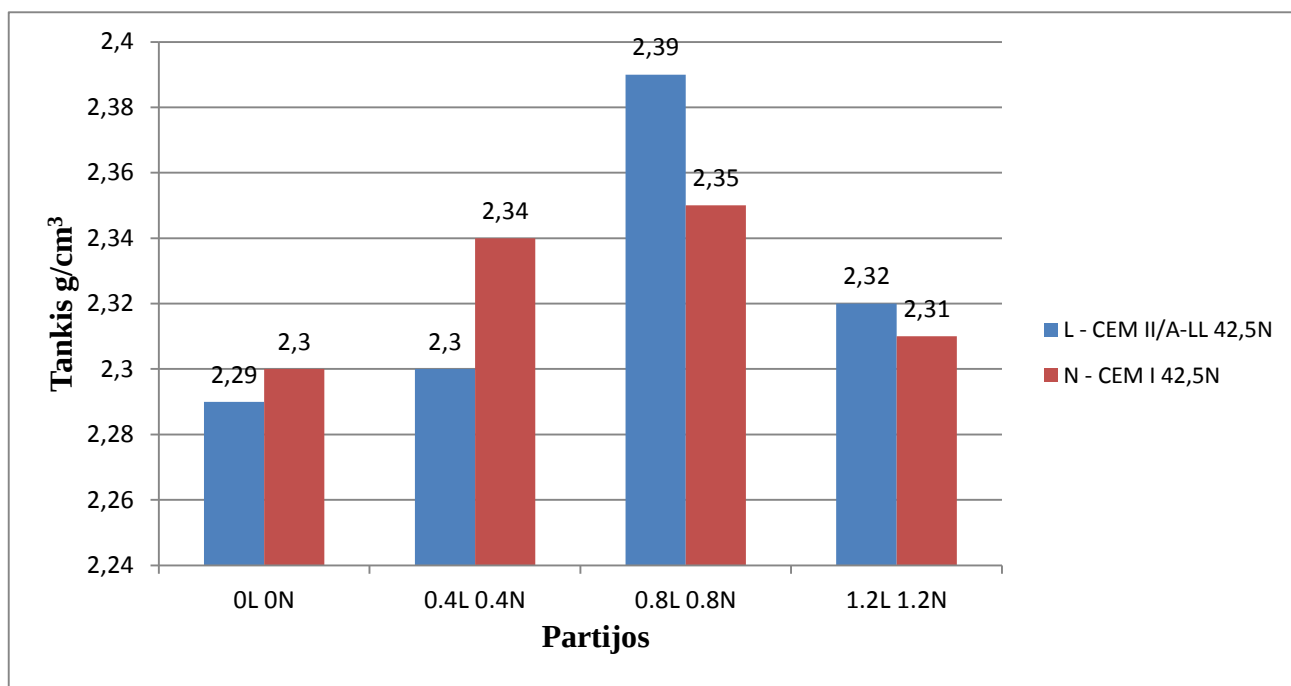
Iš gautų rezultatų matome, jog betono tankis didėja didinant plastikio kiekį iki 0,8 %. Esant tokiam plastikio kiekiui tankis didėja iki 2,39 g/cm³. Dar padidinus plastikio kiekį iki 1,2 % betono tankis ima mažėti, vadinasi šioje vietoje taip pat turi mažėti gniuždymo stipris.



6 pav. Betono tankis, naudojant CEM I 42,5N cementą

Naudojant CEM I 42,5 N cementą, betono tankio kitimo tendencijos išlieka tokios pat. Tankis didėja iki tol kol plastikio mišinyje būna 0,8 % , o dar padidinus jo kiekį tankis pradeda mažėti. Didžiausias tankis siekia 2,35 g/cm³.

Betono tankio rezultatų palyginimas naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementus pateiktas 7 paveiksle.



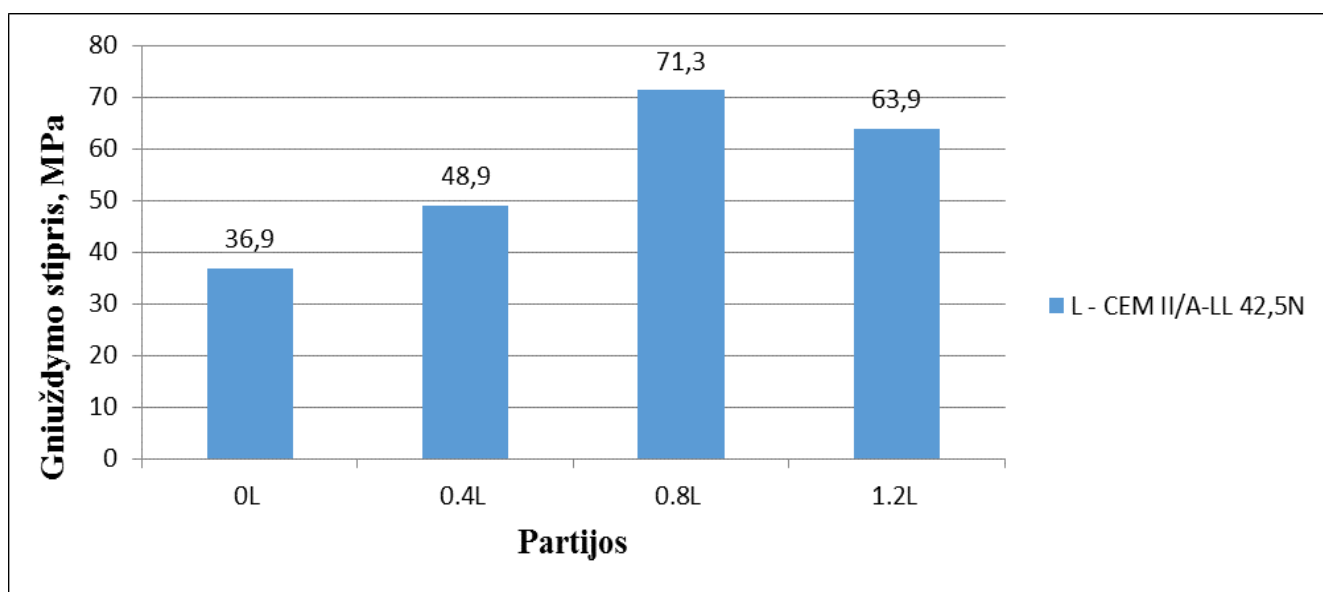
7 pav. Betono tankiai, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementus

Atlikus rezultatų analizę (7 pav.), nustatyta, kad tiek CEM II/A-LL 42,5N naudojant cementą, tiek ir CEM I 42,5 N cementą betono tankiai yra didžiausi įmaišius 0,8 % plastiklio. Naudojant CEM I 42,5 N cementą tankis didėja ir mažėja ne taip ryškiai kaip naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą. Įdėjus 0,8 % plastiklio į klinties protlandcementį bandinių tankis yra $2,39 \text{ g/cm}^3$ krinta, o kai į betoną įmaišoma 1,2 % plastiklio, tai tankis sumažėjo iki $2,32 \text{ g/cm}^3$. Jų skirtumas $0,07 \text{ g/cm}^3$. O naudojant kitą cementą šis skirtumas daug mažesnis – $0,04 \text{ g/cm}^3$.

3.2. Betono gniuždymo stiprio tyrimų rezultatų analizė

Betono gniuždymo stipris buvo nustatomas po 7 ir 28 kietėjimo parų. Tam buvo naudojamas hidraulinis presas, kuris fiksavo gniuždomąją apkrovą.

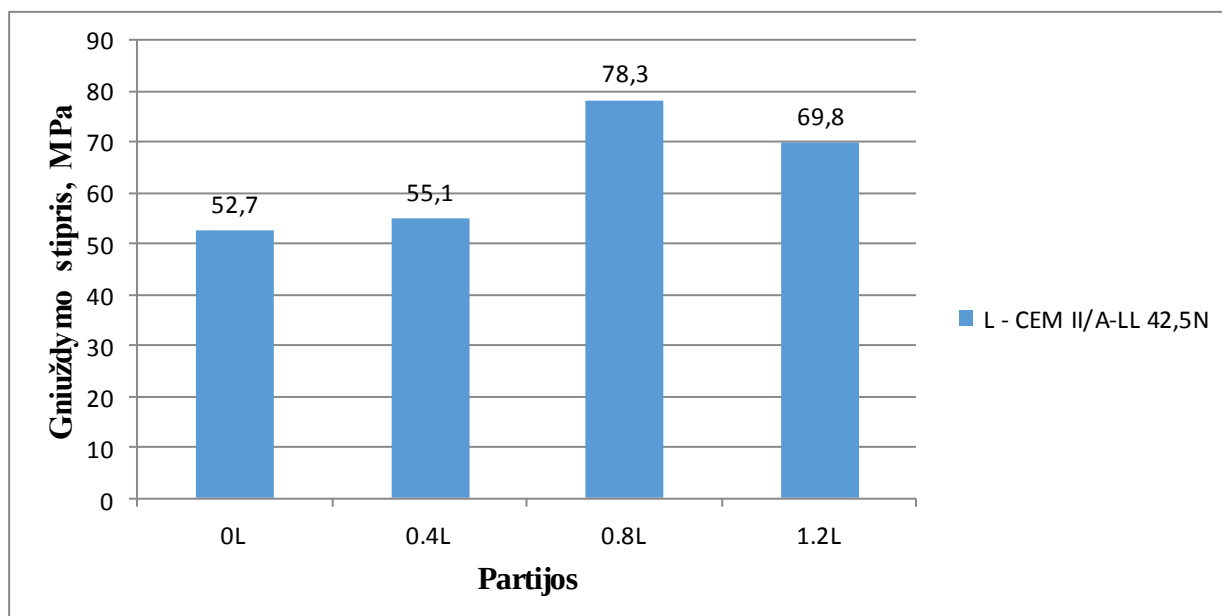
Betono gniuždymo stiprio bandymo rezultatai po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą pateikti 8 paveiksle.



8 pav. Betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą

Apdorojus gautus rezultatus ir pateikus jų vidurkius matyti, jog gniuždymo stiprio kitimo tendencija išlieka tokia pat kaip ir tankio. Naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą, betono gniuždymo stipris didžiausias – 71,3 MPa, kai plastiklio įmaišyta 0,8 %. Įmaišius 1,2 % plastiklio stipris sumažėjo iki 63,9 Mpa.

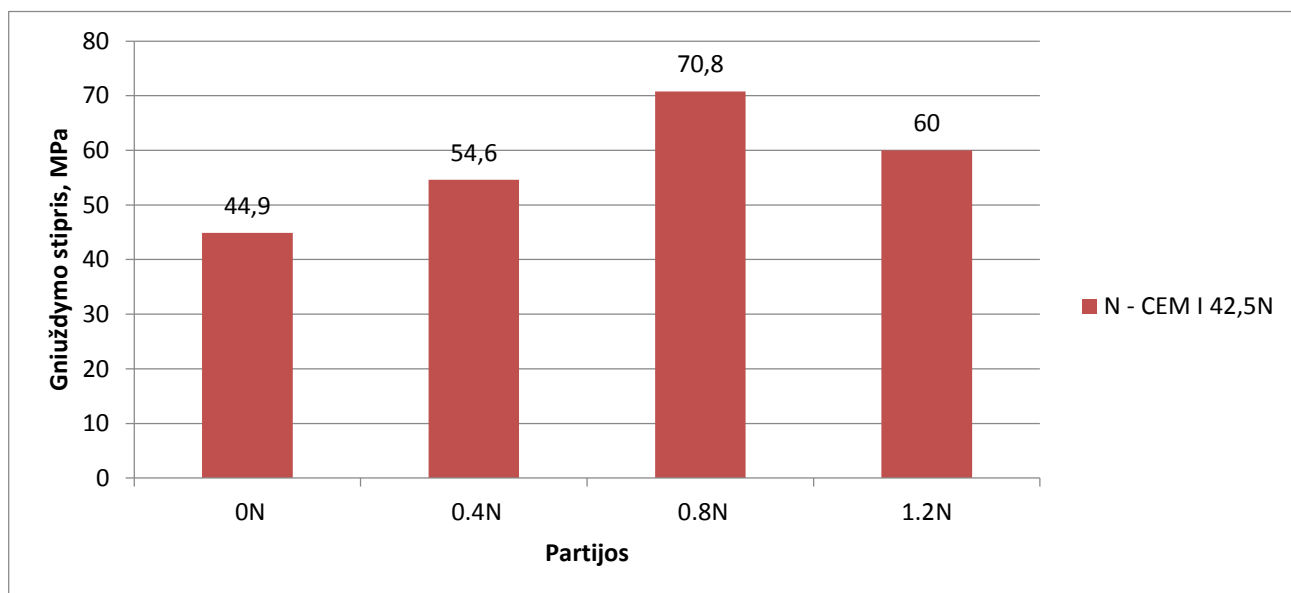
Betono gniuždymo stiprio bandymo rezultatai po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą pateikti 9 paveiksle.



9 pav. Betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą

Po 28 kietėjimo parų gniuždymo stipris padidėjo, esant 0,8 % plastikio gniuždymo stipris nuo 71,3 MPa pakilo iki 78,3 MPa. Tačiau nuo šios vietos gniuždymo stipris vėl pradeda mažėti.

Betono gniuždymo stiprio bandymo rezultatai po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM I 42,5N cementą, pateikti 10 paveiksle.

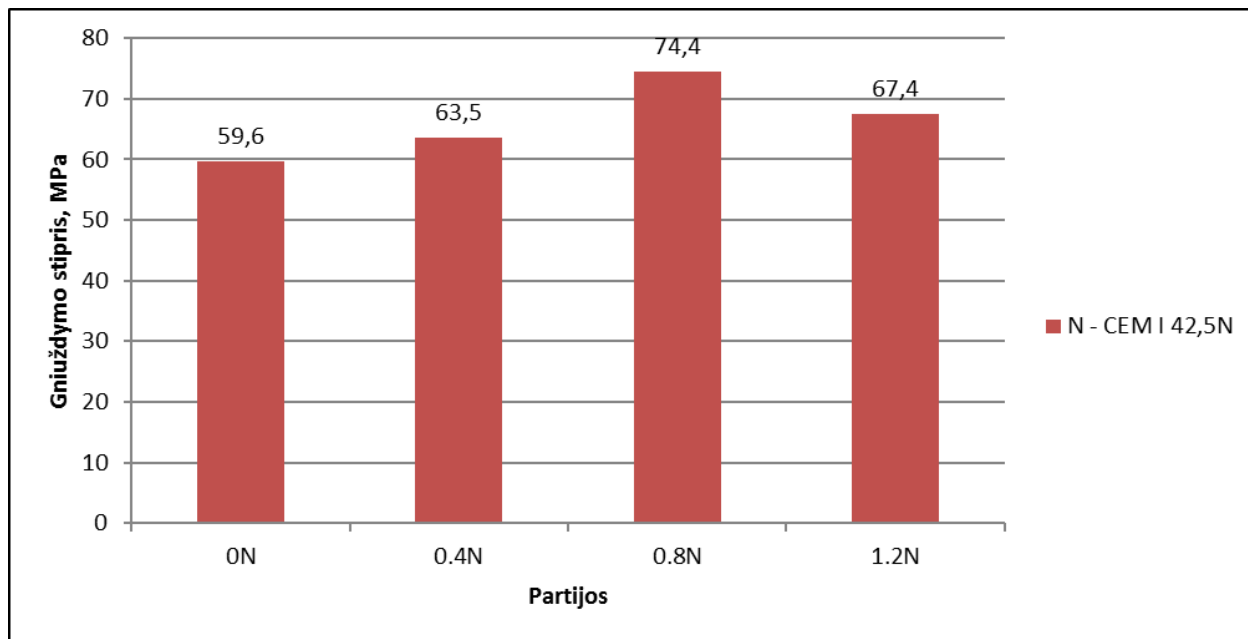


10 pav. Betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM I 42,5N cementą

Betono gniuždymo stipris (10pav.) yra mažiausias tuomet, kai nenaudojamas plastiklis. Įmaišius plastiklio 0,4 % ir 0,8 % gniuždymo stipris didėja ir pasiekia maksimalią vertę (70,8 Mpa), kuri yra tuomet, kai plastiklio įmaišoma 0,8 %. Tačiau padidinus plastiklio kiekį iki 1,2 %, stipris mažėja.

gniuždymo stipris sumažėja ir pasiekia 60 Mpa. Taigi norint pasiekti didžiausią stiprumą, plastiklio reikia įmaišyti ne daugiau kaip 0,8 % .

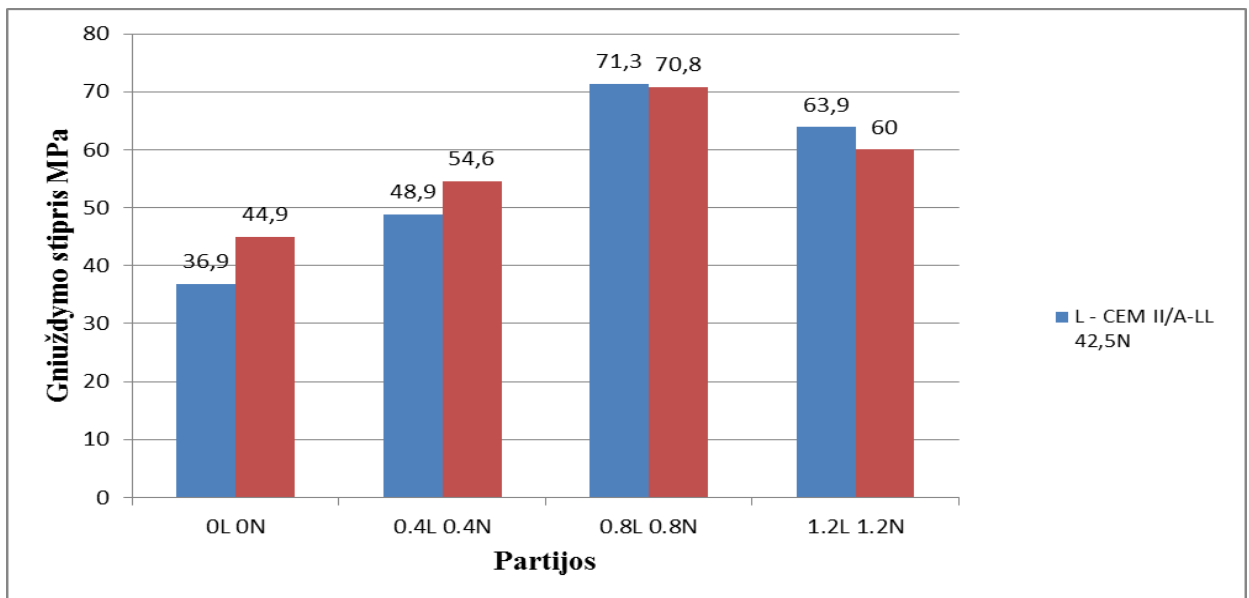
Betono gniuždymo stiprio bandymo rezultatai po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM I 42,5N cementą, pavaizduoti 11 paveiksle.



11 pav. Betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM I 42,5N cementą

Skaiciuojant gniuždymo stiprį po 28 kietėjimo parų naudojant CEM I 42,5N didžiausias stipris yra 74, 4 MPa. Šis stipris pasiekiamas, kai į betoną įmaišoma 0,8 % plastiklio. Gniuždymo stipris ima mažėti didinant plastiklio kiekį mišinyje, t.y kai plastiklio įmaišoma į betoną 1,2 %, tai gniuždymo stipris mažėjo iki 67,4 Mpa. Stipris mažiausias, kai nenaudojamas plastiklis ir yra 59, 6 MPa.

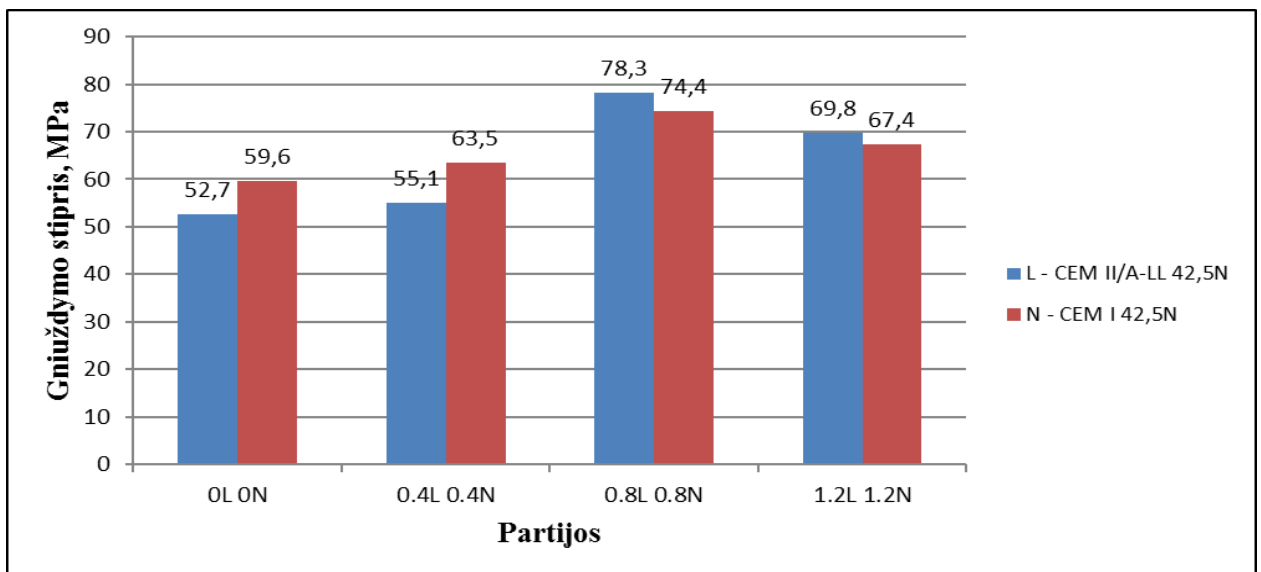
Betono gniuždymo stiprio bandymo palyginamieji rezultatai po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementą, pateikti 12 paveiksle.



12 pav. Betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementą

Naudojant abiejų rūšių cementus, gniuždymo stipris yra didžiausias kai plastiklio kiekis yra 0,8% nuo cemento masės. Tai kuo puikiausiai atspindi gauti rezultatai. Naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą, po 7 kietėjimo parų didžiausias stiprumas siekė 71,3 MPa, o naudojant CEM I 42,5N cementą stipris pakilo iki 70,8 MPa. Šie stipriai yra artimi vienas kitam, plastiklio kiekiai betone buvo 0,8 %.

Betono gniuždymo stiprio bandymo rezultatai po 28 kietėjimo parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementą pateikti 13 paveiklse.



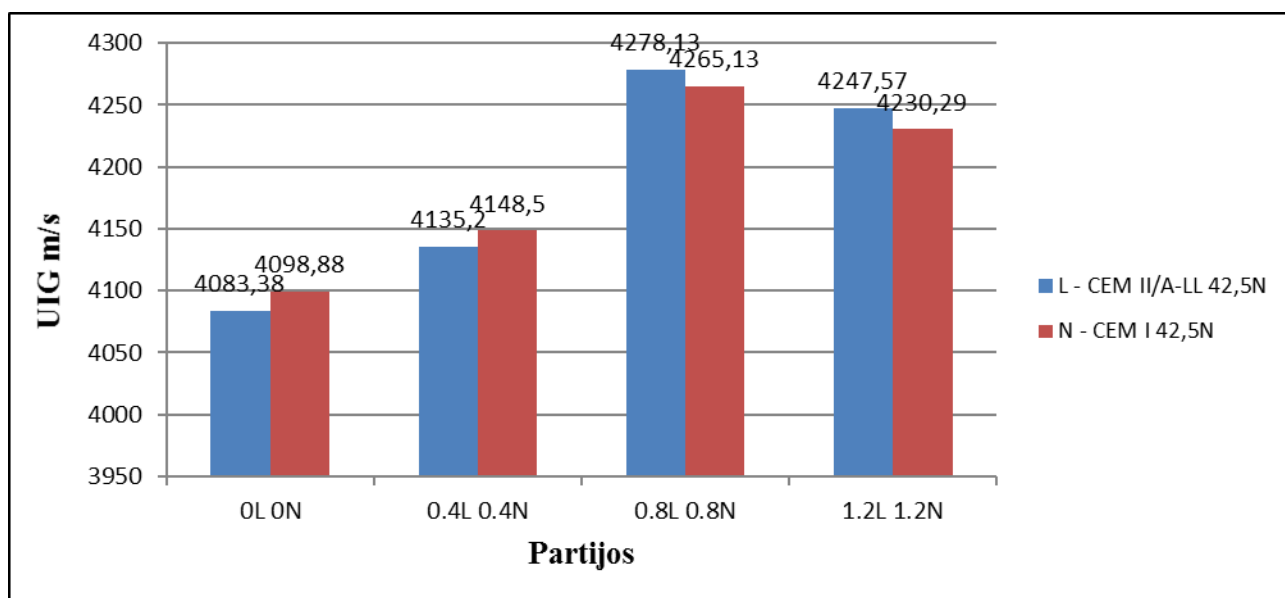
13 pav. Betono gniuždymo stiprio bandymo rezultatai po 28 parų, naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementą

Apskaičiavus gniuždymo stiprį po 28 kietėjimo parų, nustatyta, kad stiprio kitimo tendencija išliko tokia pati. Betonų stipris naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementus

didžiausias, kai plastiklio kiekis 0,8 %, o didinant šį kiekį iki 1,2 % stipris mažėja. Naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų buvo 71,3 MPa, o po 28 kietėjimo parų pakilo iki 78,3 MPa. Naudojant CEM I 42,5N cementą gniuždymo stipris padidėjo nuo 70,8 MPa iki 74,4 MPa.

3.3. Ultragarso impulso sklaidimo greičio tyrimo rezultatų analizė

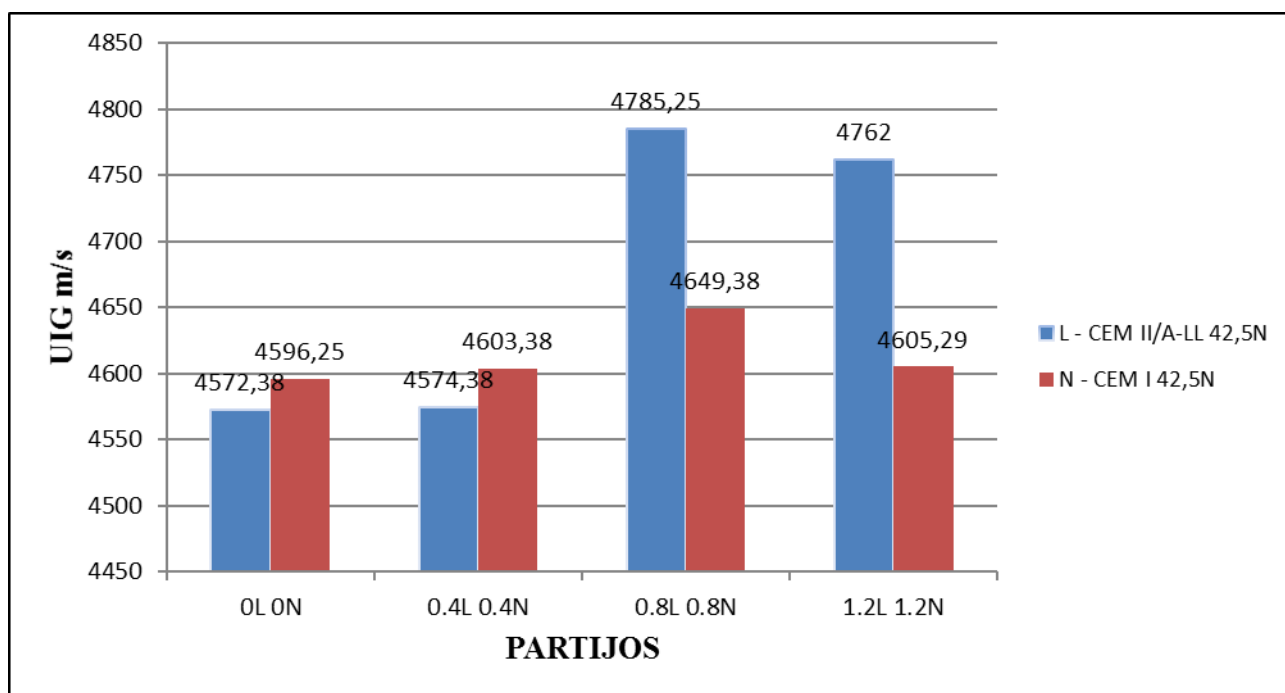
Tiriant ultragarso impulso sklaidimo greitį betono bandinių po 7 ir 28 kietėjimo parų, parametrų kitimo dėsningumas toks pat kaip ir bandinių gniuždymo stiprio diagramoje. Ultragarso impulso sklaidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė po 1 kietėjimo paros naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementus, pateikta 14 paveiksle.



14 pav. Ultragarso impulso sklaidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė naudojant kelių rūšių cementus po 1 paros

Iš pateikto grafiko matome, jog ultragarso impulso sklaidimo greitis sparčiai didėja tol, kol plastiklio kiekis neviršija 0,8 %. Esant šiam plastiklio kiekiui, betonas su abiem cementais pasiekia didžiausias vertes. Naudojant CEM II/A-LL 42,5N UIG pakyla iki 4278,13m/s, naudojant CEM I 42,5N cementą, UIG įgauna 4265,13 m/s ultragarso impulso sklaidimo greitį. Kai didėja šis greitis, tai reiškia, jog tuo metu intensyviai kinta kietėjančios teslos struktūra, nes susidaro kristalizacijos centrai. Į betono mišinį įmaišius 1,2 % plastiklio ultragarso impulso sklaidimo greitis sumažėjo naudojant abu cementus.

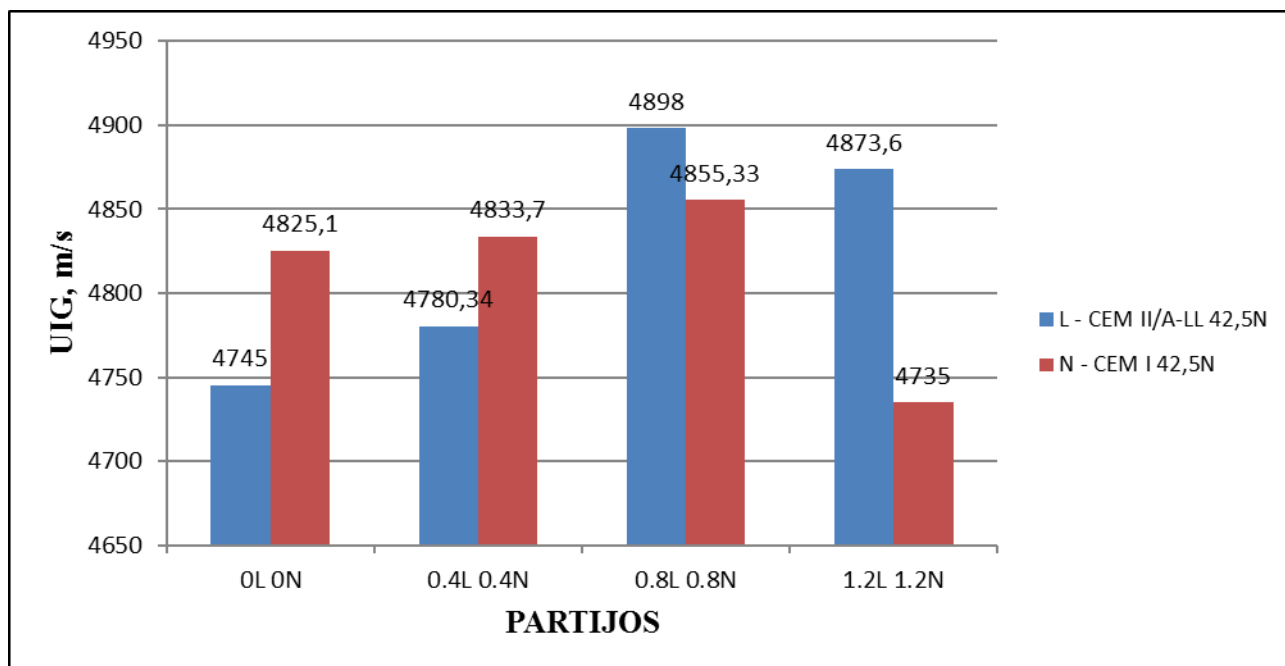
Ultragarso impulso sklidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė po 7 kietėjimo parų naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementus, pateikta 15 paveiksle.



15 pav. Ultragarso impulso sklidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė naudojant kelių rūšių cementus po 7 kietėjimo parų

Tiriant ultragarso impulso sklidimo greitį betono bandinių po 7 kietėjimo parų, parametrų kitimo dėsningumas išliko toks pat kaip ir po vienos betono bandinių kietėjimo paros. Ultragarso impulso sklidimo greitis išliko didžiausias kai plastifikuojančio priedo kiekis yra 0,8 %. Naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą jis padidėjo iki 4785, 25m/s, o naudojant CEM I 42,5N padidėjo iki 4649, 38 m/s. Didinant plastiklio kiekį impulso sklidimo greitis ėmė mažėti. Kaip ir ankstesnėse diagramose, ultragarso impulso sklidimo greitis yra mažiausias kai į betoną nemaišomas plastiklis.

Ultragarso impulso sklidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė po 28 kietėjimo parų naudojant CEM II/A-LL 42,5N ir CEM I 42,5N cementus, pateikta 16 paveiksle.



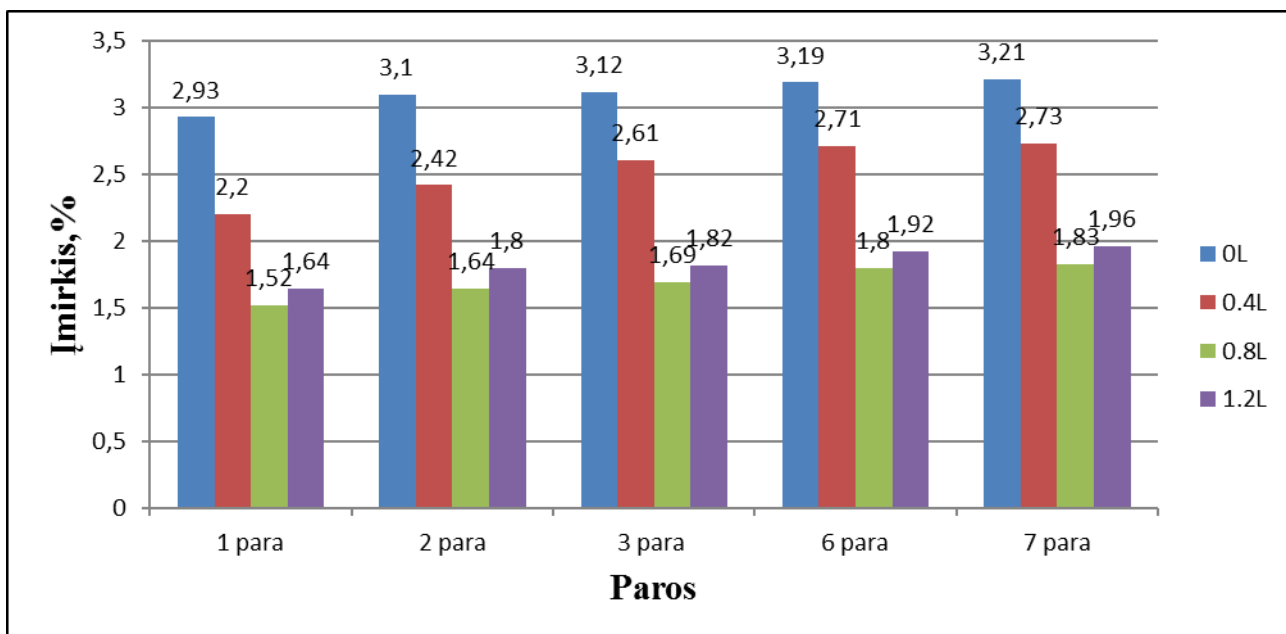
16 pav. Ultragarso impulso sklaidimo greičio ir plastifikuojančio priedo kiekio betone priklausomybė naudojant kelių rūšių cementus po 28 kietėjimo parų

Altikus ultragarso impulso sklaidimo greičio rezultattų analizę po 28 parų greičio kitimo dėsmingumai nepasikeitė. Lyginant rezultatus po 7 ir 28 kietėjimo parų UIG žymiai padidėja. Betono su CEM II/A-LL 42,5N cementu bandiniai po 28 kietėjimo parų pasiekė 4898 m/s greitį, o bandiniai su CEM I 42,5N cementu šoktelėjo iki 4855,33 m/s greičio. Kaip ir anksčiau nagrinėtuose bandymuose, taip ir šiame ultragarso impulso sklaidimo greitis ėmė mažėti į betoną įmaišius 0,8% plastiklio. Su pirmuoju cementu įdėjus 1,2 % plastiklio jis nukrito iki 4873,6m/s, o su antruoju – 4735 m/s.

3.4. Bandinių įmirkio normaliosiomis sąlygomis nustatymas

Bandoma po penkis bandinius, pagamintus iš betono mišinių su skirtingais plastifikuojančio priedo kiekiais bei skirtingais cementais. Vandens temperatūra turi būti $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Mirkomi bandiniai buvo pasveriami po 1; 2; 3; 6; 7 parų. Bandymas buvo tęsiamas tol, kol bandinių dviejų paskutinių svėrimų masė skiriasi ne daugiau kaip 0,1 %.

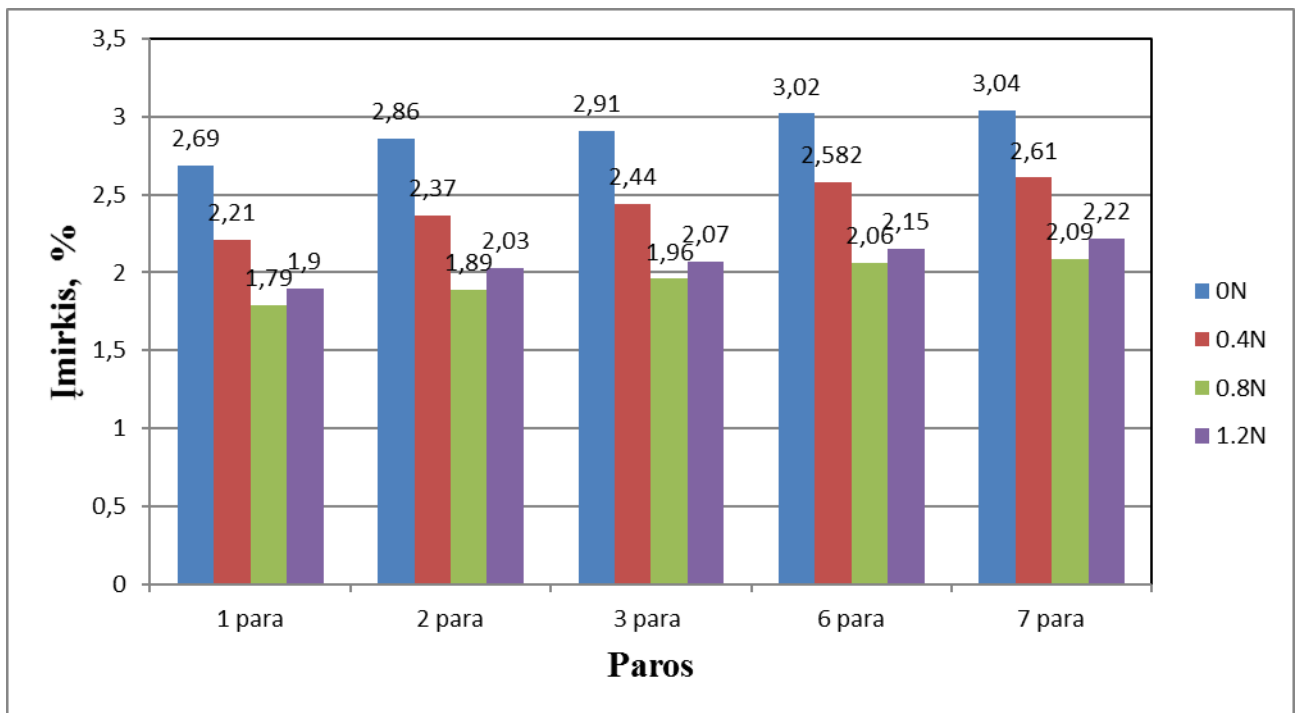
Įmirkio priklausomybė nuo CEM II/A-LL 42,5N cemento tipo ir skirtingo plastifikuojančio priedo kiekio, pateikta 17 paveiksle.



17 pav. Įmirkio priklausomybė nuo CEM II/A-LL 42,5N cemento tipo ir skirtingo plastifikuojančio priedo kiekio

Iš pateiktos diagramos matome, jog didžiasias įmirkis yra tų bandinių, kuriuose nėra plastifikuojančio priedo, t.y 0L partijos bandiniai. Pirmą parą bandinių įmirkis buvo 2,93 %, o po 7 parų jis pakilo iki 3,21 %. Įdėjus plastifikuojančio priedo įmirkis ženkliai sumažėjo, tačiau kiekvieną parą vis tiek didėjo. Ir po 7 parų įmirkis pasiekė 2,73 %. Plastiklio kiekį dar padidinus iki 0,8 %, įmirkis dar labiau sumažėjo. Pirmą parą jis buvo 1,52 %, o po 7 parų 1,83 %. Būtų galima manyti, jog dar padidinus plastifikuojančio priedo kiekį įmirkis dar labiau mažės, tačiau taip neatsitiko. Įmaišius plastiklio 1,2 % įmirkis vėl pradėjo didėti. Taigi betono, kuriam ruošti naudojamas CEM II/A-LL 42,5N cementas, įmirkis mažiausias kai plastifikuojančio priedo kiekis yra 0,8 %, o šį kiekį didinant įmirkis taip pat pradeda didėti.

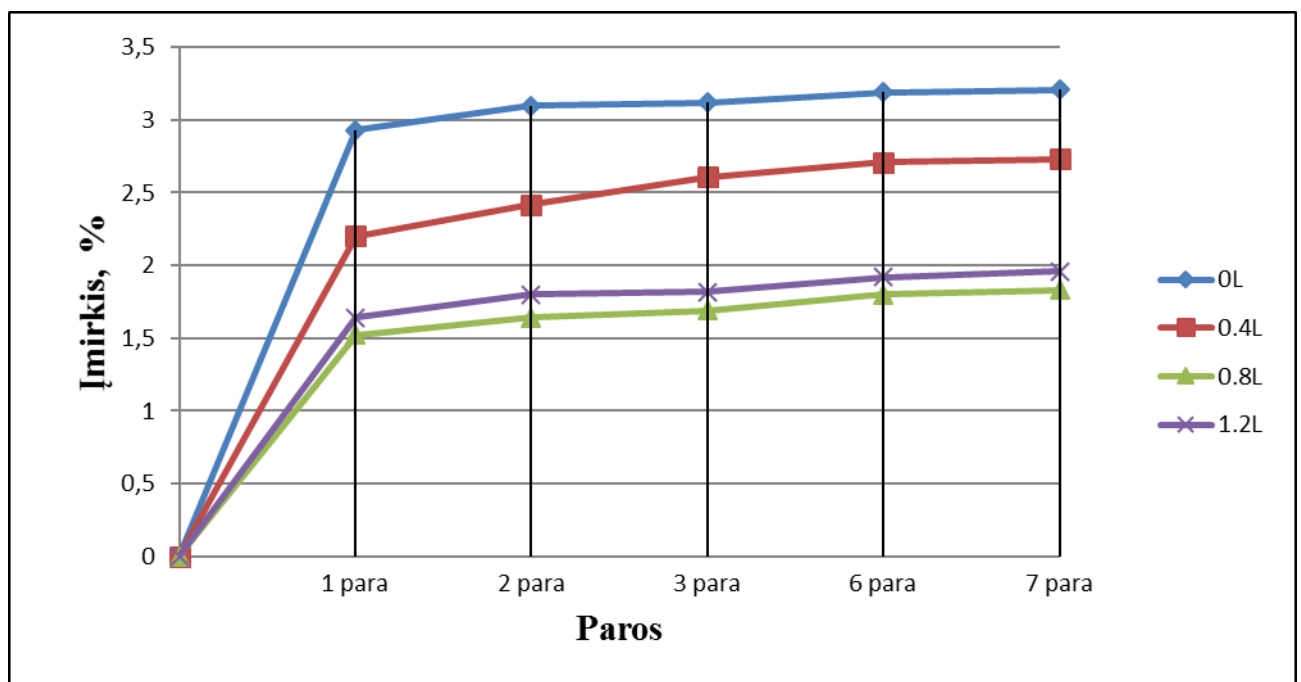
Įmirkio priklausomybė nuo CEM I 42,5N cemento tipo ir skirtingo plastifikuojančio priedo kiekio, pateikta 18 paveiksle.



18 pav. Įmirkio priklausomybė nuo CEM I 42,5N cemento tipo ir skirtingo plastifikuojančio priedo kiekio

Atlikus betono su CEM I 42,5N cementu bandymų rezultatų analizę pastebėta, jog įmirkio kitimo tendencijos išliko tokios pat kaip ir prieš tai aprašytų bandymų rezultatai. Didžiasias įmirkis 3,04 % pasiektas tų bandinių kuriems gaminti nebuvo naudojamas plastifikuojantis priedas. Įmaišius 0,4 % plastiklio įmirkis sumažėjo, nors kiekvieną parą vistiek didėja. Mažiausias įmirkis pasiektas tada, kai plastiklio įmaišoma 0,8 %, tačiau didinant šį kiekį, įmirkis vėl ima didėti.

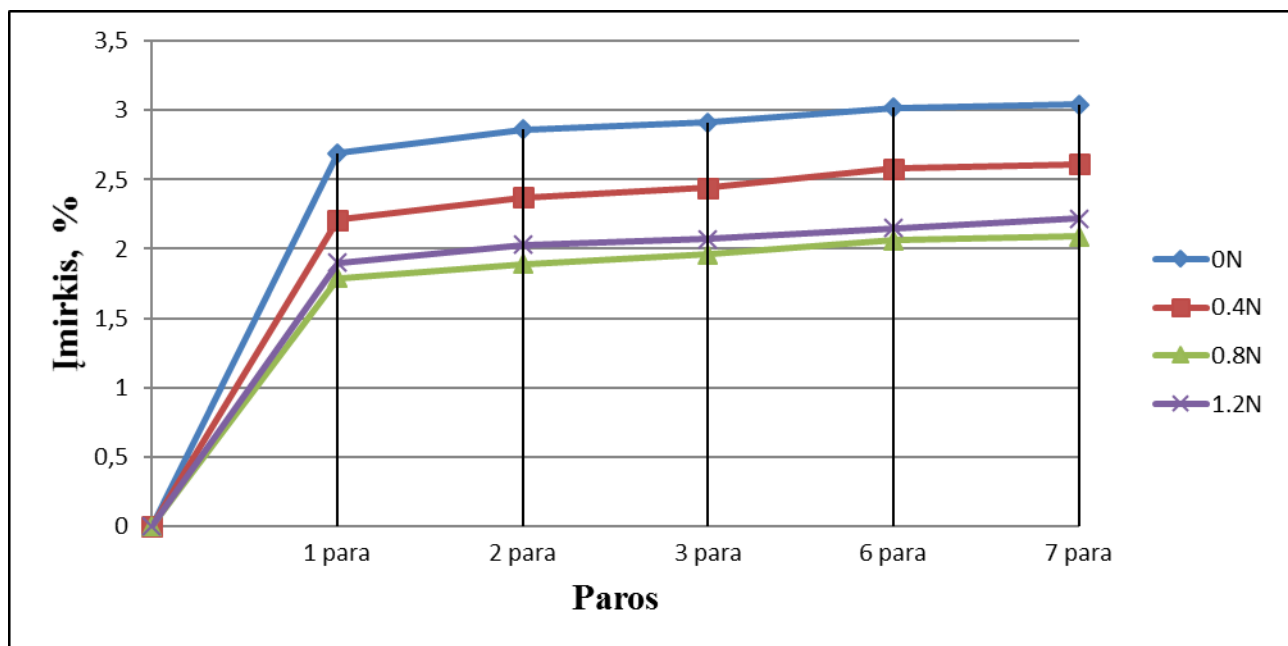
Tiriant įmirkio kinetiką, gauti rezultatai pateikti 19 paveiksle.



19 pav. Įmirkio kinetika naudojant CEM II/A-LL 42,5N

Analizuojant įmirčio kinetikos kreives, matyti, kad betono su CEM II/A-LL 42,5N įmirkis sparčiai didėja iki 2 mirkymo parų, kyla nuo 0 iki ~ 3 – 4,5 %. Tolesnis įmirčio didėjimas jau gana lėtas, o po 4 parų bandiniai pasiekia maksimalų įmirkį ir beveik nebeįmirksta. Iš grafiko taip pat matyti, kad kuo didesnis plastifikuojančio priedo kiekis, tuo mažesnis yra įmirkis.

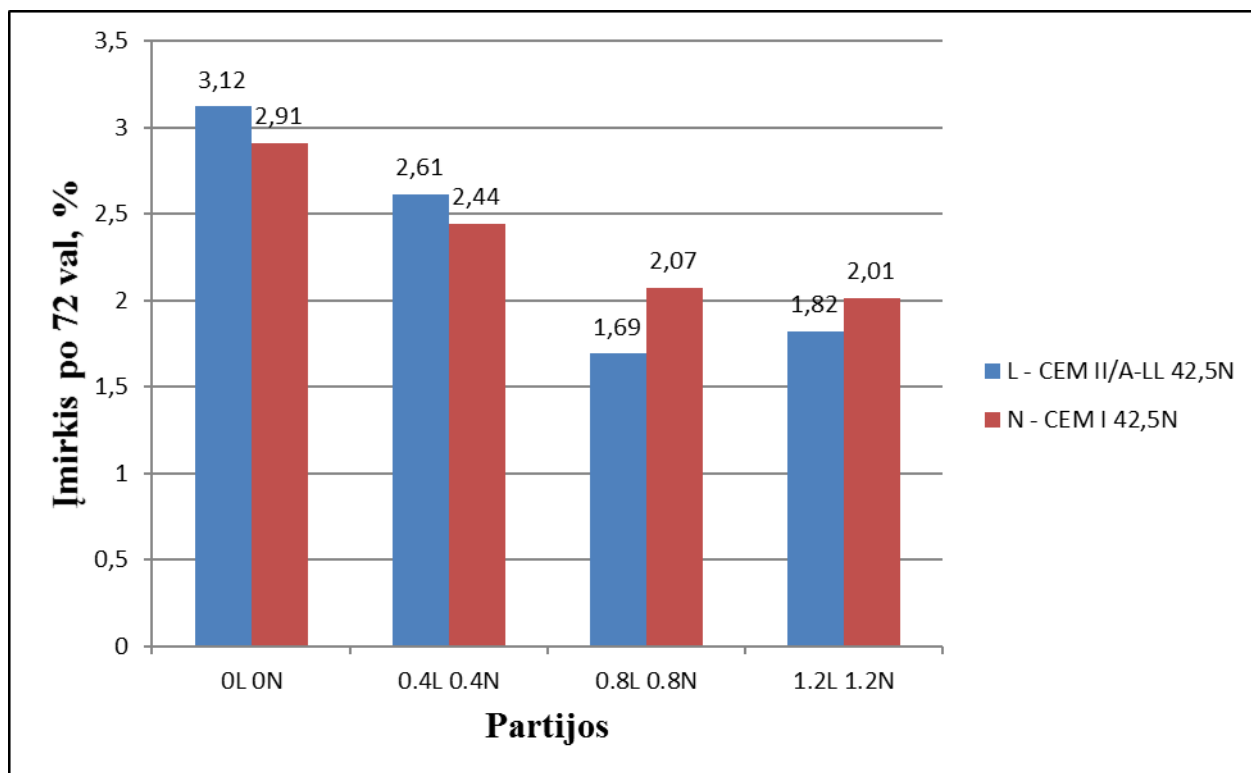
Tiriant įmirčio kinetiką, bandinių rezultatai naudojant CEM I 42,5N cementą pateikti 20 paveiksle.



20 pav. Įmirčio kinetika naudojant CEM I 42,5N

Tiriant bandinių įmirčio kinetiką kai bandiniams ruošti buvo naudojamas CEM I 42,5N cementas rezultatai išlieka panašūs, kaip ir bandinių kurių ruošimui buvo naudotas CEM II/A-LL 42,5N cementas. Įmirkis sparčiai kilo iki antros paros, jis pakilo nuo 0 iki 1,97 – 2,86 %. Kitas paros įmirkis kilo ir bandiniai kurie buvo maišomi be plastifikuojančio priedo pasiekė 3,04 % įmirkį.

Betonų su skirtingais cementais įmirkis po 72 val. pateikiamas 21 paveiksle.



21 pav. Betonų su skirtingais cementais įmirkis po 72 val.

Naudojant CEM II/A-LL 42,5N cementą, bandinių įmirkis be plastifikuojančio priedo yra didžiausias, jis siekia 3,12 %. Didinant plastiklio kiekį įmirkis mažėja. Panaudojus 0,8 % plastiklio įmirkis įgauna mažiausią vertę, kuri yra 1,69 %. Dar papildinus plastiklio kiekį iki 1,2 % įmirkis vėl ima didėti ir pakyla iki 1,82 %. Naudojant kitą cementą rezultatai skiriasi. Bandinių, kurių gamybai buvo naudojamas cementas CEM I 42,5N įmirkis taip pat yra didžiausias kai bandiniams nenaudojamas plastifikuojantis priedas. Įdėjus plastiklio ir didinant jo kiekį bandinių įmirkis mažėja ir nuo 2,91 % nukrenta iki 1,96 %.

Lyginant betonų įmirkius po 72 val. mirkymo, nustatyta kad mažesnis betono įmirkis yra kai plastifikuojančio priedo kiekis 0,8 %, o gaminant betoną yra naudojamas klintinis portlandcementis.

IŠVADOS

1. Norint gauti gerų savybių betoną yra dedami įvairūs priedai, kurie pagreitina arba sulėtina betono mišinio rišimąsi, padaro jį plastiškesnį, pagreitina kietėjimą, padidina stiprumą, nelaidumą vandeniui. Panaudojus plastifikuojančius priedus galima sumažinti vandens bei cemento kiekius, tai šiandieną yra aktualu visų pirma ekonominiu požiūriu, ypač didėjant cemento kainoms.
2. Atlikus tyrimus nustatyta, kad betono gamyboje naudojant plastifikuojantį priedą abiejų betonų, kurių gamybai buvo naudoti skirtingi cementai, tankis yra didžiausias, kai plastiklio įdedama 0,8 %. Su tuo pačiu plastiklio kiekiu klintinio portlandcemenčio tankis yra didesnis. Jis siekia $2,39 \text{ g/cm}^3$. Toliau didinant plastiklio kiekį abiejų rūšių betono tankiai mažėja.
3. Nustatyta, kad betono bandinių stiprumo savybės priklauso nuo plastifikuojančio priedo kiekio. Gniuždymo stipris po 28 parų kietėjimo vandenyje kito nuo 36,9 MPa iki 78,3 MPa, panašus stipris pasiekiamas ir po 7 parų kietėjimo vandenyje. Lyginant dviejų cementų atmainas esant vienodam plastifikuojančio priedo kiekiui didžiausia vertė gaunama naudojant klintinį portlandcementį ir pridėjus 0,8 % plastifikuojančio priedo.
4. Tyrimai parodė, kad polimerų technologijos pagrindu pagamintas plastifikuojantis priedas sumažina betono įmirkį, kai priedo dedama 0,8 %. Įdėjus šį plastiklio kiekį, betono su CEM II/A-LL 42,5N cementu, įmirkis sumažėjo ~ 43 %, o betono su CEM I-42,5N cementu – ~31 %.
5. Nustatytas ultargarso impulso sklidimo greitis po 28 parų parodė, kad, esant skirtingiems cemento tipams, didžiausias rezultatas pasiekiamas pridėjus į klintinį portlandcementį 0,8 % plastifikuojančio priedo. Skirtumas tarp cemento atmainų ultragarso impulso sklidimo greitis siekia ~1 %. Didinant plastifikuojančio priedo kiekį UIG vėl ima mažėti.
6. Pagal gautus tyrimo rezultatus nustatyta, kad plastifikuojančio priedo nepakankamas kiekis arba jo perdozavimas gali pabloginti betono fizikines-mechanines savybes. Naudojant optimalų plastifikuojančio priedo kiekį galima gauti atsparų šalčiui ir ilgaamžį betoną.
7. Nustatytas, kad norint pagaminti betoną, reikia naudoti klintinį cementą ir plastifikuojantį priedą, (polimerų technologijos pagrindu), kurio kiekis betone turi būti 0,8 % nuo cemento masės.

LITERATŪRA

- Allahverdi A., Salem S. Simultaneous influences of microsilica and limestone powder on properties of portland cement paste, *Ceramics-Silikaty* 54(1), 2010, p. 65-71
- Andrade FRD, Maringolo V, Kihara Y. Incorporation of V Zn and Pb into the crystalline phases of Portland clinker. *Cem Concr Res* 2003;33:63–71.
- Bonavetti V., Donza H., Menendez G., Cabrera O., Irassar E.F. Limestone filler cement in low W/C concrete: A rational use of energy, *Cement and Concrete Research*, 33, 2003, p. 865-871.
- Bellmann F, Stark J. Activation of blast furnace slag by a new method. *CemConcr Res* 2009;39(8):644–50.
- Bentz D.P., Conway J.T. Computer modelingo the replacement of „coarse“ cement particles by inert fillers in low W/C ratio concretes, 31, 2001, 503-506
- Deltuva, J. 1982. Statybinės medžiagos. Mokslas, Vilnius. 348 p.
- Deltuva J., Gailius A., Gumuliauskas A., Kalinauskas L., Malakauskas M., Martynaitis M. 1982 Statybinės medžiagos. Vilnius, Mokslas. 348p.
- A.Eisinas ir K. Baltakys. Portlandito kiekio hidratuotame portlandcementyje nustatymas vienalaikės terminės analizės metodu. *Kauno technologijos universitetas* . 2009.
- Горчаков Г. И., Баженов Ю. М. 1986 Строительные материалы. Москва: Стройиздат. 688р.
- Gumuliauskas. Betono kietėjimo intensyvinimo metodai / "Statyba ir architektūra" Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas, 1998 m. balandžio 8-10 d., p.179-183.
- Heikal M., Morsy M. S., Aiad I. Effct of polycarboxylate superplasticizer on hydration characteristics of cement pastes containing silica fume. 2006.
- Leemann ir F. Winnefeld . The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete, 2007.
- Jarunavičius, A. 2007. *Plastifikuojančio priedo „Winmix“ naudojimas betono tyrimams. [Using of Plastificating Additives „Winmix“ for Investigation of Concrete]*. 10-oji Lietuvos mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“. Vilnius, 50–54.
- Калашников. В И и др. 2006. *Класификационная оценка цементов в присытствиии саперластификаторов для бысокорочник бетоновую С*. 39 – 42
- Kligys, M., Ablyingtė, 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.
- A. Kičaitė, R. Mačiulaitis. Neorganinių rišamųjų medžiagų ir užpildų tyrimas. *Laboratoriniai darbai*. V.: Technika, 2001 , 40p.
- Kaulakienė A. ir kt. Kalbininkų patarimai studentams: teorija ir praktika. Vilnius: Technika, 2007. 149 p.

- LST EN 12620:2003 Betono užpildai.
- LST EN 197-1: 2001. Cementas. 1 dalis. Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai. Vilnius, 2002. 16 p.
- LST EN 12620:2002. Betono užpildai. Vilnius, 2002
- LST EN 12350-2:2009. 2 dalis . Šviežio betono bandymas. Slankumo bandymas. Vilnius, 2009. 16p.
- 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.
- EN 12390-2:2009 Sukietėjusio betono bandymai. 2 dalis. Bandinių pagaminimas ir kietinimas stipriui nustatyti
- LST EN 934-2: 2003. Betono, statybinio ir injekcinio skiedinio įmaišiniai priedai. 2 dalis. Betono įmaišos.
- Макишаева Е.А 2007. „Полирласт Новомосковск“ Июлью 2007 ю С. 28 –29
- Mehta, K.; Monteiro, P. Concrete. Structure, properties and materials – Second edition. New Jersey: A Simon & Schuster company, 1993. 21 – 62 p.
- Montvila E. 2003 Portlandcementis ir jo rūšys. Verslo žinios Nr.2 kovas. 26 p.
- Matschei T. ir kt. Cement and Concrete Research 2007. The role of calcium carbonate in cement hydration.
- M. Martusevičius, R. Kaminskas, J. Mituzas. Rišamųjų medžiagų cheminė technologija. Kaunas 2002.
- Mattison, E. N.; Beresford, F. D. Production and properties of concrete // Symposium on concrete research and development. Sydney, 1973, p. 35-38.
- Malhotra, V. M. Superplasticizers : a global review with emphasis on durability and innovate concretes // Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete. Third international conference. Ottawa, 1989, p. 17.
- Nehdi M. Why some carbonate filler cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials, Cement and Concrete Research, 30, 2003, p.1663-1669.
- Nedhi M., Mindess S., Aitcin P. Optimization of high strength limestone filler cement mortars, Cement and Concrete Research, 26,1996, 883-893.
- Nagrockienė D, Žurauskienė R ir kt „Medžiagų mokslas , laboratorinių darbų metodikos nurodymai“ 2010 .Vilnius „Technika“ 51-59p.
- Naujokaitis A. 2007 „Statybinės medžiagos, betonai“ Vilnius technika 13 – 25p.
- Naujokaitis A. 2006 „Statybinės medžiagos, užpildai “ Vilnius technika 9- 10 p.;

- Naujokaitis A. 2003 Mineralinių medžiagų verpetas. Statome namą. Verslo žinios Nr.1 vasaris. 4-6 p.
- 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.
- Poon CS, Clark AI, Perry R. Permeability study on the cement based solidification process for the disposal of hazardous wastes. *Cem Concr Compos* 1986;16:161–72.
- Petit J.Y., Wirquin E. Effect of limestone filler content and superplasticizer dosage on rheological parameters of highly flowable mortar under light pressure conditions, *Cement and Concrete Research*, 40, 2010, 235-240.
- Skripkiūnas G., Vaitkevičius V. Stipriojo betono gamybos ir naudojimo perspektyvos Lietuvoje / "Statyba ir architektūra" Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas, 1996 m. balandžio 9-11 d., p. 190-197.
- Skripkiūnas, G., 2007. Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės. *Mokslas ir studijos*, 2007., „Vitae Litera“. 334 p.
- Skripkiūnas G., Daukšys M. 2004. Influence of chemical admixtures on reological properties and dilatancy of cement slurries. The 8th International Conference. Vilnius, 2004.
- Taylor H.F.W. *Cement Chemistry*, second ed. Thomas Telford, London, 1997.
- Tsivilis S., Kakali G., Skaropoulou A., Sharp J. Swamy R. Use of mineral admixtures to prevent thaumasite formation in limestone cement mortar. 1995;25:79–85.
- Tsivilis, S.; Chaniotakis, E.; Badogiannis, E. 1999. A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements *Cement and Concrete Composites* 21: 107–116 p.
- Voglis N., Kakali G., Chaniotakis E., Tsivilis S. Portland-limestone cements. Their properties and hydration compared to those of other composite cements, *Cement and Concrete Composites*, 27, 2005, p.191-196.
- Вовк А.И., и др., 2006. "Полипласт Новомосковск". Строительные материалы. Июль. 2007. УДК 666.972.16: С. 34 – 35.А.
- Yahia A., Tanimura M., Shimoyama Y. Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, *Cement and Concrete Research*, 35, 2005, p. 532-539.
- Žurauskienė R., Nagrockienė D., Mačiulaitis R., Kičaitė A., Červokienė A., 2009. Statybinės medžiagos, laboratoriniai darbai. Vilnius: Technika, 2009
- Žurauskienė R., Nagrockienė D. 2008. Statybinių medžiagų ir dirbinių technologija. Vilnius:Technika, 2008. 185 p.
- <http://www.variva.lt/> Kodel verta....

<http://archyvas.vz.lt/news.php?strid=1047&id=49902> Betono užpildu...

www.vedrana.lt Statybinės medžiagos...

<http://www.pagiriunesta.lt/zvirgzdas> Žvirgždas...

<http://www.variva.lt/> Cheminių priedų...

<http://archyvas.vz.lt/news.php?strid=1047&id=114153> Betonų ir skiedinių...

PRIEDAI