

PLASTIFIKATORIAUS POVEIKIS SUKIETĖJUSIO BETONO SAVYBĖMS

Anastasija Abasova¹, Džigita Nagrockienė²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹a.abasova@gmail.com; ²dzigita.nagrockiene@vgtu.lt

Santrauka. Betonas – medžiaga, kuri sumaišius rišamąją medžiagą, stambiuosius ir smulkiuosius užpildus, vandenį bei pridėjus priedų, reikiamų savybių įgyja kietėdama. Betonui gaminti naudojamų žaliavų kokybė ir savybės, V/C santykis, mišinio sutankinimo vienodumas lemia pagrindines betono savybes. Betono gniuždymo stipris yra viena iš svarbiausių betono savybių. Straipsnyje nagrinėjamas plastifikatoriaus poveikis betono savybėms, parenkamas optimalus jo kiekis. Atlikus betono savybių tyrimus su skirtingais kiekiais plastifikatoriaus, nustatyta, kad betone didinant plastifikatoriaus kiekį, didėja bandinių gniuždymo stipris, tankis ir ultragarso impulso sklidimo greitis, o įmirkis mažėja. Pagal gautus tyrimo rezultatus nustatyta, kad nepakankamas plastifikatoriaus kiekis arba jo perdozavimas gali pabloginti betono savybes

Reikšminiai žodžiai: betonas, klintinis cementas, plastifikatorius, gniuždymo stipris, struktūrinės savybės, įmirkis.

Įvadas

Betonas yra universali ir patikima statybinė medžiaga, sudaryta iš rišamosios medžiagos akmens, įvairių rūšių skirtingo dydžio ir formos grūdelių užpildų, plastifikatorių, vandens.

Betonas – tai viena iš seniausių statyboje naudojamų medžiagų. Įvairios paskirties pastatams, konstrukcijoms ir dirbiniams betonas naudojamas nuo XVII a. vidurio, kai buvo išrastas portlandcementis. Daugelis mokslininkų (Bentz, Conway 2001) tyrė betono stiprumo priklausomybę nuo vandens ir cemento santykio.

Laikoma, kad pagrindinis klinties priedo poveikis cemento savybėms yra fizinio pobūdžio. Sumaltos kartu su klinkeriu klinties dalelės yra labai smulkios, t. y. daug smulkesnės nei cemento (klinkerio) dalelės. Nepaisant didelio smulkumo, jos nepasižymi aglomeravimosi savybėmis, todėl tolygiai pasiskirsto cemente. Užsienio mokslininkų (Allahverdi, Salem 2010; Bonavetti *et al.* 2003; Nehdi 2003) darbuose teigiama, kad sumalto klinkerio dalelės klinties daleles veikia kaip tepalas ir užtikrina tolygesnį cementuojančių dalelių pasiskirstymą bei tolygesnę ir tankesnę kietėjančio cementinio karkaso struktūrą, ypač esant mažesniems V/C santykiams. Tyrėjai (Allahverdi, Salem 2010) ištyrė, kad klinties priedas pasižymi dispergavimo savybėmis ir pagerina aglomeruotus linkusių ir sunkiai išmaišomų priedų, tokių kaip silicio dioksido dulkės, sklaidą cementinėje matricoje.

Tyrimo metu (Yahia *et al.* 2005) buvo įrodyta, kad klinties priedas, turintis mažesnę tankį nei klinkeris, didi-

na tešlos išėigą esant vienodam V/C santykiui ir gerina betono slankumą ir užpildų pasiskirstymą. Tačiau kiti mokslininkai (Petit, Wirquin 2010) nustatė, kad didelio smulkumo klinties priedas didina cemento tešlos klampą, taigi ir reikalingą vandens ir cemento santykį (V/C), o tai turi įtakos betonų ilgaamžiškumui, t. y. atsparumui šalčiui, cheminiam aplinkos poveikiui ir pan. Tuo tarpu mokslininkai ir tyrėjai (Bonavetti *et al.* 2003; Nehdi 2003; Voglis *et al.* 2005) nustatė, kad klinties priedas didina arba neturi įtakos ankstyvajam stipriui, tačiau mažina stiprį vėlesniais kietėjimo laikotarpiais. Ankstyvasis kietėjimo laikotarpis – tai trukmė po dviejų parų, o vėlyvasis – po septynių ir daugiau parų. M. Nehdi (Nehdi 2003) teigia, kad klinties priedas turi ir cheminį poveikį, nes labai smulkios jos dalelės naudojamos kaip kalcio hidroksido kristalizacijos centrai ir skatina C₃S hidrataciją, o vykstant reakcijai su C₃A susidaro karboaluminatai.

S. Tsivilis ir kiti mokslininkai (Tsivilis *et al.* 2002) ištyrė, kad klinties priedas cemento klinkeryje mažina vandens sąnaudas ruošiant normalaus tirštumo cemento tešlą. Jie nustatė, kad 15 % cemento klinkerio pakeitus klintimis, vandens sąnaudos sumažėja 2 % lyginant su pradiniu klinkeriu, o didinant kiekį iki 35 % – sąnaudos sumažėja 3 %.

Taip pat S. Tsivilis ir kt. (Tsivilis *et al.* 2002) nustatė, kad stiprumo savybėms klintis turi dvejopą įtaką. Didelis jos kiekis (35 %) betono gniuždymo stiprį po 28 parų sumažina gana daug – apie 40 %, lyginant su cemento

klinkeriu, o nedidelis kiekis (5 %) nereikšmingai padidina betono gniuždymo stiprį – apie 5 %. Nustatyta, kad 5–10 % klinkerio pakeitus klintimis, gniuždymo stipris po 2 ir 7 parų gaunamas didesnis, negu pradinių bandinių, kurios yra be klinties priedų.

Rusų mokslininkas (Калашников *et al.* 2006) tyrė plastifikatoriaus C-3 panaudojimą betonuose. Buvo tiriamas toks plastifikatoriaus kiekis, kad jo pridėjus būtų gautas betono mišinys, turintis kuo mažiau vandens ir būtų pasiektas didesnės stipruminės savybės ir tankis. Nustatyta, kad naudojant plastifikatorių, vandens ir cemento galima sumažinti iki 20 %, todėl galima reguliuoti betono savybes. Pridėjus plastifikatoriaus C-3, betono mišinio slankumas padidėja nuo 2–4 cm iki 20 cm, nekeičiant vandens kiekio mišinyje.

Betono mišinys yra sudėtinga daugiakomponentė polidispersinė sistema, kuri gaunama cemento, užpildų ir priedų mišinį sumaišius su vandeniu. Šią sistemą sudaro mažos ir stambesnės cemento dalelytės, smulkiojo ir stambiojo užpildo dalelės, atitinkami priedai, vanduo ir įtrauktasis oras. Vieni iš perspektyviausių priedų tiek technologiniu, tiek ekonominiu požiūriu yra klintis ir šlakai. Klinties ir šlakų portlandcemenčių (CEM II) naudojimas Europoje pastaraisiais metais nuolat didėjo. Šių cementų ir 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 (superplastikliai, lėtikliai, greitikliai ir kt.) poveikio jų savybėms ypatumus. Žinoma, šie cheminiai priedai gali iš esmės keisti betonų savybes. Lietuvos sąlygomis racionalu būtų plėsti klintinio portlandcemenčio naudojimą, nes klintis yra vietinė cemento gamybos žaliava ir pats pigiausias priedas. Šio portlandcemenčio daugiausia naudojama ir Europoje.

Klinties portlandcemenčio (CEM II/A-LL 42,5 R) kartu su superplastifikatoriumi sintetinio polikarboksilato polimero pagrindu naudojimo klausimas yra aktualus betoną gaminančioms įmonėms, nes dažnai naudojamas šio tipo cementas.

Žaliavos ir tiriamųjų mišinių sudėtis

Betono bandiniams gaminti buvo naudojamas klinties portlandcementis, stambieji ir smulkieji užpildai, plastifikatorius, vanduo. Cementas – tai pagrindinė vandenyje ir ore kietėjanti rišamoji medžiaga. Klintinis portlandcementis gaminamas keturių atmainų. Jis gaunamas maišant maltas klintis su klinkeriu. Šios rūšies cemente negali būti molio

bei organinių priemaišų. Šiame cemente klinkeris sudaro 80–94 %, o LL – klintis (CaCO_3), kurioje organinės kilmės anglies yra $\leq 0,2$ %, sudaro 6–20 %. Cementas atitinka esminius Europos standarto LST EN 197-1 reikalavimus. Pagrindinės portlandcemenčio charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Portlandcemenčio pagrindinės charakteristikos

Table 1. The main characteristics of Portland cement

Žymėjimas	Piltinis tankis, kg/m^3	Savitasis tankis, kg/m^3	Savitasis paviršius, cm^2/g
CEM II/A-LL 42,5 R	1100	3100	4100

Stambusis užpildas yra žvirgždas. Darbe naudojamas 4/16 frakcijos žvirgždas, atitinkantis standarto LST EN 12620:2003 reikalavimus.

Smulkusis užpildas – smėlis – tai biri natūrali arba dirbtinė akmens medžiaga, sudaryta iš 0,14–5 mm dydžio dalelių. Darbe naudojamas 0/4 frakcijos smėlis, kuris atitinka LST EN 12620:2003 standarto reikalavimus. Žvirgždo ir smėlio fizikinių savybių tyrimo duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Žvirgždo ir smėlio fizikinių ir mechaninių savybių tyrimo duomenys

Table 2. Research data on physical and mechanical properties of gravel and sand

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

Plastifikatorius sintetinio polikarboksilato polimero pagrindu yra ypač puikių savybių.

Vanduo betono mišiniui ruošti ir betonui laistyti turi būti švarus, be žalingų normalų betono kietėjimą stabdančių priemaišų, t. y. geriamasis vanduo, kuris turi atitikti LST EN 1008:2003 standartą.

Tyrimams buvo pagamintos 7 partijos betono bandinių. Partijos skyrėsi plastifikatoriaus kiekiu betone. Betono sudėtis pateikta 3 lentelėje.

3 lentelė. Betono su plastifikatoriumi sudėtis

Table 3. The composition of concrete using a plasticizing admixture

Partija	Cementas, kg	Smelis, kg	Žvirgždas, kg	Vanduo, kg	Plastiklis, kg	V/C
0	455	700	1190	180	0	0,4
0,2	455	700	1190	180	0,91	0,4
0,4	455	700	1190	180	1,82	0,4
0,6	455	700	1190	162	2,73	0,36
0,8	455	700	1190	162	3,64	0,36
1,0	455	700	1190	144	4,55	0,32
1,2	455	700	1190	144	5,46	0,32

Tyrimų metodika

Betono mišiniai buvo maišomi laboratorijoje mechaniniu būdu. Suformuoti 10×10×10 cm bandiniai formose, išteptose alyva, buvo sutankinti naudojant vibracinę aikštelę. Po 24 valandų bandiniai buvo išimti iš formų ir laikomi 20 °C temperatūros vandenyje iki bandymų.

Betono bandiniams po 7 ir 28 parų kietėjimo vandenyje buvo nustatytos stipruminės savybės. Betono gniuždymo stipris buvo nustatomas pagal LST EN 12390-3:2009 standartą.

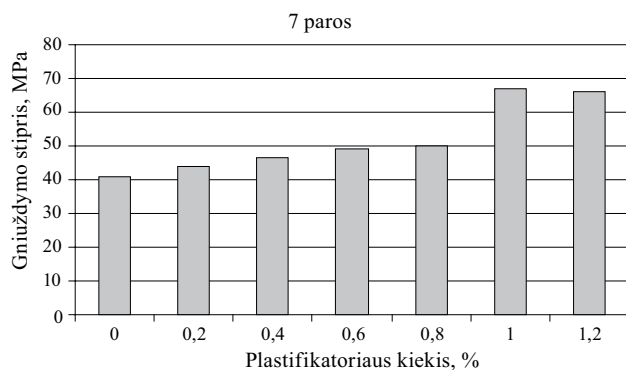
Ultragarso impulso greitis buvo nustatytas pagal LST EN 12504-4:2004 standarte pateiktus reikalavimus.

Bandinių tankis nustatytas vadovaujantis LST EN 12390-7:2009 standarto reikalavimais.

Vandens įmirkis, sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis, prognozuojamas atsparumas šalčiui nustatytas naudojantis literatūra (Mačiulaitis 1996).

Tyrimų rezultatai

Betono bandinių gniuždymo stiprio po 7 kietėjimo parų priklausomybė nuo plastifikatoriaus kiekio pateikta 1 paveiksle.



1 pav. Gniuždymo stiprio ir plastifikatoriaus kiekio betone priklausomybė po 7 kietėjimo parų

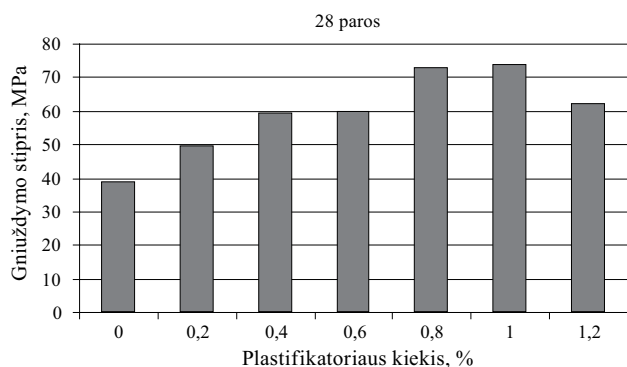
Fig. 1. The dependence of compressive strength on the quantity of a plasticizing admixture in concrete following 7 days of hardening

Kaip matyti iš 1 paveikslo, didžiausios stipruminės savybės pasiekiamos pridėjus į betono mišinį 1 % plastifikatoriaus. Betono gniuždymo stipris po 7 parų kietėjimo vandenyje mažiausias buvo be plastifikatoriaus (~40,9 MPa). Didžiausias gniuždymo stipris (66,8 MPa) buvo betono, į kurį pridėta 1,0 % plastifikatoriaus. Nustatyta, kad didėjant plastifikatoriaus kiekiui iki 1 % betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų padidėja, o bandinio, esant maksimaliam 1,2 % plastifikatoriaus kiekiui, betono gniuždymo stipris sumažėja.

Betono bandinių gniuždymo stiprio po 28 kietėjimo parų priklausomybė nuo plastifikatoriaus kiekio pateikta 2 paveiksle.

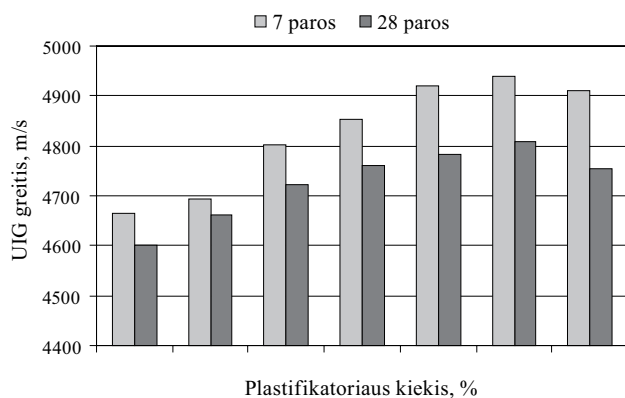
Atlikus tyrimus nustatyta, kad po 28 parų kietėjimo išliko ta pati tendencija, t. y. didėjant plastifikatoriaus kiekiui iki 1 %, betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų didėja, o bandinio esant maksimaliam 1,2 % plastifikatoriaus kiekiui betono gniuždymo stipris mažėja.

Tiriant ultragarso impulso sklidimo greitį (3 pav.) betono bandiniuose po 7 ir 28 kietėjimo parų, galima pastebėti, kad egzistuoja tam tikras ryšys tarp gniuždymo stiprio ir betono



2 pav. Gniuždymo stiprio ir plastifikatoriaus kiekio betone priklausomybė po 28 parų kietėjimo

Fig. 2. The dependence of compressive strength on the quantity of a plasticizing admixture in concrete following 28 days of hardening



3 pav. Ultragarso impulso sklidimo greičio ir plastifikatoriaus kiekio betone priklausomybė

Fig. 3. The dependence of the spread of ultra sound speed on the quantity of a plasticizing admixture in concrete

struktūros (3 pav.). Nepaisant vienodo V/C santykio bandiniuose, esant 0,2–0,4 % plastifikatoriaus kiekiui, ultragarso impulso sklidimo greičio vertės po 7 kietėjimo parų buvo 150–200 m/s didesnės nei kontroliniame bandinyje. Tai rodo, kad plastifikatorius dalyvauja betono struktūros susidarymo procese. Didinant plastifikatoriaus kiekį nuo 0,6 iki 1,2 % ultragarso impulso sklidimo greitis didėja jau ne taip sparčiai. Po 28 kietėjimo parų stebimas nedidelis ultragarso impulso sklidimo greičio (UIG) sumažėjimas visuose bandiniuose.

Atliekant tyrimus nustatytas betono tankis. Tyrimų rezultatai pateikti 4 paveiksle.

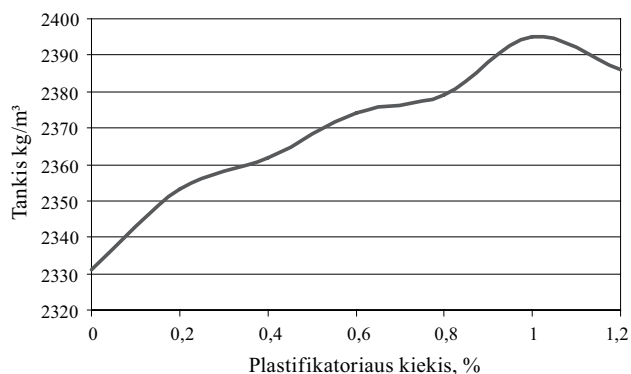
Iš 4 paveikslo matyti, kad betonui gaminti naudojant klintinį potlandcementį ir didinant plastifikatoriaus kiekį, sukietėjusio betono tankis greitai didėja. Esant 0 % priedo kiekiui, tankis siekia 2331 kg/m³, o pridėjus optimalų (1 %) priedo kiekį, sukietėjusio betono tankis padidėja ~3 % – iki 2395 kg/m³.

Atlikus tyrimus nustatyta, kad didinant plastifikatoriaus kiekį mažėja vandens įmirkis, o tai gerina sukietėjusio betono savybes (5 pav.). Nepridėjus į betono mišinį plastifikatoriaus įmirkis siekia 4,39 %, o esant optimaliam priedo kiekiui, t. y. 1,0 % nuo cemento masės, įmirkis sumažėja iki 2,88 %, betonas įmirksta apie 30 % mažiau.

Atliekant tyrimus su betonais nustatytas bandinių sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis (D). Gauti tyrimų rezultatai pateikti 6 paveiksle.

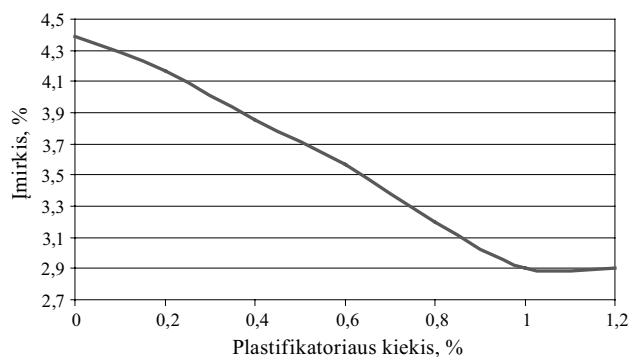
Nustatyta, kad didėjant betone plastifikatoriaus kiekiui, didėja sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis. Nepridėjus į betono mišinį plastifikatoriaus sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis siekia 8,42 %, o esant optimaliam priedo kiekiui, sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis padidėja iki 11,12 %.

Atlikus tyrimus buvo apskaičiuotas prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui sąlyginiais ciklais pagal suirimo pradžią.



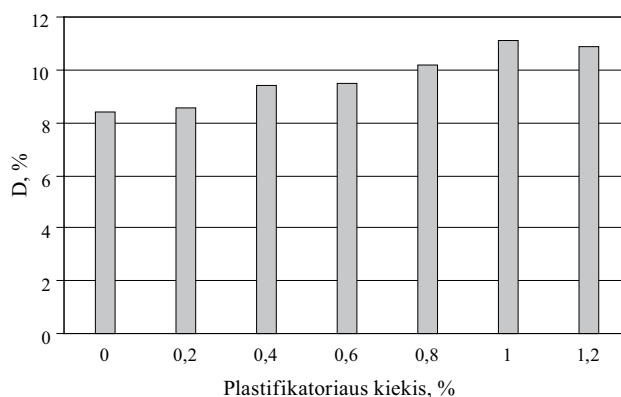
4 pav. Tankio ir plastifikatoriaus kiekio priklausomybė

Fig. 4. The dependence of density on the quantity of a plasticizing admixture in concrete



5 pav. Įmirkio ir plastifikatoriaus kiekio betone priklausomybė

Fig. 5. The dependence of water absorption on the quantity of a plasticizing admixture in concrete



6 pav. Sąlyginio porų ir kapiliarų sienelės storio ir plastifikatoriaus kiekio priklausomybė

Fig. 6. The dependence of relative wall thickness of pores and capillaries on the quantity of a plasticizing admixture in concrete

Atlikti tyrimai rodo, kad kuo didesnis plastifikatoriaus kiekis, tuo didesnis prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui sąlyginiais ciklais. Nepridėjus plastifikatoriaus į betoną sąlyginis ciklų skaičius siekia 39,24, o pridėjus optimalų plastifikatoriaus kiekį (1,0 %), sąlyginis ciklų skaičius padidėja beveik dvigubai ir siekia 75,9.

Išvados

1. Betono bandinių savybės priklauso nuo plastifikatoriaus kiekio. Gniuždymo stipris po 7 parų kietėjimo vandenyje kito nuo ~41 iki ~67 MPa.
2. Betonui gaminti naudojant klintinį potlandcementį ir didinant plastifikatoriaus kiekį iki optimalaus (1 %), sukietėjusio betono tankis labai padidėja. Esant 0 % priedo kiekiui, tankis siekia 2331 kg/m³, o pridėjus optimalų priedo kiekį, sukietėjusio betono tankis padidėja apie 3 % – iki 2395 kg/m³.
3. Sintetinio polikarboksilato polimero pagrindu sudarytas plastifikatorius mažina betono įmirkį, didina atsparumą šalčiui ir ilgaamžiškumą. Pridėjus optimalų priedo kiekį, įmirkis sumažėja apie 30 %.
4. Atlikus tyrimus nustatyta, kad didėjant betone plastifikatoriaus kiekiui, didėja sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis. Nepridėjus į betono mišinį plastifikatoriaus sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis siekia 8,42 %, o esant optimaliam priedo kiekiui, sąlyginis porų ir kapiliarų sienelės storis padidėja iki 11,12 %.
5. Betonui su klinties portlandcemenčiu reikia kruopščiai parinkti plastifikatoriaus kiekį, nes nuo tinkamai parinkto priedo kiekio iš esmės priklauso sukietėjusio betono savybės.

Literatūra

- Allahverdi, A.; Salem, S. 2010. Simultaneous influences of mikrosilica and limestone Po on properties of portland cement paste, *Ceramics – Silicaty* 54(1): 65–71.
- Bentz, D. P.; Conway, J. T. 2001. Computer modeline of the replacement of “coarse” cement particles by inert fillers in low W/C ratio concretes, *Cement and Concrete Research* 31: 503–506. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00456-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00456-2)
- Bonavetti, V.; Donza, H.; Menendez, G.; Cabrera, O.; Irassar, E. F. 2003. Limestone filler cement in low W/C concrete: a rational use of energy, *Cement and Concrete Research* 33: 865–871. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01087-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01087-6)
- Yahia, A.; Tanimura, M.; Shimoyama, Y. 2005. Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, *Cement and Concrete Research* 35: 532–539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.008>
- Mačiulaitis, R. 1996. *Frost resistance and durability of façade bricks. Frostwiderstand und Dauerhaftigkeit keramischer Fassadenerzeugnisse*. Vilnius: Technika. 132 p.
- Nehdi, M. 2003. Why some carbonate filler cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials, *Cement and Concrete Research* 30: 1663–1669. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00353-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00353-7)
- Tsivilis, S.; Chaniotakis, E.; Kakali, G.; Batis, G. 2002. An analysis of properties of Portland limestone cements and concrete, *Cement and Concrete Composites* 24(3–4): 371–378. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00089-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00089-0)

Petit, J. Y.; Wirquin, E. 2010. Effect of limestone filler content and superplasticizer dosage on rheological parameters of highly flowable mortar under light pressure conditions, *Cement and Concrete Research* 40: 235–240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.10.013>

Voglis, N.; Kakali, G.; Chaniotakis, E.; Taivilis, S. 2005. Portland-limestone cements. Their properties and hydration compared to those of other composite cements, *Cement and Concrete Composites* 27: 191–196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.006>

Калашников, В. И. и др. 2006. Классификационная оценка цементов в присутствии суперпластификаторов для высокопрочных бетонов, *Бетон и железобетон*, 39–42.

THE EFFECT OF A PLASTICIZING ADMIXTURE ON THE PROPERTIES OF HARDENED CONCRETE

A. Abasova, D. Nagrockienė

Abstract

Concrete is material obtained mixing matrix material, coarse and small aggregates and water along with additives acquiring necessary properties of hardening. The quality and properties of raw material used for manufacturing concrete, V/C ratio and the uniformity of the compaction of the mixture lead to the fundamental properties of concrete. The compressive strength of concrete is one of the most important properties of concrete. The article deals with the impact of plasticizers on the structural properties of concrete choosing an optimal content of additives. Concrete plasticizers increasing the content of additive increase the strength of samples, the density and ultrasonic pulse of velocity and decrease absorption. Test results have revealed that a plasticizing admixture under dosing or overdosing can reduce the properties of concrete.

Keywords: concrete, limestone cement, plasticizing admixture, compressive strength, structural properties, water absorption.