

BIOKURO DEGINIMO PELENŲ POVEIKIS BETONO SAVYBĖMS

Aurelijus DAUGĖLA¹, Džigita NAGROCKIENĖ², Laurynas ZARAUSKAS³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹aurelijus.daugela@vgtu.lt; ²Dzigita.nagrockiene@vgtu.lt;

³laurynas.zarauskas@vgtu.lt

Santrauka. Betono gamybai naudojamą rišamąją medžiagą – cementą – galima keisti aktyviais mineraliniais priedais. Vienas iš tokių – biokuro deginimo pelenai. Tyrimams naudotos medžiagos: portlandcementis CEM I 42,5 R, 0/4 frakcijos smėlis, 4/16 frakcijos žvirgždas, biokuro deginimo pelenai, superplastiklis, vanduo. Buvo maišomi šešių sudėčių betono mišiniai dedant 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % biokuro deginimo pelenų, mažinant cemento kiekį. Straipsnyje nagrinėjamas biokuro deginimo pelenų kiekio poveikis betono savybėms. Atlikus tyrimus nustatyta, kad didinant biokuro deginimo pelenų priedo kiekį iki 20 %, betono tankis, gniuždymo stipris po 7 ir 28 kietėjimo parų didėja, įmirkis mažėja. Nustatyta, kad 20 % cemento pakeičiant biokuro deginimo pelenais betoną yra atsparesnis šalčiui.

Reikšminiai žodžiai: betonas, biokuro deginimo pelenai, gniuždymo stipris, tankis, atsparumas šalčiui.

Įvadas

Betonas – plačiausiai naudojama statybinė medžiaga, kuri gaminama iš vietinių žaliavų, todėl yra sąlygiškai nebrangi. Tai dirbtinis akmuo, gaunamas kietėjant rišamosios medžiagos, stambiųjų ir smulkiųjų užpildų ir vandens mišiniui. Dėl būdingų reologinių bei mechaninių savybių iš betono galima suformuoti sudėtingų formų ir gerų charakteristikų objektus.

Betono kokybė ir ilgaamžiškumas priklauso nuo jo stiprio, ši betono savybė yra viena svarbiausių (Žurauskienė *et al.* 2012), nes nuo jos priklauso gaminio eksploatacinės savybės, todėl labai svarbu tinkamai parinkti ir dozuoti medžiagas.

Brangiausias komponentas betono mišinyje yra cementas, kurio gamybai sunaudojami dideli kiekiai energetinių ir žmogiškųjų resursų. Brangstant energetiniams resursams ir norint išlaikyti gamybos apimtį augimo tempą būtina ieškoti išeičių, kaip sumažinti betono savikainą. Todėl norint iki minimumo sumažinti savikainą reikia ieškoti antrinio atliekų panaudojimo galimybių betono mišinių gamyboje.

Remiantis Tailando mokslininkų (Sata *et al.* 2008) tyrimų rezultatais galima pastebėti tendenciją, kad betono stiprumo savybės didėja po 28 ir daugiau kietėjimo parų, kai betono mišinyje cementas yra pakeičiamas lakiisiais pelenais iki 20 %, o toliau didinant pelenų kiekį iki 40 % stiprumo savybės mažėja, tačiau vis dar yra didesnės už

kontrolinių bandinių be priedo. Palyginimui buvo atlikti ir kitų pelenų tipų bandymai, kurių rezultatai analogiškai buvo geriausi esant 20 % įmaišoms. Publikacijoje teigiama, jog dėl pelenų kiekio didinimo gerėjančias betono savybes lemia pelenų pucolaninės savybės.

Moksliniame darbe (Limbachiya *et al.* 2007) apžvelgiamos betono su smėliu, natūraliu stambiuoju užpildu ir perdirbta betono atlieka mišinių savybės dalį cemento keičiant pelenais. Pastebėta, kad bandiniai su pelenų įmaiša turėjo geresnes mechanines savybes už bandinius be pelenų įmaišos, tikrinant juos po 3, 7, 14, 28, 56, 91, 365 dienų, tačiau pabrėžtina, jog bandinių su pelenų įmaiša V/C santykis buvo mažesnis už atitinkamus bandinius be pelenų įmaišos. Kaip ir tikėtasi, buvo pastebėtas tiesinis ryšys tarp stiprio gniuždant ir karbonizacijos koeficiento, taip pat padidėja atsparumas sulfatų poveikiui, ilgėja betono tarnavimo laikas.

Jordanijoje atliktus tyrimus (Shannag 2000), kurių metu buvo gaminamas stiprusis betonas su mikrosilika ir vulkaninės kilmės pucolanu, šių medžiagų kiekį didinant iki 15–20 % nuo cemento masės, buvo pasiekti geriausi gniuždymo stiprio rezultatai, kurių didėjimo tendencija yra gana artima šiame darbe naudojant lakiuosius biokuro pelenus gautų rezultatų pikui ties bandiniais su 20 % lakiųjų biokuro pelenų įmaiša.

Mokslininkai (Barbosa *et al.* 2013), naudodami biokuro deginimo pelenus ir keisdami dalį cemento kiekio lakiisiais pelenais, nustatė, kad optimaliausia keisti 10 % cemento masės pelenais, nes didžiausias gniuždymo stipris buvo pasiektas bandiniuose, kuriuose buvo 2,7 % lakiųjų pelenų nuo mišinio masės ir nuo 0 iki 21,7 % dugno pelenų nuo mišinio masės, lyginant su kontroliniais bandiniais po 28 ir 90 kietėjimo parų.

Atlikus tyrimus (Cheah, Ramli 2011a, b) su skiediniais, kuriuose naudojamas kvarcinis upių smėlis, nustatyta, kad kaip cemento pakaitalą naudojant didelį kalcio kiekį turinčius medienos pelenus padidėja vandens poreikis mišiniui paruošti, norint išlaikyti tokią pačią mišinio konsistenciją. Bandymams naudotas pelenų kiekis siekė iki 16 % cemento masės, naudojant 8 % buvo pasiektos geriausios betono gniuždymo stiprio vertės.

Darbo tikslas – ištirti lakiųjų biokuro deginimo pelenų daromą poveikį sukietėjusio betono savybėms, juos naudojant kaip cemento pakaitalą.

Žaliavos ir tiriamųjų mišinių sudėtis

Tinkamai dozuojant ir maišant stambiusius bei smulkiuosius užpildus, cementą, lakiuosius pelenus, vandenį ir šiems sukietėjus gaunamas produktas yra dirbtinis akmuo – betonas.

Betono bandiniai pagaminti naudojant portlandcementą CEM I 42,5 R, atitinkantį LST EN 197-1:2011,

1 lentelė. Cemento charakteristikos
Table 1. Portland cement characteristics

Charakteristikos	CEM I 42.5 R
Gniuždymo stipris, MPa	
Po 2 dienų	>20
Po 28 dienų	>42,5 < 62,5
Rišimosi pradžia, min	>60
Tūrio pastovumas, mm	<10
Savitasis paviršius, cm ² /g	3700
Tankis, kg/m ³	1200
Savitasis tankis, kg/m ³	3100

3 lentelė. Betono su pelenų priedu 1 m³ sudėtis
Table 3. The composition of concrete using the fly ash admixture

Eil. Nr.	Pelenų kiekis, %	Cementas, kg	Smėlis, kg	Skalda, kg	Pelenai, kg	Vanduo, kg	Plastiklis, kg	V/C	Slankumo klasė
1	0	408,56	740,22	1001,2	0	209	0	0,51	S3
2	5	388,13	740,22	1001,2	20,43	197	0	0,51	S3
3	10	367,7	740,22	1001,2	40,86	187	0,411	0,51	S3
4	15	347,27	740,22	1001,2	61,28	177,1	0,951	0,51	S3
5	20	326,84	740,22	1001,2	81,71	166,7	1,727	0,51	S3
6	25	306,42	740,22	1001,2	102,14	156,2	2,455	0,51	S3

2 lentelė. Smėlio ir žvirgždo fizikinės savybės
Table 2. Physical properties of sand and gravel

Užpildas	Charakteristika	vertė
Smėlis	dalelių tankis, kg/m ³	2488
	piltinis tankis, kg/m ³	1643
Skalda	dalelių tankis, kg/m ³	2739
	piltinis tankis, kg/m ³	1381

stambiusius užpildus – žvirgždą ir smulkiuosius užpildus – smėlį, biokuro deginimo lakiuosius pelenus, priedus ir vandenį.

Cementas – tai hidraulinė rišamoji medžiaga, kietėjanti ir vandenyje, ir ore. Tyrimams naudoto portlandcementinio charakteristikos pateiktos 1 lentelėje (LST EN 197-1:2011).

Smulkusis užpildas – smėlis. Tai biri natūrali arba dirbtinė akmens medžiaga, sudaryta iš 0,14–4 mm dydžio dalelių. Tyrimams naudotas 0/4 frakcijos smėlis, atitinkantis LST EN 12620:2003 standartą.

Stambusis užpildas – žvirgždas. Darbe naudotas 4/16 frakcijos žvirgždas, atitinkantis LST EN 12620:2003 standartą. Žvirgždo ir smėlio fizikinės savybės pateiktos 2 lentelėje.

Tyrimams atlikti ir betono reologinėms savybėms išlaikyti, naudojant lakiuosius biokuro deginimo pelenus, buvo naudojamas superplastiklis (MC-PowerFlow 3100). Šis plastiklis yra aukštos kokybės ir norint gauti pastebimus rezultatus reikalingas labai mažas jo kiekis, kuris matuojamas procento dalimis.

Tyrimams atlikti laboratorijoje mechaniniu būdu buvo pagamintos 6 betono bandinių partijos. Pirmoji bandinių partija buvo suformuota be jokių priedų, naudojant tik cementą, smulkųjį ir stambųjį užpildą bei vandenį. Bandinių partijos nr. 2–6 buvo suformuotos naudojant biokuro deginimo lakiuosius pelenus ir superplastiklį, norint išlaikyti nekintamą slankumo klasę S3. Betono sudėtis 1 m³ betono mišinio pateikta 3 lentelėje.

Tyrimams mechaniniu būdu laboratorijoje buvo suformuotos 6 partijos betono bandinių 10×10×10 cm formose,

išteptose alyva. Bandiniai buvo sutankinti vibracine plokšte ir po 24 valandų išimti iš formų ir laikomi 20 °C vandenyje. Tiriamųjų bandinių tankis buvo nustatytas remiantis LST EN 12390-7:2009.

Bandiniams po 7, 28 ir 90 kietėjimo vandenyje parų buvo nustatytas gniuždymo stipris vadovaujantis LST EN 12390-3:2009 standartu.

Betono vandens įmirkis buvo nustatytas bandiniams, kurie mirko 4 paras (20±5) °C vandenyje ir pasiekė pastovią masę. Pastovioji masė pasiekta, kai dviejų svėrimų kas 24 h rezultatai skyrėsi mažiau nei 0,1 %. Sukietėjusio betono bandinių įmirkis buvo nustatytas pagal formulę:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (1)$$

čia m_0 – visiškai sauso bandinio masė, g; m_1 – normaliosiomis sąlygomis įmirkusio bandinio masė, g.

Betono atsparumo šalčiui kriterijus K_s buvo apskaičiuotas laikant, kad atsparus šalčiui bus tada, kai rezervinių (uždarų) porų tūris bus didesnis už vandens, esančio kapiliarinėse porose, tūrio prieaugį virstant jam ledu.

Atsparumo šalčiui kriterijus apskaičiuojamas pagal formulę:

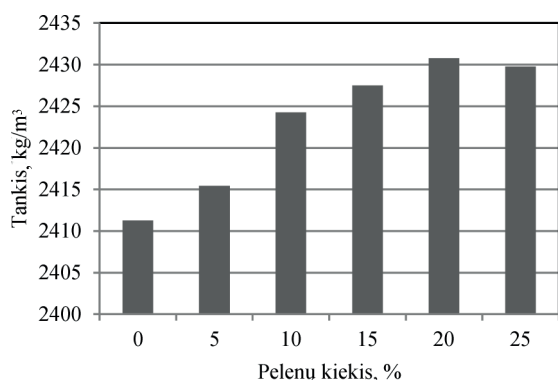
$$K_s = \frac{P_u}{0,09P_a}, \quad (2)$$

čia P_u – uždarasis poringumas; P_a – atvirasis poringumas.

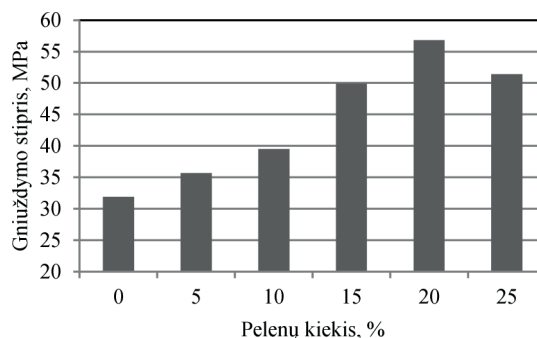
Žinant atsparumo šalčiui kriterijų K_s betono atsparumas šalčiui buvo prognozuojamas pagal betono atsparumo šalčiui priklausomybę nuo atsparumo šalčiui kriterijaus K_s (Skripkiūnas 2007).

Tyrimų rezultatai

Bandinių tankio rezultatai pateikti 1 paveiksle. Iš gautų rezultatų galima matyti, jog naudojant biokuro deginimo pelenus didžiausias tankis (2431 kg/m³) buvo pasiektas bandinių su 20 % lakiųjų pelenų įmaiša, o mažiausias (2411 kg/m³)



1 pav. Betono tankio priklausomybė nuo pelenų kiekio
Fig. 1. Concrete density dependence on fly ash content



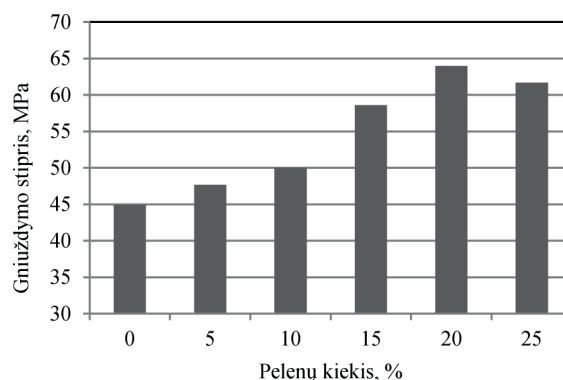
2 pav. Betono gniuždymo stiprio po 7 kietėjimo parų priklausomybė nuo pelenų kiekio

Fig. 2. Concrete compressive strength dependence on the fly ash content after 7 days of curing

buvo kontrolinių bandinių be pelenų įmaišos. Bandinių tankis tendencingai kito nuo 2411 kg/m³ iki 2431 kg/m³ didinant pelenų kiekį, tačiau toliau didinant tiriamosios įmaišos kiekį bandiniuose buvo pastebėta, jog tankis pradeda mažėti, į mišinį pridėjus 25 % lakiųjų biokuro pelenų.

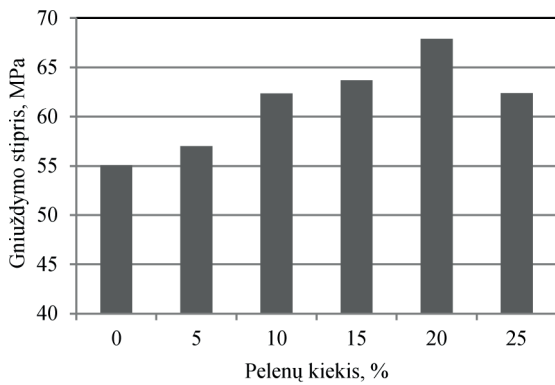
Bandinių gniuždymo stiprio po 7 kietėjimo parų vandenyje priklausomybės nuo biokuro deginimo lakiųjų pelenų kiekio grafikas pateiktas 2 paveiksle. Kaip matyti iš pateiktų duomenų, betono gniuždymo stipris priklauso nuo įdėto pelenų kiekio betone. Didžiausią gniuždymo stiprį turėjo bandiniai su 20 % pelenų įmaiša, šių bandinių vidutinis gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų siekė 56,79 MPa. Mažiausią gniuždymo stiprį turėjo kontroliniai bandiniai be pelenų įmaišos, jis siekė 32,9 MPa. Didinant pelenų kiekį daugiau nei 20 % nuo pradinės cemento masės sukietėjusio betono stiprumo savybės pradeda mažėti.

Atlikus gniuždymo stiprio po 28 kietėjimo parų tyrimus buvo gauti rezultatai, kurie yra pateikti 3 paveiksle. Galima matyti, kad didžiausią gniuždymo stiprį turėjo bandiniai su 20 % pelenų įmaiša ir siekė 64 MPa. Mažiausiu gniuždymo stipriu (44,97 MPa) pasižymėjo kontroliniai



3 pav. Betono gniuždymo stiprio po 28 kietėjimo parų priklausomybė nuo pelenų kiekio

Fig. 3. Concrete compressive strength dependence on the fly ash content after 28 days of curing



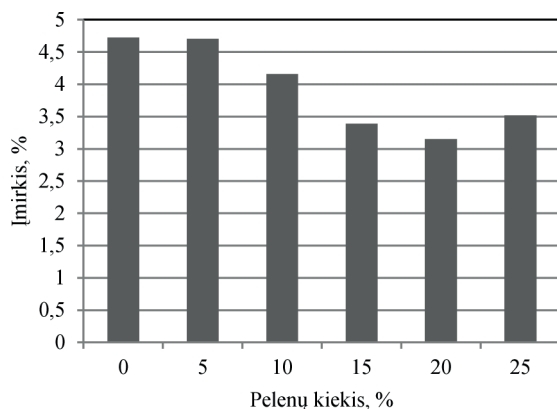
4 pav. Betono gniuždymo stiprio po 90 kietėjimo parų priklausomybė nuo pelenų kiekio

Fig. 4. Concrete compressive strength dependence on the fly ash content after 90 days of curing

bandiniai be pelenų įmaišos. Lyginant bandinių su skirtinga biokuro deginimo pelenų kiekio įmaiša rezultatus pastebėta, kad bandiniai su 20 % pelenų įmaiša per pirmąsias 7 kietėjimo paras pasiekė 88,7 %, o kontroliniai bandiniai be pelenų įmaišos 70,9 % gniuždymo stiprio po 28 parų. Taigi galima daryti išvadą, jog lakiųjų pelenų kiekis daro poveikį ankstyvajam betono stiprumui.

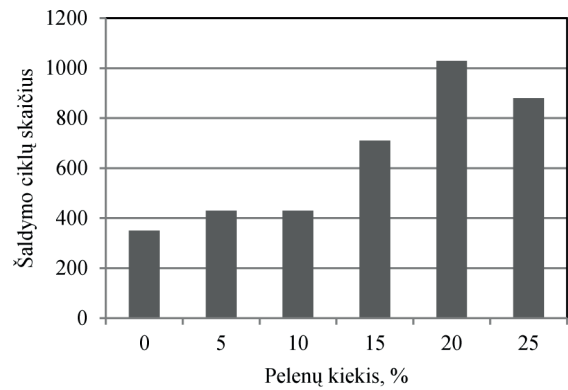
Betono bandinių gniuždymo stiprio po 90 kietėjimo parų rezultatai pateikti 4 paveiksle. Kaip matyti iš pateiktų duomenų, betono stiprumo savybės tiesiogiai priklauso nuo biokuro pelenų kiekio. Didžiausią stiprį turėjo bandiniai su 20 % pelenų, šių bandinių vidutinis gniuždymo stipris po 90 parų kietėjimo siekė 67 MPa. Mažiausią gniuždymo stiprį turėjo kontroliniai bandiniai be pelenų, jis siekė 55 MPa. Didinant pelenų kiekį iki 25 % nuo cemento masės stiprumo savybės sumažėjo iki 63 MPa.

5 paveiksle pateikti betono bandinių įmirkio rezultatai, iš kurių galima matyti, kad įmirkis tendencingai mažėja didinant pelenų kiekį iki 20 % nuo cemento masės, o toliau



5 pav. Betono įmirkio priklausomybė nuo pelenų kiekio

Fig. 5. Concrete water absorption dependence on the fly ash content



6 pav. Betono prognozuojamųjų šaldymo ciklų skaičiaus ir pelenų kiekio priklausomybė

Fig. 6. Concrete forecasted freeze-thaw cycles dependence on the fly ash content

didinant pelenų kiekį įmirkis pradeda didėti. Didžiausiu įmirkiu 4,72 % pasižymėjo kontroliniai bandiniai be pelenų įmaišos, o mažiausiu – bandiniai su 20 % pelenų įmaiša 3,15 %. Kaip matyti iš grafikų, įmirkio rezultatai tiesiogiai susiję su bandinių tankio ir gniuždymo stipriui rezultatais. Didėjant betono bandinių tankiui ir gniuždymo stipriui mažėja jų įmirkis. Tai lemia atviro poringumo mažėjimas.

Atlikus sukietėjusio betono vandens įmirkio tyrimus, skaičiavimais buvo nustatytas atsparumo šalčiui kriterijus K_s . Prognozuojamas atsparumas šalčiui pagal užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičių bandiniuose priklausomai nuo biokuro deginimo lakiųjų pelenų kiekio juose svyravo tarp 350 ir 1030 ciklų, šie rezultatai pateikti 6 paveiksle. Priklausomai nuo pelenų kiekio betono mišinyje mažiausias jo atsparumas šaldymo ciklams, remiantis skaičiavimais, buvo pasiektas kontroliniuose bandiniuose be pelenų įmaišos ir siekė 350 ciklų. Didžiausias atsparumo šaldymo ciklams skaičius siekė iki 1030 ciklų bandiniuose su 20 % biokuro deginimo pelenų. Didinant pelenų kiekį iki 25 % atsparumo šalčiui ciklų skaičius pradeda mažėti.

Išvados

Nustatyta, kad bandinių tankis didėjo, didinant pelenų kiekį mišinyje iki 20 %, ir siekė 2430 kg/m³, o kontrolinio bandinio be pelenų įmaišos tankis siekė 2411 kg/m³.

Atlikus bandymus buvo nustatyta, kad didžiausios betono bandinių gniuždymo stiprio vertės po 7 ir 28 kietėjimo parų buvo pasiektos bandinių su 20 % pelenų įmaiša, jos siekė 56,79 ir 64 MPa; o šios vertės atitinkamai siekė 178 % ir 143 % kontrolinių bandinių gniuždymo stiprio.

Nustatyta, kad mažiausią vandens įmirkį (3,15 %) turėjo bandiniai su 20 % pelenų įmaiša, o didžiausią – bandiniai be pelenų įmaišos ir siekė 4,72 % bandinio masės.

Remiantis atliktų tyrimų rezultatais, galima teigti, kad lakiisiais biokuro deginimo pelenais galima pakeisti iki 20 % cemento masės.

Literatūra

- Barbosa, R.; Lapa, N.; Dias, D.; Mendes, B. 2013. Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances, *Construction and Building Materials* 48: 457–463. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.031>
- Cheah, C. B.; Ramli, M. 2011a. The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: an overview, *Resources, Conservation and Recycling* 48: 669–685. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.002>
- Cheah, C. B.; Ramli, M. 2011b. Properties of high calcium wood ash and densified silica fume blended cement, *International Journal of the Physical Sciences* 6(28): 6596–6606.
- Limbachiya, M.; Meddah, M. S.; Ouchagour, Y. 2007. Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete, *Construction and Building Materials* 21: 1589–1598.
- LST EN 12390-3:2009. *Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris*. Vilnius, 2009. 16 p.
- LST EN 12390-7:2009. *Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis*. Vilnius, 2009. 10 p.
- LST EN 12620:2003+A1:2008. *Betono užpildai*. Vilnius, 2008.
- LST EN 197-1:2011. *Cementas. 1 dalis. Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai*. Vilnius. 26 p.
- Shannag, M. J. 2000. High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume, *Cement and concrete composites* 22: 399–406. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00037-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00037-8)
- Skripkiūnas, G. 2007. *Stybinė konglomeratų struktūra ir savybės*. Kaunas: Vitae Litera. 336 p.
- Uygunog˘lu, T.; Topcu, I. B.; Gencel, O.; Brostow, W. 2012. The effect of fly ash content and types of aggregates on the properties of pre-fabricated concrete interlocking blocks (PCIBs), *Construction and Building Materials* 30: 180–187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.020>
- Žurauskienė, R.; Naujokaitis, A. P.; Mačiulaitis, R.; Žurauskas, R. 2012. *Stybinės medžiagos*. Vilnius: Technika. 540 p.

BIOFUEL COMBUSTION FLY ASH INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF CONCRETE

A. Daugėla, D. Nagrockienė, L. Zarauskas

Abstract

Cement as the binding agent in the production of concrete can be replaced with active mineral admixtures. Biofuel combustion fly ash is one of such admixtures. Materials used for the study: Portland cement CEM I 42.5 R, sand of 0/4 fraction, gravel of 4/16 fraction, biofuel fly ash, superplasticizer, water. Six compositions of concrete were designed by replacing 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% of cement with biofuel fly ash. The article analyses the effect of biofuel fly ash content on the properties of concrete. The tests revealed that the increase of biofuel fly ash content up to 20% increases concrete density and compressive strength after 7 and 28 days of curing and decreases water absorption, with corrected water content by using plasticizing admixture. It was found that concrete where 20% of cement is replaced by biofuel ash has higher frost resistance.

Keywords: concrete, biofuel fly ash, compressive strength, density, frost resistance.