



## BIOKURO DEGINIMO PELENŲ PANAUDOJIMO GALIMYBĖS BETONE

Aurelijus Daugėla

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
El. paštas: aurelijus.daugela@gmail.com*

**Santrauka.** Betonai, tai plačiausiai naudojama statybinė medžiaga. Nuo cemento, užpildų, vandens ir įvairių priedų dozavimo tikslumo ir žaliavų kiekio priklauso betono mišinio bei gaminio kokybė, savybės. Užpildų granulimetrinė sudėtis, dalelių dydis, turi didelę įtaką betono struktūrai, kuri apsprendžia fizikines ir mechanines savybes, taip pat ir reologinėms savybėms, betono mišinio elgsenai. Straipsnyje nagrinėjamas biokuro deginimo pelenų kiekio poveikis sukietėjusio betono savybėms. Nustatyta, kad betonui gaminti naudojant biokuro deginimo pelenus ir didinant jų kiekį, sukietėjusio betono tankis mažėja. Esant 0 % biokuro deginimo pelenų kiekiui, tankis siekia 2380 kg/m<sup>3</sup>, o pridėjus 40 % biokuro deginimo pelenų sukietėjusio betono tankis sumažėja 1,3 % - iki 2348 kg/m<sup>3</sup>. Atlikus tyrimus nustatyta, kad gaminant betoną galima pakeisti cemento iki 10 % biokuro deginimo pelenais, nes gniuždymo stipris labai mažai sumažėja po 28 kietėjimo parų.

**Reikšminiai žodžiai:** betonai, betono savybės, gniuždymo stipris, biokuro deginimo pelenai

### Įvadas

Betonai, tai plačiausiai naudojama statybinė medžiaga. Šiuo metu statybose naudojama įvairių tipų betonai. Betono platų naudojimą nulemia palyginti nedidelė kaina dėl vietinių užpildų. Jų tūris siekia iki 80 % betono tūrio (Gailius, Vislavičius, Žukauskas 1999). Taip pat galimybė gaminiams, konstrukcijoms suteikti įvairias formas, savybių įvairovė, mechanizuota, automatizuota gamybos, suklojimo, tankinimo technologija.

Betonai - dirbtinis akmuo, gaunamas kietėjant rišamųjų medžiagų (cemento), užpildo (smėlio, žvyro, skaldos, keramzito ir kt.), vandens bei įvairių priedų mišiniui.

Pagal užpildų rūšį betonai būna su tankiaisiais užpildais (natūraliu smėliu, žvirgždu, skalda), kurių išdžiovintų dalelių natūralusis tankis  $\rho > 2000 \dots < 3000 \text{ kg/m}^3$ ; su akytais užpildais (keramzitu, polistireniniu putplasčiu, pjuvenomis ir kt.) kurių išdžiovintų dalelių natūralusis tankis  $\rho \leq 2000 \text{ kg/m}^3$  arba sausų grūdelių piltinis tankis  $\rho \leq 1200 \text{ kg/m}^3$ ; su specialiaisiais užpildais (šamotu, rūdų turinčios uolienomis, ketaus skrapu).

Didžioji dauguma Lietuvoje gaminamų betonų yra stambiagrūdžiai. Gaminant tokius betonus 50 ... 60 % užpildų yra stambūs. Tai žvirgždas, žvirgždo, granito bei dolomito skaldos (Malakauskas, Tautkus 1996).

Betono struktūra – tai jį sudarančių komponentų dalelių forma, dydis, išsidėstymas ir ryšiai tarp jų (Deltuva 2001).

Normalusis betonai gaminamas iš stambiųjų ir smulkiųjų užpildų, cemento ir vandens. Kiekvienas komponentas mišinyje atlieka savitą funkciją paskirtį. Stambieji užpildai sudaro betono skeletą, smulkieji užpildo tuštumas tarp stambiųjų užpildų dalelių, cementas su vandeniu sudaro hidratacijos produktus, kurie suriša visus užpildus į vieną sistemą – konglomeratą (Deltuva 1995).

Tyrėjai iš Malaizijos (Ban, Ramli 2011) nustatė keletą svarbių veiksnių, kurie turi didelį poveikį kokybiniam ir kiekybiniam medienos atliekų pelenų panaudojimui. Norint sužinoti pelenų panaudojimo galimybes būtina iširti, pavyzdžiui pelenų cheminę sudėtį, granulimetrinę sudėtį, drėgnumą ir daugelį kitų parametrų. Visi šie veiksniai yra priklausomi nuo medienos deginimo temperatūros, krosnies tipo, medienos tipo, nuo kurių ir priklauso pelenų tinkamumas antriam panaudojimui. Buvo nustatyta, jog pelenų dalelių paviršiaus plotas yra didesnis už cemento dalelių paviršiaus plotą, dėl pelenų dalelių akytumo. Elektroniniu mikroskopu buvo atlikta pelenų analizė. Gauti duomenys iš kurių matyti, kad vyraujantys komponentai yra silicio dioksidas, kalcio, magnio ir aliuminio junginiai. Atlikus tyrimus tyrėjai nustatė, kad pelenų kiekis ir kokybė priklauso nuo keleto veiksnių: degimo temperatūros, medžio (žaliavos) rūšies ir deginimo technologijos. Pelenų dalelės paprastai yra stambesnės lyginant su paprastu portlandcemenčiu. Tačiau savitasis paviršius yra didesnis dėl jų akytos formos, pakeitus dalį portlandcemenčio pelenais betonai turi ilgesnį pirminį ir galutinį kietėjimo laiką ir mažesnį šilu-

minių plėtimąsi. Mišiniams su pelenais reikalingas didesnis vandens kiekis jam paruošti, norint gauti panašių parametrų mišinį. Pelenų panaudojimas vietoje protlandcemenčio sumažina betono mechaninį stiprumą (spaudimą, lenkimą ir tempimą). Tačiau portlandcemenčio pakeitimas pelenais iki 10 % bendro poveikio betonui nesudaro ir gali būti naudojamas, su nedideliais jo savybių nuokrypiais. Betonas su pelenais kaip daliniu portlandcemenčio pakaitalu turi atsparumą korozijai nuo monorūgštinių tirpalų lyginant su paprastu portlandcemenčiu. Portlandcemenčio pakeitimas pelenais iki 25 % neturi neigiamo poveikio betono atsparumui chloridams. Be to naudojant 20 % pelenų ir 80 % anglies pelenų žymiai padidėja betono atsparumas chloridams. Pakeitus dalį portlandcemenčio pelenais sumažėja betono susitraukimas jam kietėjant.

Tyrėjai iš Jungtinių Amerikos Valstijų (Wang, Baxter 2007) tyrime nustatė, jog biomasės pelenai turi geresnes savybes negu anglies pelenai, jais pakeičiant cementą. Nagrinėti du pagrindiniai betono rodikliai, tai stiprumas ir ilgaamžiškumas. 25 % cemento pakeitus biomasės pelenais betonas turi panašų gniuždymo stiprumą jam kietėjus 7-365 paras kaip ir paprastas betonas kietėjas nuo 1 iki 12 mėnesių. Į anglies pelenus įmaišius kalcio hidroksido jie beveik nesiskiria nuo biomasės pelenų, todėl juos galima naudoti kartu.

Lietuvoje paskutiniaisiais metais pradedami eksploatuoti ir planuojama pastatyti naujų energetinių agregatų, kurie naudos biokurą. Deginant biokurą susidaro dideli kiekiai pelenų, kurie šiai dienai kaupiami savartyuose.

Todėl Lietuvai aktuali problema – biokuro deginimo pelenų panaudojimas. Lietuvoje šiuo metu biokuro deginimo pelenai nėra naudojami statybinių medžiagų gamyboje. Kaip rodo akmens anglies pelenų tyrimai, pelenų, kaip rišamosios medžiagos, naudojimas cementiniame betone gali pagerinti kai kurias jo savybes. Be to, sumažėja konstrukcijų gamybos kaštai. Pelenų, kaip antrinės žaliavos naudojimas, mažina portlandcemenčio kiekį betone bei cemento gamybos metu išsiskyrusio CO<sub>2</sub> emisiją. Šiuo metu CO<sub>2</sub> emisijos mažinimas cemento gamyboje yra viena iš prioritetinių krypčių Europos Sąjungoje ir visame pasaulyje.

Darbo tikslas – ištirti Lietuvoje susidarančių biokuro deginimo pelenų kiekio įtaką betono savybėms ir gali-mybes panaudoti betono gamyboje.

### Žaliavos ir tiriamųjų mišinių sudėtis

Betono bandinių gamybai buvo naudojamas klintinis cementas, stambieji ir smulkieji užpildai, priedai, bio-

kuro deginimo pelenai, vanduo. Cementas - tai pagrindinė vandenyje ir ore kietėjanti rišamoji medžiaga. Klintinis portlandcementas – gaminamas keturių atmainų. Jis gaunamas maišant maltas klintis su klinkeriu. Šios rūšies cemento negali būti molio bei organinių priemaišų. Šiame cemente klinkeris sudaro 80 – 94 %, o LL – klintis (CaCO<sub>3</sub>), kurioje organinės kilmės anglies yra ≤ 0,2 %, sudaro 6 – 20 %. Cementas atitinka esminius Europos standarto LST EN 197-1 reikalavimus. Cemento charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Cemento charakteristikos

**Table 1.** Portland cement characteristics

Žymėjimas	Charakteristika	Bandymų rezultatai
CEM II/A-LL 42,5 R	Piltinis tankis, kg/m <sup>3</sup>	1100
	Savitasis tankis,	3100
	Savitasis paviršius, g/cm <sup>2</sup>	4100

Smulkus užpildas – smėlis - tai biri natūrali arba dirbtinė akmens medžiaga, sudaryta iš 0,14–4 mm dydžio dalelių. Į betoną dažniausiai dedamas suklasifikuotas ir išplautas gamtinis smėlis. Darbe naudojamas 0–4 mm frakcijos smėlis atitinkantis LST EN 12620:2003 grupės standartą.

Stambus užpildas – žvirgždas. Darbe naudojamas 4/16 frakcijos žvirgždas atitinkantis LST EN 12620:2003 grupės standartą. Užpildų savybės pateiktos 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Žvirgždo ir smėlio savybės

**Table 2.** Properties of gravel and sand

Užpildai	Charakteristika	Bandymų rezultatai
Stambusis užpildas - Žvirgždas	Dalelių tankis, kg/m <sup>3</sup>	2650
	Vandens įgeriamumas, %	1,30
	Piltinis tankis, kg/m <sup>3</sup>	1546
Smulkusis užpildas – Smėlis	Dalelių tankis, kg/m <sup>3</sup>	2300

Tyrimams atlikti naudojami priedai - superplastiklis Sika ViscoCrete D187 (V) ir orą įtraukiantis priedas Sika Addiment FS1 (A).

Vanduo betono mišiniui ruošti ir betonui laistyti turi būti švarus, be žalingų, normalų betono kietėjimą stabdančių priemaišų - geriamasis vanduo, atitinkantis LST EN 1008:2003 grupės standartą.

J. Deltuva (1998) ir R. Naujokaitis (2007) pabrėžia, kad vanduo betono mišiniuose būna trijų pavidalų: įgertas, fiziškai ar chemiškai surištas, laisvas. Tačiau yra daug ginčų, koks vandens kiekis susilaiko užpildų grūdelių viduje, o kiek įsigeria į užpildų grūdelių viduje, o kiek įsigeria į užpildų paviršinį sluoksnį. Pasak autorių (Deltuva 1998), užpildų vandens įgeriamumas ir susilaikymas paviršiuje priklauso nuo užpildų mineralinės sudėties, tankio, savitojo paviršiaus. Sudėtinga nustatyti vandens poreikį užpildamas, o ypač smulkiesiems, tačiau jo kiekis turi būti toks, kad pakaktų sauso mišinio paviršiui suvilgyti.

Tyrimams atlikti laboratorijoje mechaniniu būdu buvo pagamintos 5 partijos betono bandinių. Partijos skyrėsi biokuro deginimo pelenų kiekiu betone, atitinkamai nuo 0 % iki 40 %. Betono sudėtys reikalingos 1m<sup>3</sup> kiekiui pagaminti pateiktos 3 lentelėje.

### Tyrimų metodika

Betono mišiniai buvo maišomi laboratorijoje mechaniniu būdu. Suformavus 10×10×10 cm bandinius formose, išteptose alyva, jie buvo sutankinti vibroakšteliu. Po 24 valandų bandiniai buvo išimti iš formų ir laikomi 20°C temperatūros vandenyje 28 paras.

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. Ardančiosios gniuždymo jėgos pridėjimo greitis buvo 5 kN/s. Apskaičiuojamas bandinio gniuždomasis stipris MPa, pagal formulę:

$$f_{cm} = \frac{F_b}{A_b}, \quad (1)$$

čia  $F_b$  – ardančioji gniuždymo jėga, kN;  $A_b$  – bandinio skerspjūvio plotas, m<sup>2</sup>.

Bandinių tankis nustatytas vadovaujantis LST EN 12390-7:2009 nurodymais. Bandinių tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

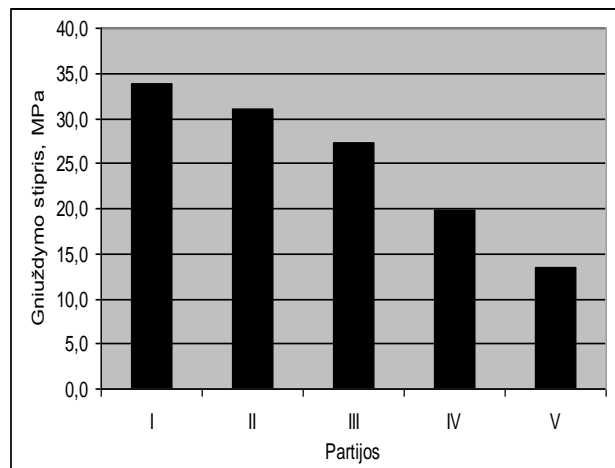
$$\rho = \frac{m_0}{V}, \quad (2)$$

čia  $m_0$  – išdžiovinto iki pastovios masės bandinio masė, kg;  $V$  – bandinio tūris, m<sup>3</sup>

### Tyrimų rezultatai ir analizė

Betono bandinių gniuždymo stiprio po 7 kietėjimo parų priklausomybė nuo biokuro deginimo pelenų kiekio pateikta pirmame paveiksle.

**3 lentelė.** Betono su biokuro deginimo pelenais 1 m<sup>3</sup> sudėtys



**1 pav.** Gniuždymo stiprio ir biokuro deginimo pelenų kiekio betone priklausomybė po 7 kietėjimo parų

**Fig. 1.** The dependence of compressive strength on the quantity of the biomass fly ash admixture in concrete following 7 days of hardening

Atlikus tyrimus nustatyta (1 pav.), kad didžiausios stipruminės savybės pasiekiamos, kai betono sudėtyje nėra biokuro deginimo pelenų, o pakeitus dalį cemento biokuro deginimo pelenais gniuždymo stipris mažėja.

Betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų mažiausias buvo, kai į betoną buvo įdėta 40 % biokuro deginimo pelenų (13,40 MPa).

Didžiausias gniuždymo stipris (33,90 MPa) buvo betono, į kuriame nebuvo biokuro deginimo pelenų.

Nustatyta, kad didėjant biokuro deginimo pelenų kiekiui iki 40 % betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų mažėja, esant maksimaliam 40 % biokuro deginimo atliekų kiekiui, betono gniuždymo stipris sumažėja iki 13,40 MPa.

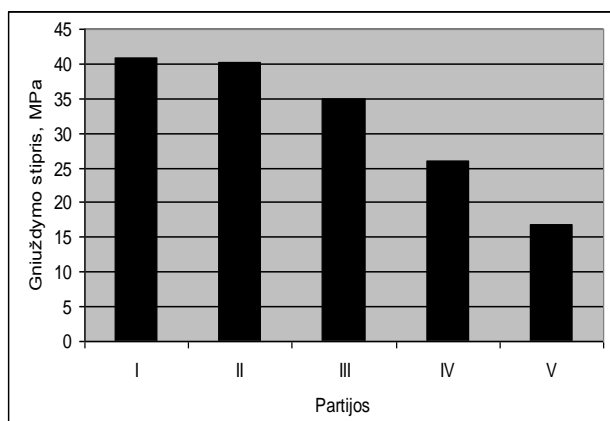
Betono bandinių gniuždymo stiprio po 28 parų kietėjimo priklausomybė nuo biokuro deginimo pelenų kiekio pateikta 2 paveiksle.

Atlikus tyrimus nustatyta (2 pav.), kad didžiausios stipruminės savybės po 28 kietėjimo parų pasiekiamos, kai betono sudėtyje nėra biokuro deginimo pelenų, o pakeitus dalį cemento biokuro deginimo pelenais gniuždymo stipris mažėja.

Betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų mažiausias buvo, kai į betoną buvo įdėta 40 % biokuro deginimo pelenų (16,90 MPa).

**Table 3.** The compositions of concrete using the biomass fly ash admixture

Partija	Atliekos kiekis, %	CEM, kg	Smėlis, kg	Žvirgždas, kg	Priedas, V, kg/l	Priedas, A, kg/l	Vanduo, l	Atliekos kiekis, kg	V/C	Slankumo klasė
I	0	315,00	775	1014	1,764	0,315	151	0	0,48	S3
II	10	283,50	775	1014	1,764	0,315	151	31,50	0,48	S3
III	20	252,00	775	1014	1,764	0,315	151	63,00	0,48	S3
IV	30	220,50	775	1014	1,764	0,315	151	94,50	0,48	S3
V	40	189,00	775	1014	1,764	0,315	151	126,00	0,48	S3

**2 pav.** Gniuždymo stiprio ir biokuro deginimo pelenų kiekio betone priklausomybė po 28 kietėjimo parų

**Fig. 2.** The dependence of compressive strength on the quantity of the biomass fly ash admixture in concrete following 28 days of hardening

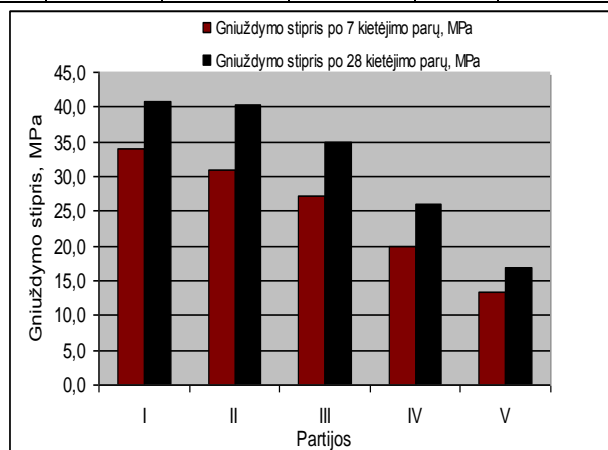
Didžiausias gniuždymo stipris (40,80 MPa) buvo betono, kuriame nebuvo biokuro deginimo pelenų, o bandinių, kuriuose buvo 10 % biokuro deginimo pelenų gniuždomasis stipris buvo 40,20 MPa.

Nustatyta, kad gaminant betoną galima pakeisti cemento iki 10 % biokuro deginimo pelenais, nes gniuždomasis stipris labai mažai sumažėja po 28 kietėjimo parų.

Nustatyta, kad didėjant biokuro deginimo pelenų kiekiui iki 40 % betono gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų mažėja, esant maksimaliam 40 %

biokuro deginimo atliekos kiekiui, betono gniuždymo stipris sumažėja iki 16,90 MPa.

Betono bandinių gniuždymo stiprių po 7 ir 28 kietėjimo parų priklausomybė nuo biokuro deginimo pelenų kiekio pateikta 3 paveiksle.

**3 pav.** Gniuždymo stiprių ir biokuro deginimo pelenų kiekio betone priklausomybė po 7 ir 28 kietėjimo parų

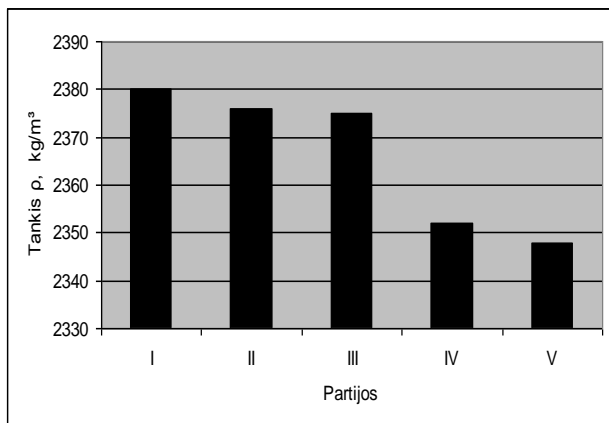
**Fig. 3.** The dependence of compressive strength on the quantity of the biomass fly ash admixture in concrete following 7 and 28 days of hardening

Atlikus tyrimus nustatyta, kad gniuždymo stipriai didžiausi buvo betono bandinių, kurie savo sudėtyje neturi biokuro deginimo pelenų, o mažiausi, kai betone yra 40 % biokuro deginimo pelenų.

Atlikus palyginamuosius tyrimus, lyginant gniuždymo stiprius po 7 ir 28 kietėjimo parų, nustatyta, kad betono bandinių gniuždomas stipris po 28 kietėjimo parų padidėja apie 7 MPa visoms partijoms.

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

Iš 4 paveikslo matyti, kad betonui gaminti naudojant biokuro deginimo pelenus ir didinant jų kiekį, sukietėjusio betono tankis mažėja. Esant 0 % biokuro deginimo pelenų kiekiui, tankis siekia 2380 kg/m<sup>3</sup>, o pridėjus 40 % biokuro deginimo pelenų sukietėjusio betono tankis sumažėja 1,3 % - iki 2348 kg/m<sup>3</sup>.



4 pav. Tankio ir biokuro deginimo pelenų kiekio priklausomybė

**Fig. 4.** The dependence of density on the quantity of the biomass fly ash admixture in concrete

## Išvados

Nustatyta, kad didėjant biokuro deginimo pelenų kiekiui iki 40 % betono gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų mažėja, esant maksimaliam 40 % biokuro deginimo atliekos kiekiui, betono gniuždymo stipris sumažėja iki 13,40 MPa.

Atlikus tyrimus nustatyta, kad didžiausios stipruminės savybės po 28 kietėjimo parų pasiekiamos, kai betono sudėtyje nėra biokuro deginimo pelenų, o pakeitus dalį cemento biokuro deginimo pelenais gniuždymo stipris mažėja.

Nustatyta, kad gaminant betoną galima pakeisti cemento iki 10 % biokuro deginimo pelenais, nes gniuždomasis stipris labai mažai sumažėja po 28 kietėjimo parų.

Betonui gaminti naudojant biokuro deginimo pelenus ir didinant jų kiekį, sukietėjusio betono tankis mažėja. Esant 0 % biokuro deginimo pelenų kiekiui, tankis siekia 2380 kg/m<sup>3</sup>, o pridėjus 40 % biokuro deginimo pelenų sukietėjusio betono tankis sumažėja 1,3 % - iki 2348 kg/m<sup>3</sup>.

## Literatūra

- Deltuva, J. 2001. Betono struktūros geometrinė interpretacija, *Pažangioji statyba: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 58-63.
- Deltuva, J. 1995. The Transformation Principles of Concrete Macrostructure to the Structural Elements, in *4<sup>th</sup> Interna-*

*tional Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques*. Vilnius, Lithuania, 86-91.

- Gailius, A; Vislavičius, K; Žukauskas, D. 1999. Some Optimization Problems of the Aggregates Composition of Concrete, in *6<sup>th</sup> International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques*. Vilnius, Lithuania, 158-162.
- Malakauskas, M; Tautkus, R. 1996. Betono su dolomitinė skalda tyrimai, *Statyba ir architektūra: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 125-126.
- LST EN 12390-7:2009. Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis. 10 p.
- LST EN 12390-3:2009. Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris. 18 p.
- Cheah, B; Ramli, K. 2011. 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*, Vol. 669-685.
- Wang, S; Baxter, L. 2007. Comprehensive study of biomass fly ash in concrete: Strength, microscopy, kinetics and durability. *Fuel Processing Technology*, 1165-1170.
- Deltuva, J. 1998. *Heterogeninių statybinių mišinių sandasra ir savybės*. Kaunas: Technologija. 263 p.
- Naujokaitis, R. 2007. *Statybinės medžiagos. Betonai*. Vilnius, Technika. 355 p.

## THE POSSIBILITY CONCRETE USE BIOMASS FLY ASH

### A. Daugėla

#### Abstract

Concrete is the most widely used building material. The quality of concrete mixture and the final product quality properties depends on the choice of cement, the quantity of aggregates, water and additives as well as metering accuracy. The granulometric composition of the aggregate and particle size has a great impact on concrete structure, which determines physical and mechanical properties, as well as the rheological behaviour of mixed concrete. The paper examines the effect of the levels of biomass fly ash on hardened concrete properties. The study has revealed that higher quantities of biomass fly ash in concrete production decreases the density of hardened cement paste. Adding 0% of biomass fly ash the density of hardened cement paste is 2380 kg/m<sup>3</sup>, and the addition of 40% biomass fly ash the density of hardened cement paste is reduces by 1.3% up to 2348 kg/m<sup>3</sup>. The research showed that it is possible to change up to 10% of cement with biomass fly ash in the production of concrete because the compressive strength of hardened cement paste decreases only slightly after 28 days of hardening.

**Keywords:** concrete, concrete properties, compressive strength, biomass fly ash