

STIKLO ATLIEKŲ PANAUDOJIMAS BETONO GAMYBOJE

Joana LUKOŠIŪTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: joana.lukosiute@vdu.lt

Santrauka

Šiuo metu visame pasaulyje susidaro dideli stiklo atliekų kiekiai, kurie ne visada efektyviai perdirbami ir prisideda prie aplinkos taršos. Viena iš galimų šios problemos sprendimo krypčių yra stiklo atliekų panaudojimas betono sudėtyje, siekiant mažinti gamtinių išteklių naudojimą ir didinti statybinių medžiagų tvarumą. Darbe nagrinėjamas smulkinto stiklinių indelių stiklo (paprastas stiklas) ir grūdinto stiklo panaudojimo poveikis betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms.

Tyrimo metu laboratorinėmis sąlygomis paruošti stiklo atliekomis modifikuoti betono bandiniai, kuriuose smulkusis užpildas dalinai pakeistas stiklo atliekomis. Atlikti gniuždomojo ir lenkiamojo stiprio bei tankio tyrimai, o gauti rezultatai apdoroti taikant statistinę ir kokybinę analizę. Tyrimo rezultatai parodė, kad dalinis smėlio pakeitimas stiklo atliekomis gali būti taikomas betono gamyboje nepabloginant pagrindinių mechaninių savybių. Nustatyta, kad tinkamai parinktos stiklo atliekų proporcijos sudaro prielaidas mažinti natūralių žaliavų naudojimą ir didinti betono tvarumą.

Reikšminiai žodžiai: stiklo atliekos, betonas, antrinės žaliavos, gniuždomasis stipris, lenkiamasis stipris.

Įvadas

Betonas yra viena plačiausiai naudojamų statybinių medžiagų pasaulyje ir esminis šiuolaikinės infrastruktūros komponentas (Global Cement and Concrete Association, 2019). Hidrotechninėje statyboje betonas plačiai taikomas uostų, krantinių, hidrotechninių statinių ir kitų vandens aplinkoje eksploatuojamų konstrukcijų įrengimui, todėl šių konstrukcijų tvarumas ir ilgaamžiškumas yra ypač svarbus. Tačiau portlandcemenčio gamyba yra susijusi su didelėmis anglies dioksido emisijomis, kurios sudaro apie 7–8 proc. pasaulinių CO₂ išmetimų (Lehne, Preston, 2018). Dėl didėjančio statybų masto ir gamtinių išteklių naudojimo intensyvumo vis didesnis dėmesys skiriamas tvaresnių betono sudėčių kūrimui ir antrinių žaliavų integravimui (Monteiro et al., 2017).

Viena iš potencialių antrinių žaliavų yra stiklo atliekos, kurių kiekiai pasaulyje nuolat auga, o perdirbimas dažnai yra ribotas. Tyrimai rodo, kad stiklo atliekos dėl savo fizinių savybių ir didelio silicio dioksido kiekio gali būti naudojamos kaip dalinis smulkaus užpildo arba cemento pakaitalas betono gamyboje. Nustatyta, kad tinkamai parinkus stiklo kiekį ir dalelių dydį galima pagerinti kai kurias betono savybes, tačiau per didelis stiklo kiekis gali neigiamai paveikti mechaninius rodiklius ar skatinti šarminę–silicio reakciją (Shi et al.; Batayneh et al., 2007).

Nepaisant atliktų tyrimų gausos, literatūroje vis dar trūksta nuoseklių palyginamųjų tyrimų, kuriuose vienodomis sąlygomis būtų vertinamas skirtingų rūšių stiklo atliekų poveikis betono savybėms. Todėl tikslinga eksperimentiškai įvertinti paprasto ir grūdinto stiklo panaudojimo galimybes betono mišiniuose bei plėtoti tolesnius šios srities tyrimus.

Tyrimo tikslas – nustatyti paprasto ir grūdinto stiklo įtaką betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Įvertinti skirtingų rūšių stiklo atliekų ir betono mišinio komponentų tarpusavio sąveiką.
2. Nustatyti stiklo atliekų kiekio įtaką betono gniuždomajam ir lenkiamajam stipriui bei tankiui laboratorinių tyrimų sąlygomis.
3. Išanalizuoti gautų rezultatų tendencijas ir nustatyti racionalias stiklo atliekų panaudojimo ribas.

Tyrimo objektas ir metodai

Tyrimo objektas – betonas, kuriame dalis tradicinio smulkaus užpildo pakeista stiklo atliekomis. Tyrime vertintas paprasto (sodos – kalkių) stiklo ir grūdinto (termiškai apdoroto) stiklo poveikis betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms. Stiklo atliekos naudotos kaip dalinis smėlio pakaitalas.

Tyrimams naudotas portlandcementis EN 197-1 CEM II/A-LL 42,5 R („Schwenk“). Smulkusis užpildas – natūralus smėlis 0/4 mm frakcijos. Maišymui naudotas geriamasis vandentiekio vanduo.

Paprasto stiklo atliekos gautos iš stiklinių indelių, o grūdinto stiklo – iš naudoto automobilio šoninio lango. Stiklas susmulkintas hidrauliniu presu (žr. 1 pav.) iki 0/4 mm frakcijos ir naudotas kaip dalinis smulkaus užpildo pakaitalas.

Bandymams paruošti kontroliniai ir stiklo atliekomis modifikuoti mišiniai. Medžiagos dozavimas pagal masę. Kontrolinio mišinio sudėtis: cementas – 450 g, smėlis – 1350 g, vanduo – 225 g. Modifikuotuose mišiniuose smėlis dalinai pakeistas stiklo atliekomis (10–50 proc. pagal masę).



1 pav. Hidraulinis presas
Fig. 1 Hydraulic press

Sausos mišinio sudedamosios dalys visų pirma sumaišytos laboratoriniu skiedinio maišytuvu (žr. 2 pav.) iki homogeninės būsenos, po to įpilta vandens ir mišinys maišytas 60 s. Paruoštas mišinys supiltas į formas (žr. 3 pav.) ir sutankintas vibraciniu stalu.



2 pav. Skiedinio maišytuvai
Fig. 2 Mortar mixer



3 pav. Mišinys supiltas į formas
Fig. 3 The mixture was poured into the molds

Bandiniai 24 val. laikyti formose ore, vėliau išformuoti ir kietinti vandens vonelėje (20 ± 2) °C temperatūroje pagal LST EN 12390-2. Bendras kietinimo laikas – 28 paros.

Po 28 parų nustatyti šie bandinių rodikliai:

- tankis;
Bandinių tankis apskaičiuotas pagal formulę:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

čia: ρ – bandinio tankis, kg/m³;
 m – bandinio masė, kg;
 V – bandinio tūris, m³.

- gniuždomasis stipris;
Betono gniuždomasis stipris apskaičiuotas pagal formulę (Gurskis, 2007):

$$f_c = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

čia: f_c – gniuždomasis stipris, N/mm²;
 F – bandinio sugniuždymo apkrova, N;
 A – gniuždymo plotas, mm².

- lenkiamasis stipris.
Betono lenkiamasis stipris apskaičiuotas pagal formulę (Gurskis, 2007):

$$f_f = \frac{F \cdot l}{b^3}, \quad (3)$$

čia: f_f – lenkiamasis stipris, N/mm²;

F – bandinį sulaužiusi apkrova, N;

l – atstumas tarp atramų, mm;

b – prizmės kvadratinio skerspjūvio kraštinės matmuo, mm.

Bandymams naudota laboratorinė įranga, laikantis atitinkamų standartų reikalavimų. Gauti rezultatai apdoroti taikant statistinę ir kokybinę analizę.

Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

1 lentelėje pateikti bandinių tankio vidurkiai rodo, kad stiklo priedo naudojimas betono mišinyje neturėjo esminės įtakos sukietėjusių bandinių tankiui. Nustatyta, kad bandinių su paprastu stiklu tankis kito nuo 2140,0 iki 2200,0 kg/m³, o su grūdintu stiklu – nuo 2110,0 iki 2226,7 kg/m³.

1 lentelė. Bandinių tankio vidurkiai ir pokytis

Table 1. Average densities of specimens and density change

Stiklo tipas	Stiklo kiekis, %	Vidutinis tankis, kg/m ³	Tankio pokytis, %
Paprastas stiklas	0	2196,7	0
Paprastas stiklas	10	2186,7	-0,46
Paprastas stiklas	20	2180,0	-0,76
Paprastas stiklas	30	2166,7	-1,37
Paprastas stiklas	40	2200,0	+0,15
Paprastas stiklas	50	2140,0	-2,58
Grūdintas stiklas	10	2226,7	+1,37
Grūdintas stiklas	20	2166,7	-1,37
Grūdintas stiklas	30	2200,0	+0,15
Grūdintas stiklas	40	2143,3	-2,43
Grūdintas stiklas	50	2110,0	-3,95

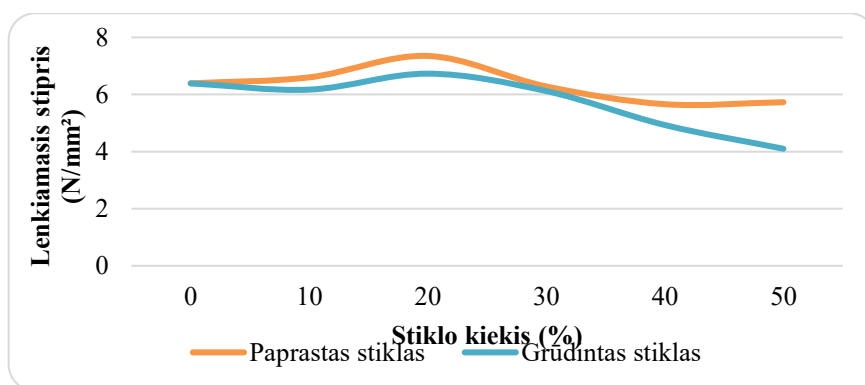
2 lentelėje pateikti bandinių lenkiamojo stiprio vidurkių rezultatai rodo, kad stiklo priedo kiekis turi pastebimą įtaką betono lenkiamajam stipriui. Nustatyta, kad bandinių su paprastu stiklu lenkiamasis stipris kito nuo 5,66 iki 7,35 N/mm², o su grūdintu stiklu – nuo 4,10 iki 6,73 N/mm².

Didžiausios lenkiamojo stiprio reikšmės abiem stiklo tipams gautos esant 20 proc. stiklo kiekiui, atitinkamai 7,35 N/mm² paprasto stiklo bandiniuose ir 6,73 N/mm² grūdinto stiklo bandiniuose. Didinant stiklo kiekį iki 40–50 proc., stebima lenkiamojo stiprio mažėjimo tendencija, ypač ryški grūdinto stiklo mišiniuose.

2 lentelė. Bandinių lenkiamojo stiprio vidurkiai ir pokytis

Table 2. Mean flexural strength of specimens and strength change

Stiklo tipas	Stiklo kiekis, %	Vidutinis lenkiamasis stipris, N/mm ²	Lenkiamojo stiprio pokytis, %
Paprastas stiklas	0	6,39	0
Paprastas stiklas	10	6,6	+3,29
Paprastas stiklas	20	7,35	+15,02
Paprastas stiklas	30	6,28	-1,72
Paprastas stiklas	40	5,66	-11,42
Paprastas stiklas	50	5,73	-10,33
Grūdintas stiklas	0	6,39	0
Grūdintas stiklas	10	6,17	-3,44
Grūdintas stiklas	20	6,73	+5,32
Grūdintas stiklas	30	6,12	-4,23
Grūdintas stiklas	40	4,93	-22,85
Grūdintas stiklas	50	4,1	-35,84

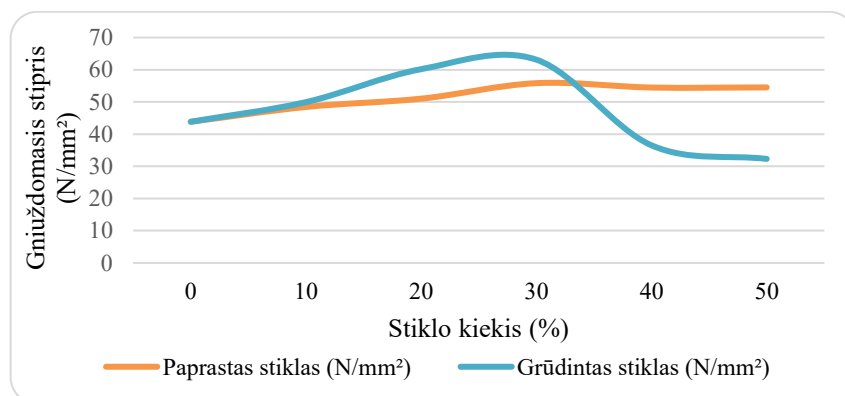


4 pav. Lenkiamojo stiprio grafikas
Fig. 4 Flexural strength graph

3 lentelėje pateikti bandinių gniuždomojo stiprio vidurkių rezultatai rodo, kad stiklo priedo kiekis turi reikšmingą įtaką betono gniuždomajam stipriui. Nustatyta, kad bandinių su paprastu stiklu gniuždomasis stipris kito nuo 43,84 iki 55,83 N/mm², o su grūdintu stiklu – nuo 32,30 iki 63,13 N/mm².

3 lentelė. Bandinių gniuždomojo stiprio vidurkiai ir pokytis
Table 3. Mean compressive strength of specimens and strength change

Stiklo tipas	Stiklo kiekis, %	Vidutinis gniuždomasis stipris, N/mm²	Gniuždomojo stiprio pokytis, %
Paprastas stiklas	0	43,84	0
Paprastas stiklas	10	48,44	+10,49
Paprastas stiklas	20	51,01	+16,35
Paprastas stiklas	30	55,83	+27,35
Paprastas stiklas	40	54,47	+24,25
Paprastas stiklas	50	54,51	+24,34
Grūdintas stiklas	0	43,84	0
Grūdintas stiklas	10	49,94	+13,92
Grūdintas stiklas	20	60,18	+37,27
Grūdintas stiklas	30	63,13	+43,99
Grūdintas stiklas	40	36,51	-16,72
Grūdintas stiklas	50	32,3	-26,32



5 pav. Gniuždomojo stiprio grafikas
Fig. 5 Compressive strength graph

Didėjant paprasto stiklo kiekiui iki 30 proc., gniuždomasis stipris nuosekliai didėjo ir pasiekė didžiausią reikšmę – 55,83 N/mm², o toliau didinant stiklo kiekį reikšmingų pokyčių nepastebėta. Tuo tarpu grūdinto stiklo bandiniuose didžiausias gniuždomasis stipris gautas esant 30 proc. stiklo kiekiui (63,13 N/mm²), tačiau didinant priedą iki 40–50 proc. stebimas ryškus stiprio sumažėjimas.

Išvados

1. Įvertinus skirtingų rūšių stiklo atliekų ir betono mišinio komponentų tarpusavio sąveiką nustatyta, kad smulkintas paprastas ir grūdintas stiklas gali būti naudojamas kaip dalinis smulkaus užpildo pakaitalas betono mišinyje, nes jų naudojimas neturėjo esminės įtakos sukietėjusių bandinių tankiui.

2. Nustatyta, kad stiklo atliekų kiekis turi skirtingą įtaką betono mechaninėms savybėms: didžiausias lenkiamasis stipris gautas esant 20 proc. stiklo kiekiui, o didžiausias gniuždomasis stipris – esant 30 proc. stiklo kiekiui. Toliau didinant stiklo kiekį, abiem atvejais stebima stiprio mažėjimo tendencija.

3. Išanalizavus tyrimų rezultatus nustatyta, kad racionali stiklo atliekų panaudojimo riba betono mišinyje yra iki maždaug 30 proc., nes didinant jų kiekį iki 40–50 proc. pastebima mechaninių savybių mažėjimo tendencija.

Literatūra

1. Batayneh M., Marie I., Asi I. (2007). Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Management*, 27(12), 1870–1876.
2. Global Cement and Concrete Association. (2019). *Concrete future: The GCCA 2050 cement and concrete industry roadmap for net zero concrete*. London.
3. Gurskis V. (2007). *Statybinių medžiagų laboratoriniai darbai: metodiniai patarimai*. Lietuvos žemės ūkio universitetas, Akademija.
4. Lehne J., Preston F. (2018). *Making concrete change: Innovation in low-carbon cement and concrete*. London: Chatham House.
5. LST EN 12390-2. (2019). *Betono bandymai. 2 dalis. Bandinių gamyba ir kietinimas stiprio bandymams*.
6. LST EN 12390-3. (2019). *Betono bandymai. 3 dalis. Gniuždomojo stiprio nustatymas*.
7. LST EN 12390-5. (2019). *Betono bandymai. 5 dalis. Lenkiamojo stiprio nustatymas*.
8. Monteiro P. J. M., Miller S. A., Horvath A. (2017). Towards sustainable concrete. *Nature Materials*, 16, 698–699.
9. Shi C., Zheng K. (2007). A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(2), 234–247.

USE OF GLASS WASTE IN CONCRETE PRODUCTION

Abstract

Large amounts of glass waste are generated worldwide, and not all of it is effectively recycled, which contributes to environmental pollution. One possible solution to this problem is the use of glass waste in concrete production, reducing the consumption of natural resources and promoting more sustainable construction materials. This study investigates the effect of crushed container glass and tempered glass on the physical and mechanical properties of concrete. In laboratory conditions, concrete specimens were prepared in which part of the fine aggregate was replaced with glass waste in different proportions. The density, compressive strength, and flexural strength of the specimens were determined after 28 days of curing. The results showed that the use of glass waste as a partial replacement for sand does not significantly affect the density of concrete specimens. It was also found that moderate amounts of glass waste can improve the mechanical properties of concrete, while higher amounts may reduce strength values. The study indicates that glass waste can be successfully used in concrete mixtures when optimal proportions are applied, contributing to the reduction of natural resource consumption and supporting more sustainable concrete production.

Keywords: glass waste, concrete, secondary raw materials, compressive strength, flexural strength.