

TECHNOGENINIŲ, STATYBINIŲ IR BUITINIŲ ATLIEKŲ NAUDOJIMAS GAMINANT BETONĄ

Marija Vaičienė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas marija.vaiciene@st.vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje apžvelgti tyrimai įvairių šalių mokslininkų, kurie bandė gerinti betono fizikines ir mechanines savybes. Mokslininkai betono mišiniam naudojo susmulkintą padangų gumą, modifikuotas pjuvenas, smulkintas keraminės plytas, plastmasių atliekas ir smulkintą stiklą. Iš atliktų mokslinių tyrimų rezultatų matyti, kad gamindami betoną galime naudoti įvairias atliekas. Jomis galime pakeisti natūralius užpildus, suteikdami betonui ypatingų savybių. Šiuo metu atliekų tvarkymas ir utilizavimas yra itin aktuali ekologinė problema. Todėl intensyviai atliekami tyrimai norint betono mišiniam panaudoti atliekas – tiek technogenines, statybines, tiek buitines.

Reikšminiai žodžiai: betonas, atliekos, užpildai, fizikinės ir mechaninės savybės.

Įvadas

Betonas – tai universali medžiaga, plačiai naudojama statyboje. Iš technologiško betono mišinio galima pagaminti įvairios formos ir matmenų ilgaamžių statybinių konstrukcijų arba betono gaminių. Reguluojant betono mišinio sudėtį, betonui galima suteikti norimų jo savybių. Betonas yra ekonomiška medžiaga, nes didžiumą jo tūrio užimantys užpildai dažniausiai ruošiami iš pigių vietinių žaliavų (Nagrockienė, Žurauskienė 2007).

Betonas – dažniausiai naudojama statybinė medžiaga. Iš mokslinių tyrimų rezultatų matyti, kad gamindami betoną galime naudoti įvairias atliekas. Jomis galime sėkmingai pakeisti natūralius užpildus ir suteikti betonui ypatingų savybių.

Dabar atliekų tvarkymas, utilizavimas yra itin aktuali ekologinė problema. Šiais laikais susidaro daug atliekų, kurios kenkia gamtai. Būtina saugoti gamtą nuo kenksmingo tiesioginio ar netiesioginio ūkinės veiklos poveikio. Intensyviai atliekami tyrimai norint betono mišiniam naudoti atliekas – tiek technogenines, statybines, tiek buitines.

Dirbtiniams užpildams gaminti naudojamos pramonės atliekos. Organinės atliekos – tai dažniausiai medienos pramonės atliekos ir žemės ūkio gamybos atliekos. Statybinėms medžiagoms gaminti naudojamos beveik visos akmens uolienos, daug organinių žaliavų ir pramonės gamybos atliekų (Naujokaitis 2006).

Naujokaitis (2007) minėjo, jog užpildai sumažina brangių rišamųjų medžiagų masę, dėl to gerėja betono techninės savybės, t. y. padidėja stiprumas, tamprumas,

sumažėja deformatyvumas, valkšnumas, suteikiama specifinių savybių.

Straipsnyje aprašyti bandymų rezultatai, kuriais siekta atliekas naudoti gaminant betoną.

Betono mišiniam gaminti naudojama susmulkinta padangų guma (Skripkiūnas *et al.* 2007), modifikuotos pjuvenos (Kantautas, Vaickelionis 2000), smulkintos keraminės plytos (Bektas *et al.* 2009; Cachim 2009; Debieb, Kenai 2008), plastmasės atliekos (Zainab, Ismail *et al.* Al-Hashmi 2008), smulkintas stiklas (Zainab, Ismail *et al.* 2009).

Šio darbo tikslas – apžvelgti tyrimus mokslininkų, kurie savo darbuose tyrė atliekas.

Betono mišinių sudėtis, žaliavos ir tyrimų rezultatų įvertinimas

Tyrėjai iš Lietuvos naudojo smulkintas gumos atliekas portlandcementiniame betone. Naudotos tokios medžiagos:

- gumos atliekos iš izopreninių, butadienstireninių, butadiennitrilinių ir chlorpreninių kaučiukų, turinčių užpildų;
- Naujosios Akmenės gamyklos portlandcementis CEM I 52,5R;
- vidutinio stambumo Zatyšių karjero smėlis (frakcija 0/4 mm);
- dviejų frakcijų (5/8 ir 11/16 mm) granitinė skalda;
- Scanflyt-2 – vėlinančio veikimo superplastiklis – gaminamas iš modifikuoto melaminu sulfato

kondensato. Buvo parinktos ir laboratorijoje sumaišytos trys betono mišinių serijos. Šioje sudėtyje skyrėsi tokie rodikliai:

- vandens ir cemento santykis (v/c 0,7; v/c 0,5 ir v/c 0,3);
- susmulkintų gumos atliekų kiekis – 0,5 %, 15 % ir 30 % įprastinių betono užpildų užimamo tūrio;
- smėlio kiekis – dalis smėlio buvo pakeista smulkintomis gumos atliekomis.

Atlikę bandymus mokslininkai nustatė, kad gaminant betono dirbinius susmulkintomis gumos atliekomis galima pakeisti dalį įprastinio smėlio. Didesnis gumos priedo kiekis (20–30 % smėlio tūrio) betono mišinyje su mažesniu vandens ir cemento santykiu mažina jo slankumą, tačiau ir tokį betono mišinį betono technologijoje galima apdoroti įprastais mišinio klojimo ir tankinimo būdais. Jei betono mišinyje vandens ir cemento santykis v/c didesnis (per 0,5), taip pat jei betono mišinyje su nedideliu vandens cemento kiekiu susmulkintų gumos atliekų priedo nedaug (iki 15 % smėlio tūrio), mišinio reologinės savybės beveik nepakinta.

Mechaninės betono su gumos atliekomis savybės (stiprumas gniuždam ir skeliant), jo tankis priklauso ne tik nuo tokių atliekų kiekio, bet ir nuo vandens bei cemento santykio mišinyje. Todėl, norint modifikuoti betono su gumos atliekomis savybes, reikia keisti ne tik šių atliekų kiekį, bet ir vandens ir cemento santykį. Gumos atliekų kiekio didinimas betone racionalus tada, kai siekiama gauti nedidelio tankio, didesnio deformatyvumo ir atsparumo šalčiui betoną. Susmulkintos gumos atliekos gerokai sumažina betono tamprumo modulį ir gerina tokio betono struktūros (poringumo) rodiklius. Betonas su gumos atliekomis gali būti naudojamas gaminant betoninius kelius, tiltus ir smūgiams bei pleišėjimui atsparius, garsą izoliuojančius elementus (Skripkiūnas *et al.* 2007).

Kiti tyrėjai iš Lietuvos nagrinėjo mineralinių priedų naudojimo galimybę gaminant pjuvenų betoną. Naudotos medžiagos:

- portlandcementis CEM I 42,5R ir CEM I 32,5;
- trepelis, opoka, iškaitintas molis, dolomitas, klintys, skalūno pelenai, smėlis, kalkės ir įvairių medienos atmainų šviežios pjuvenos (23 % – lapuočių ir 77 % – spygliuočių).

Pjuvenų betono mišiniuose hidrauliniai priedai efektyviai sumažina pjuvenose esančių ekstraktų neigiamą įtaką rišamųjų medžiagų hidratacijai, todėl pjuvenų reikia papildomai mineralizuoti.

Malta opoka, trepelis, degtasis molis, klintmilčiai, dolomitas, skalūno pelenai gali būti naudojami kaip efektyvi pjuvenų betono sudedamoji dalis ir mineralizuojantis priedas.

Pjuvenų betono mineralinė sudedamoji dalis (priedai) daro teigiamą įtaką cementui rištis ir kietėti. Naudojant portlandcemenčio ir mineralinio priedo mišinį, galima gaminti natūralaus kietėjimo ir šutintą pjuvenų betoną, kurio tankis 750–1200 kg/m³, stipris gniuždam 3–17 MPa. Pjuvenų betono atsparumas šalčiui ne mažesnis kaip 25–75 ciklai. Pjuvenų betonai pasižymi mažu šilumos laidumu, dėl to šios medžiagos tinka mažagabarietėms konstrukcinėms termoizoliacinėms medžiagoms gaminti (Kantautas, Vaickelionis 2000).

Tyrėjai iš Jungtinių Amerikos Valstijų smulkius betono užpildus pakeitė smulkintomis keraminėmis plytomis. Naudotos medžiagos:

- portlandcementis (CEM I);
- upės smėlis (minimalus dalelių dydis 0,09 mm);
- susmulkintos keraminės plytos (maksimalus dalelių dydis 7 mm).

Jie ištyrė mišinius, kuriuose smėlį pakeitė 10 %, 20 % ir 30 % smulkintomis plytomis. Naudotų plytų vandens įgeriamumas buvo 7 %.

Skiedinio pasklidimo tyrimas parodė, kad palyginus gautus duomenis su kontrolinių bandinių pasklidimas bandiniuose, kuriuose plytų užpildų buvo 10 %, 20 % ir 30 %, atitinkamai sumažėjo 11 %, 23 % ir 32 %.

Po 28 kietėjimo parų gniuždomasis stipris kontrolinių bandinių ir su 10 % ir 20 % susmulkintų plytų buvo panašus 60–61 MPa. Po 56 kietėjimo parų apie 61–62 MPa, o po metų – daugiau nei 70 MPa.

Džiūstamasis susitraukimas kelia nerimą darant betoną su poringaisiais užpildais. Dėl to ištirtas susmulkintų plytų poveikis betonui susitraukti. Buvo paruoštas mišinys, kurio sudėtis: 1350 g susmulkintų plytų užpildų, 500 g cemento ir 250 ml vandens. Skiediniui, kuriame buvo 10 % susmulkintų plytų, nustatytas didesnis susitraukimas nei skiediniui, turinčiam 20 % susmulkintų plytų.

Užšaldymo ir atšildymo ciklų tyrimo rezultatai parodė, kad didžiausią atsparumą šalčiui įgyja bandiniai, kuriuose yra 20 % susmulkintų plytų. Po 180 ciklų bandinių su 20 % smulkintomis plytomis išsiplėtimas yra 0,05 %, o kontrolinių bandinių – 0,53 % (Bektas *et al.* 2009).

Portugalijos tyrėjai, naudodami smulkintas keraminės plytas, ištyrė betono mechanines savybes. Natūralius betono užpildus jie pakeitė smulkintomis keraminėmis

plytomis. Mokslininkai ištyrė šviežio ir sukietėjusio betono savybes. Susmulkintos keraminės plytos buvo paimtos iš dviejų vietovių (žymenys A ir B). Naudotos medžiagos:

- portlandcementis (CEM II 32,5);
- smėlis (maksimalus dalelių dydis 2,5 mm);
- skalda:
 - 1) 5–10 mm (maksimalus dalelių dydis 10 mm);
 - 2) 10–20 mm (maksimalus dalelių dydis 20 mm);
- smulkintos keraminės plytos (A ir B plytų maksimalus dalelių dydis 10 mm).

Visų užpildų minimalus dalelių dydis yra 0,16 mm.

Svarbiausias keraminių užpildų rodiklis yra jų didelis vandens įgeriamumas. Tai ypač svarbu ruošiant betoną. Penki mišiniai buvo paruošti imant skirtingą vandens ir cemento santykį 0,5 ir 0,45. Mokslininkai pakeitė smulkintomis plytomis tik 5–10 mm frakcijos užpildus. Betono sudėtis yra pateikta 1 ir 2 lentelėje.

1 lentelė. Betono mišinių sudėtis, kai v/c santykis 0,45

Table 1. Composition of concrete mixtures when water/concrete ratio is 0,45

Žaliava	Betono mišiniai, medžiagų kiekis, kg/m ³				
	NN	NA	NB	AA	BB
Cementas	400	400	400	400	400
Vanduo	180	180	180	180	180
Smėlis	713	713	713	713	713
NA-1	398	199	199	–	–
NA-2	748	748	748	748	748
A plytos	–	137	–	274	–
B plytos	–	–	147	–	293

2 lentelė. Betono mišinių sudėtys, kai v/c santykis 0,50

Table 2. Composition of concrete mixtures when water/concrete ratio is 0,50

Žaliavos kg/m ³	Betono mišiniai				
	NN	NA	NB	AA	BB
Cementas	400	400	400	400	400
Vanduo	200	200	200	200	200
Smėlis	693	693	693	693	693
NA-1	386	193	193	–	–
NA-2	727	727	727	727	727
A plytos	–	133	–	267	–
B plytos	–	–	142	–	293

Pastaba: pirmoje ir antroje lentelėje: NN-mišinys su natūraliais užpildais, be smulkintų plytų; mišiniai NA ir NB su 50 %

5–10 mm frakcijos užpildais (žymuo NA-1) pakeistais plytomis (žymenys NA ir NB, plytos iš vietovių, kurių žymenys A ir B); mišiniai AA ir BB su 100 % 10–20 mm frakcijos užpildais (žymuo NA-2) pakeistais plytomis (žymenys NA ir NB, plytos iš vietovių, kurių žymenys AA ir BB).

Betono mišinių slankumas, čia v/c yra 0,45 buvo 5 cm, o mišinio, kurio v/c yra 0,5–15 cm. Šviežio betono tyrimo rezultatai parodė ryškų ir akivaizdų tankio mažėjimą, kai naudoti smulkintų plytų užpildai. Betono tankio mažėjimas buvo 5 % ir 6 % mišiniuose, kuriuose v/c yra atitinkamai 0,45 ir 0,50. Kai visi NA-1 užpildai buvo pakeisti smulkintomis plytomis, gniuždomasis stipris mažėjo (Cachim 2009).

Tyrėjai iš Alžyro trupintomis keraminėmis plytomis pakeitė tiek smulkius, tiek ir stambius betono užpildus. Trupintomis keraminėmis plytomis buvo pakeista 25 %, 50 %, 75 % ir 100 % betono užpildų.

Naudotos medžiagos:

- portlandcementis (CEM I 32,5);
- natūralus smėlis (žymuo NS);
- skalda (žymuo NG);
- smulkintų keraminių plytų stambieji ir smulkieji užpildai (žymenys RG ir RS).

Natūralių ir smulkintų keraminių plytų užpildų fizikinės savybės pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė. Natūralių ir smulkintų keraminių plytų užpildų fizikinės savybės

Table 3. Natural and crushed brick aggregates physical properties

Savybės	NG	NS	RG	RS
Savitasis tankis (kg/m ³)	2822	2987	2232	2496
Piltinis tankis (kg/m ³)	1695	1847	1924	1010
Vandens įgeriamumas (%)	1,5	1,0	11,5	14,0
Poringumas (%)	–	–	38,82	59,54

Tyrimo rezultatai parodė, kad įdėjus į betoną stambių smulkintų plytų užpildų gniuždomasis stipris po 28 kietėjimo parų mažėja 10–35 %. Tačiau gniuždomasis stipris mažėja net iki 40 %, kai naudojami stambieji ir smulkieji smulkintų plytų užpildai. Po 28 kietėjimo parų lenkiamasis stipris sumažėjo nuo 15 % iki 40 %, kai naudojami stambieji ir smulkieji smulkintų plytų užpildai (Debieb, Kenai 2008).

4 lentelė. Betono mišinių sudėtys**Table 4.** Composition of concrete mixtures

Betono žymuo	Žaliavos					
	Cementas kg/m ³	Skalda kg/m ³	Smėlis kg/m ³	Plastmasės atliekos kg/m ³	Plastmasės atliekos %	v/c
Pl ₁	380	1020	715	0	0	0,53
Pl ₂	380	1020	643,5	71,5	10	0,53
Pl ₃	380	1020	607,75	107,25	15	0,53
Pl ₄	380	1020	572	143	20	0,53

Tyrėjai iš Irako betonui gaminti siūlė panaudoti plastmasių atliekas. Trupintomis plastmasių atliekomis buvo pakeista 0 %, 10 %, 15 % ir 20 % smulkiųjų užpildų. Naudotos medžiagos:

- portlandcementis (CEM I);
- smėlis (maksimalus dalelių dydis 4,75 mm);
- žvirgždas (maksimalus dalelių dydis 20 mm);
- plastmasės atliekos (surinktos iš konteinerių, jos sudaro – 80 % polietileno ir 20 % polistireno).

Betono sudėtis yra pateikta 4 lentelėje. Smulkintų plastmasinių atliekų tankis – 386,7 kg/m³.

Tyrimai parodė, jog slankumas mažėja, kai didėja plastmasės atliekų kiekis. Sumažėjo 68,3 %, 88,33 % ir 95,33 % mišiniuose Pl₂, Pl₃ ir Pl₄, atitinkamai. Šviežio betono tankis sumažėjo 5 %, 7 % ir 8,7 % betono mišiniuose Pl₂, Pl₃ ir Pl₄, atitinkamai. Betono tankis mažėja, kai didėja plastmasinių atliekų kiekis. Po 28 kietėjimo parų mažiausioji tankio vertė yra 2223,7 kg/m³. Visi gniuždomojo stiprio vertės yra aukštesnės už minimaliąją vertę reikia struktūriniam betonui – 17,24 MPa. Betono bandiniuose, į kuriuos neįdėta plastmasinių atliekų, gniuždomasis stipris 43 MPa (Zainab, Ismail *et al.* 2008).

Tie patys tyrėjai iš Irako ištyrė betoną su smulkintu stiklu. Jais jie iš dalies pakeitė 10, 15 ir 20 % smulkųjų betono užpildą. Naudotos medžiagos:

- portlandcementis (CEM I);
- smėlis (maksimalus dalelių dydis 4,75 mm);
- žvirgždas (maksimalus dalelių dydis 20 mm);
- smulkintas stiklas (buvo panaudotos butelių ir langų stiklo atliekos). Smulkinto stiklo tankis – 1672 kg/m³.

Kontrolinio mišinio sudėtis – smėlio 715 kg/m³, žvirgždo 1020 kg/m³, cemento 380 kg/m³ ir vandens 201 kg/m³. Vandens ir cemento santykis 0,53. Kiti betono mišiniai buvo paruošti su tokiu pačiu cemento ir žvirgždo

kiekiu ir v/c santykiu. Skyrėsi tik smėlio kiekis, kuris iš dalies yra pakeistas 10 %, 15 % ir 20 % smulkintu stiklu.

Slankumo tyrimo vertės pateiktos 5 lentelėje. Didėjant atliekų kiekiui slankumas mažėja.

5 lentelė. Betono mišinio slankumo vertės**Table 5.** Concrete mixtures slumping values

Stiklo atliekos, %	0	10	15	20
Slankumas, cm	7,50	5,75	5,25	5,00

Šviežio betono tankio vertės pateiktos 6 lentelėje. Didėjant stiklo atliekų kiekiui tankis mažėja. Betono tankio vertės pateiktos 7 lentelėje.

6 lentelė. Šviežio betono tankio vertės**Table 6.** Fresh concrete density values

Stiklo atliekos, %	0	10	15	20
Šviežio betono tankis, kg/m ³	2477	2446	2428	2421

7 lentelė. Betono tankio vertės po 28 kietėjimo parų**Table 7.** Concrete density values after 28 days of the hardening

Stiklo atliekos, %	Tankis, kg/m ³
0	2400,0
10	2395,9
15	2386,0
20	2382,9

Lenkiamasis stipris po 28 kietėjimo parų sumažėjo 3,57 %, 6,96 % ir 11,20 % bandiniuose, kuriuose su-smulkinto stiklo 10 %, 15 % ir 20 %, atitinkamai. Atsi-žvelgiant į tyrimų rezultatus, didžiausioji po 28 kietėjimo parų gniuždomojo stiprio vertė buvo 45,9 MPa. Toks betono bandinys buvo pagamintas dedant 20 % smulkių stiklo atliekų (Zainab, Ismail *et al.* 2009).

Išvados

Įvairių šalių mokslininkų tyrimai parodė:

1. Gaminant betoną dirbinius smulkintomis gumos atliekomis galima pakeisti dalį įprastinio smėlio. Jos gerai sukimba su portlandcemenčio rišikliu (cementine tešla), tvirtai laikosi skiedininėje betono dalyje. Mechaninės betono su gumos atliekomis savybės (stiprumas gniuždant ir skeliant), jo tankis priklauso ne tik nuo tokių atliekų kiekio, bet ir nuo mišinio vandens ir cemento santykio.

2. Naudojant portlandcemenčio ir mineralinio priedo mišinį, galima gaminti natūralaus kietėjimo ir šutintą pjuvenų betoną, kurio tankis 750–1200 kg/m³ ir stipris gniuždant 3–17 MPa.

3. Tyrimų rezultatai parodė, kad įdėjus į betoną stambių smulkintų plytų užpildų gniuždomasis stipris po 28 kietėjimo parų mažėja 10–35 %. Tačiau gniuždomasis stipris mažėja net iki 40 %, kai naudojami stambieji ir smulkieji smulkintų plytų užpildai. Po 28 kietėjimo parų lenkiamasis stipris sumažėjo nuo 15 % iki 40 %, kai naudoti stambieji ir smulkieji susmulkintų plytų užpildai.

4. Naudojant daugiau plastmasės ir stiklo atliekų, betono savybės blogėja, mažėja tankis ir gniuždomasis stipris.

Padėka

Dėkoju prof. habil. dr. Romualdai Mačiulaičiui, dr. Jurgitai Malaiškienei ir doc. dr. Ramunei Žurauskienei už paramą rengiant šį straipsnį.

Literatūra

- Bektas, F.; Wang, K.; Ceylan, H. 2009. Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability, *Construction and Building Materials* 23(5): 1909–1914.
- Debieb, F.; Kenai, S. 2008. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete, *Construction and Building Materials* 22(5): 886–893.
- Kantautas, A.; Vaickelionis, G. 2000. Modifikuotas pjuvenų betonas [Modified sawdust concrete], *Statyba* [Civil Engineering] 2(6): 114–120.
- Nagrockienė, D.; Žurauskienė, R. 2007. *Statybinės medžiagos ir jų gaminiai*: mokomoji knyga [Building materials and products]. Vilnius: Technika. 183 p. ISBN 9955-28-094-1.
- Naujokaitis, A. 2006. *Statybinės medžiagos. Užpildai*: mokomoji knyga [Building materials. Aggregates]. Vilnius: Technika. 248 p. ISBN 9955-28-020-4.
- Naujokaitis, A. 2007. *Statybinės medžiagos. Betonai*: mokomoji knyga [Building materials. Concretes]. Vilnius: Technika. 356 p. ISBN 9955-28-209-9.
- Paulo, B.; Cachim. 2009. Mechanical properties of brick aggregate concrete, *Construction and Building Materials* 23(3): 1292–1297.

Skripkiūnas, G.; Grinys, A.; Černius, B. 2007. Deformation properties of concrete with rubber waste additives, *Materials science* [Medžiagotyra] 13(3): 219–223.

Zainab Z. Ismail; Enas A. Al-Hashmi. 2008. Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, *Waste Management* 28(11): 2041–2047.

Zainab Z. Ismail; Enas A. Al-Hashmi. 2009. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete, *Waste Management* 29(2): 655–659.

CONCRETE PRODUCTION USING TECHNOGENICAL, CONSTRUCTIONAL AND DOMESTIC WASTE

M. Vaičienė

Summary

The article describes investigations carried out by the scientists from various countries in order to improve the physical and mechanical properties of concrete. The grained rubber of tyres, modified sawdust, crushed ceramic bricks, plastic waste and remains of glass are utilised to produce concrete mixtures. The results of research conducted by the scientists show that in the process of producing concrete we can use different types of waste to change natural aggregates and to get concrete with specific properties. Currently, waste handling and utilization are burning ecological problems. Therefore, intensive investigations are carried out in order to utilise technogenical, constructional and domestic waste for concrete mixtures.

Keywords: concrete, waste, aggregates, physical-mechanical properties.