



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Plastiko ir stiklo atliekų panaudojimo kuriant statybos produktus tyrimai

Baigiamasis magistro projektas

Audrius Jakas

Projekto autorius

dr. Vitoldas Vaitkevičius

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Plastiko ir stiklo atliekų panaudojimo kuriant statybos produktus tyrimai

Baigiamasis magistro projektas

Statybos inžinerija (6121EX008)

Audrius Jakas

Projekto autorius

dr. Vitoldas Vaitkevičius

Vadovas

dr. Valdas Paukštys

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Audrius Jakas

Plastiko ir stiklo atliekų panaudojimo kuriant statybos produktus tyrimai

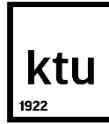
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Audrius Jakas

Patvirtinta elektroniniu būdu



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija

Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.):

Plastiko ir stiklo atliekų panaudojimo kuriant statybos produktus tyrimai

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.:

V25-09-16

(lietuvių k.): **Plastiko ir stiklo atliekų panaudojimo kuriant statybos produktus tyrimai**

(anglų k.): **Research on the Use of Plastic and Glass Waste in the Development of Construction Products**

Pradiniai duomenys darbui:

-

Baigiamojo projekto dalys:

Atlikti

Įvadas

x

Literatūros apžvalga

x

Metodologija

x

 Eksperimentiniai tyrimai

x

 Analitiniai tyrimai

 Skaitiniai tyrimai

 Ekonominė dalis

Išvados

x

Kita informacija (pagal poreikį):

Vadovas:

Dr. Vitoldas Vaitkevičius

(indėlis _100_ %)

pareigos, vardas, pavardė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Konsultantas:

(indėlis _____ %)

pareigos, vardas, pavardė

Studentas:

Audrius Jakas

vardas, pavardė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Jakas, Audrius. Plastiko ir stiklo atliekų panaudojimo kuriant statybos produktus tyrimai. Magistro baigiamasis projektas / dr. Vitoldas Vaitkevičius; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05).

Kaunas, 2023. 53 p.

Santrauka

Magistrinio baigiamojo projekto tikslas ištirti kaip skirtingas plastiko ir stiklo kiekis naudojamas kaip dalinis užpildas vietoje smėlio įtakoja betono mechanines ir fizikines savybes. Sukurti statybos produktą naudojant optimaliausia mišinį ir patikrinti atsparumą šalčiui. Darbas susideda iš teorinės bei eksperimentinės dalies.

Teorinėje dalyje atliekama literatūros analizė. Nagrinėjami panašaus pobūdžio ypač betoninių gaminių naudojant stiklo ir plastiko atliekas mechaninės ir fizikinės savybės. Lyginami tyrimo metodai ir naudojamų atliekų apdirbimo būdai.

Eksperimentinėje dalyje tiriami betoniniai bandiniai su stiklu ir/arba plastiku, nustatomos jų mechaninės bei fizikinės savybės. Pasirinkus racionaliausią mišinį pagaminamas produktas – trinkelė ir kaip alternatyva pagaminamos dar dvi trinkelės naudojant tik stiklą arba plastiką.

Atlikti mišinio bandinių mechaninių parametrų nustatymo bandymai, šalčio atsparumo prognozavimas, masės nuostolių įvertinimas, poringumo matavimas.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, eksperimentinė dalis, tyrimų metodas, išvados.

Jakas Audrius. Research on the Use of Plastic and Glass Waste in the Development of Construction Products. Master's Final Degree Project / supervisor Master's Final Degree Project / supervisor dr. Vitoldas Vaitkevičius; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Civil Engineering (E05).

Kaunas, 2023. 53 p.

Summary

The aim of the master's final project is to investigate how different amounts of plastic and glass used as partial aggregate instead of sand influence the mechanical and physical properties of concrete. Create a construction product using the most optimal mixture and check the frost resistance. The work consists of a theoretical and an experimental part.

In the theoretical part, literature analysis is performed. The mechanical and physical properties of concrete products of a similar nature using glass and plastic waste are examined. Research methods and used waste processing methods are compared.

In the experimental part, concrete specimens with glass and/or plastic are examined, their mechanical and physical properties are determined. After choosing the optimal mixture, a product is produced - a pad, and as an alternative, two more pads are produced using only glass or plastic.

Tests for determining the mechanical parameters of the mixture samples, prediction of frost resistance, evaluation of mass loss, and measurement of porosity were carried out.

The work consists of 5 parts: introduction, literature review, experimental part, research method, conclusions.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Plastiko kaip dalinio užpildo panaudojimas betone	14
1.1.1. Betono su daliniu plastiko užpildu atsparumas gniuždymui	14
1.1.2. Betono su daliniu plastiko užpildu atsparumas tempimui.....	16
1.1.3. Betono su daliniu plastiko užpildu atsparumas lenkimui	17
1.1.4. Betono su daliniu plastiko užpildu ilgaamžiškumas	17
1.1.5. Lydyto plastiko panaudojimas.....	19
1.2. Stiklo kaip dalinio užpildo panaudojimas betone.....	21
1.2.1. Betono su daliniu stiklo užpildu atsparumas gniuždymui.....	22
1.2.2. Betono naudojant stiklą kaip dalinį pakaitalą cementui atsparumas gniuždymui.....	24
1.2.3. Betono su daliniu stiklo užpildu atsparumas tempimui.....	24
1.2.4. Betono su daliniu stiklo užpildu atsparumas lenkimui.....	25
1.2.5. Betono su daliniu stiklo užpildu ilgaamžiškumas	25
2. Eksperimentinė dalis	27
2.1. Tyrimo objektas, tikslas ir uždaviniai	27
2.2. Tyrimam naudotos medžiagos ir jų savybės	27
2.3. Tyrimo bandiniai	28
3. Tyrimo metodas	29
3.1. Fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo bandymai.....	32
3.1.1. Betoninių gaminių gniuždymo stiprio ir tankio nustatymo rezultatai	32
3.1.2. Betoninio bandinio St29 pakartotiniai gniuždymo stiprio ir tankio nustatymo rezultatai.....	38
3.1.3. Trinkelių naudojant plastika ir malta stiklą atsparumo gniuždymui ir tankio nustatymo rezultatai	40
3.2. Betono atsparumo šalčiui prognozavimas	43
3.3. Betono atsparumo šalčiui nustatymas	45
Išvados	50
Literatūros sąrašas	51

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Plastiko atliekų 1960-2018m. metiniai duomenys, tonomis [1].	13
2 lentelė. Stiklo atliekų 1960-2018m. metiniai duomenys, tonomis [1].	13
3 lentelė. Betonų bandinių sudėtis.	28
4 lentelė. Trinkelinių bandinių sudėtis.	28
5 lentelė. Betonų bandinių variantai.	30
6 lentelė. Suformuoti bandinių variantai.	31
7 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, plastiko po 28 p. kietėjimo vandenyje.	32
8 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, malto stiklo po 28 p. kietėjimo vandenyje.	34
9 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, malto stiklo ir plastiko po 28 p. kietėjimo vandenyje.	35
10 lentelė. Pakartotinio gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, malto stiklo po 28 p. kietėjimo vandenyje.	38
11 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, plastiko.	40
12 lentelė. Gniuždomo stiprio bandymo rezultatai, smulkios stiklo duženos.	41
13 lentelė. Betoninių bandinių vandens įgėris.	44
14 lentelė. Betoninių bandinių poringumo parametrai.	44
13 lentelė. Šildymo/šaldymo betoniniai bandiniai.	45
16 lentelė. Masės nuostolių rezultatai.	49

Paveikslų sąrašas

1 pav. 28 dienų betono stiprio gniuždant pokytis gautas iš skirtingu tyrimų [4].	15
2 pav. Plytų su PET gamybos schema [3].	15
3 pav. 28 dienų betono stiprio tempimo pokytis gautas iš skirtingu tyrimų [4].	16
4 pav. 28 dienų betono stiprio lenkimo pokytis gautas iš skirtingų tyrimų [5].	17
5 pav. Užšalimo-atšildymo ciklų įtaka gniuždymo stipriui [26].	18
6 pav. Užšalimo-atšildymo ciklų poveikis lenkimo stiprumui [26].	18
7 pav. Lydyto plastiko kiekiai bandiniams [27].	19
8 pav. Atsparumo gniuždymui ir laiko santykis PWC bandiniuose [27].	20
9 pav. Atsparumo tempimui ir laiko santykis PWC bandiniuose [27].	20
10 pav. Betono su skirtingu stiklo miltelių kiekiu gniuždymo stiprio ugdymas [28].	22
11 pav. Stiklo tipo įtaka betono gniuždymo stiprio raidai su skirtingais stiklo miltelių kiekiais [28].	23
12 pav. Betono, kuriame yra skirtingų procentų stiklo miltelių, skilimo tempiamasis stipris [28]..	24
13 pav. Stiklo miltelių kiekio poveikis lenkimo stipriui cementas pakeistas stiklu milteliai skiedinyje [28].	25
14 pav. Betono masės praradimas užšaldant ir atšildant be (WG0%) ir 20 % (WG20%) stiklo [28].	26
15 pav. Stiklo duženų smulkinimas.	29
16 pav. Atsijotas maltas stiklas.	29
17 pav. Betoniniai bandiniai.	29
18 pav. Smulkių stiklo duženų ir polimerinių klijų mišinys.	30
19 pav. Trinkelė padaryta naudojant	31
20 pav. Trinkelė padaryta naudojant	31
21 pav. Plastiko ir smulkiu stiklo duženų bandiniai.	31
22 pav. Betoninio bandinio atsparumo gniuždymui nustatymas.	32
23 pav. Suiręs bandinys.	32
24 pav. Betono tankio priklausomybė nuo plastiko kiekio po 28 p.	33
25 pav. Betono atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo plastiko kiekio po 28 p.	33
26 pav. Betono tankio priklausomybė nuo malto stiklo kiekio po 28 p.	34
27 pav. Betono atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo malto stiklo kiekio po 28 p.	35
28 pav. Betono tankio priklausomybė nuo malto stiklo ir plastiko kiekio po 28 p.	36
29 pav. Betono atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo plastiko ir malto stiklo kiekio po 28 p.	36
30 pav. Vidutinio tankio nustatymo rezultatai.	37
31 pav. Atsparumo gniuždymui bandymo rezultatai.	37
32 pav. Atnaujinti vidutinio tankio nustatymo rezultatai.	38
33 pav. Atnaujinti atsparumo gniuždymui bandymo rezultatai.	39
34 pav. Pagaminta trinkelė naudojant St45 mišinį.	39
35 pav. Trinkelės tankio priklausomybė nuo plastiko kiekio po 7p.	40
36 pav. Trinkelės atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo plastiko kiekio po 7 p.	41
37 pav. Trinkelės tankio priklausomybė nuo smulkių stiklo duženų kiekio.	41
38 pav. Trinkelės atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo smulkinto stiklo kiekio po 7 p.	42
39 pav. Trinkelių bandinių vid. tankio priklausomybė.	42
40 pav. Trinkelės vid. atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo smulkinto stiklo kiekio po 7 p.	43
41 pav. Atsparumo šalčiui prognozavimo bandymas.	43

43 pav. Bandiniai paruošti šildymo/šaldymo bandymui.	45
44 pav. Betono bandiniai su plastikumu po 21 ciklo.....	46
45 pav. Bandiniai P130, P139 ir P146 po 90 ciklų.	46
46 pav. Bandiniai St39 ir St45 po 90 ciklų.....	47
47 pav. Bandiniai St34P110, po 90 ciklų.	48
48 pav. Betoniniai bandiniai po 90 šildymo/šaldymo ciklų.	48
49 pav. Betoninių bandinių naudojant skirtingą dalinį užpildą masės praradimas užšaldant ir atšildant.	49

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

SEM – skaitmeninis elektroninis mikroskopas;

Vid. – vidutiniškai;

P. – parų;

Pav. – paveikslėlis.

PET – polietileno tereftalatas

PTFE – politetrafluoretilenas;

HDPE – aukšto tankio polietilenas;

LDPE – žemo tankio polietilenas;

PVC – polivinilchloridas;

PP – polipropilenas;

PS – polistirenas.

Ba – bazinis betoninis bandinys;

Pl30 – betoninis bandinys su 30 % plastiko;

Pl39 – betoninis bandinys su 39 % plastiko;

Pl46 – betoninis bandinys su 46 % plastiko;

St29 – betoninis bandinys su 29 % stiklo;

St39 – betoninis bandinys su 39 % stiklo;

St45 – betoninis bandinys su 45 % stiklo;

St34Pl10 – betoninis bandinys su 34 % stiklo ir 10 % plastiko;

TrSt – trinkelio bandinys naudojant sticlą;

TrPl – trinkelio bandinys naudojant plastiką.

Įvadas

Viena didžiausių bėdų šiandien yra plastiko ir stiklo atliekos bei jų rūšiavimas. Plečiantis pramonei ir augant vartojimo kultūrai, atsiranda vis didesnis poreikis naudoti plastika ir stiklą kaip pigia ir patvarią medžiagą kasdieniams produktams ar jų įpakavimams. Visi šie nebereikalingi daiktai atsiranda šiukšlynuose iš kurių perdirbama 26 %. Nors šis skaičius kiekvienais metais auga, tačiau būtina atrasti vis daugiau sričių kur šias atliekas panaudoti, viena iš jų – betono gamyboje. Naudojant stiklo arba plastiko atliekas kaip dalinį užpildą ar net dalinį cemento pakaitalą betone galime dar labiau sumažinti į sąvartynus patenkančių sunkiai perdirbamų atliekų kiekį, sutaupyti natūralių užpildų kiekį, kaip smėlis ar žvyras.

Šiame darbe nustatysiu kokį poveikį betonui daro skirtingas malto stiklo ir plastiko kiekis naudojamas kaip dalinis užpildas ir pamėginsiu sukurti statybos produktą naudojant tik plastiko ir stiklo atliekas, nemaišant su betonu.

Tikslas:

Nustatyti racionalų malto stiklo ir plastiko kiekį betone ir sukurti statybos produktą su šiomis medžiagomis.

Uždaviniai:

1. Bandymais nustatyti kokią įtaką stipriui turi skirtingo malto stiklo ir plastiko kiekis betone;
2. Pasirinkus racionaliausia betono mišinio variantą sukurti statybos produktą;
3. Pagaminti ir nustatyti trinkelį naudojant tik stiklo arba plastiko atliekas mechanines ir fizikines savybes;
4. Įvertinti betono naudojant plastiko ir stiklo atliekas atsparumą šalčio poveikiui.

1. Literatūros apžvalga

Plastikas ir stiklas tapo viena labiausiai augančių kietųjų atliekų sąvartynuose. Šių atliekų ilgas įrimo laikas užpildo mūsų sąvartynus ir taip sukelia dideles aplinkosaugines problemas.

PET (polietileno tereftalatas) tapo labiausiai naudojamu komerciniu plastikumu pasaulyje, nes iš jo gaminami įvairūs audiniai, maisto pakuotės elektronikos ir automobilių detalės. *United States Environmental Protection Agency* (“EPA”) [1], duomenimis, beveik 27000 t plastiko atsiduria sąvartynuose kuriuose nėra perdirbami, taip pat 1 lentelėje [1] matyti, kad plastiko suvartojimas kasmet vis auga.

1 lentelė. Plastiko atliekų 1960-2018m. metiniai duomenys, tonomis [1].

Laikotarpis	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2017	2018
Sukaupta	390	2,900	6,830	17,130	25,550	29,380	31,400	34,480	35,410	35,680
Perdirbta	-	-	20	370	1,480	1,780	2,500	3,120	3,000	3,090
Kompostuoti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deginimas su energijos atgavimu	-	-	140	2,980	4,120	4,330	4,530	5,330	5,590	5,620
Sąvartynuose	390	2,900	6,670	13,780	19,950	23,270	24,370	26,030	26,820	26,970

Taip pat pagal “EPA” [1] duomenis virš 7500 t. stiklo atliekų atsiduria sąvartynuose kur irsta 900 m. Šis neperdirbamas stiklas jau dabar kelia aplinkosauginių problemų, teršia gamtą ir dėl ilgo įrimo laiko perpildo sąvartynus. Stiklo atliekų augimas matyti 2 lentelėje [1].

2 lentelė. Stiklo atliekų 1960-2018m. metiniai duomenys, tonomis [1].

Laikotarpis	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2017	2018
Sukaupta	6,720	12,740	15,130	13,100	12,770	12,540	11,520	11,470	12,300	12,250
Perdirbta	160	160	750	2,630	2,880	2,590	3,130	3,190	3,070	3,060
Kompostuoti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deginimas su energijos atgavimu	-	60	300	1,810	1,790	1,660	1,360	1,440	1,650	1,640
Sąvartynuose	6,620	12,520	14,080	8,660	8,100	8,290	7,030	6,840	7,580	7,550

Šią problemą reikia spręsti jau dabar ir šioms atliekom panaudoti surasti inovatyvių sprendimų. Vienas iš būdų – stiklo ir plastiko atliekas naudoti kaip dalinį užpildą betone ir jo gaminiuose taip pakeičiant jo mechanines ir fizikines savybes.

1.1. Plastiko kaip dalinio užpildo panaudojimas betone

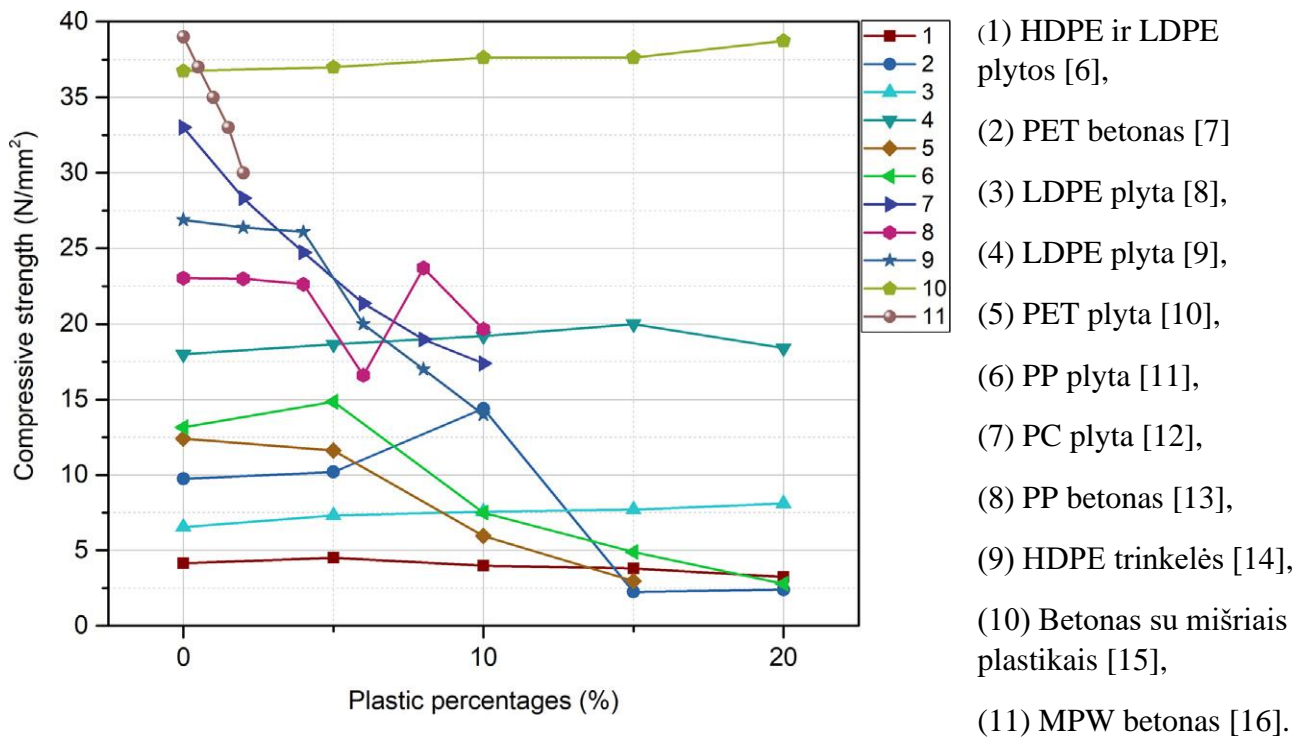
Plastikas – polimerinė medžiaga, kuri būna sintetinė ir pusiau sintetinė. Plastikų savybės priklauso nuo polimerų savybių ir gali būti chemiškai keičiamos. Yra daug rūšių plastikų, bet pramonėje dažniausiai naudojami šie plastikai:

- **PTFE – politetrafluoretilenas.** Gaminama naudojant fluoretileno ($\text{CF}_2=\text{CF}_2$) monomera. Bespalvė, tvirta medžiaga, turinti geras dujų ir drėgmės barjerines savybes. Ši medžiaga yra plačiai naudojama gaiviųjų gėrimų, mineralinio vandens buteliams ir įvairioms kitoms vartojimo prekių talpoms gaminti. Perdirbtos PTFE granulės naudojamos sintetinio pluošto, geo-tekstilės gamyboje. Tankis, tarp 2100 – 2250 kg/m^3 [2];
- **HDPE – aukšto tankio polietilenas.** HDPE pakuotės paprastai yra permatomos, turi geras apsaugines savybes ir standumą, ir puikiai tinka produktams, kurių trumpas galiojimo laikas. Kadangi HDPE turi gerą cheminį atsparumą, jis naudojamas buitinių ir pramoninių cheminių medžiagų pakavimui [2];
- **LDPE – žemo tankio polietilenas.** Pagrindinė mažo tankio polietileno savybė yra jo elastingumas ir kietumas. Šio tipo plastikas gali nuolat atlaikyti iki 80 ° C. Tokio tipo plastikas naudojamas plastikinių maišelių gamyboje gali būti naudojamas ir kabelių sistemos izoliacijoje [2];
- **PVC – polivinilchloridas.** Tai vinilchlorido ($\text{CH}=\text{CHCl}$) polimerizacijos produktas. Vienas plačiausiai naudojamų plastikų. Ji pasižymi tuo, kad yra lengva ir tuo pačiu labai atspari, ji yra ypač patvari, pasižymi dideliu atsparumu ugniai, mažu laidumu ir didele izoliacine savybe. Deja šio tipo plastikai yra labai sunkiai perdirbami. Tankis, tarp 1400 – 1540 kg/m^3 [2];
- **PP – polipropilenas.** Tai propileno ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$) polimerizacijos produktas. PP yra chemiškai atspari, stipri medžiaga, turinti aukštą lydymosi tašką, todėl tinkama karštų skysčių užpildymui. Tankis, tarp 900 – 910 kg/m^3 [2];
- **PS – polistirenas.** Tai stireno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$) polimerizacijos produktas. Jo ypatumas yra labai geras izoliatorius ir didelis atsparumas smūgiams. Jis minkštėja per šilumą, o jo pagrindą sudaro stirenomonomeras, kuris yra skystos konsistencijos naftos chemija. Tankis, tarp 1040 – 1100 kg/m^3 [2].

Esant didelei plastiko rūšių įvairovei atsiranda sunkumų juos perdirbti. Todėl reikia atrasti inovatyvių būdų jas perdirbti, vienas iš jų – plastiko atliekas naudoti kaip dalinį užpildą betono ir kitų produktų gamyboje. Įvairūs tyrimai parodė, kad plastiko kaip dalinio užpildo panaudojimas stipriai keičia betono mechanines ir fizikines savybes.

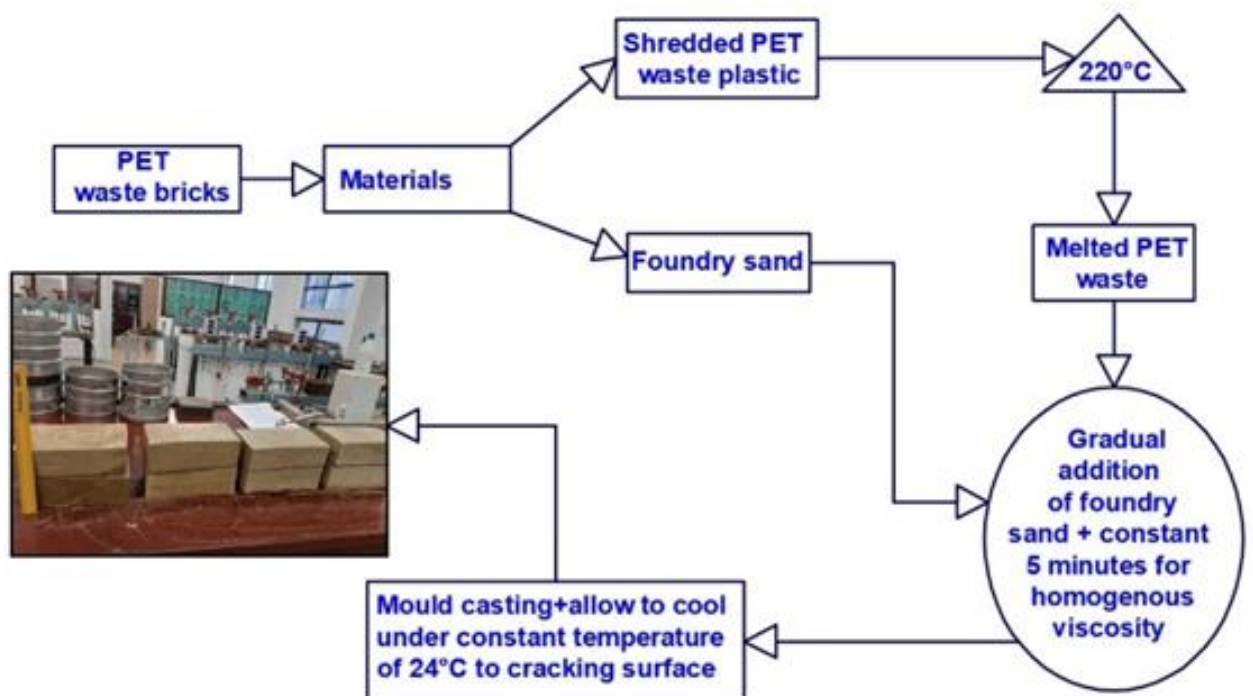
1.1.1. Betono su daliniu plastiko užpildu atsparumas gniuždymui

Atsparumas gniuždymui yra svarbus parametras norint nustatyti mišinio patikimumą. Pagal „Plastikinių atliekų kaip užpildo panaudojimas statybinėse medžiagose“ [3] straipsnį, siekiant nustatyti atsparumą gniuždymui buvo padaryti trys mėginiai su 5 %; 10 % ir 15 % plastiko, kurių gniuždymo vertės atitinkamai buvo 11,61 N/mm^2 ; 5,96 N/mm^2 ir 2,98 N/mm^2 . Bandiniai buvo palyginti su kontroliniu bandiniu nenaudojant plastiko, gniuždymo vertė buvo gauta 12.4 N/mm^2 . Visi bandiniai buvo išbandyti po 28 dienų. Kiti tyrimų rezultatai pateikiami 1 Pav. [3].



1 pav. 28 dienų betono stiprio gniuždant pokytis gautas iš skirtingų tyrimų [4].

PET naudojamas degtose molio plytose. Išlydytos plastiko atliekos buvo maišomos su smėliu, kaip nurodyta 2 pav. [3].



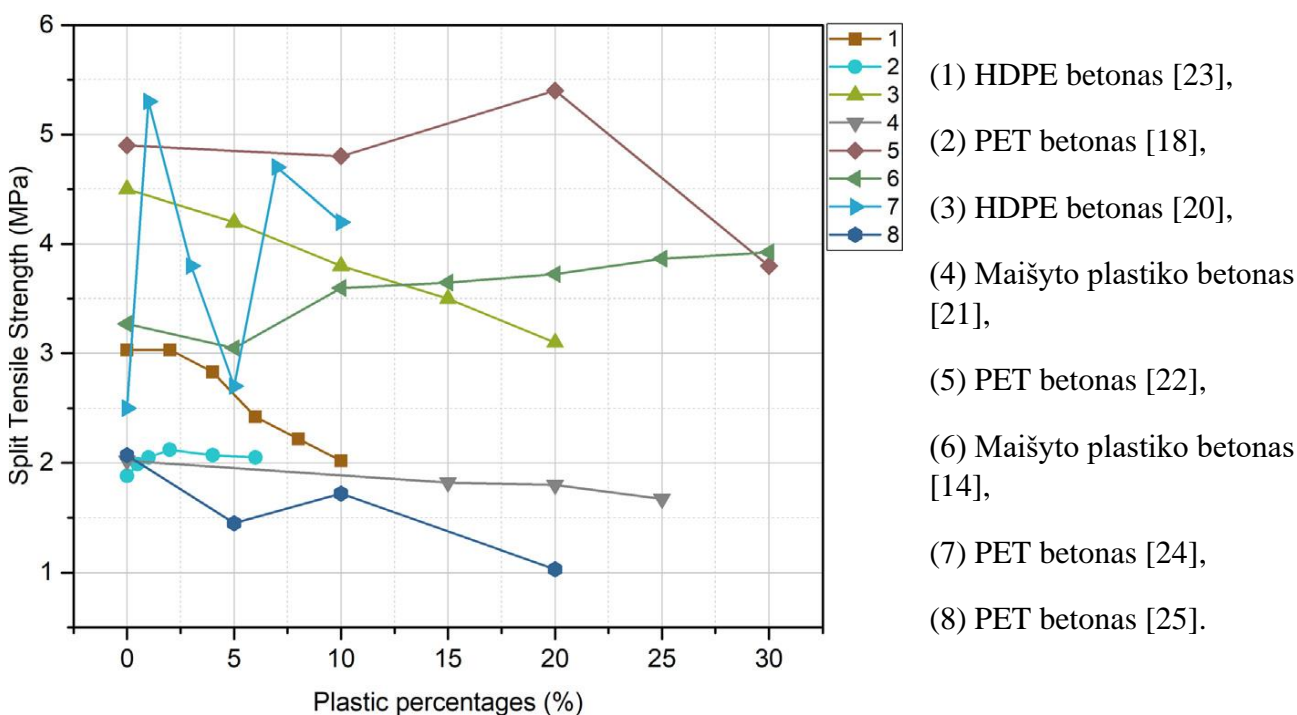
2 pav. Plytų su PET gamybos schema [3].

Taip pat buvo padaryti trys mėginiai su plastiko ir smėlio santykiu atitinkamai 10:90, 20: 80, ir 30: 70, gautos gniuždymo vertės atitinkamai - 34 MPa, 42 MPa, ir 38 MPa. Lyginant su paprasta plyta kurios vidutiniškas atsparumas gniuždymui yra 26 MPa matomas padidėjimas priešingai nei maišant betoną ir smėlį [3].

Plastiko neigiamas poveikis konstrukcinių medžiagų stiprumui gali kilti dėl šių priežasčių: hidrofobinės plastiko savybės, kurios slopina cemento hidratacijos procesą, įtraukus plastiko atliekas atsirado keletas tuštumų, dėl kurių atsirado didelis poringumas ir oro kiekis, žemas plastikinių užpildų tamprumo modulis, palyginti su natūraliu užpildu kaip smėlis, galimas medžiagų irimus dėl kelių aplinkos veiksnių kaip plastiko skilimas šarminėje aplinkoje [3].

1.1.2. Betono su daliniu plastiko užpildu atsparumas tempimui

Taip pat svarbus parametras nustatant medžiagos patikimumą-atsparumas tempimui. Kaip ir atsparumas gniuždymui, bei lenkimui, tyrimai parodė, kad plastikas taip pat turi neigiamų savybių tempimui. Atsparumas tempimui betone su plastiko užpildu pasak tyrimo siekė nuo 0,95 MPa. iki 1,82 MPa., lyginant su etaloniniu bandiniu be plastiko atsparumas tempimui siekė iki 2,26 MPa. [4]. Kiti tyrimai rodo panašius rezultatus, bandiniuose kuriuose buvo nuo 5 % iki 20 % HPDE plastiko, atsparumas tempimui sumažėjo atitinkamai 6,7 % iki 30 % [4]. Kiti tyrimų rezultatai pateikiami 3 Pav. [4].



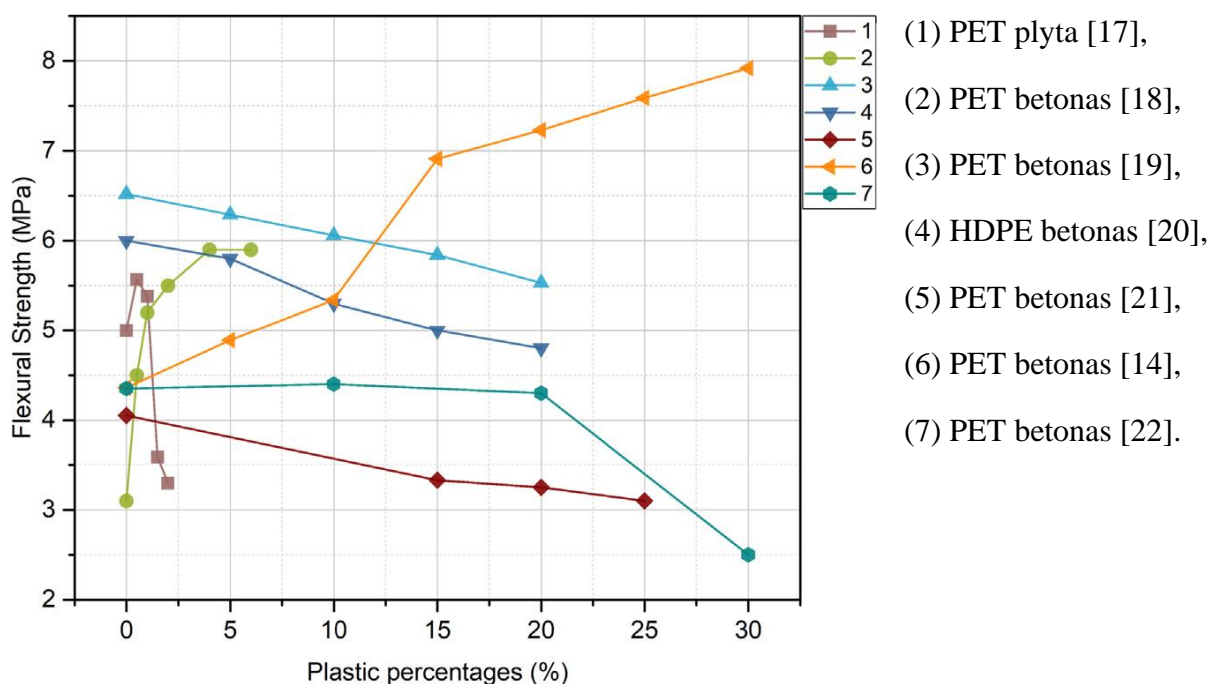
3 pav. 28 dienų betono stiprio tempimo pokytis gautas iš skirtingų tyrimų [4].

Iš grafiko galime matyti, kad atsparumas tempimui mažėja didinant plastiko kiekį.

1.1.3. Betono su daliniu plastiko užpildu atsparumas lenkimui

Atsparumas lenkimui taip pat buvo nagrinėjamas įvairiuose kompozitiniuose gaminiuose su plastiko užpildu. Dauguma tyrimų parodė, kad atsparumas lenkimui mažėja proporcingai didinant plastiko kiekį betone ir kituose statybiniuose gaminiuose. Buvo pastebėta, kad stiprumas lenkimui betono gaminiuose su plastiko užpildu vyrauja nuo 3,5 MPa iki 4,5 MPa. [4]. Lyginant su betono gaminiams be plastiko atsparumas lenkimui sumažėja apie 9 % [4]. Manoma, kad priežastys dėl lenkimo atsparumo sumažėjimo yra panašios kaip ir atsparumo gniuždymui atveju – silpna sukibimas tarp cemento ir plastiko, silpnas pasipriešinimas sąsajos pereinamojoje zonoje, hidrofobinis plastiko atliekų pobūdis, kuris riboja hidrataciją iš cemento [4].

Tačiau kiti šaltiniai kaip „Plastikinių atliekų panaudojimas lengvo betono gamybai“ [5] tyrinėdami betoną su PET plastiko užpildu pastebėjo padidėjimą atsparumui lenkiant. Bandymuose buvo naudojami penki bandiniai su 1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 10 % PET, tyrimai parodė, kad pirmų 3 bandinių atsparumas lenkimui padidėjo atitinkamai 23,11 %, 25,59 %, 37,93 % lyginant su etaloniniu bandiniu. Likusiu dviejų bandinių (7 % ir 10 %) atsparumas lenkimui sumažėjo atitinkamai 23,86 %, 0,41 % [5]. Toks lenkimo atsparumo padidėjimas gali atsirasti dėl sumažėjusių įtrukimų betone, nes plastikas gali trukdyti šių plyšių atsiradimui [5]. Skirtingų tyrimų rezultatai pateikiami 4 pav. [5].



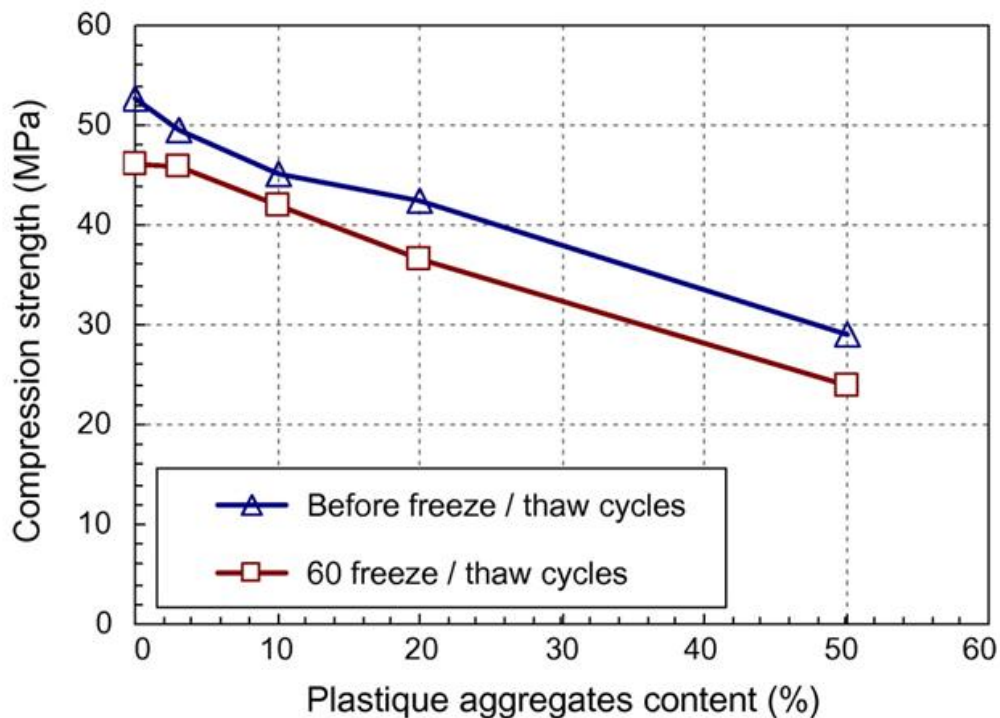
4 pav. 28 dienų betono stiprio lenkimo pokytis gautas iš skirtingų tyrimų [5].

Iš atliktų tyrimų galima daryti išvadą, kad didelis kiekis plastiko sumažina atsparumą lenkiant, ir tik minimalus jo kiekis gali padidinti stiprumą statybos gaminiuose.

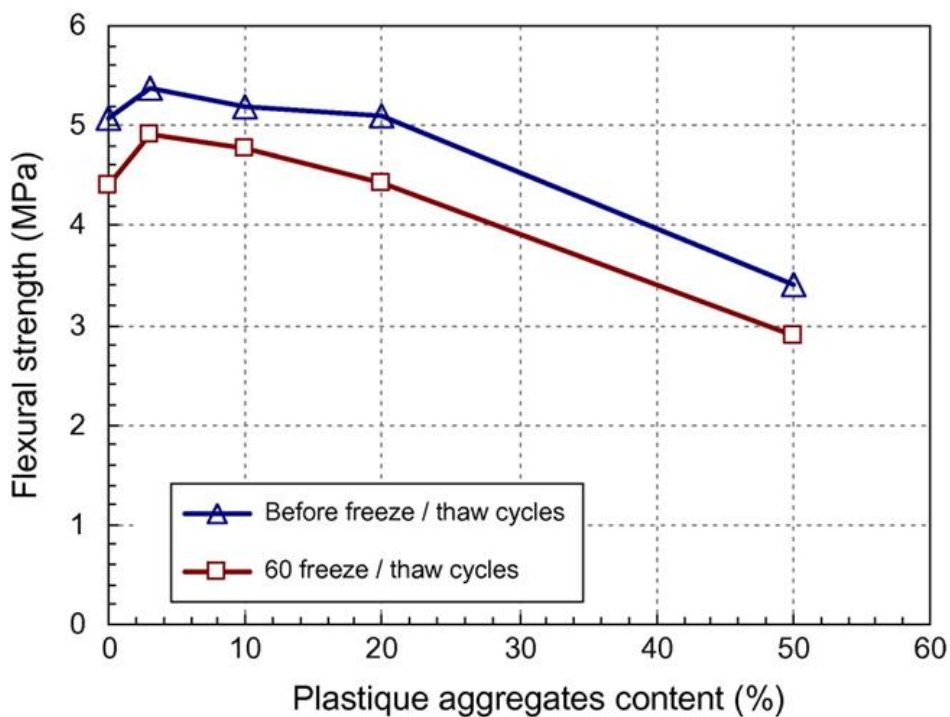
1.1.4. Betono su daliniu plastiko užpildu ilgaamžiškumas

Medžiagos ilgaamžiškumui didelę įtaką turi aplinka kurioje ji yra, dažnas temperatūrų skirtumas gali stipriai sumažinti jų ilgaamžiškumą dėl to suprastėja mechaninės savybės. Straipsnyje „Kinda Hannawi, William Prince-Agbodjan, Cementinių skiedinių, kuriuose yra polikarbonato plastiko atliekų, pernešimo savybės ir ilgaamžiškumas“ [26] atliekami atsparumo šalčiui tyrimai skiedinio bandiniuose su 3 %, 10 %, 20 % ir 50 % plastiko. Po 28 dienų kiekvienas bandinys buvo atšaldomas iki $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros ir po 12 valandų panardinamas į $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandenį, po 60 ciklų

bandiniams atlikti gniuždymo ir lenkimo testai ir palyginami su pradiniais bandiniais [26]. Rezultatai matomi 5-6 Pav. [26].



5 pav. Užšalimo-atšildymo ciklų įtaka gniuždymo stipriui [26].



6 pav. Užšalimo-atšildymo ciklų poveikis lenkimo stiprumui [26].

Iš rezultatų matomas sumažėjimas tiek atsparumui gniuždant ir lenkiant. Buvo padaryta išvada, kad sumažėjusios mechaninės savybės po užšalimo ir atšildymo ciklą gali būti priskirtos įtrūkimų ir tuštumų susidarymams kompozite dėl pasikartojančio terminio medžiagų susitraukimo ir išsiplėtimo [26].

Kita svarbi savybė, medžiagos atsparumas šarminėje aplinkoje. Dauguma polimerų ir pluoštai yra chemiškai inertiški ir labai stabilizuoti šarminėje aplinkoje, tačiau polimerai kaip PET yra jautrūs įirimui šarminėje aplinkoje. Tam nustatyti atlikti tyrimai su armuotu betonu po 26, 150 ir 365 dienų. Stebint bandinius buvo pastebėtas didelis poringumas ir plastiko įrymąs po 365 dienų. Atlikus tyrimus su elektroniniu mikroskopu (SEM) buvo nustatyti dideli plaušo gedimo laipsnį [26]. Kiti tyrimai su HDPE plastikais irgi parodė panašius įrimo požymius po 270 dienų. Pastebėta kad plastiko plaušų polimerinės grandinės jungtys suyra paveiktos šarminės aplinkos [26].

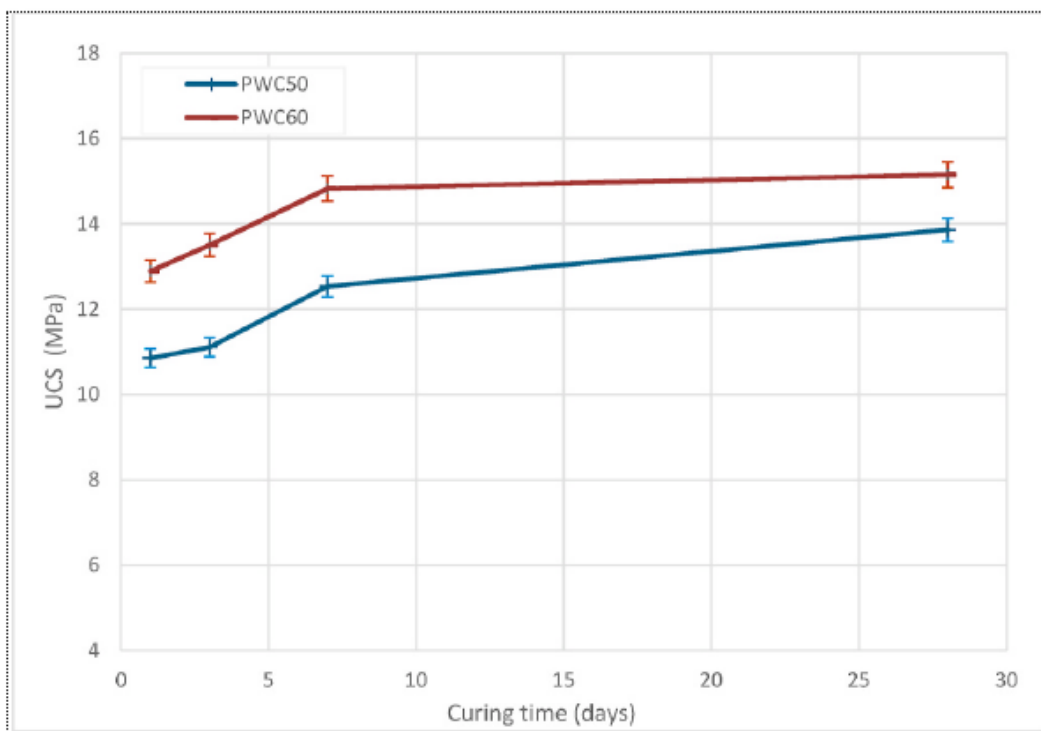
1.1.5. Lydyto plastiko panaudojimas

Nors dauguma tyrimų rezultatų parodo neigiama mechaninių savybių kitimą betone naudojant plastiko atliekas, tačiau Moussa Thiam ir Mamadou Fall [27] savo tyrime naudojo lydyta plastmasės masę, Eksperimentams atlikti buvo naudojami du bandiniai su skirtingais plastiko kiekiais (50 % ir 60 %). Plastiką buvo išlydomas prie 250 C° temperatūros ir su paruoštu smėlio ir žvyro užpildu sumaišomi. Plastiką su žvyro ir smėlio užpildu buvo maišomi 100 C° temperatūroje 15 min. kol buvo gautas vienalytis mišinys. Ši masė tada buvo supilama į cilindrinis klojinius ir sutankinama rankiniu būdu. Visi bandinių kiekiai nurodyti 7 pav. [27].

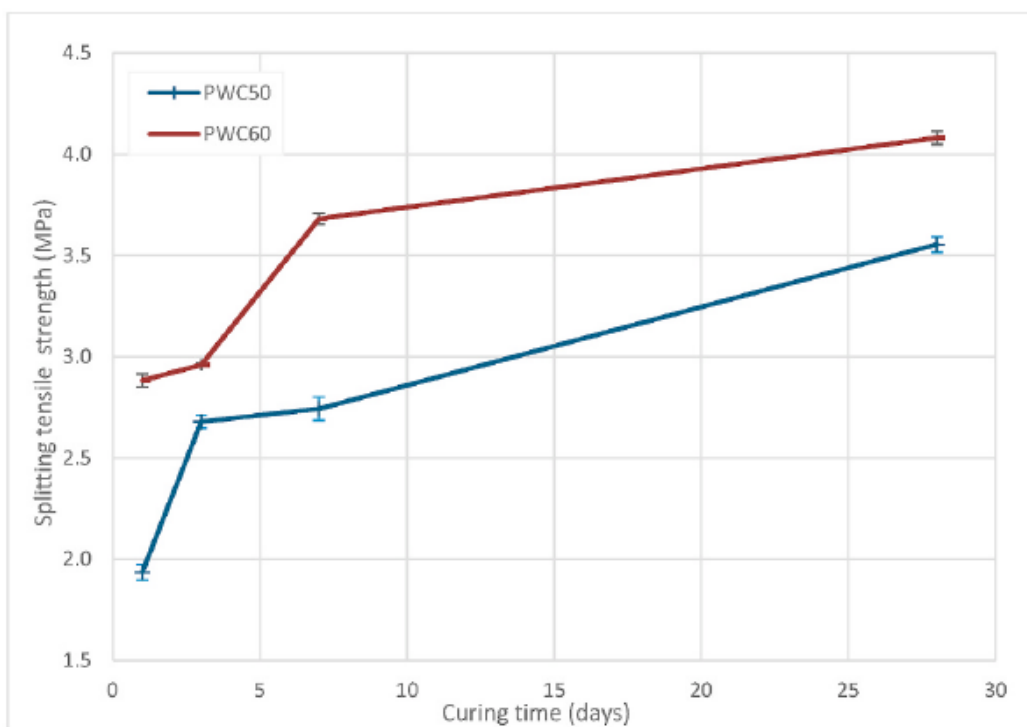
PWC sample	Plastic binder type	Plastic binder content (%)	HDPE/LDPE	Granular materials	Curing time (days)
50% P – H/L 50/50	HDPE - LDPE	50	50/50	Sand and Gravel	1, 3, 7, 28
60% P – H/L 50/50	HDPE - LDPE	60	50/50	Sand and Gravel	1, 3, 7, 28

7 pav. Lydyto plastiko kiekiai bandiniams [27].

Atlikti bandymai parodė 10 – 15 MPa atsparumą gniuždymui ir 2 – 4 MPa atsparumą tempimui, kaip parodyta pav. 10 – 11, taip pat atlikta SEM analizė parodė, kad lydytas plastikas suriša smėlį ir žvyrą, tačiau neišvengiama porų atsiradimo, kas įtakoja medžiagos stiprumą. Taip pat pastebėta kad bandinys kuriame yra 60 % plastiko pasižymi mažesniu poringumu ir vyrauja tarp 0.0009 cm³/cm² S^{1/2} ir 0.0048 cm³/cm²S^{1/2}, kas yra žemiau už įprasta betoną [27].



8 pav. Atsparumo gniuždymui ir laiko santykis PWC bandiniuose [27].



9 pav. Atsparumo tempimui ir laiko santykis PWC bandiniuose [27].

Iš atlikto tyrimo galime teigti, kad lydyto plastiko panaudojimas turi didesnį potencialą negu naudojant jį kaip dalinį užpildą betoniniuose gaminiuose, šis metodas dar pasižymi tuo, kad jam nereikia vandens, kas yra ypač aktualu vietovėse kur yra vandens trūkumas.

1.2. Stiklo kaip dalinio užpildo panaudojimas betone

Stiklas – vientisa amorfinė kieta medžiaga, silicio dioksido (SiO₂) pagrindu.

Pagal „Šiaulių regiono atliekų tvarkymo centro“ [31] tinklapyje pateikta informacija, į stiklo rūšiavimo kontenerius metamos tokios atliekos:

- Butelius ir jų duženas
- stiklainius ir jų duženas
- stiklinius indus.

Šias stiklo atliekas mechaniškai nuplovus ir sutrupinus į stiklo miltelius gaunamas produktas kuris būtų galimas naudoti kaip dalinis užpildas betono produktuose.

Beveik visas komercines stiklo atliekas galime išskirstyti į šešias kategorijas:

1. **Sodos – kalkių stiklas** – labiausiai paplitęs ir pigiausiai pagaminamas stiklo tipas (sudaro 90% pagaminamo stiklo), atsparumas aukštai temperatūrai ir staigiems temperatūros pokyčiams yra žemas. Šį stiklą sudaro 60 – 75 % silicio dioksido, 12 – 18 % sodos ir 5 – 12 % kalkių [32].

2. **Švino stiklas** – šis stiklas yra minkštas ir yra naudojamas elektros reikmėms dėl elektros izoliacinių savybių, atsparumas aukštai temperatūrai ir staigiems temperatūros pokyčiams yra žemas. Šį stiklą sudaro ne mažiau kaip 20 % švino oksido [32].

3. **Borosilikatinis stiklas** – pasižymi dideliu atsparumu temperatūros pokyčiams ir cheminiai korozijai. Šis stiklas yra brangesnis lyginant kitus stiklų tipus, bet jo panaudojimas yra labai platus (kaip lemputės, vamzdynai, laboratoriniai indai ir t.t.). Šis stiklas gali būti bet koks stiklas kurio sudėtyje yra ne mažiau kaip 5 % boro oksido [32].

4. **Aliumosilikato stiklo** – pasižymi panašia sudėtimi kaip borosilikatinis stiklas tik jo sudėtyje yra aliuminio oksido. Šis stiklas pasižymi dideliu cheminiu patvarumu ir gali atlaikyti aukšta darbinę temperatūrą. Naudojamas kaip elektroninių grandinių rezistorių gamyboje [32].

5. **Devyniasdešimt šešių procentų silicio dioksido stiklas** – kaip sako šio stiklo tipo pavadinimas šis stiklas yra gaminamas iš borosilikatinio stiklo jį išlydant ir apdorojant, kad būtų pašalinti beveik visi ne silikatiniai gaminiai ir liktu ne mažiau kaip 96 % silicio dioksido. Šis stiklas gali atlaikyti iki 900 °C temperatūrą. [30]

6. **Lydytas silicio dioksido stiklas** – šis stiklo tipas yra grynas nekristalinės būsenos silicio dioksidas. Šis stiklas yra retai naudojamas ir brangus pagaminti. Gali atlaikyti iki 1200 °C darbinę temperatūrą [32].

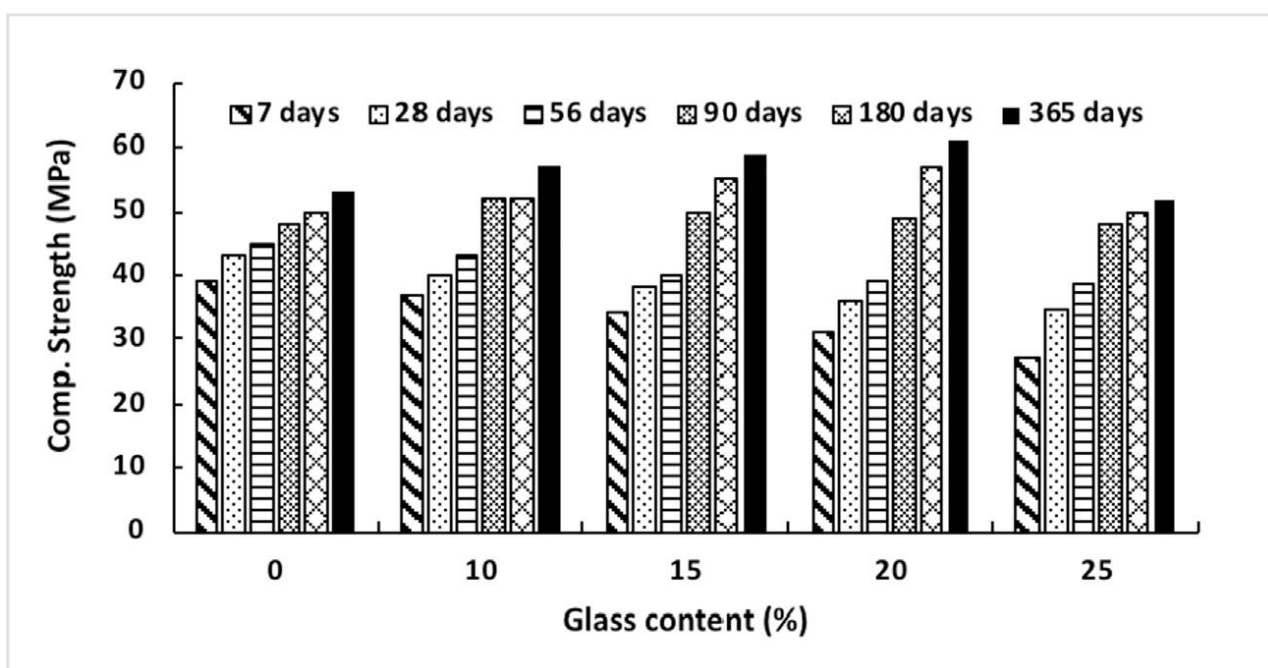
Kaip matyti iš skirtingų stiklo tipų smulkintose stiklo atliekose yra gausu silicio taip pat ir kalcio, kas turi didelės įtakos betono gaminiams. Tyrimai parodė, kad smulkinto stiklo panaudojimas betono gaminiuose daro įtakos mechaninėms savybėms dėl pucolaninės reakcijos [28]. Pucolaninė reakcija stipriai priklauso nuo faktorių kaip, stiklo spalva ir tipas, dalelių dydis, kietėjimo amžius, kietėjimo temperatūra [28].

Nors buvo imtasi priemonių naudoti stiklo atliekas betono industrijoje. Pagrindinė kliūtis stabdanti stiklo atliekų panaudojimą betone yra galima cheminė reakcija, kurioje dalyvauja stikle esantis silicio dioksidas ir betone susikaupę, ištirpę šarmai kurie gali sukelti šarminę betono koroziją. Ši reakcija gali būti žalinga betono struktūros stabilumui, todėl būtina rasti priemonių, kad minimizuoti šį efektą [33]. Pasak straipsnio „Betono, kuriame yra sumalto stiklo atliekų, tyrimai“ [31] problema nuo šarminės betono korozijos galėtų išspręsti kitos industrinės atliekos kaip silicio dulkės, šlakai ar pelenai kurie galėtų būti maišomi proporcingai su stiklo atliekomis į betoną.

Kitu tyrėju tyrimai, kaip Bazant [34], Jin, Meyer ir Baxter [35], parodė, kad šarminę betono korozijai turi įtakos stiklo dalelių dydis. Didžiausia išsiplėtimą dėl šarminės korozijos turi dalelės kurių dydis 1,2 mm. Tyrimas taip pat teigia, kad didžiausias išsiplėtimas nuo šarminės betono korozijos įvykdavo naudojant stiklą kaip 100 % užpildą betone. Šie mokslininkai taip pat teigia, kad kai žalias stiklas turi daugiau kaip 1 % chromo oksido jis labiausiai nuslopina šarminės korozijos efektą [36].

1.2.1. Betono su daliniu stiklo užpildu atsparumas gniuždymui

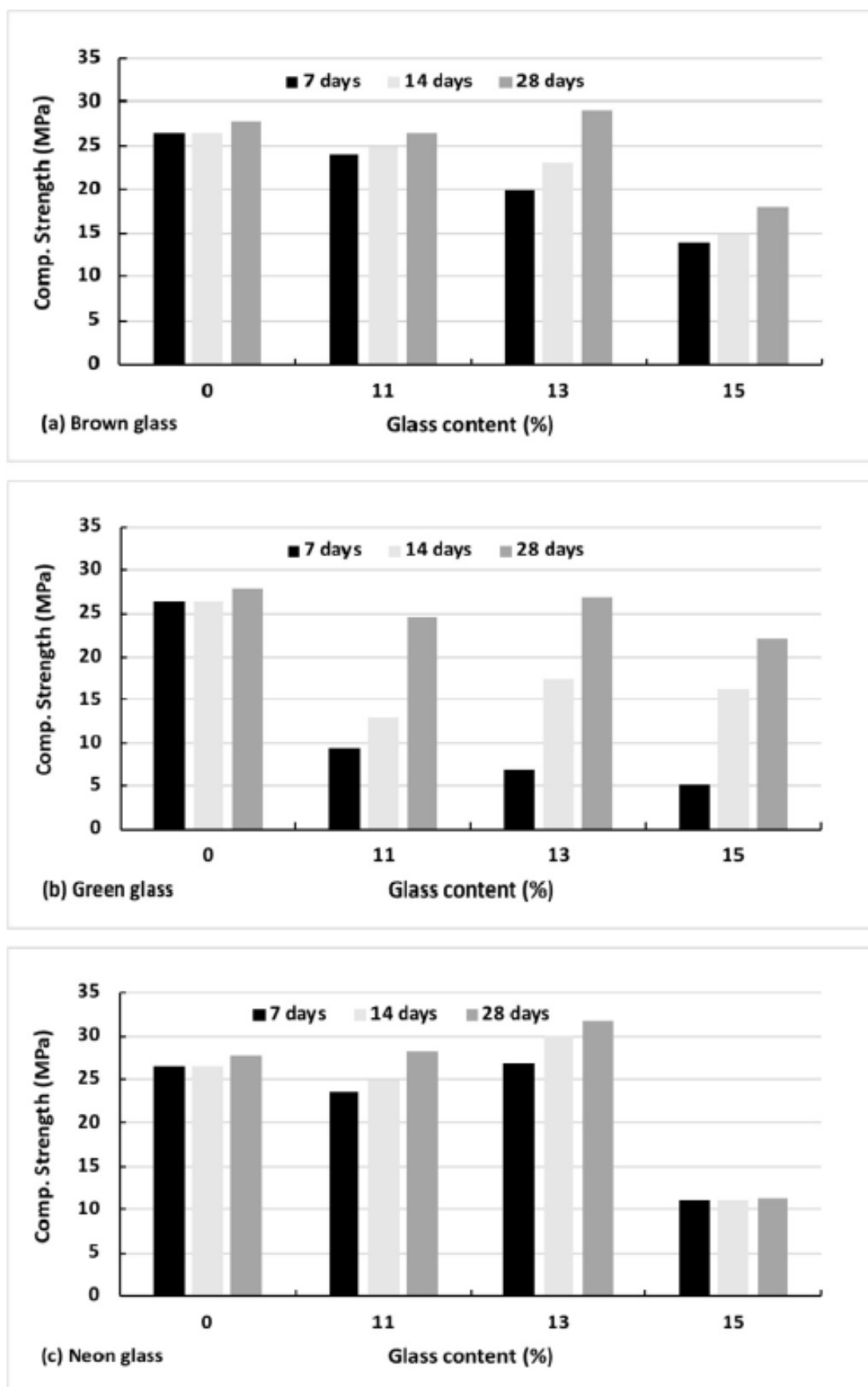
Tyrimai parodė, kad perdirbto stiklo naudojimas kaip užpildo vietoj smėlio sumažina atsparumą gniuždymui atliekant bandymus po 28 dienų. Priežastis, perdirbto stiklo sukibimas yra silpnesnis negu smėlio kas ir įtakojo šį sumažėjimą [29]. Tačiau kituose tyrimuose buvo pastebėta, kad nors ir po 28 dienų atsparumas sumažėja po ilgesnio laiko matomas padidėjimas atsparumui gniuždant lyginant bandinius kuriuose kaip užpildas buvo naudotas smėlis [29]. Rezultatai pateikiami 10 pav. [28].



10 pav. Betono su skirtingu stiklo miltelių kiekiu gniuždymo stiprio ugdymas [28].

Iš rezultatų matyti, kad laikui bėgant atsparumas gniuždymui augo ir po 56 dienų, atsirando nežymus padidėjimas. Įtakos turi ir stiklo kiekis bandiniuose, po 90 dienų atsparumas gniuždymui bandiniuose kuriuose buvo iki 20 % perdirbto stiklo padidėja 20 %. Bandinyje su 25 % stiklo atsparumas gniuždymui išlieka panašus kaip ir kontrolinio bandinio. Tai atsitikti galėjo dėl to, kad naudojant iki 20 % perdirbto stiklo, kaip užpildą, suaktyvino pucolaninę reakcija ir užpildė bandinyje esančius oro

tarpus taip sumažindamas poringumą [28]. Stiklo rūšis taip pat turi įtakos atsparumui gniuždant kaip parodyta 11 pav. [28].



11 pav. Stiklo tipo įtaka betono gniuždymo stiprio raidai su skirtingais stiklo miltelių kiekiais [28].

Iš duomenų matyti, kad žalio stiklo atsparumas gniuždymui iki 14 dienų stipriai mažesnis su referenciniu bandiniu, tačiau žaliasis stiklas buvo naudojamas kaip pakaitalas betonui, o ne kaip užpildas, todėl tai gali būti priežastis mažesnio atsparumo. Nepaisant šito, skirtumai tarp rudo ir neoninio stiklo yra labai maži [28].

1.2.2. Betono naudojant stiklą kaip dalinį pakaitalą cementui atsparumas gniuždymui

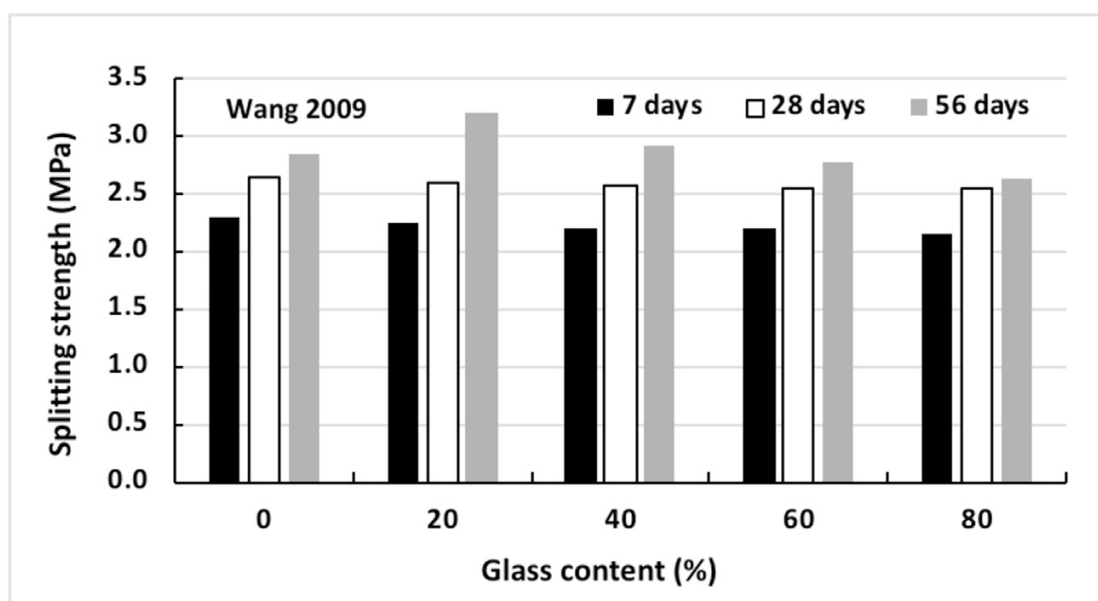
Atlikus tyrimus su betonu kuriuose stiklo milteliai veikia ne kaip dalinis užpildas, o kaip dalinis cemento pakaitalas buvo įrodyta, kad stiklo atliekos įtakoja betono stiprumo didėjimą ir veikia kaip pucolaninė medžiaga. Naudojant stiklo miltelius iš atliekų visada buvo bijoma, kad susidarys cheminė reakcija dėl stiklo esančio silicio dioksido ir ištirpusiu šarmų, kurie turėtų neigiama įtaka betono stiprumui nes gali turėti įtakos struktūros stabilumui. [37 – 40]

Tyrime „Stiklo duženų panaudojimo betonuose galimybės“ [41] stiklas buvo naudojamas kaip dalinis pakaitalas cementui. Didinant stiklo duženų kiekį iki 10 % pastebimas didesnis stiprio padidėjimas. Toliau didinant stiklo duženų kiekį iki 15 – 30 % stebimas nežymus stiprio sumažėjimas. Taip pat tyrimas parodė, naudojant stiklo kieki iki 10 % betono slankumui tai įtakos neturi, tačiau bandiniuose kuriuose vandens ir cemento santykis buvo 0,6 ir 0,3, slankumas, didėjant malto stiklo kiekiui, proporcingai mažėja. [41]

Kai kurie tyrimai daro išvada, kad naudojant perdirbta stiklą betone kaip užpildą ar pakaitalą cementui iki 20 % – 30 % atsparumui gniuždant nekenks. Paruošti stiklo milteliai ankstyvame amžiuje veiks labiau kaip katalizatorius, o ne pucolaninė medžiaga, todėl galime tikėtis lėtesnio atsparumo vystymosi [28].

1.2.3. Betono su daliniu stiklo užpildu atsparumas tempimui

Didelių skirtumų nuo atsparumo gniuždymui bei lenkimui nebuvo nustatyta iki 40 % stiklą naudojant kaip pakaitalą cementui, po šios ribos matyti atsparumo kritimas bandiniuose. Rezultatai pateikiami 12 Pav. [28].

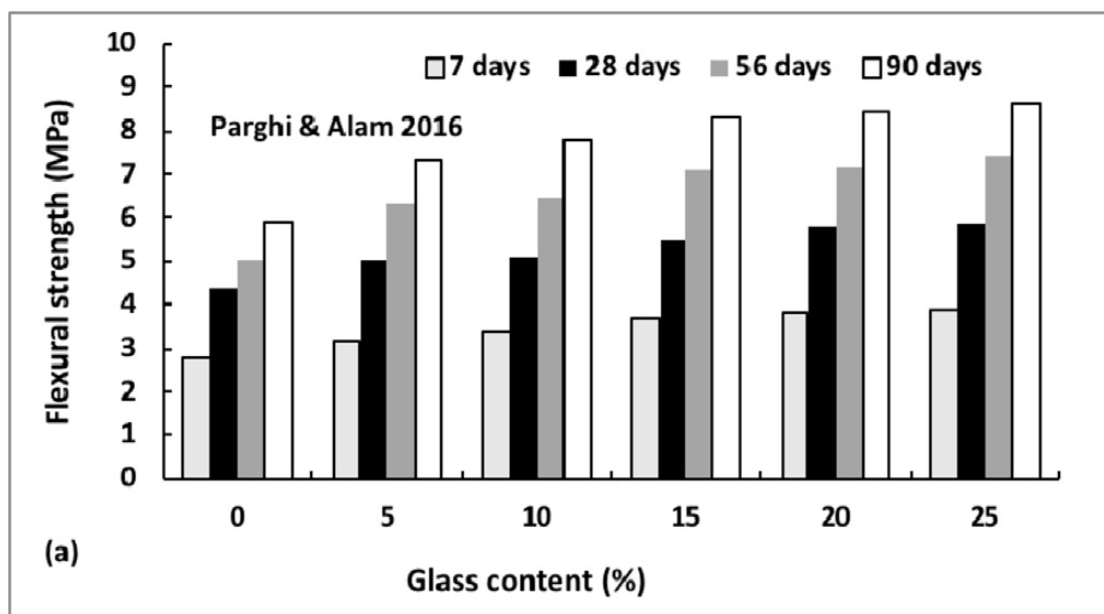


12 pav. Betono, kuriame yra skirtingų procentų stiklo miltelių, skilimo tempiamasis stipris [28].

Kiti tyrimai parodė, kad perdirbta stiklą naudojant kaip užpildą vietoj smėlio iki 25 % atsparumas tempimui didėja, tačiau didinant stiklo kiekis atsparumas pradeda palaipsniui mažėti [30].

1.2.4. Betono su daliniu stiklo užpildu atsparumas lenkimui

Atsparumas lenkimui betono gaminiuose naudojant stiklą kaip užpildą ar dalinį pakaitalą cementui yra labai panašus į atsparumą gniuždymui. Bandinių serija naudojo 5 % – 25 % stiklo, kaip užpildą vietoj cemento. 13 Pav. [28] matomi rezultatai atlikus tyrimus su bandiniais.

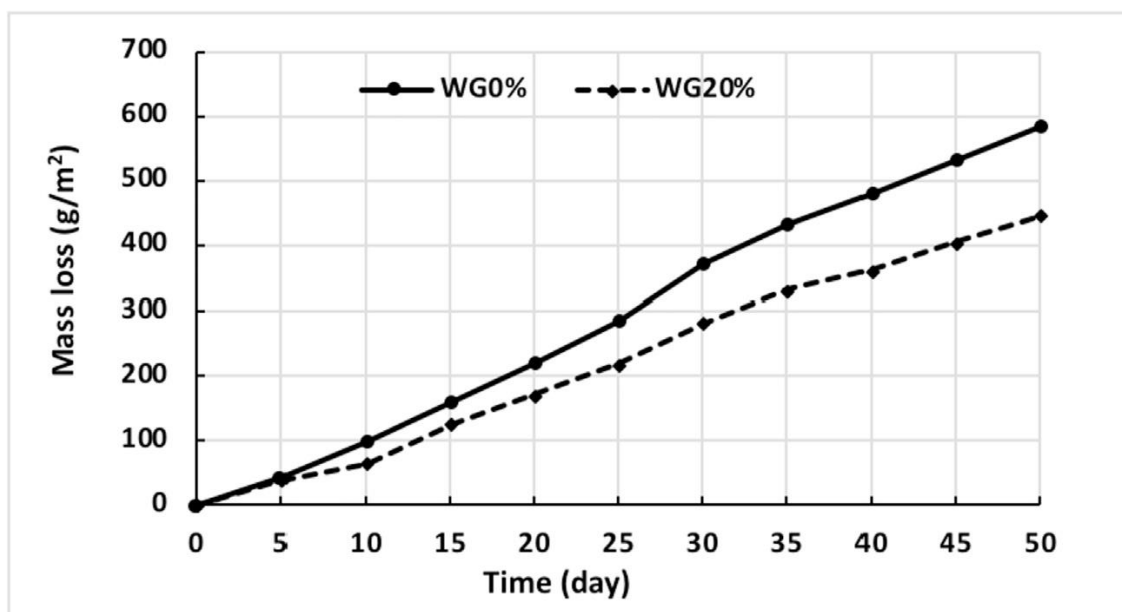


13 pav. Stiklo miltelių kiekio poveikis lenkimo stipriui cementas pakeistas stiklu milteliai skiedinyje [28].

Rezultatai parodė 4 % – 11 % padidėjimą atsparumui lenkiant lyginant su kontroliniu bandiniu.

1.2.5. Betono su daliniu stiklo užpildu ilgaamžiškumas

Medžiagos ilgaamžiškumui didelę įtaką turi aplinka kurioje ji yra, dažnas temperatūrų skirtumas gali stipriai sumažinti jų ilgaamžiškumą ko pasėkoje suprastėja mechaninės savybės. Tyrime po 50 šaldymo/atšildymo ciklų nustatyta, kad bandiniuose kuriuose buvo 20 % stiklo, kuris buvo kaip pakaitalas cementui, masės praradimas sumažėjo 20 % lyginant su kontroliniu bandiniu [29]. Rezultatai pateikiami 14 pav. [28].



14 pav. Betono masės praradimas užšaldant ir atšildant be (WG0%) ir 20 % (WG20%) stiklo [28].

Mažesnis masės praradimas taip pat buvo užfiksuotas ir kituose tyrimuose naudojant 0 %, 5 %, 10 % ir 15 % stiklą kaip pakaitalą cementui. Bandiniai buvo išbandomi po 100, 200 ir 300 užšalimo ir atšildymo ciklų. Stiklo miltelių panaudojimas vietoj cemento pagerina šias savybės nes padidina CeSeH gelio gamyba sustiprina pucolaninė reakcija dėl kurios sumažėja išsiplėtimo rizika [28]. Taip pat svarbi savybė betonui yra susitraukimas, kuris taip pat buvo tirtas, tačiau didelio efekto stiklas kaip pakaitalas cementui ar kaip užpildas vietoj smėlio neturi. Kai kurie tyrimai rodo, kad didesnis stiklo kiekis, virš 20 % gali padidinti susitraukimą [28].

Iš tyrimų galime matyti, kad stiklas turi potencialo būti naudojamas betono gamybos pramonėje, veikiant pucolaninei reakcijai betono mechaninės savybės laikui bėgant įgaus vis didesni pranašumą lyginant su betonu kurio sudėtyje nėra stiklo.

2. Eksperimentinė dalis

2.1. Tyrimo objektas, tikslas ir uždaviniai

Baigiamojo darbo tyrimo objektas yra betonas kuriame kaip dalinis užpildas yra panaudojamos stiklo ir plastiko atliekos. Magistriniame darbe bus tiriamas mechaninių savybių poveikis naudojant stiklo ir plastiko atliekas ir jų panaudojimo galimybės kitose statybos produktuose.

Darbo tikslas – nustatyti racionalų malto stiklo ir plastiko kiekį statybos gaminiuose;

Darbo uždaviniai:

- Nustatyti kokią įtaką stipriui turi skirtingo malto stiklo ir plastiko kiekis betone;
- Pagaminti ir nustatyti trinkelį naudojant stiklo ir plastiko atliekas mechanines savybes;
- Nustatyti atsparumą šalčiui, malto stiklo arba plastiko kiekį turinčiam betonui.

2.2. Tyrimam naudotos medžiagos ir jų savybės

Cementas

Bandymuose kaip pagrindinė rišamoji medžiaga buvo naudotas cementas. Tai hidraulinė rišamoji medžiaga (pradėjusi kietėti ore gali toliau kietėti ir vandenyje). Tyrime naudotas portlandcementis CEM I 42,5N kurio pagrindinės sudedamosios dalys yra klintys ir molis. Cemento tankis 3100 kg/m^3 .

Maltas stiklas

Malto stiklo milteliai tai iš stiklo atliekų, malimo būdu gautas pucolaninis priedas, pagrindinis cheminis komponentas SiO_2 , tankis – $2500 - 2700 \text{ kg/m}^3$. Bandymuose buvo naudotas nešvarus, organinių medžiagų pažeistas stiklas. Stiklas buvo sumaltas kol nebeliko stambių dalelių ir prasijojamas pro $0,1 \text{ mm}$ stambumo sietą.

Smėlis

Smėlis beveik ar visiškai nesucementuota uoliena. Ji yra biri, nevienalytė. Dalelių skersmuo svyruoja nuo $0,063 \text{ mm}$ iki 2 mm , tankis – $2600 - 2700 \text{ kg/m}^3$. Smėlis tyrime buvo naudotas kaip užpildas ir dalinai pakeičiamas stiklo ir plastiko atliekomis.

Plastikas

Polimerinė medžiaga, tai medžiaga sudaryta iš besikartojančių struktūrinių vienetų vadinamu monomerais, sujungtu kovalentiniais cheminiais ryšiais.

Plastikai skirstomi:

- PET – polietileno tereftalatas
- HDPE – didelio tankio polietilenas
- PVC – polivinilchloridas
- LDPE – mažo tankio polietilenas

- PP – polipropilenas
- PS – polisterenas

Tyrimų metu naudotos plastiko granulės sudarytos iš mišraus plastiko. Jos buvo išgautos kaip atlieka iš nebenaudojamų elektros laidų.

Vanduo

Bandymams atlikti buvo naudojamas vanduo iš Kauno miesto vandentiekio sistemos. Šis vanduo priskiriamas geriamajam vandeniui, kuris nėra paveiktas cheminiais preparatais ar kitaip užterštas.

2.3. Tyrimo bandiniai

Eksperimento metu buvo siekiama nustatyti optimaliausia malto stiklo ir plastiko kieki betone, kuo mažiau įtakojant mechanines savybes. Šiam tikslui buvo paruošti aštuoni bandiniai su skirtingo plastiko ir malto stiklo kiekiais (3 lentelė). Iš paruoštų mišinių buvo suformuoti cilindro formos bandiniai kurie buvo sutankinti ir palikti kietėti vienai parai, po to panardinti į vandenį kuriame buvo laikomi 28 paras.

3 lentelė. Betono bandinių sudėtis.

Komponentas	Bandinio kodas							
	Ba	Pl30	Pl39	Pl46	St29	St39	St45	St34Pl10
Medžiaga	Ba	Pl30	Pl39	Pl46	St29	St39	St45	St34Pl10
Maltas stiklas (gr.)	-	-	-	-	800	1250	1500	1026
Plastikas (gr.)	-	460	625	750	-	-	-	152
Smėlis (gr.)	1900	1150	1012	750	1000	1013	750	683
Vanduo (ml.)	345	345	300	300	300	300	300	300
Cementas (gr.)	400	400	438	438	350	438	438	342

Nustatyti trinkelų atsparumą gniuždymui ir tankį buvo pagaminti 6 cilindrinės formos bandiniai. Smulkios stiklo duženos ir plastikas buvo sumaišomi su polimeriniais klijais ir supilti į formas. Bandiniai buvo palikti 7 dienas pilnai sukietėti, po 7 dienų buvo atliekami gniuždymo bandymai.

4 lentelė. Trinkelų bandinių sudėtis.

Bandinio kodas	TrSt1	TrSt2	TrSt3
Smulkios stiklo duženos (gr.)	175,7	178,1	172,3
Bandinio kodas	TrPl1	TrPl2	TrPl3
Plastikas (gr.)	68,3	61,7	67,3

3. Tyrimo metodas

Magistro baigiamajame darbe naudojamas taikomas tyrimo metodas. Reikia surasti tinkamiausią mišinį kuris turėtų mažiausia neigiama poveikį mechaninėms savybėms lyginant su kontroliniu bandiniu.

Kadangi iš atliekų perdirbimo aikštelės buvo gautos organinėmis medžiagomis užterštas stiklas, duženos buvo sumalamos naudojant rutulinį malūną kol tapo milteliais (15 pav.) kuriuos galima naudoti betono gamyboje. Trinkelėms pagaminti buvo naudojamos smulkios stiklo duženos. Stiklo duženos buvo sumalamos į smulkesnes duženas kaip parodyta (16 pav.), bet jos nebuvo trinamos į miltelius. Plastiko granulės taip pat gautos iš tos pačios perdirbimo aikštelės, jos išdžiovinamos ir iškart gali būti naudojamos betono gamyboje.



15 pav. Stiklo duženų smulkinimas.



16 pav. Atsijotas maltas stiklas.

Betoniniams bandiniams padaryti sausos medžiagos susveriamos naudojant kalibruotas svarstyklas ir maišomos, vanduo pilamas ne iš karto, o per du kartus maišymo eigoje. Maišoma kol gaunama vientisa klampi masė. Šis mišinys supilamas į cilindrinės formas ir sutankinamas. Šviežio betono mišinio formuoti bandiniai buvo parą laikomi ore, kad pakankamai sukietėtų ir juos būtų galima lengviau perkelti į vandenį, kur jie tęs rišimosi ir kietėjimo laikotarpį.



17 pav. Betoniniai bandiniai.

Suformuoti 8 bandinių variantai:

5 lentelė. Betono bandinių variantai.

Bandinio kodas	Sudėtis
Ba	11 % cementas, 60 % smėlis, 29 % vanduo.
Pl30	10 % cementas, 30 % plastikas, 34 % smėlis, 26 % vandens.
Pl39	10 % cementas, 39 % plastikas, 29 % smėlis, 22 % vandens.
Pl46	11 % cementas, 46 % plastikas, 21 % smėlis, 22% vandens.
St29	10 % cementas, 29 % maltas stiklas, 34 % smėlis, 27 % vandens.
St39	10 % cementas, 39 % maltas stiklas, 29 % smėlis, 22 % vandens.
St45	11 % cementas, 45 % maltas stiklas, 21 % smėlis, 23 % vandens.
St34Pl10	10 % cementas, 34 % maltas stiklas, 10 % plastikas, 21% smėlis, 25 % vandens

Praėjus 28 paroms buvo paimamas vienas bandinys iš kiekvienos variacijos ir atlikti gniuždymo bandymai ir nustatomas gniuždymo stipris. Taip pat buvo paimami penki bandiniai iš kiekvienos variacijos ir įdedami į šaldymo/atšildymo kamerą.

Padaryti trinkeles buvo naudojamas poliuretalinis rišiklis „Sponge city glue hardener WPCO1-A“ ir „Sponge city glue hardener WPCO1-B“ santykiu 85:100. Klėjai sumaišomi tarpusavyje ir supilami į indelį su smulkaus stiklo duženomis arba plastiko granulėmis kol gaunama vientisa masė (18 pav.).



18 pav. Smulkių stiklo duženų ir polimerinių klijų mišinys.

Paruoštas mišinys išliejamas į formą, ranka sutankinamas ir paliekamas sukietėti septynioms paroms. 19 pav. ir 20 pav. matomas gautas rezultatas.



20 pav. Trinkelė padaryta naudojant smulkaus stiklo duženas.



19 pav. Trinkelė padaryta naudojant plastiko granules.

Nustatyti šių trinkelių atsparumą gniuždymui ir tankį buvo padaryti 6 bandiniai (21 pav.). Visi bandiniai buvo padaryti naudojant tą patį metodą, kaip ir padarytos trinkelės. Trys bandiniai padaryti naudojant stiklo duženas, kiti trys – plastiką.



21 pav. Plastiko ir smulkiu stiklo duženų bandiniai.

6 lentelė. Suformuoti bandinių variantai.

Bandinio kodas	Sudėties aprašymas
TrSt1	Smulkios stiklo duženos
TrSt2	Smulkios stiklo duženos
TrSt3	Smulkios stiklo duženos
TrP11	Plastiko granulės
TrP12	Plastiko granulės
TrP13	Plastiko granulės

Praėjus 7 paroms buvo atlikti gniuždymo bandymai ir nustatomas gniuždymo stipris.

3.1. Fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo bandymai

3.1.1. Betoninių gaminių gniuždymo stiprio ir tankio nustatymo rezultatai

Pirmiausia buvo suformuoti betoniniai bandiniai. Bandiniai buvo palikti nudžiūti, tada paruošiamas bandinių paviršius juos nušlifuojant. Galiausiai bandiniai yra pasveriami su kalibruotomis svarstyklėmis ir išmatuojamas skersmuo, aukštis. Bandiniai perkeliama ant gniuždoma stiprį nustatančio mechaninio preso „Toni Technik“ ir sugniuždomi iki suyrimo kaip pavaizduota 22 pav. ir 23 pav.



22 pav. Betoninio bandinio atsparumo gniuždymui nustatymas.

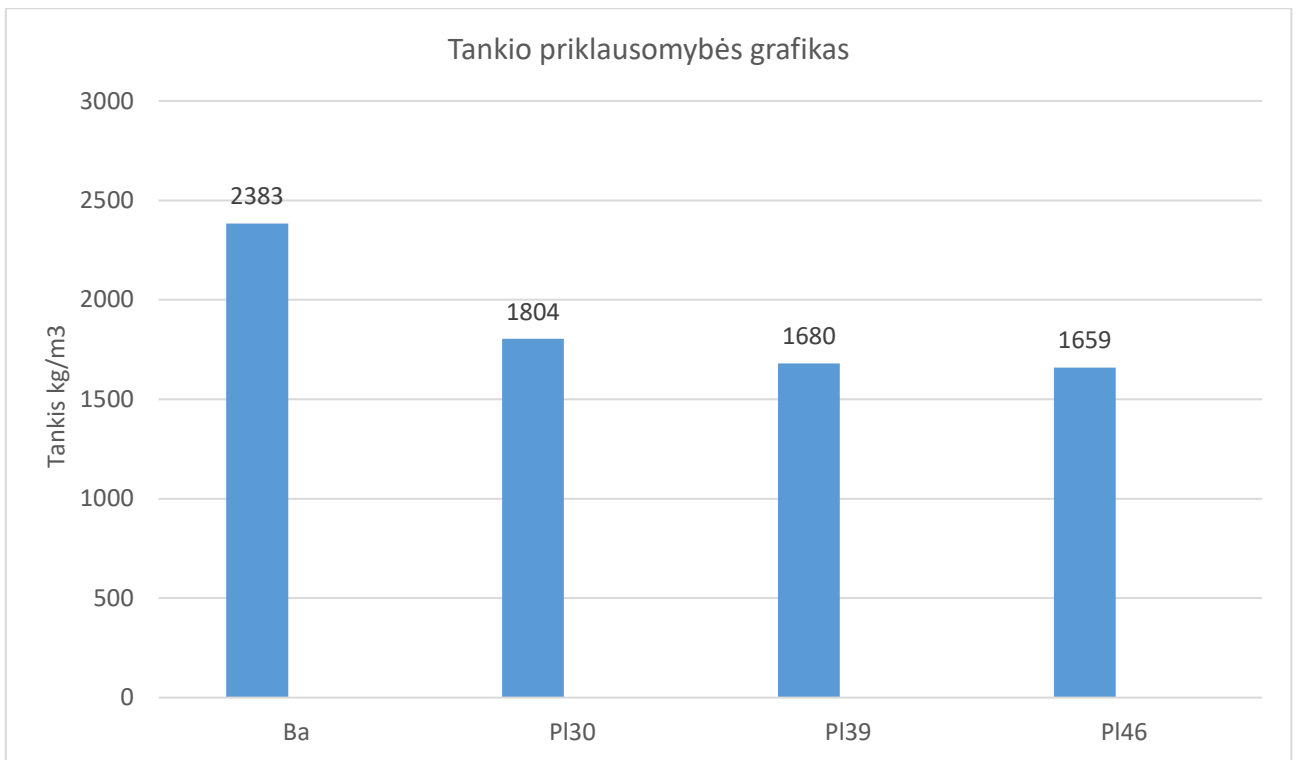


23 pav. Suiręs bandinys.

Gauti rezultatai pateikiami 7-9 lentelėse.

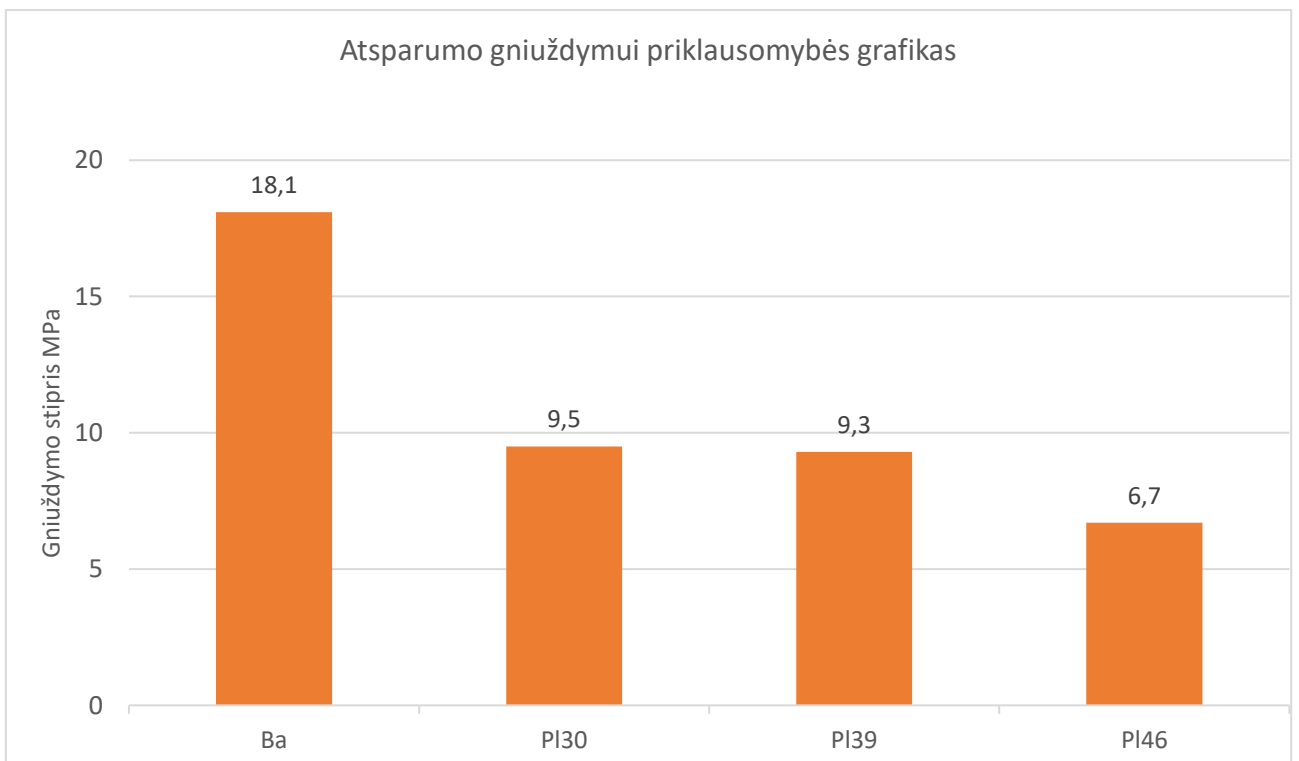
7 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, plastiko po 28 p. kietėjimo vandenyje.

Nr.	Bandinio kodas	Vidutinis tankis, kg/m ³	Stipris gniuždant, MPa
Po 28 p. kietėjimo vandenyje			
1	Ba	2383	18,1
2	Pl30	1804	9,5
3	Pl39	1680	9,3
4	Pl46	1659	6,7



24 pav. Betono tankio priklausomybė nuo plastiko kiekio po 28 p.

Pastebėjimai: Po 28 parų kietėjimo vandenyje bandinių tankis su plastikumu mažėja didinant jo kiekį. Tai įvyko nes dalis smėlio buvo pakeista plastikumu, kurio savasis tankis yra mažesnis. Mažėjant tankiui didėja poringumas, kas įtakoja ir atsparumą gniuždymui.

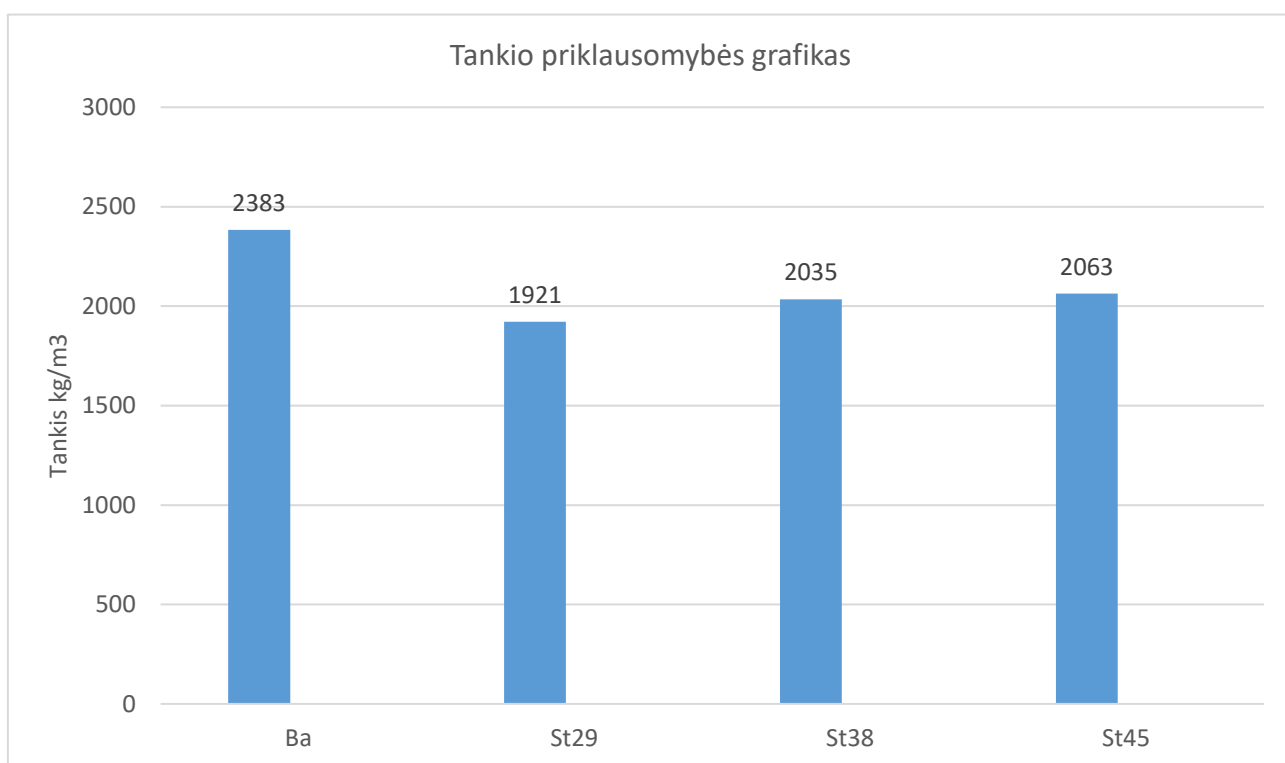


25 pav. Betono atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo plastiko kiekio po 28 p.

Pastebėjimai: Iš grafiko matome, kad didinat plastiko kieki betone atsparumas gniuždymui mažėja. Atsparumas gniuždymui tarp bandinių 30 % ir 39 % plastiko yra minimalus, tačiau bandinyje su 46 % plastiko pastebimas ryškus sumažėjimas atsparumui gniuždam.

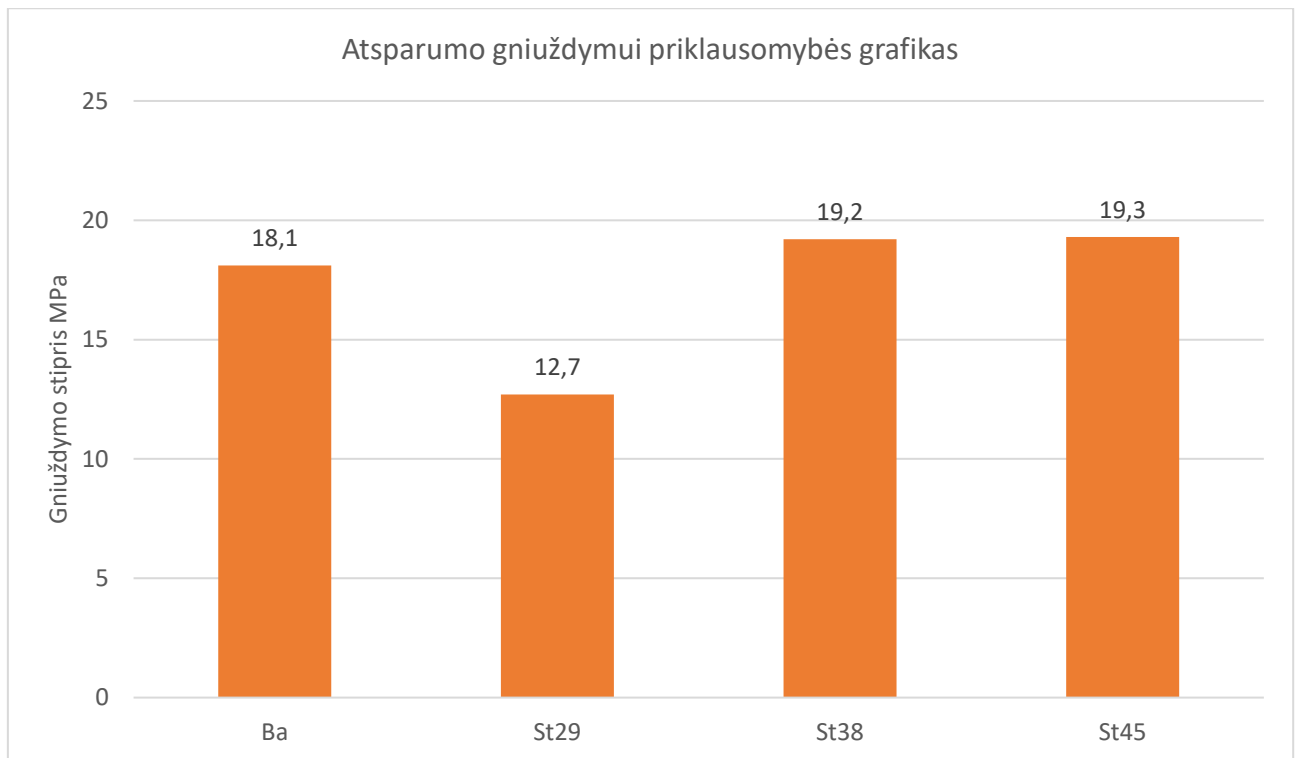
8 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, malto stiklo po 28 p. kietėjimo vandenyje.

Nr.	Bandinio kodas	Vidutinis tankis, kg/m ³	Stipris gniuždam, MPa
Po 28 p. kietėjimo vandenyje			
1	Ba	2383	18,1
2	St29	1921	12,7
3	St39	2035	19,2
4	St45	2063	19,3



26 pav. Betono tankio priklausomybė nuo malto stiklo kiekio po 28 p.

Pastebėjimai: Po 28 parų kietėjimo vandenyje bandinių tankis su maltu stiklu sumažėja, didinant jo kiekį tankis išlieka pastovus. Tai įvyko, nes dalis smėlio buvo pakeista maltu stiklu, kurio savasis tankis yra mažesnis.

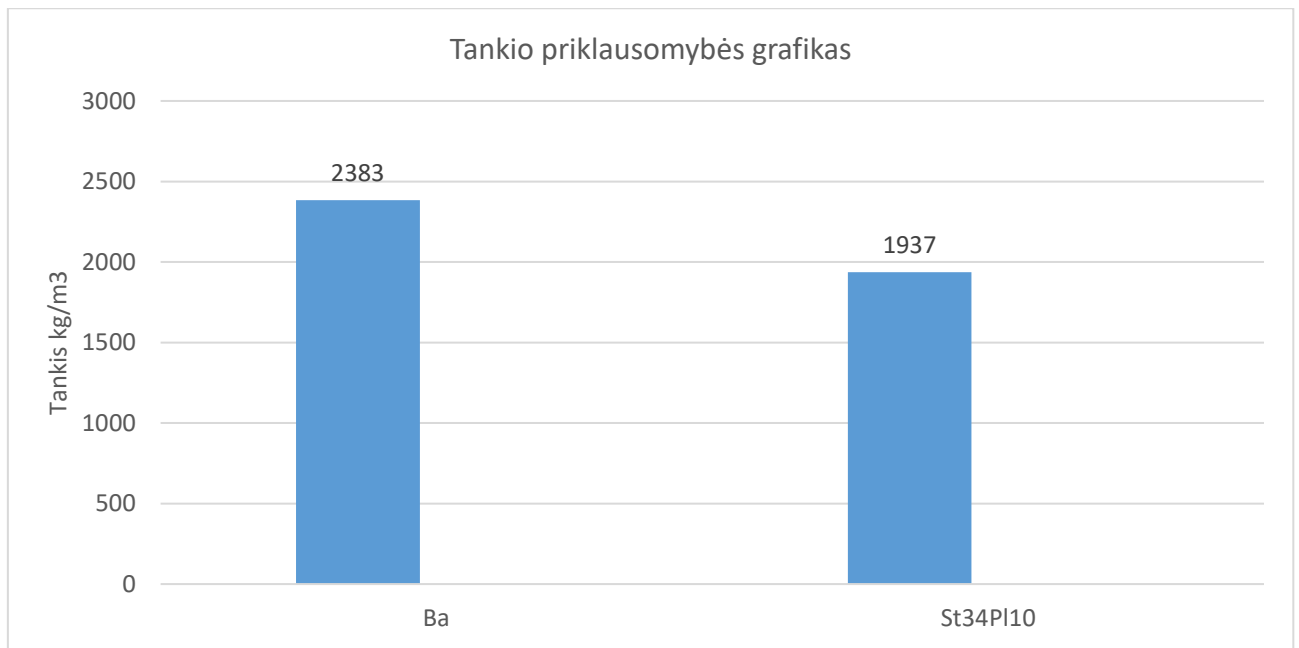


27 pav. Betono atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo malto stiklo kiekio po 28 p.

Pastebėjimai: Iš rezultatų matyti, kad atsparumas gniuždymui su 38 % ir 45 % stiklo padidėjo per 1 MPa. Bandinyje kur buvo naudota 29 % stiklo atsparumas gniuždymui sumažėjo, tai galėjo įvykti dėl pačio bandinio paviršiaus nelygumu, kas įtakojo rezultatus. Kadangi didinat stiklo kieki atsparumas gniuždymui didėja vadinasi susidarė pucolaninė reakcija.

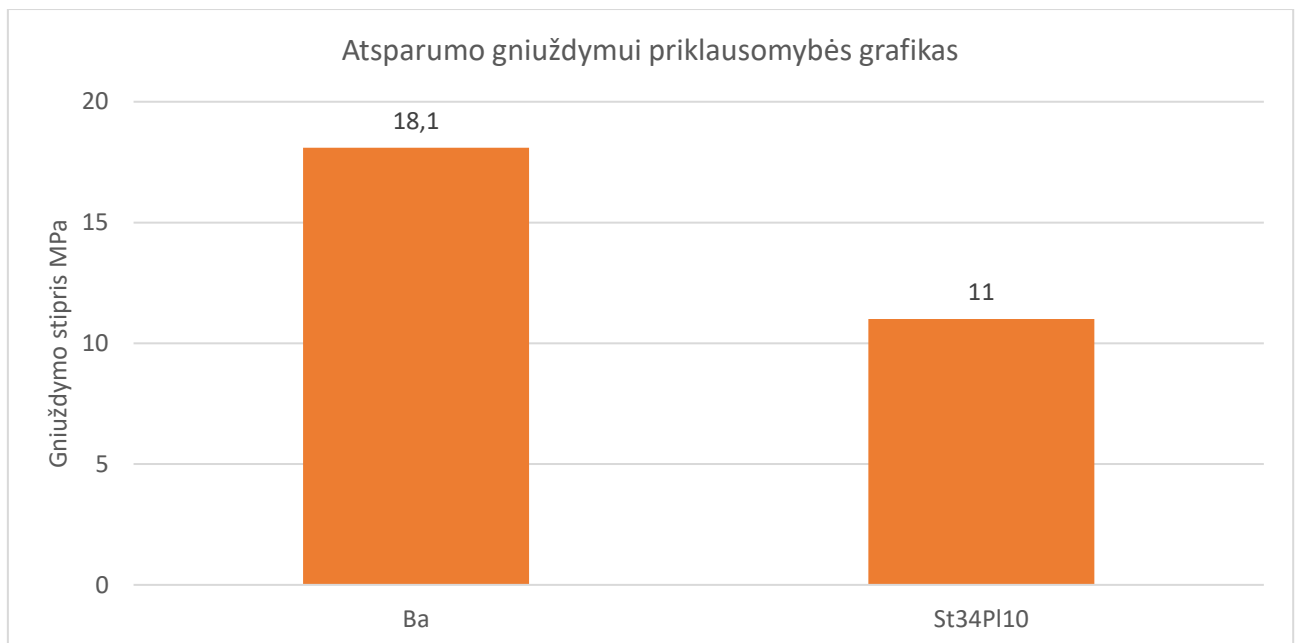
9 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, malto stiklo ir plastiko po 28 p. kietėjimo vandenyje

Nr.	Bandinio kodas	Vidutinis tankis, kg/m ³	Stipris gniuždant, MPa
Po 28 p. kietėjimo vandenyje			
1	Ba	2383	18,1
2	St34P110	1937	11



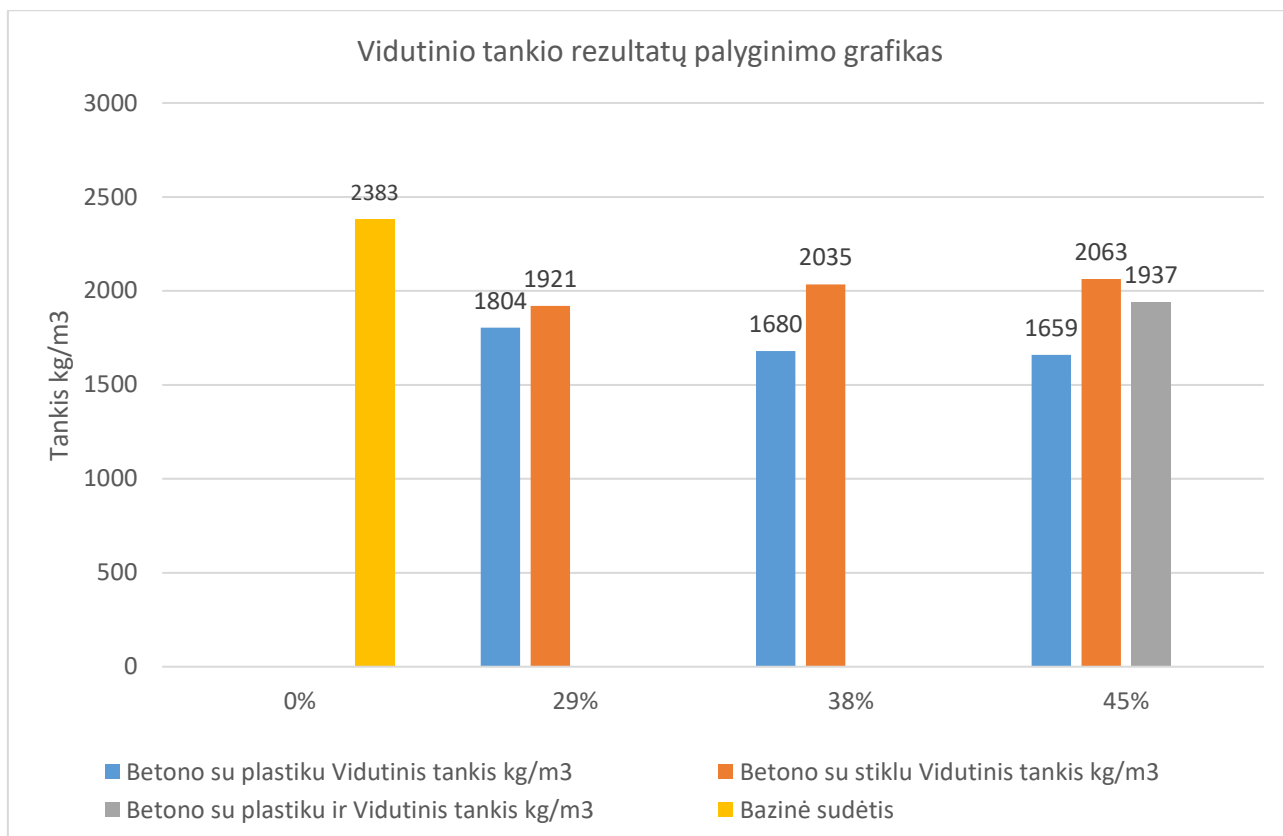
28 pav. Betono tankio priklausomybė nuo malto stiklo ir plastiko kiekio po 28 p.

Pastebėjimai: Bandinių su maltu stiklu ir plastiku tankis taip pat sumažėja, kaip ir bandiniuose kuriuose maltas stiklas ir plastikas buvo dedamas atskirai. Priežastis išlieka tokia pati, didesnio tankio medžiaga (smėlis) buvo pakeistas mažesnio tankio medžiagomis (maltas stiklas, plastikas).



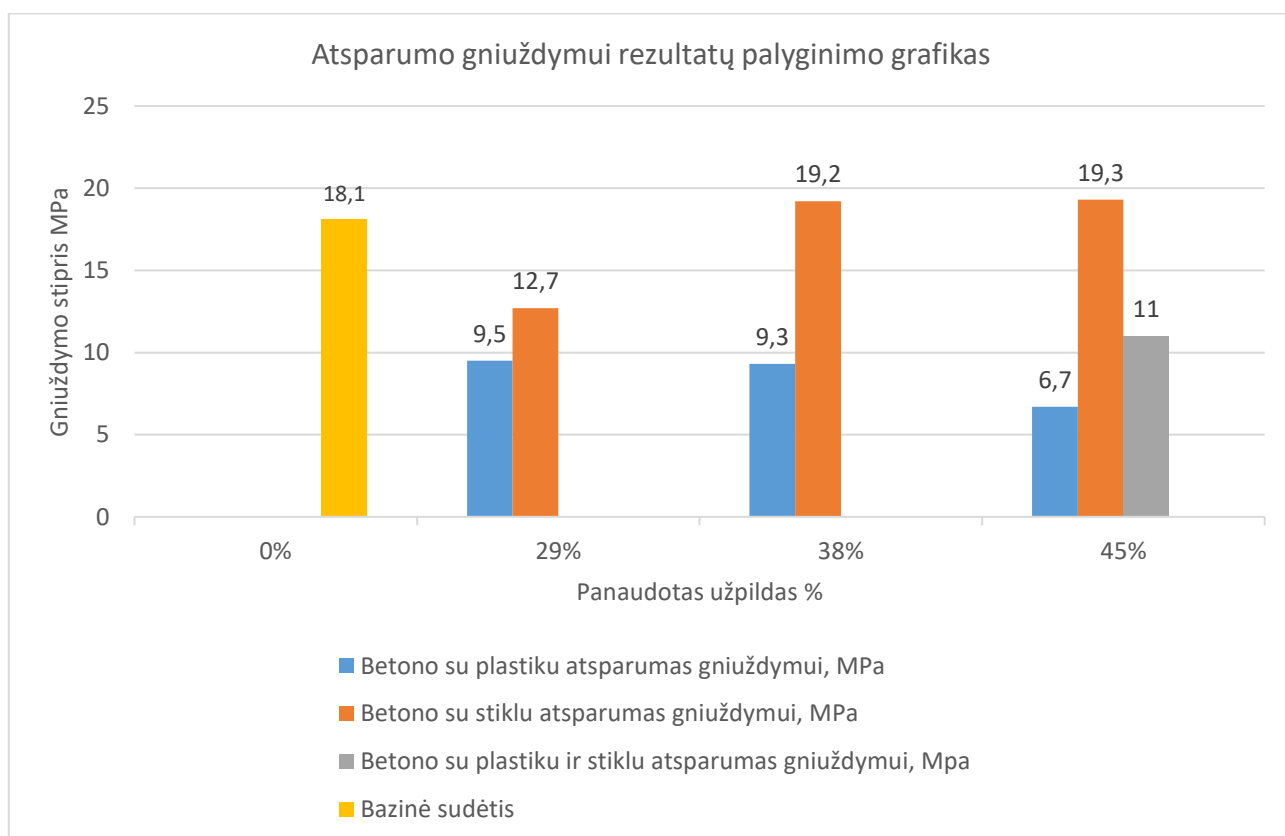
29 pav. Betono atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo plastiko ir malto stiklo kiekio po 28 p.

Pastebėjimai: Iš rezultatu matyti, kad naudojant plastika ir stiklą kaip dalini užpildą atsparumas gniuždymui sumažėja 7 MPa. Nors bandinyje ir buvo naudota 34 % Malto stiklo atsparumas gniuždymui vis tiek smarkiai krito, tačiau lyginant bandinius kuriuose buvo naudotas tik plastikas atsparumas padidėjo 1,5 MPa.



30 pav. Vidutinio tankio nustatymo rezultatai.

Pastebėjimai: Palyginus visus bandymo rezultatus matome, kad visu bandinių tankis sumažėjo lyginant su referenciniu bandiniu. Didžiausias gautas tankis gautas naudojant 45 % malto stiklo.



31 pav. Atsparumo gniuždymui bandymo rezultatai.

Pastebėjimai: Palyginus visus gautus rezultatus matyti, kad didžiausias atsparumas gniuždymui gautas naudojant 45 % malto stiklo – 19,3 MPa. Kuris yra 1,2 MPa didesnis už referencinį bandinį. Kadangi bandinio St29 rezultatas kelia abejonių dėl patikimumo bus sukurtas naujas bandinys pagal tą patį mišinį ir gniuždymo stipris bus nustatytas iš naujo.

Iš rezultatų matyti, kad visuose bandiniuose kuriuose buvo naudojamas stiklas arba plastikas gaunamas mažesnis tankis negu kontrolinio bandinio.

Atsparumas gniuždymui bandiniuose naudojant plastiko granules stipriai sumažėja lyginant su kontroliniu bandiniu ir vis mažėja didinat plastiko kiekį mišinyje. Priešingai bandiniuose kuriuose buvo naudojamas stiklas, atsparumas gniuždymui nežymiai padidėjo ir liko pastovus nepaisant stiklo kiekio bandinyje.

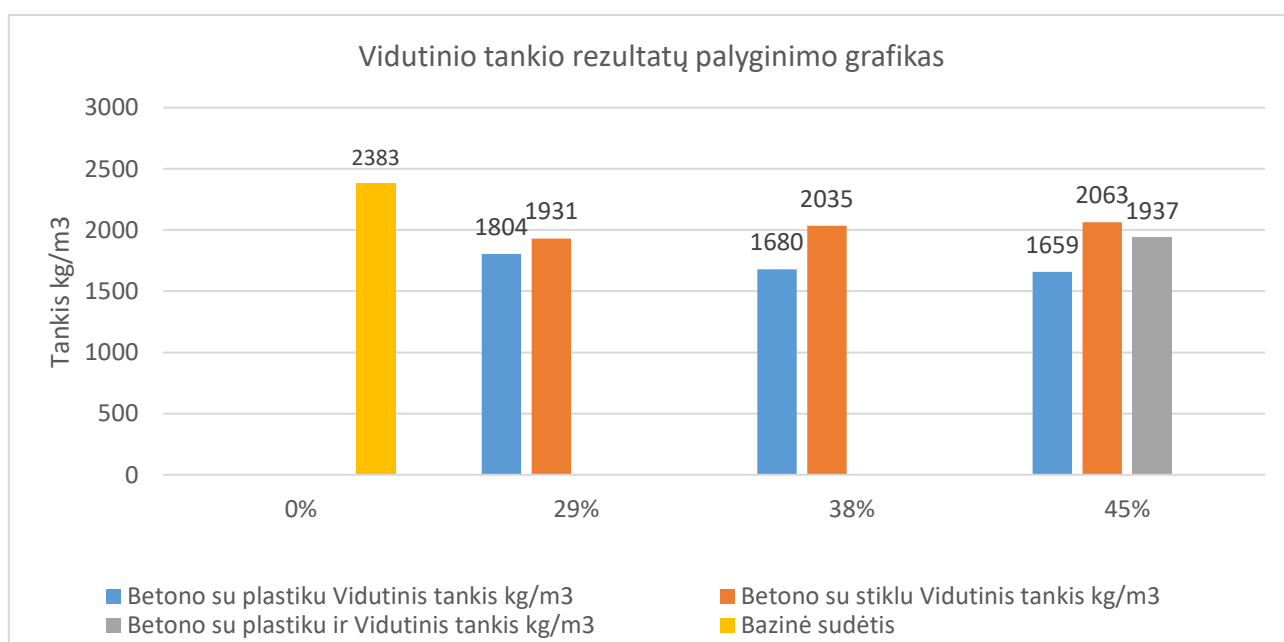
3.1.2. Betoninio bandinio St29 pakartotiniai gniuždymo stiprio ir tankio nustatymo rezultatai

Pakartotiniam bandymui buvo sukurtas bandinys St29p. Bandinys St29p buvo pagamintas naudojant tą patį mišinį ir metodiką kaip pirminis variantas – St29. Rezultatai palyginimui pateikiami 10 lentelėje.

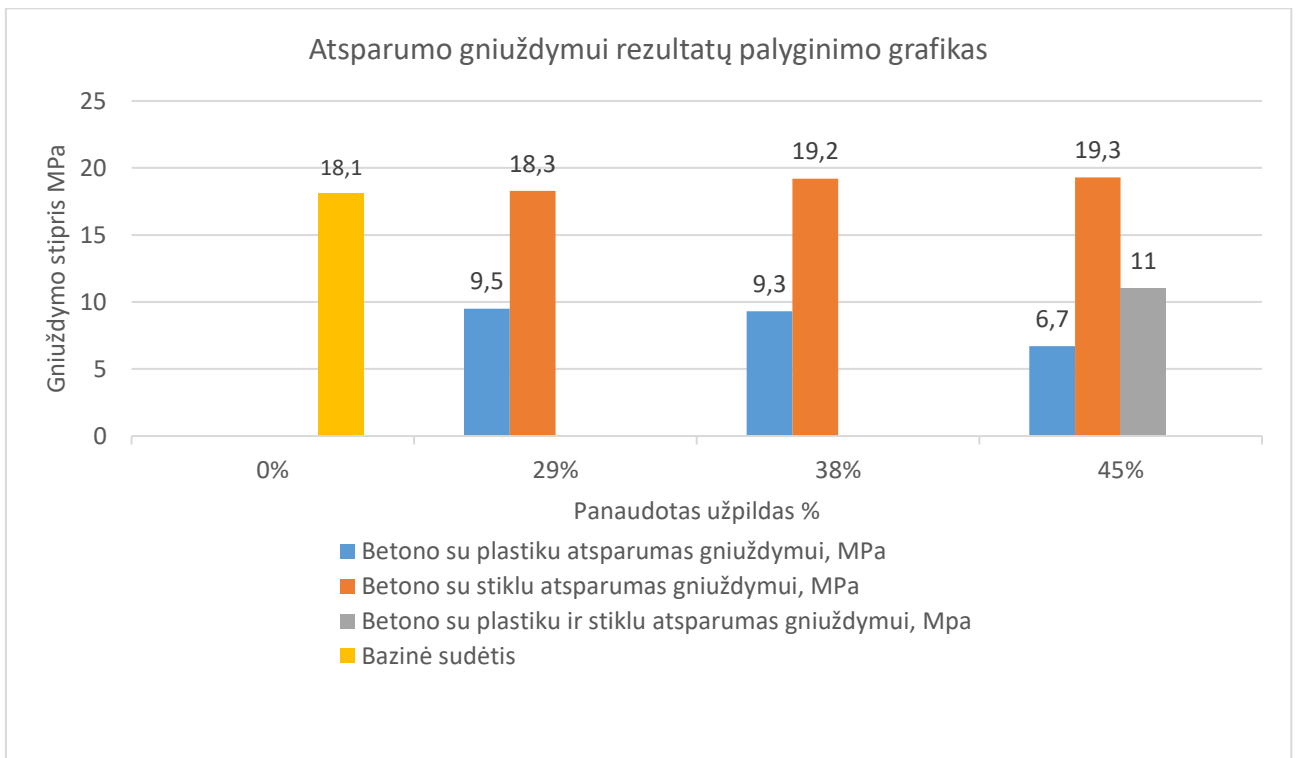
10 lentelė. Pakartotinio gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, malto stiklo po 28 p. kietėjimo vandenyje.

Nr.	Bandinio kodas	Vidutinis tankis, kg/m ³	Stipris gniuždant, MPa
Po 28 p. kietėjimo vandenyje			
1	Ba	2383	18,1
2	St29	1921	12,7
3	St29p	1932	18,3

Kaip matyti iš pakartotinio atsparumo gniuždymui rezultatų bandinio St29p stipris gniuždant padidėja 5,6 MPa nors tankis išlieka panašus. Iš šio rezultato galime teikti, kad bandinys St29 buvo brokuotas ir jo rezultatas negali būti vertinamas. Atnaujintas atsparumo gniuždymui ir vid. tankio rezultatų grafikas pateikiamas 32 – 33 pav.



32 pav. Atnaujinti vidutinio tankio nustatymo rezultatai.



33 pav. Atnaujinti atsparumo gniuždymui bandymo rezultatai.

Įvertinus visus bandymo rezultatus kaip racionaliausias mišinys pasirinktas St45. Pasirinkimą lėmė didžiausias gautas gniuždymo stipris ir didžiausias panaudotų stiklo atliekų kiekis. Pagal šį mišinį buvo pagaminta trinkelė naudojant tą pačią formą kuri nurodyta 20 pav. Pagaminta trinkelė pateikiama 34 pav.



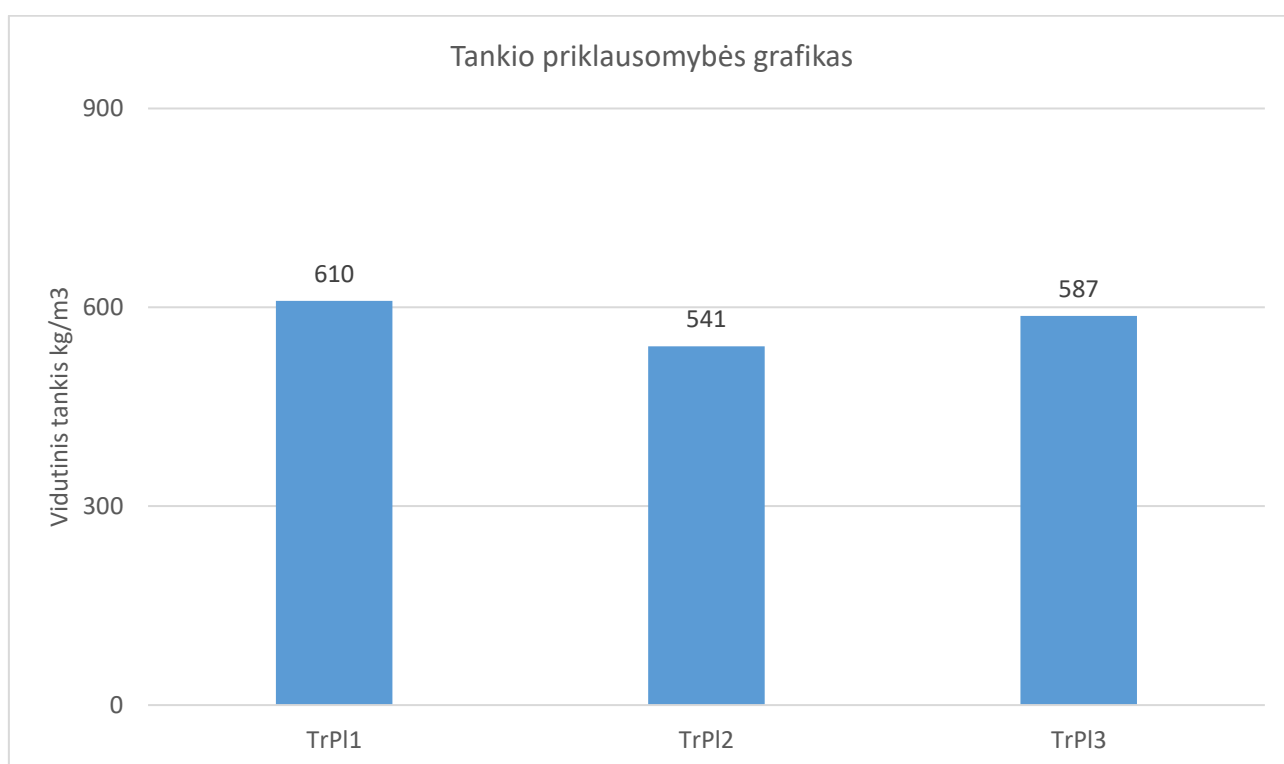
34 pav. Pagaminta trinkelė naudojant St45 mišinį.

3.1.3. Trinkelių naudojant plastika ir malta stiklą atsparumo gniuždymui ir tankio nustatymo rezultatai

Bandiniai buvo padaryti ta pačia metodika kaip buvo daromos trinkelės. Trys bandiniai buvo padaryti naudojant plastiko granules, kiti trys bandiniai – naudojant smulkes stiklo duženas. Bandiniai sumaišomi su polimeriniais klijais santykiu 85:100 ir mišinys išliejamas į cilindrinę formą ir ranka sutankinami. Po septinių parų bandiniai išimami iš savo formų, paruošiami jų paviršiai nupjaunant galus, kad jie būtų lygūs. Išmatuojamas bandinių aukštis ir pasveriamas svoris. Bandiniai perkeliama ant gniuždomą stiprį nustatančio aparato ir sugniuždomi iki suyrimo.

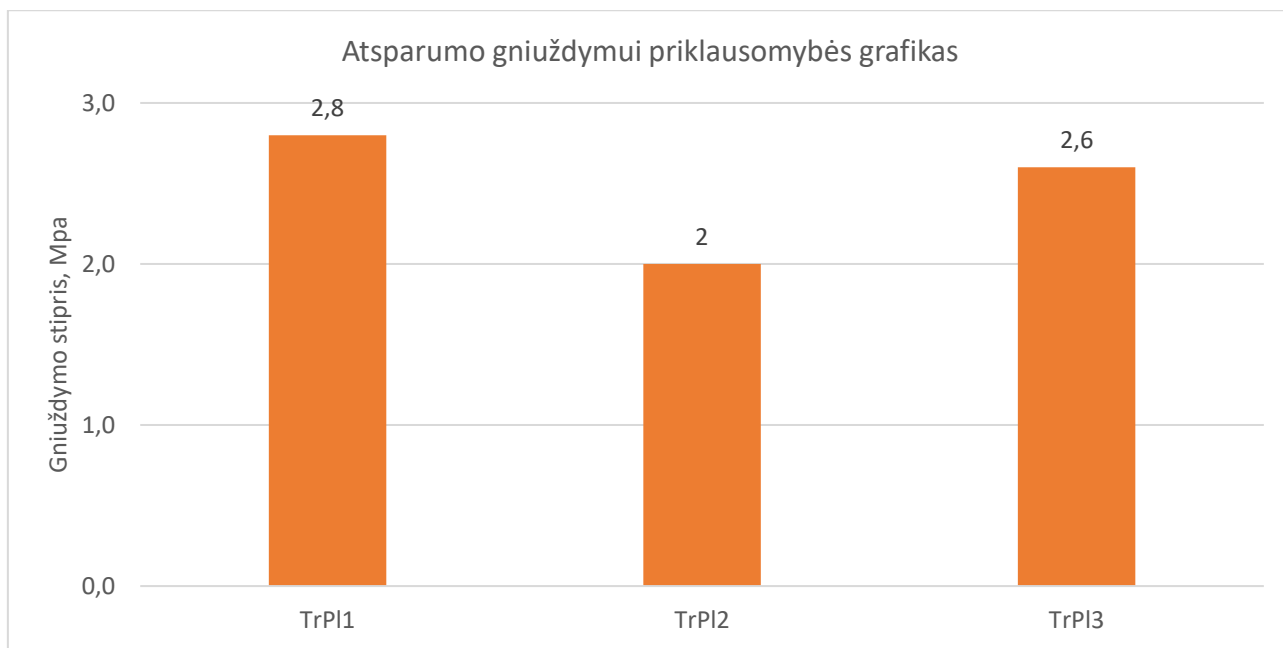
11 lentelė. Gniuždomo stiprio ir tankio bandymo rezultatai, plastiko.

Nr.	Bandinio kodas	Vidutinis tankis, kg/m ³	Stipris gniuždant, MPa
Po 28 p. kietėjimo vandenyje			
1	TrPI1	610	2,8
2	TrPI2	541	2
3	TrPI3	587	2,6



35 pav. Trinkelės tankio priklausomybė nuo plastiko kiekio po 7p.

Pastebėjimai: Vidutinis bandinių tankis su plastiku 579 kg/m³

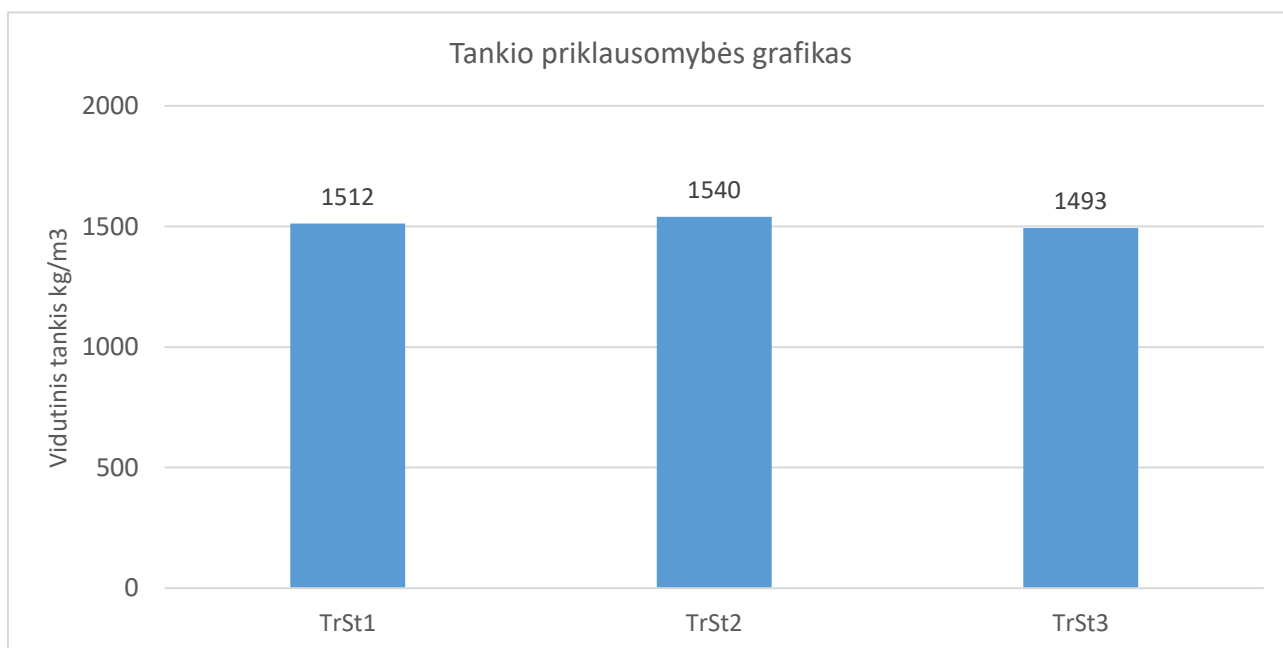


36 pav. Trinkelės atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo plastiko kiekio po 7 p.

Pastebėjimai: Iš rezultatu matyti, kad didžiausia gniuždoma jėga gauta pirmame variante 2,8 MPa. Vidutinis atsparumas gniuždymui 2,48 MPa.

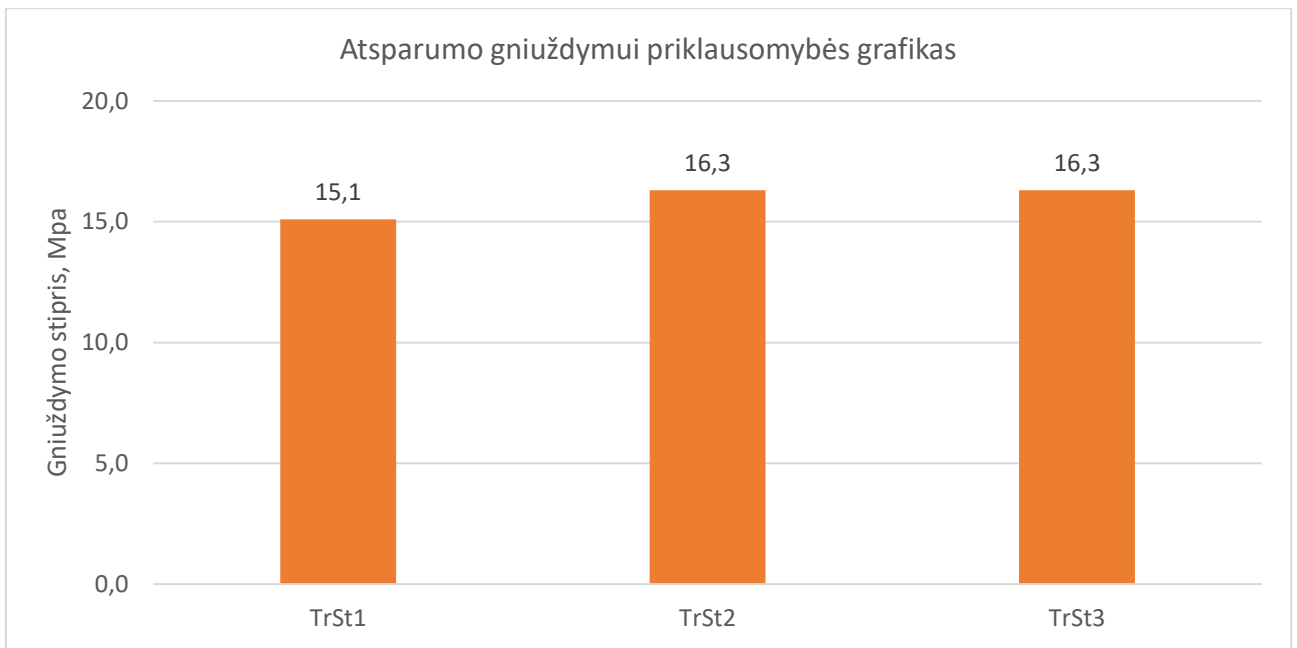
12 lentelė. Gniuždomo stiprio bandymo rezultatai, smulkios stiklo duženos.

Nr.	Bandinio kodas	Vidutinis tankis, kg/m ³	Stipris gniuždant, MPa
Po 28 p. kietėjimo vandenyje			
1	TrSt1	1512	15,1
2	TrSt2	1540	16,3
3	TrSt3	1493	16,3



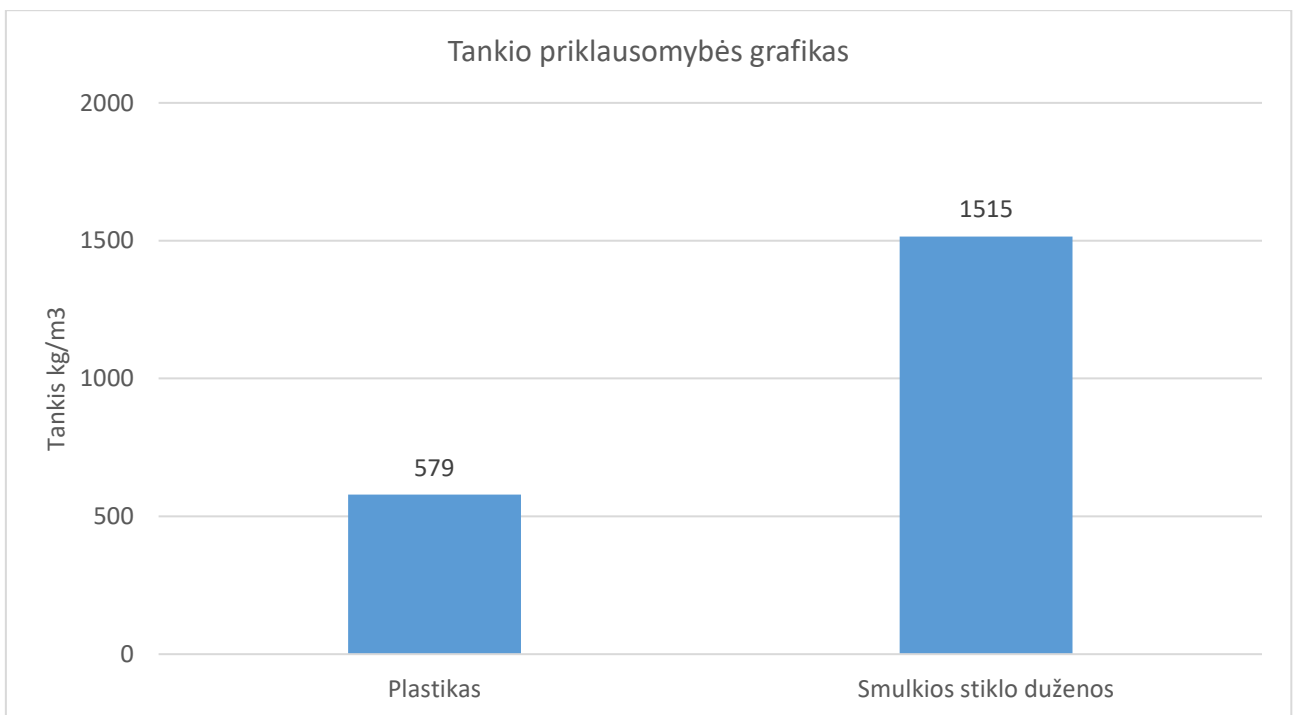
37 pav. Trinkelės tankio priklausomybė nuo smulkių stiklo duženų kiekio.

Pastebėjimai: Vidutinis bandinių tankis su smulkiomis stiklo duženom 1515 kg/m³



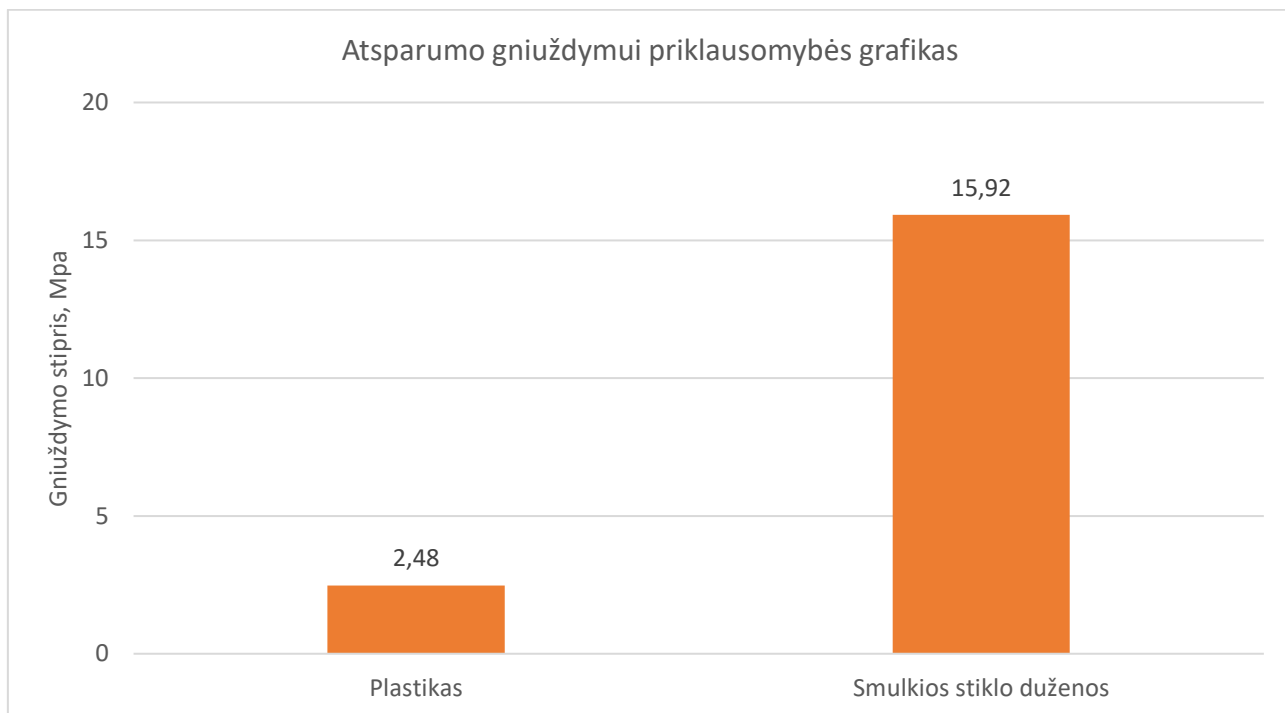
38 pav. Trinkelės atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo smulkinto stiklo kiekio po 7 p.

Pastebėjimai: Iš rezultatu matyti, kad didžiausia gniuždoma jėga gauta antrame ir trečiame variantuose 16,3 MPa. Vidutinis atsparumas gniuždymui 15,92 MPa.



39 pav. Trinkelių bandinių vid. tankio priklausomybė.

Pastebėjimai: Palyginus iš stiklo ir plastiko padarytus trinkelį vidutinius tankio rezultatus matome, kad trinkelį kurios buvo padarytos iš smulkiu stiklo duženų tankis yra ženkliai didesnis, apie 2,6 karto.

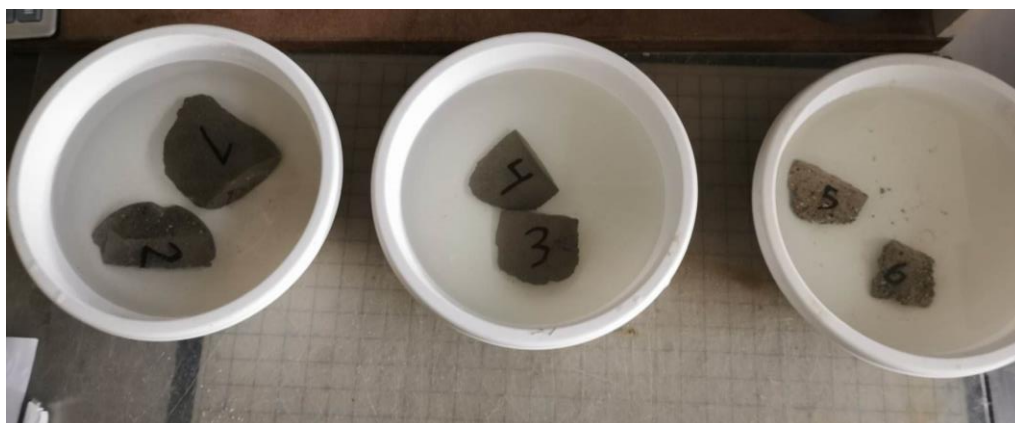


40 pav. Trinkelės vid. atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo smulkinto stiklo kiekio po 7 p.

Pastebėjimai: Palyginus iš stiklo ir plastiko padarytus trinkelį atsparumo gniuždymui vidutinius bandymo rezultatus matome, kad trinkelį kurios buvo padarytos iš smulkių stiklo duženų atsparumas yra ženkliai didesnis, apie 6,5 karto.

3.2. Betono atsparumo šalčiui prognozavimas

Betono atsparumo šalčio poveikiui prognozė atlikta, pagal GOST 12730.4-78 standartą. Pagal šį standartą geriausiai išsilaikę betono bandiniai (Pl30, St29 ir St34Pl10) po šildymo/šaldymo bandymo buvo suskaldyti ir nuo kiekvieno bandinio buvo paimami du didžiausi atskilę gabalai. Bandinių gabalai tada buvo pasveriami, po to pamerkami į vandenį (kaip parodyta 41 pav.) ir sveriami ore po 15 min., 60 min., 24 val., ir 48 val., prieš sveriant bandiniai nuvalomi drėgnu skudurėliu. Po 48 valandų bandiniai sveriami ne tik ore, bet ir vandenyje.



41 pav. Atsparumo šalčiui prognozavimo bandymas.

Apskaičiuojamas betono atsparumo šalčiui kriterijus K_s , Pagal kurį galima prognozuoti bandinio atsparumą šalčiui. K_s apskaičiuojama pagal formulę:

$$K_s = \frac{P_u}{0,09 \cdot P_a}; \quad (3.3.1)$$

čia:

K_s – Atsparumo šalčiui kriterijus;

P_u – Uždaras betono poringumas (oro kiekis betone), %;

P_a – Atviras (kapiliarinis) betono poringumas, %.

Pagal šį kriterijų, atsparus šalčiui betonas bus tas, kuriame rezervinių porų tūris bus didesnis už vandens, esančio betono porose, tūrio prieaugį, virstant jam ledu. Vandens įgeriamumo nustatymo metu gauti rezultatai pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. Betoninių bandinių vandens įgėris.

Bandinio kodas	Sauso bandinio masė, g.	Po 15 min, g.	Po 60 min, g.	Po 24 h, g.	Po 48h, g.	Betono masė vandenyje, g	Wp, %	Vidurkis, %
St34PI10.1	229,14	231,72	237,32	239,8	241,6	135,2	5,44	5,27
St34PI10.2	74,08	75,89	76,31	76,43	77,86	43,75	5,10	
St29.3	88,87	90,30	90,60	91,51	92,91	52,35	4,55	4,47
St29.4	75,60	76,67	77,14	77,79	78,92	44,70	4,39	
PI30.5	45,58	47,81	47,81	48,37	49,5	27,02	8,60	8,49
PI30.6	36,78	38,28	38,28	39,04	39,86	21,84	8,37	

Iš vandens įgėrimo bandymo gautų rezultatų apskaičiuojami betono bandinių bendrieji, atvirieji, uždarieji poringumai ir kiti dydžiai, kurie reikalingi prognozuoti betono atsparumą šalčiui – ciklais. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 14 lentelėje.

14 lentelė. Betoninių bandinių poringumo parametrai.

Bandinio kodas	Bendras poringumas, %	Atviras poringumas, %	Uždaras poringumas, %	Atsparumo šalčiui kriterijus, Kš	Prognozuojamas atsparumas šalčiui, ciklais
St34PI10	19,60	11,71	7,89	7,49	1000
St29	18,21	9,96	8,25	9,20	1100
PI30	24,37	17,44	6,94	4,42	650

Iš rezultatu galime prognozuoti, kad bandiniai bus atsparūs šaldymo/šildymo ciklams. Didžiausia K_s reikšmę turėjo bandiniai kuriuose buvo naudojamas stiklas, o mažiausia – bandiniai su plastikumu. Šie rezultatai patvirtina gautus atsparumo šalčiui masės nuostolius ir paaiškina įrimus. Bandiniuose su plastikumu matomas didžiausias bendras poringumas kurio didžioji dalis yra atviras poringumas, todėl daugiau vandens prasiskverbia pro kapiliarus ir ardo bandinį. Bandiniuose su stiklu atviras ir uždaras

poringumai yra panašus, kas leidžia prasiskverbusiam vandeniui plėstis ir taip neardyti bandinio iš vidaus.

3.3. Betono atsparumo šalčiui nustatymas

Betoninių bandinių atsparumas šalčiui vertinamas pagal LST CEN/TS 12390-9:2006 „Atsparumas cikliškam užšalimui ir atitirpimui. Atskilinėjimas“ [36] standartą. Iš likusių bandinių, kurie aprašomi 10 lentelėje, buvo pasirinkti geriausiai atrodantys bandiniai ir pasveriami kalibruotomis svarstyklėmis. Pasverti bandiniai tada patalpinami į indą ir apsemti 3 % NaCl triple, 1/3 savo aukščio (43 pav.). Visi bandiniai įdedami į šaldymo/šildymo įrenginį, kadangi įrenginys atlieka viena ciklą per para bandiniai buvo tikrinami viena karta per savaitę ar nepradeda darytis įrymo procesai.

15 lentelė. Šildymo/šaldymo betoniniai bandiniai.

Bandinio kodas	Sudėtis
PI30	10 % cementas, 30 % plastikas, 34 % smėlis, 26 % vandens.
PI39	10 % cementas, 39 % plastikas, 29 % smėlis, 22 % vandens.
PI46	11 % cementas, 46 % plastikas, 21 % smėlis, 22% vandens.
St39	10 % cementas, 39 % maltas stiklas, 29 % smėlis, 22 % vandens.
St45	11 % cementas, 45 % maltas stiklas, 21 % smėlis, 23 % vandens.
St34PI10	10 % cementas, 34 % maltas stiklas, 10 % plastikas, 21% smėlis, 25 % vandens



42 pav. Bandiniai paruošti šildymo/šaldymo bandymui.

Po pirmos savaitės (7 ciklų) nebuvo pastebėti pakitimai nei plastiko, nei stiklo bandiniuose. Pirmi požymiai pasirodė po 21 ciklo bandiniuose kuriuose buvo naudojamos plastiko granulės (44 pav.), tačiau matyti tik išoriniai pažeidimai, kiti bandiniai liko nepakitę. Po 28 ciklų didesnių nutrupėjimų

bandiniuose su plastiku nebuvo pastebėti. Pirmi įrimo požymiai bandiniuose kuriuose buvo naudojamas stiklas pastebėti po 50 ciklų. Pradėjo matytis nuskylimai bandinio kraštuose, tačiau didesnių pažeidimų nebuvo matyti. Plastiko bandiniuose ir toliau palaiapsniui buvo galima matyti įrymą. Bandiniuose kuriuose buvo naudojamas stiklas ir plastikas jokių destruktinių požymių nebuvo pastebėta po 50 ciklų.



43 pav. Betoniniai su plastiku po 21 ciklo.

Praėjus 90 ciklų bandymas buvo nutrauktas pasitarus magistro vadovu ir bandiniai buvo išimti iš šildymo/šaldymo įrenginio. Bandiniuose P130, P139 ir P146 buvo labiausiai paveikti įrymo, paviršius ypač per vidurį buvo stipriai pažeistas ir trupėjo švelniai perbraukus su ranka (žr. 45 pav.). Bandinių St39 ir St45 buvo nutrupėję kraštai ir buvo galima matyti nežymūs paviršiaus įrymą (žr. 46 pav.). Mažiausiai šildymo/šaldymo paveikti bandiniai buvo St34P110, po 90 ciklų įrymo požymiai matėsi tik antrajame bandinio variante, buvo matyti paviršiaus nutrupėjimai. Kituose bandinių variantuose nebuvo pastebėti jokie įrymo požymiai, šoninis paviršius išliko lygus ir kampai nenutrupėjo (žr. 47 pav.). Antrojo bandinio pasirodžiusi įrymą galėjo lempiti mažesnis tankis lyginant su kitais variantais. Visi bandinių variantai matomi 48 pav.



44 pav. Bandiniai P130, P139 ir P146 po 90 ciklų.



45 pav. Bandiniai St39 ir St45 po 90 ciklų.



46 pav. Bandiniai St34P110, po 90 ciklų.



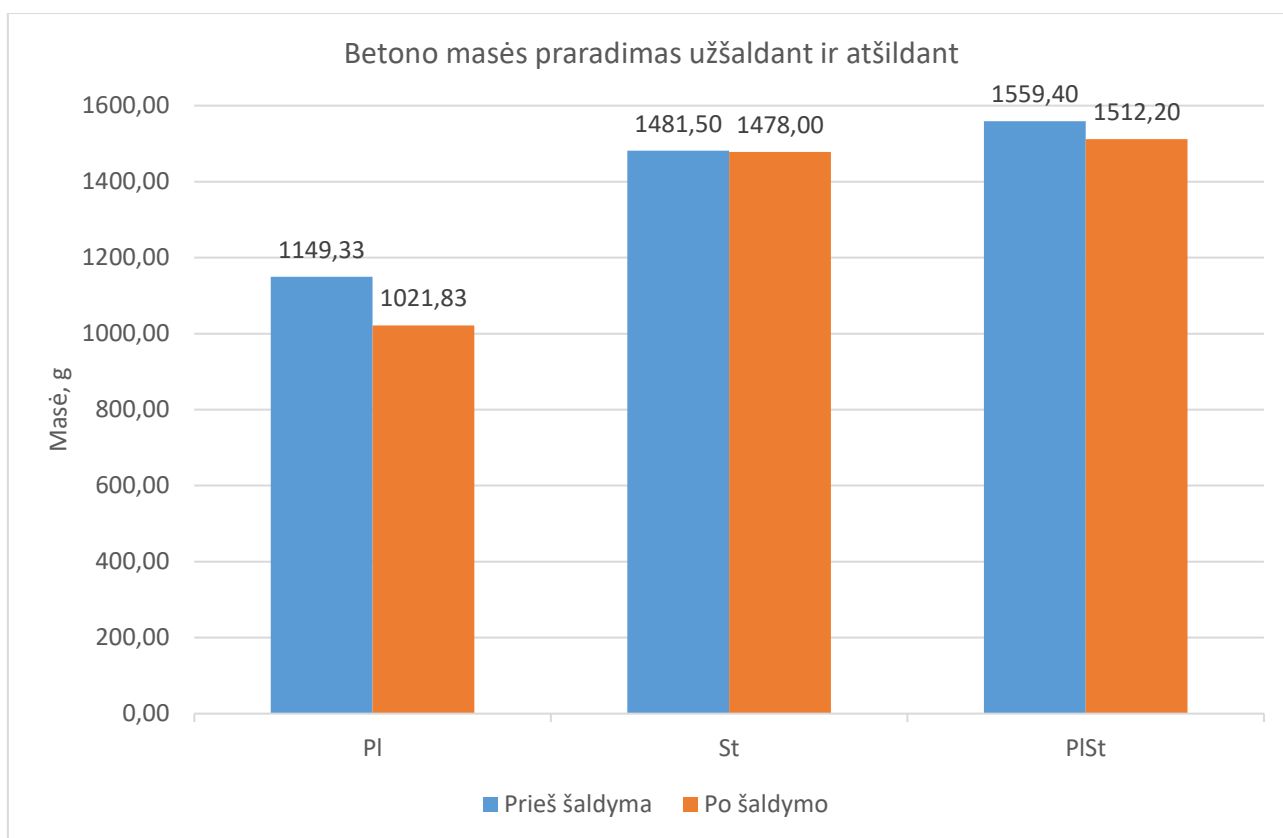
47 pav. Betoniniai bandiniai po 90 šildymo/šaldymo ciklų.

Išimti iš šaldymo/šildymo įrenginio bandiniai buvo palikti parai nudžiūti. Po paros, nuo bandinių šonų su ranka buvo nuvaloma nenutrupėjusi, bet silpnai besilaikanti medžiaga ir bandiniai pasveriami, kad būtų galima įvertinti masės nuostolius. Masės nuostolių rezultatai pateikiami 16 lentelėje.

16 lentelė. Masės nuostolių rezultatai.

Bandinio kodas	Masė prieš šildymas/šaldymą, g	Masė po šildymas/šaldymą, g	Masės nuostolis, g	Masės nuostolis, %
PI30	1141	1007	134	11,74
PI39	1171	1047,5	123,5	10,55
PI46	1136	1011	125	11,00
St39	1489,5	1487	2,5	0,17
St45	1473,5	1469	4,5	0,31
St34PI10.1	1704,3	1647	57,3	3,36
St34PI10.2	1266,5	1231	35,5	2,8
St34PI10.3	1707,4	1658,6	48,8	2,86

Iš rezultatų matyti, kad didžiausi masės nuostoliai po šildymo/šaldymo bandymo, buvo bandiniuose su plastikumu (vid. = 11,10 %), o mažiausi bandiniuose su stiklu (vid. = 0,24 %). Galime pastebėti, kad bandinių naudojant tapačia medžiaga kaip dalinį užpildą (stiklą, plastiką ar abu kartu), masės nuostoliai procentais yra labai panašūs nepriklausomai nuo jų panaudoto kiekio. Kaip ir minėta literatūros apžvalgoje bandiniuose su plastikumu atsiranda didesnis poringumas ir pro esamus kapiliarus vanduo lengviau prasiskverbia į bandinį kuris užšaldomas ir atšildomas jį ardo. Vidutiniai masės nuostoliai, kiekvieno bandinio, naudojant skirtinga užpildą, pateikiami 49 pav.



48 pav. Betoninių bandinių naudojant skirtinga dalinį užpildą masės praradimas užšaldant ir atšildant.

Išvados

1. Naudojant malto stiklo atliekas kaip dalinį užpildą betone, atsparumas gniuždymui padidėja lyginant su referenciniu bandiniu. Bandinyje St45, kuriame buvo naudojamas 45 % stiklo, gautas didžiausias gniuždymo stipris – 19,3 MPa (6,6 % prieaugis), tankis – 2063 kg/m³.
2. Naudojant plastiko granules kaip dalinį užpildą betone, atsparumas gniuždymui sumažėja lyginant su referenciniu bandiniu. Bandiniuose Pl30 ir Pl39 gautas panašus gniuždymo stipris (9,5 MPa (47,5 % sumažėjimas) ir 9,3 MPa (48,2 % sumažėjimas)), tačiau padidinus plastiko kieki betone iki 46 % gniuždymo stipris sumažėja iki 6,5 MPa (64,1 % sumažėjimas).
3. Naudojant plastiko ir stiklo atliekas kaip dalinį užpildą betone, atsparumas gniuždymui sumažėja lyginant su referenciniu bandiniu. Bandinyje St34Pl10 kuriame buvo naudota 34 % stiklo ir 10 % plastiko gniuždymo stipris – 11 MPa (39,2 % sumažėjimas), tankis – 1937 kg/m³.
4. Pagamintuose bandiniuose (trinkelėse TrSt), kuriuose buvo naudotos smulkios stiklo duženos, gautas vid. gniuždomas stipris – 15,92 MPa, vid. tankis – 1515 kg/m³. Bandiniuose (trinkelėse TrPl), kuriuose buvo naudotos plastiko granulės, gautas vid. gniuždomas stipris – 2,48 MPa, vid. tankis – 579 kg/m³.
5. Atlikus vandens įgėrio testą ir nustatius bandinių poringumo parametrus apskaičiuotas K_s kriterijus. Didžiausias K_s gautas bandinyje St29 kuris lygus 9,2. Mažiausias K_s gautas bandiniuose Pl30 – 4,42. Bandinyje St34Pl10 K_s – 7,49.
6. Atlikus šaldymo ir atšildymo bandymą, po 90 ciklų, mažiausias masės nuostolis nustatytas bandiniuose naudojant malta stiklą, vidutiniškai bandiniai prarado 0,24 % savo masės. Didžiausi masės nuostoliai nustatyti bandiniuose naudojant plastiko granules, vidutiniškai bandiniai prarado 11,1 % savo masės.

Literatūros sąrašas

1. Vši „United States Environmental Protection Agency“. *Glass: material-specific data*. Paskutinį kartą redaguota: 2019-10-30 – [žiūrėta 2022-05-18]. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/glass-material-specific-data>
2. Skripkiūnas G. „Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės“, 2012, p55-56. [žiūrėta 2022-11-16]. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/359/statybiniu-konglomeratu-struktura-ir-savybes/>
3. Frank Ikechukwu A. ir Naghizadeh A, „Utilization of Plastic Waste Material in Masonry Bricks Production Towards Strength, Durability and Environmental Sustainability“, [interaktyvus]. 2022, [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://sace.ktu.lt/index.php/DAS/article/view/29495>
4. Nur Hanis Zulkernain; Paran Gani; Ng Chuck Chuan; Turkeswari Uvarajan. „Utilisation of plastic waste as aggregate in construction materials: A review“ [interaktyvus]. *Construction and Building Materials* 2021. [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/journal/construction-and-building-materials>
5. A.M. Hameed, B.A.F. Ahmed, „Employment the plastic waste to produce the light weight concrete“ [interaktyvus]. *Energy Procedia*. 157 (2019) 30–38. [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.160>.
6. K. Prem Kumar, M. Gomathi, „Production of construction bricks by partial replacement of waste plastics“ [interaktyvus]. *IOSR J. Mech. Civ. Eng.* 14 (04) (2017) 09–12. [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://doi.org/10.9790/168410.9790/1684-14040210.9790/1684-1404020912>.
7. T. Waroonkun, T. Puangpinyo, Y. Tongtuam, The development of a concrete block containing PET plastic bottle flakes [interaktyvus]. *J. Sustain. Dev.* 10 (2017) 186. [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://doi.org/10.5539/jsd.v10n6p186>.
8. P.R. Lalith, S. Gopalakrishnan, G. Thanigainathan. „A. Kathiravan, Utilization of Waste Plastics in Fly Ash Bricks“. 119 (2018) 1417–1424. [žiūrėta 2022-05-18]
9. R. Bhushaiah, S. Mohammad. „D.S. Rao, Study of Plastic Bricks Made From Waste Plastic“. (2019) 1122–1127. [žiūrėta 2022-05-18]
10. S.A. Wahid, S.M. Rawi, N. Desa. „Utilization of plastic bottle waste in sand bricks Utilization of Plastic Bottle Waste in Sand Bricks“. (2017). [žiūrėta 2022-05-18]
11. J.O. Akinyele, I.O. Toriola. „The effect of crushed plastics waste on the structural properties of sandcrete blocks“ [interaktyvus]. *African J. Sci. Technol. Innov. Dev.* 10 (6) (2018) 709–713, [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/20421338.2018.1496614>.
12. M.K. Mondal, B.P. Bose. „P. Bansal, Recycling waste thermoplastic for energy efficient construction materials: an experimental investigation“. [interaktyvus] *J. Environ. Manage.* 240 (2019) 119–125. [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.016>.
13. R.S. Chougule, J.J.M. College. „USE OF PLASTIC WASTE IN CIVIL CONSTRUCTION“. 5 (2017) 186–190. [žiūrėta 2022-05-18]
14. A. Panimayam, P. Chinnadurai, R. Anuradha, K. Pradeesh, „Utilisation of Waste Plastics as a Replacement of Coarse Aggregate in Paver Blocks“. 10 (2017) 211–218. [žiūrėta 2022-05-18]
15. K. Srinivasan, J. Premalatha, S. Srigeethaa. „A performance study on partial replacement of polymer industries waste (PIW) as fine aggregate in concrete“. [interaktyvus] *Arch. Civ. Eng.* 64 [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: (2018) 45–56, <https://doi.org/10.2478/ace-2018-0028>.

16. A.C. Bhogayata, N.K. Arora. „Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers, Constr. Build. Mater“ [interaktyvus]. 146 (2017) 455–463, [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.095>.
17. S. Alan, B. Sivagnanaprakash, S. Suganya, A. Kalaiselvam, V. Vignesh. „A Study on Mechanical Properties of fly ash Brick with Waste Plastic Strips A Study on Mechanical Properties of fly ash Brick with Waste Plastic Strips“. (2015). [žiūrėta 2022-05-18]
18. S. Chowdhury, A.T. Maniar, O. Suganya. „Polyethylene Terephthalate (PET) Waste as Building Solution, Int. J. Chem. Environ“. Biol. Sci. 1 (2013) 2320–4087. [žiūrėta 2022-05-18]
19. A. Farooq. „Impact on concrete properties using e-plastic waste fine aggregates and silica fum, Gospod, Surowcami Miner./Miner“ [interaktyvus]. Resour. Manag. 35 (2019) 103–118. [žiūrėta 2022-05-18] Prieiga per: <https://doi.org/10.24425/gsm.2019.128516>.
20. M.M.A. and M.M.H. Md. Zakaria Habib. „Concrete production using recycled waste plastic as aggregate“. (2018). [žiūrėta 2022-05-18]
21. B. Jaivignesh, A. Sofi. „Study on Mechanical Properties of Concrete Using Plastic Waste as an Aggregate Study on Mechanical Properties of Concrete Using Plastic Waste as an Aggregate“. (2017). [žiūrėta 2022-05-18]
22. B.T.A. Manjunath. „Partial replacement of E-plastic waste as coarse-aggregate in concrete, Procedia Environ“ [interaktyvus]. Sci. 35 (2016) 731–739, [žiūrėta 2022-10-15] Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.079>.
23. M.T.A., I.C. S. Das. „Utilization of Steel Slag in Concrete as a Partial Replacement to Fine Aggregate“ [interaktyvus]. Int. J. Sci. Res. Educ. (2016). [žiūrėta 2022-10-15] Prieiga per: <https://doi.org/10.18535/ijres/v4i07.02>.
24. A.M. Hameed, B.A.F. Ahmed. „Employment the plastic waste to produce the light weight concrete“ [interaktyvus]. Energy Procedia. 157 (2019) 30–38, [žiūrėta 2022-10-15] Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.160>.
25. M.B. Hossain, P. Bhowmik, K.M. Shaad. „Use of waste plastic aggregation in concrete as a constituent material“. i (2016) 383–391, [žiūrėta 2022-10-15]
26. Kinda Hannawi, William Prince-Agbodjan. „Transfer behaviour and durability of cementitious mortars containing polycarbonate plastic wastes“ [interaktyvus]. Eur. J. Environ. Civ. Eng. 19 (4), [žiūrėta 2022-10-15] Prieiga per: (2015) 467–481, <https://doi.org/10.1080/19648189.2014.960100>.
27. Moussa Thiam ir Mamadou Fall, „Development and engineering properties of construction materials made using melted plastics wastes as the only binding phase“ [interaktyvus] © Moussa Thiam, Ottawa, Canada, 2021, [žiūrėta 2022-10-15]
28. Suvash Chandra Paul, Branko Savija, Adewumi John Babafemi. „A comprehensive review on mechanical and durability properties of cement-based materials containing waste recycled glass“ [interaktyvus]. Journal of Cleaner Production 198 (2018) 891e906. [žiūrėta 2022-11-19] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production>
29. Al-Zubaid, A.B., Shabeeb, K.M., Ali, A.I., 2017. „Study the effect of recycled glass on the mechanical properties of green concrete“. Energy Procedia 119, 680e692. [žiūrėta 2022-11-19]
30. Park, S.-B., Lee, B.-C., 2004. „Studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers“. Cement Concr. Res. 34 (7), 1145e1152. [žiūrėta 2022-11-19]
31. VšĮ „Šiaulių regiono atliekų tvarkymo centras“. *Stiklo atliekos*. Paskutinį kartą redaguota: 2017-01-11 – [žiūrėta 2022-10-03]. Prieiga per internetą: <http://www.sratc.lt/stiklo-atliekos/>

32. „Corning Museum of Glass. Types of glass“. Paskutinį kartą redaguota: 11-12-2011, – [žiūrėta 2022-10-03]. Prieiga per internetą: <https://www.cmog.org/article/types-glass>
33. Yixin Shao, Thibaut Lefort, Shylesh Moras, Damian Rodriguez „Studies on concrete containing ground waste glass“. Cement and Concrete Research 30 (2000) 91–100. Paskutinį kartą redaguota: 2000 – [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per internetą: https://www.academia.edu/8755729/Studies_on_concrete_containing_ground_waste_glass
34. Rachida IDIR, Martin CYR, Arezki TAGNIT-HAMOU. „Use of waste glass in cement-based materials“ vol 97, March- April 2000 p208-213. Paskutinį kartą redaguota: 2000 – [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per internetą: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03173232/file/3132-Use_of_waste_glass_in_cement-based_materials.pdf
35. Bazant Z.P. Jin W. “Fracture Mechanics of concrete structures”, proc. FRA MCOS- Vol.3, 1998, p1687-1693. Paskutinį kartą redaguota: 1998 – [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per internetą: <http://www.civil.northwestern.edu/people/bazant/PDFs/Papers/S25.pdf>
36. LST CEN/TS 12390-9:2006 „Atsparumas cikliškam užšalimui ir atitirpimui. Atskilinėjimas“ [žiūrėta 2022-11-19].
37. Shao Y. ir kiti. “Studies on concrete containing ground waste glass. Cement and Concrete research”, vol 30, 2000, p91-100. [žiūrėta 2022-11-19].
38. Shayan A. and Xu A. “Value-added utilization of waste glass in concrete. Cement and Concrete research”, vol 34, Nr1, 2004, p81-89. [žiūrėta 2022-11-19].
39. Meyer C. “Development of glass concrete products. Columbia University, final report to New York Empire state development”, march 1999. [žiūrėta 2022-11-19].
40. Byars E. A., Morales B. ConGlassCrete II project interim. progress Report. 2003, December. [žiūrėta 2022-11-19].
41. dr. Vitoldas Vaitkevičius, dr. Vidas Kerševičius. „Stiklo duženų panaudojimo betonuose galimybės“, 2000, [žiūrėta 2022-11-19].