

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Edvinas Utmanas

Polistireninio putplasčio granulių atsparumo šalčiui tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. Audrius Grinys

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Magistro baigiamasis darbas

“POLISTIRENINIO PUTPLASČIO GRANULIŲ ATSPARUMO ŠALČIUI TYRIMAS”

Edvinas Utmanas

Darbe analizuojama statybinių medžiagų, bei betonams naudojami komponentai, jų savybės. Tiriamajame darbe naudojamos statybinės medžiagos, įvairūs priedai betono savybėms pagerinti. Darbo tikslas – ištirti polistireninio putplasčio granulių atsparumą šalčiui, įtaką betono savybėms tokioms kaip tankis, gniuždymo stipris, stipris lenkiant skėlimu. Nustatyti įtaką naudojant tūrinį šaldymo metodą, kapiliarinį šaldymo metodą. Atlikti vandens įgeriamumo kinetiką bei paskaičiuoti poringumo parametrus ir atsparumo šalčiui kriterijų. Nustatyti stiprumines savybes: gniuždomąjį stiprį ir stiprį tempiant skėlimu. Apžvelgiami įvairių mokslininkų straipsniai ir darbai susiję su dempferuojančių priedų bei polistireninio putplasčio granulių savybių tyrimais. Tiriamojoje dalyje suprojektuojama betono mišinio sudėtys, suformuojami kūbeliai, atliekami bandymai, kurių pagalba gaunami įvairūs betono bandinių rezultatai, kurie lyginami su polistireninio putplasčio granulių kūbelių bandymų rezultatais.

Raktiniai žodžiai: polistireninio putplaščio granulės, tūrinis šaldymo metodas, kinetika, poringumas, stipris gniuždant.

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY

BUILDING MATERIALS DEPARTMENT

Master final work

“EXPANDED POLYSTYRENE BEADS FROST RESISTANCE TEST“

Edvinas Utmanas

The paper analyzes the construction materials and concrete, used components and their properties. The research work used in building materials, various additives to improve the properties of concrete. The aim - to explore the expanded polystyrene beads frost resistance, impact concrete properties such as density, compressive strength, flexural strength splitting. Set the influence of the use of the volumetric cooling method, the capillary cooling method. Carry a water absorption kinetics and calculate the porosity parameters and frost resistance test. Set strength properties: compressive strength and splitting tensile strength. An overview of the various scientific articles and works related to damping additives and polystyrene bead properties. The exploratory part designed concrete compositions formed cubes tested with the help of various concrete samples obtained results are compared to expanded polystyrene beads cubes tests.

Keywords: expanded polystyrene beads, volumetric cooling method, kinetics, porosity, compressive strength.

Turinys

1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	6
1.1 Polistireninio putplaščio gamybos technologija	6
1.2 Demferuojančių priedų panaudojimas gamyboje	8
1.2.1 Gumos priedai, polistireninio putplasčio granulės	8
1.3 Panaudojimas betone	11
1.4 Mechaninės bei fizikinės savybės.....	12
1.4.1 Stiprumas gniuždant ir lenkiant skėlimu	12
1.4.2 Atsparumas dilumui	14
1.4.3 Atsparumas šalčiui	14
1.4.4 Tamprumo modulis	15
1.5 Mišinių savybės	16
1.6 Sukietėjusio betono tyrimai	18
1.7 Polimeriniai užpildai	21
2. DARBO TIKSLAI IR UŽDAVINIAI	22
3. TYRIMAMS NAUDOTOS MEDŽIAGOS IR METODAI	23
3.1 Naudotos medžiagos	23
3.2 Betono mišinio sudėtis	24
3.2.1 Suprojektuoti betono mišiniai 14,0 l kiekiui	24
4. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APIBENDRINIMAS	28
4.1 Gniuždumojo stiprio nustatymas.....	28
4.2 Stiprumo tempiant skėlimu nustatymas	31
4.3 Betono bandinių tankio nustatymas	32
4.4 Vandens įgėrio nustatymas	34
4.4.2 Betono vandens įgeriamumo kinetikos nustatymas ir betono atsparumo šalčiui prognozavimas.....	37
4.5 Uždaras ir atviras poringumai	41
4.6 Atsparumo šaldymo ir atšildymo nustatymas	42
4.7 Tūrinis šaldymo metodas.....	45
Išvados.....	49
LITERATŪRA.....	50

Įvadas

Termoizoliacinės medžiagos ir gaminiai užima ypatingą vietą tarp statybinių medžiagų ir jos daro įtaką praktiškai visiems statybų aspektams – kokybei, kainai, o taip pat tolimesnėms pastatų ir statinių eksploatacinėms išlaidoms. Statyboje plačiai naudojami polistireninio putplasčio (EPS) gaminiai. Pagrindinės jų teigiamos savybės yra lengvumas, geros šilumos ir garso izoliacinės savybės. Statybos objektų užbaigimo laikui sutrumpinti ir darbų kokybei gerinti didelę įtaką turi lengvų daugiasluoksnių atitvarinių konstrukcijų panaudojimas. Jų gamybai gali būti naudojamas polistireninis putplastis, medžio plaušo, perdirbtas gumos priedas, padangų guma, laidų plastikas ir kt. Stipruminės ir deformacinės šios medžiagos savybės kartu su šilumos izoliacinėmis savybėmis yra svarbiausios charakteristikos lemiančios jos panaudojimą statybų praktikoje. Šiuo metu perdirbtos medžiagos, kaip gumos priedas tampa populiareesnės nei anksčiau, įdiegiant jas į betonų mišinių gamybą. Dažniausiai guma kaip priedas yra panaudojamas skiedinio ar betoninio mišinio gamyboje. Perdirbta guma gali būti naudojama kaip priedo dalis, gaminant portlandcementį. Kaip žinoma, atliekų susidarymas ES siekia apie 1,43 milijardo tonų per metus. Todėl atliekų mažinimas ir perdirbimas yra labai svarbūs elementai. Tačiau dabartine peržiūra siekiama persvarstyti ankstesnius bandymus ir iš dalies arba visiškai pakeisti tradicinius užpildus skiedinio ar betono užpilduose. Gumos smėlio, polistireninio putplasčio poveikis nustatant jo praktiškumą tankiui, stipriui, plastiškumui, trinčiai, apkrovos poveikiui, temiant skėlimu, atsparumui, tūriniam užšalydumui, kapiliariniam užšaldymo metodui bei vandens įgėriui.

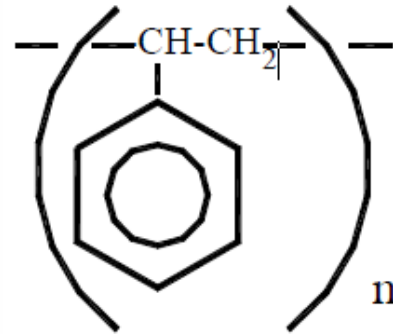
1. LITERATŪROS APŽVALGA

Pirmą kartą polistireninis putplastis kaip konstrukcinė medžiaga buvo panaudota 1950 m., tuoj po to, kai ši medžiaga buvo pagaminta BASF firmoje. 1960 m. plonas *Styropor* plokščių sluoksnis buvo panaudotas kelių konstrukcijose kaip apsauginis sluoksnis nuo šalčio poveikio [1]. 1970–1980 m. įvairiose pasaulio šalyse pradėti išsamūs šios medžiagos panaudojimo galimybių tyrimai ir praktinis pritaikymas.

1.1 Polistireninio putplasčio gamybos technologija

Polistireninio putplasčio plokštės gaminamos iš polistireno granulių, kurių lyginamasis tankis 1050-1070 kg/m³ [2]. Pagrindinė polistireno medžiaga yra stirolas, kurio sintezė ir gamyba aptariama [2]. 1839 m. E.Simon šildydamas stireną iš skaidraus skysčio gavo kietą polimerą – polistireną.

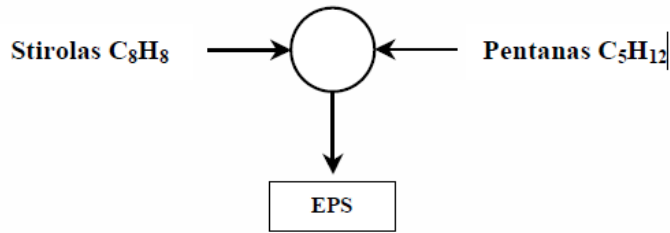
Polistirenas (PS)



1 pav. Polistireno molekulė

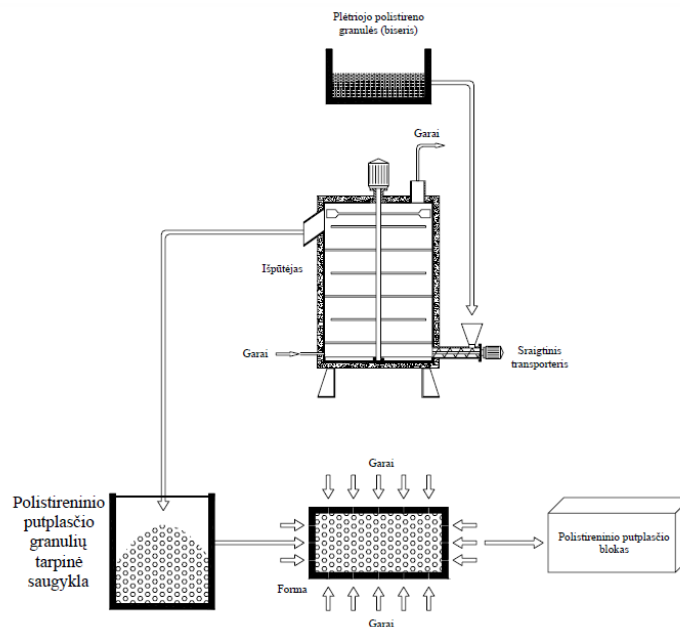
Akyta polistireninio putplasčio struktūra yra gaunama polimerizuojant stirolą, pridėjus į stirolą specialių medžiagų – dujodarių (pentano). Polimerizacija baigiama šildant medžiagą temperatūroje, kurioje garuojantis dujodaris išputina masę iki reikiamo tankio. Tokiu būdu gaunama uždara struktūros medžiaga, kurios tankis nedidelis, maža vandens įgeriamumas, mažas šilumos laidis ir kt.

Polimerizacijos procesas



2 pav. Polistireninio putplasčio gamybos technologija

Polistireniniam putplasčiui gaminti naudojamos plėriojo polistireno granulės, kurių skersmuo svyruoja nuo 0,2 iki 3,0 mm dydžio [3]. Bepresinis polistireninio putplasčio gamybos procesas pagrįstas tuo, kad esant didesniai kaip $80\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai polistirolas pereina iš stikliškojo būvio į klampiai–skystą, o pentanas, esant didesnei kaip $28\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai, užverda ir garų slėgis išpučia plėriojo polistirolu granules [2, 3]. Pagrindinis veiksnis, leidžiantis gauti bepresiu metodu polistireninį putplastį, yra tai, kad plėriojo polistirolu granulės gali susilydyti viena su kita vandens aplinkoje esant santykinai žemoms temperatūroms $90\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$ [3]. Polistireninio putplasčio plokščių technologinė linija parodyta 1.3 paveiksle.

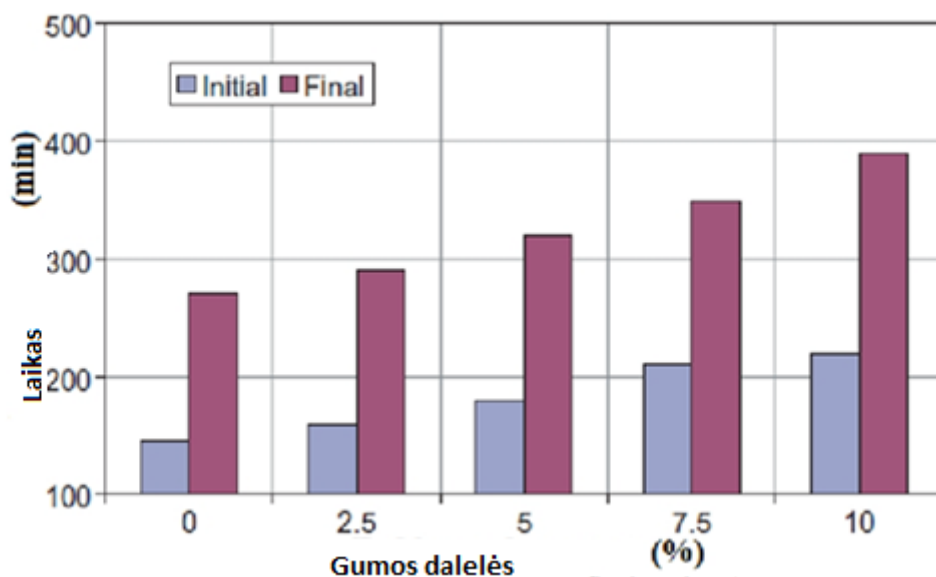


3 pav. Polistireninio putplasčio plokščių gamybos technologinė schema

1.2 Demferuojančių priedų panaudojimas gamyboje

1.2.1 Gumos priedai, polistireninio putplasčio granulės

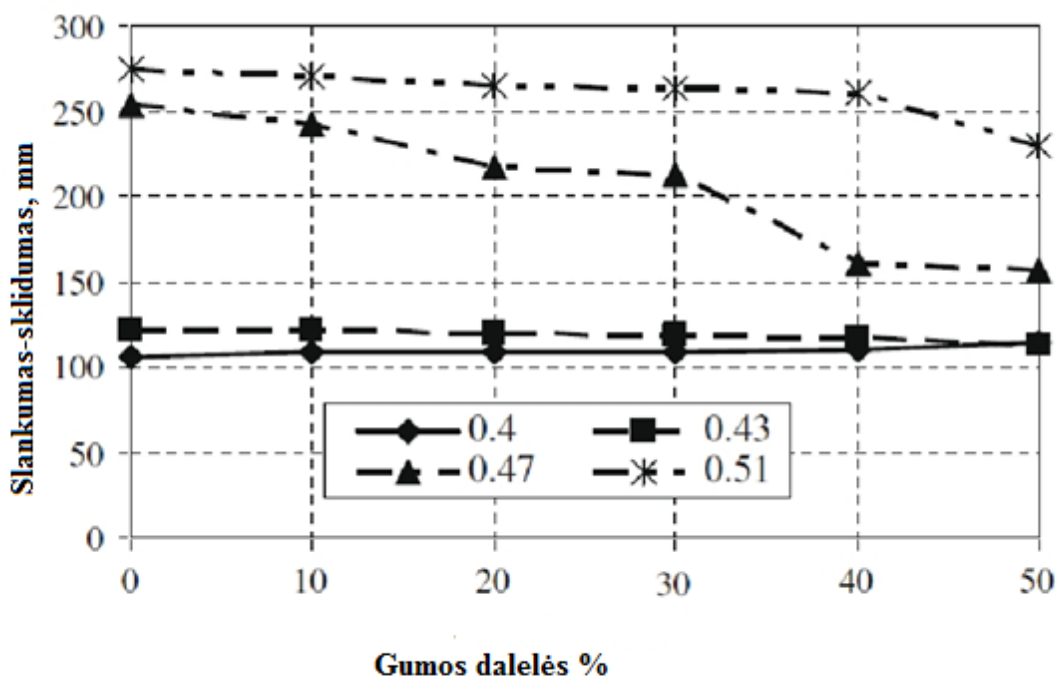
Šiuo metu perdirbtos medžiagos, kaip gumos priedas, medienos drožlės, polistireninio putplasčio granulės, metalo plaušas tampa populiareesnės nei anksčiau, įdiegiant jas į betonų mišinių gamybą. Dažniausiai šie priedai yra panaudojami skiedinio ar betoninio mišinio gamyboje. Perdirbta guma gali būti naudojama kaip priedo dalis, gaminant portlandcementį. Kaip žinoma, atliekų susidarymas ES siekia apie 1,43 milijardo tonų per metus. Todėl atliekų mažinimas ir perdirbimas yra labai svarbūs elementai. [Al-Akhras and Samadi, 2004] iš dalies pakeitė smėlį skiedinyje į padangų gumos ir gumos pelenų priedus (dydis 0.15mm) pagal atitinkamą lygį 0%, 2.5%, 5%, 7.5% ir 10% pagal masę. Rezultatai parodė, jog veiksmingumas gumos sumažėja, didinant gumos pelenų ir smėlio turinį. Sumažėjimas buvo 7,14% 12,86%, 19,28%, ir 25% įtraukiant 2,5%, 5%, 7,5% ir 10% gumos pelenų smėlio, atitinkamai. Kietėjimo trukmė padidėjo su vis daugiau gumos pelenų ir smėlio kiekiu.[4]



4 pav. Gumos granulių poveikio kiekis nuo pradinio ir galutinio bandymo nustatymo metu.

[Marques et al., 2008] iš dalies pakeitė smėlį guma, skiedinio mišiniuose ($D_{max} = 0.8\text{mm}$) lygus 0% ir 12% tūrio. Buvo naudojamas pastovus V/C santykis. Jie pranešė, kad dėl gumos sumažėjo betono apdirbimo technologiškumas. [Topçu and Demir, 2007] studijavo betono technologiškumo apdirbimą skiedinio mišiniuose, kuriuose yra gumos, dalelių dydis yra 1-0 mm arba 4-1mm, kaip smėlio pakeitimo atitinkamai pagal procentinę dalį 10%, 20%, 30% ir 40% nuo tūrio. Rezultatai parodė, kad pratekėjimas sumažėjo padidinant gumos dalelių kiekį.

Pratekėjimo sumažėjimas buvo apie 4.84%, 12.9%, 22.04% ir 24.19% įtraukiant gumos ir smėlio daleles nuo 0-1 mm arba 1-4 mm. Uygunoğlu and Topçu, 2010, iš dalies pakeitė smėlį kurio frakcija 4-0 mm su padangų gumos priedu, kurio dydis yra nuo 4-1 mm. Savarankiškai konsoliduojant skiedinio mišinį esant lygiai 0%, 10%, 20%, 30%, 40% ir 50% masės. Buvo naudojami įvairūs V/C. Jie pranešė, kad tinkamumas mišinio naudojant gumos daleles sumažėjo dėl mažos ir didelės apimties tūrio. Gumos mišinio tinkamumas sumažėjo 50% gumos smėlio tinkamumo.[7]



5 pav. Gumos poveikio kritimo srautas savarankiškai stiprinant skiedinio mišinį.

Gamyboje, bei praktikoje taikomas priedas, tai yra maži oro burbuliukai patalpinti į elastingą plastikinį dangalą, kurie leidžia kaip ir naudojant standartinius oro įtraukiančius priedus išgauti dirbtinių smulkių porų tinklą betone ar skiedinyje, kuris suteikia šias savybes:

- Rezervines vietas šalančiam vandeniui plėstis;
- Kapiliarinio pasiurbimo sumažinimą, juos suskaidant;
- Smulkių dalelių papildomą kiekį;

Visa tai leidžia užtikrinti, jog betonas ar skiedinys turės didesnę atsparumą šaldymo/šildymo ciklams, druskų poveikiui, sumažins kapiliarinį įgeriamumą.[20]

Viena iš naujovių „ELEMIX“ lengvasis betonas, kuris naudojamas Pietų ir Šiaurės Amerikoje, tai yra novatoriškas betono priedas pagamintas iš specialiai sukurtų polimerinių sferų, tai yra lengvų polistireninių granuliu, kurios sklaidosi tolygiai visame betono mišinyje, taip sumažindamas svorį pačio betono mišinio. Taip pat jo pagalba mišinys tolygiai išsklaidomas visame tūryje siekiant užtikrinti vienodą jėgą. Mažinant grindų kaip konstrukcijos svorį, daugiaaukščiui pastatui, taip pat sumažinamas bendras armatūros armuojamo grindų sluoksnio kiekis sutvirtinimui pastato. Šis sumažinimas atsispindi bendrame techniniam projekte arba sąmatų skaičiavimuose. Lengvasis betonas leidžia gabenti didesnį kiekį betono taip sumažindamas transportavimo laiką ir betono mikserių atvykimus į statybos aikšteles. Tyrimai parodo, jog „ELEMIX“ pagerina atsparumą betono skylinėjimui, eizėjimui taip padidina ugnies atsparumą bei padidina užšaldymo bei atšildymo ciklus.[25]

Šio betono nauda bei ypatumai :

- Sukurtas lankščiam naudojamui, tai yra įvairių kolonų monolitiniui, plonasienei plokštėi ir kt.
- Sumažinama armatūros sąnauda, taip sumažindamas išlaidas.
- Galimybė susiprojektuoti įvairių tankių bei klasių betonus.
- Statybos išlaidų bei medžiagų kiekių taupymas.
- Automobiliniai betono siurbliai gali pasiekti aukščiau ir lengviau išpumpuoti betoną.
- Stipriai sumažinamas konstrukcijų monolitavimo laikas.



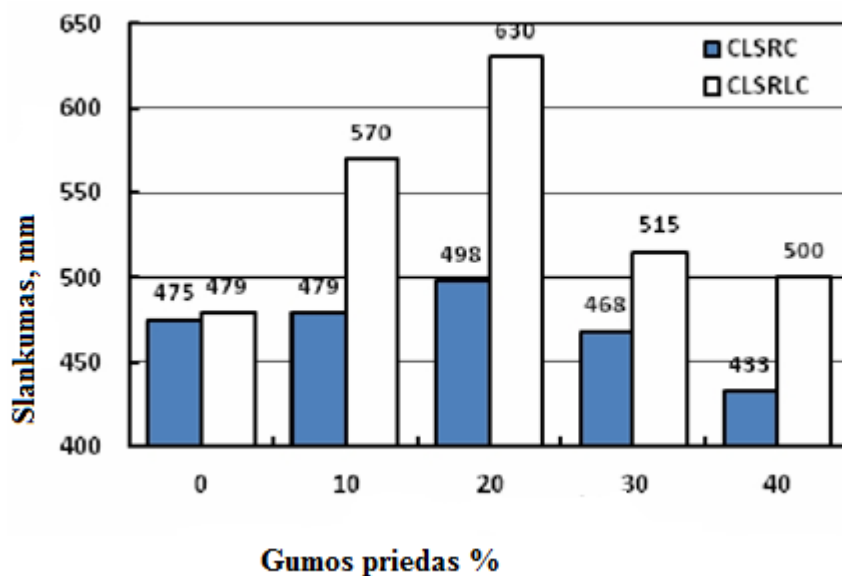
6 pav. „ELEMIX“ betono struktūra.



7 pav. Sieninė plokštė pagaminta iš lengvojo betono.

1.3 Panaudojimas betone

Betono mišiniams naudojami sausi užpildai. Cementas ir užpildai yra dozuojami pagal masę, o vanduo ir cheminiai priedai – pagal tūrį. Cheminiai priedai tirpalų pavidalu įmaišomi į mišinius kartu su vandeniu, naudojamu mišiniams paruošti.[21] [Wang et al., 2013] studijavo veiksmingumą ir pradinio sukietėjimo laiką su mažos koncentracijos gumos priedu betone. Dalis smėlio buvo keičiama gumos priedu (dalelių dydis D_{max} 4,75 mm) 0 %, 10 %, 20 %, 30 % ir 40 % nuo smulkaus užpildo tūrio. Eksperimentuose buvo naudojamas vienodas vandens ir cemento (V/C) santykis. Mišinių rezultatai parodė 3,46 % padidėjimą įtraukiant 10% gumos, o staigus vertės sumažėjimas pasiektas 4,33%, 1,3 % ir 14,72 % su 20 %, 30 % ir 40 % gumos smėlios įtraukiant atitinkamai.[8]



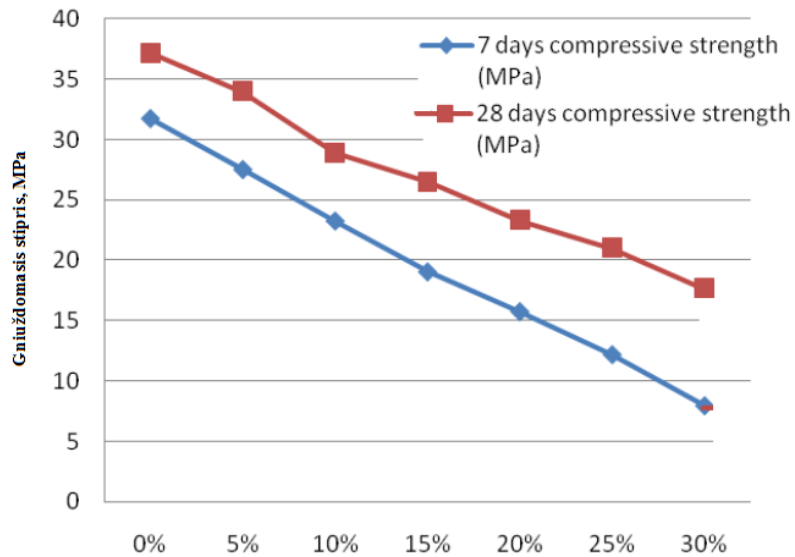
8 pav. Slankumo kitimo šrautas, su skirtingais betono mišiniais.

1.4 Mechaninės bei fizikinės savybės

1.4.1 Stiprumas gniuždant ir lenkiant skėlimu

[Al-Akhras and Samadi, 2004] nurodė padidėjusį stiprumą gniuždant ir stiprumą lenkiant po 3, 7, 28 ir 90 dienų iš dalies pakeičiant smėlio skiedinio su gumos granulių priedu (D_{\max} 0,15 mm) 2,5%, 5%, 7,5% ir 10 % masės. Koncentracija padidėjo didinant gumos granulių kiekį. Stiprumas po 28 dienų rodė, 12%, 14% ir 40 % padidėjimą atitinkamai įtraukiant 2,5 % 5 %, 7,5 % ir 10 %, gumos granulių ir smėlio priedo. Po 28 dienų lenkimo stiprumas buvo 12 %, 27 %, 32 % ir 43 % sumažėjimas įtraukiant gumos granulių procentinę dalį nuo tūrio 2,5 % 5 %, 7,5 % ir 10 % .[4] Priešingai [Segre et al., 2004] išstudijavo lenkimo stiprumą, įtraukiant į mišinį gumos priedo 10 % (D_{\max} 0,2 mm) pakeičiant smėlį, rezultatai parodė, jog net 25 % lenkimo stiprumas sumažėjo dėl gumos priedo.[10] [Oilonomou and Mavridou, 2009] iš dalies pakeitė smėlį į dvi automobilių padangų gumos priedą (D_{\max} - 1,18-0,75 mm) 0 %, 2,5 %, 5 %, 7,5 %, 10 %, 12,5 %, 15 % pagal svorį. V/C santykis buvo naudojamas tas pats. Rezultatai parodė, kad gniuždomojo stiprio ir lenkimo stiprumas su gumos priedu ir atvirkščiai su smėliu, bandinių sumažėjimo stiprumą 24,12 %, 47,66 %, 60,37 % 72,71 % 76,2 % ir 78.89 % įtraukiant perdirbtų padangų gumos granulių 2,5 %, 5 %, 7,5 %, 10 %, 12,5 % ir 15 % tempiant skėlimu sumažėjimas buvo 16,67 %, 36,67 %, 41.67 %, 52.22 %, 61.11 % ir 67.78 % atitinkamai.

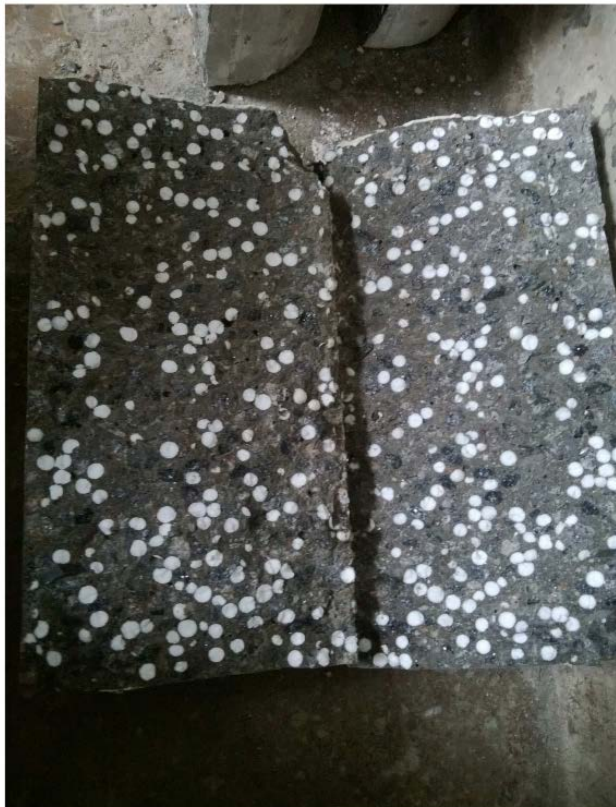
Gniuždymo stipriui nustatyti buvo naudojama universali gniuždymo mašina, kurios galia siekia 2000 kN. Trys skirtingi betono mišiniai buvo sugniuždyti po 7 ir 28 parų. Sugniuždytų betono bandinių duomenys buvo suvesti. Bandinių vidurkis buvo paimtas iš trijų betono bandinių, kurių individualūs svyravimai neturi viršyti kaip ± 15 procentų bendro vidurkio. Mėginiai po bandymo apžiūrėti, paviršių bei pačio bandinio trūkiai parodė polistireninio putplaščio granulių išsidėstymą visame tūryje. Iš 9 pav. matome, jog gniuždomasis stipris sumažėja didinant polistireninio putplaščio granulių kiekį. Kaip ir tikėtasi normaliojo betono gniuždomasis stipris yra didesnis nei lengvojo betono mišinių. Po 28 parų, buvo nustatyta, kad stiprius gniuždant su 5%, 10%, 15%, 20%, 25% ir 30% polistireninio putplaščio granulių sumažėjimas su kontroline sudėtimi sumažėjo iki 91%, 77%, 71%, 63%, 56%, ir 45% atitinkamai pagal procentinę dalį.



Polistireninio putplaščio granulės %

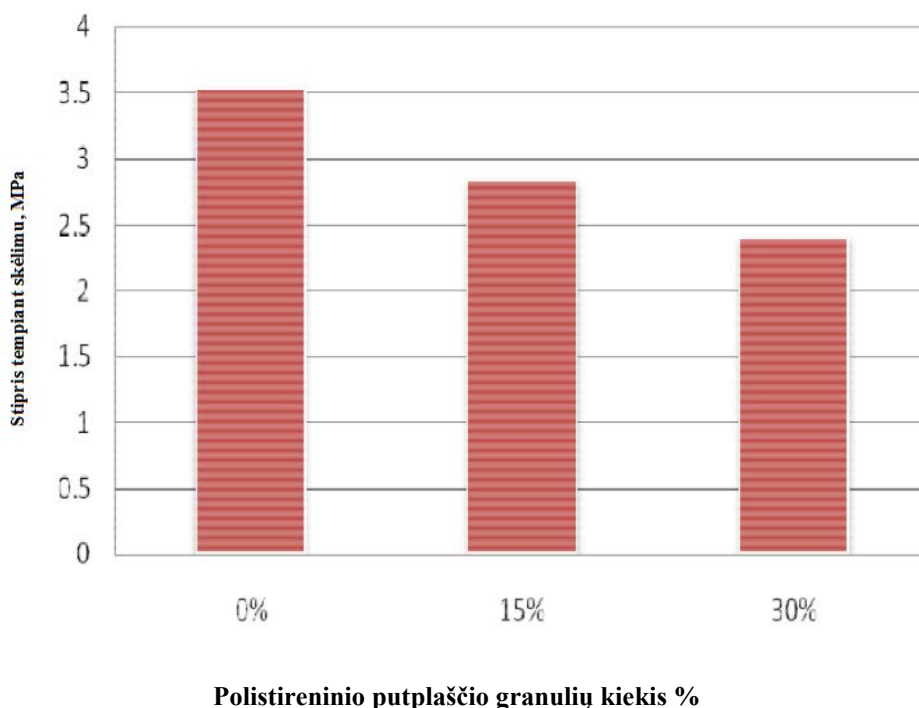
9 pav. Gnuždomojo stiprio parodymai su polistireninio putplaščio granulėmis.

Tempiant skėlimu bandymai buvo atlikti naudojant polistireninio putplaščio granules, įtraukiant jas į betono mišinius atitinkamai procentine dalimi. Bandymas buvo atliktas su 150 mm skersmens ir 300 mm aukščio cilindrais. Tolygiai apkraunamas 140 kN/min skeliant išilgai, kol bandinys suiro. 10 pav. matyti po bandymo cilindre kaip visoje matricoje yra išsidėstę polistireninio putplaščio granulės.



10 pav. Cilindrai po bandymo tempiant skėlimu.

Rezultatai parodė, jog tempiant skėlimu 11 pav. matome, jog kur naudota didžiausias kiekis polistireninio putplaščio granulių, tai yra 30 % yra mažiausias stipris. Betono mišinyje kuriame yra 15 % polistireninio putplaščio granulių, stipris tempiant skėlimu sudaro 80 %, o su 30 % polistireninio putplaščio granulių sudaro 70 % stiprio lyginant su kontroline sudėtime, kurioje nenaudota polistireninio putplaščio granulės. [26]



11 pav. Stipris tempiant skėlimu po 28 parų.

1.4.2 Atsparumas dilimui

[Ozbay et al., 2011], pranešė apie atsparumą dilimui pakeičiant smėlį guma, kurių dalelių dydis ($D_{max} 0/3$) ne mažiau kaip 5 %, 15 %, ir 25 % nuo tūrio. Atsparumas dilimui sumažėjo padidant gumos granulių kiekį. Nusidėvėjimo gylis padidėjo 11,59 %, 17,39 % ir 23,19 % su 5 %, 15 % ir 25 % gumos granulių priedu atitinkamai.[12]

1.4.3 Atsparumas šalčiui

[Paineetal., 2012] studijavo bendrą gumos betone užšaldymo ir atšildymo ciklą vykdymą ir nustatė, jog gumos įtraukimas pagerino atsparumą užšaldymo ir atšildymo cikluose. [Paine and Dhir, 2010] pranešė, kad betonas su 4 % gumos granulėmis kurių dalelių dydis yra 1,5-0,5, 8-2 ir 25-5 mm kaip smėlio pakeitimas buvo geras atsparumas užšaldymo ir atšildymo procesuose. [Al-Akhras and Samadi, 2004] pranešė didesnę užšaldymo ir atšildymo atsparumą su gumos granulių priedu kurio dalelių dydis ($D_{max} 0,15 \text{ mm}$) kaip dalinį smėlio pakeitimą 5% ir 10 % nuo masės. Didinant granulių kiekį leido padidinti užšaldymo ir

atšildymo atsparumą.[4] [Topçu and Demir, 2007] veikiama betono bandiniai su guma kurios dalelių dydis (D_{max} 4-1 mm) kaip smėlio atitinkamo, pakeisti 10 %, 20 % ir 30 % tūrio su 30 užšaldymo ir atšildymo ciklų pagal ASTM C 666. Rezultatai parodė, jog poveikis užšaldant ir atšildant betoną kuriame yra 10 % gumos priedo buvo mažiau paveiktas aplinkos.[6] [Karahan et al., 2012] pakeičiant smėlį gumos priedu kurio granuliu dydis (D_{max} 4,75-0,15 mm) prie 0 %, 10 %, 20 % ir 30 % kiekio. Betono bandiniai buvo veikiama 300 kartų užšaldymo ir atšildymo ciklų. Rezultatai parodė šiek tiek sumažintą lenkimo stiprumą po užšaldymo ir atšildymo ciklų su 10 % gumos granuliu priedo. Sumažėjimas lenkimo stiprumui buvo 6,78 % ir 5,56 % su įtrauktu 0 % ir 10 % gumos granuliu priedais atitinkamai. Priešingai dėl 20 % ir 30 % gumos ir smėlio priedų buvo žymiai sumažintas stiprumas lenkimui po užšaldymo ir atšildymo ciklų. Sumažėjimas buvo nuo 12,5 % iki 13,16 % dėl 20 % ir 30 % gumos ir smėlio priedų. Iš literatūros apžvalgos galima spręsti, jog smėlio pakeitimas gumos priedu mišinyje padidino užšaldymo ir atšildymo atsparumą. Taip pat atsparumas padidintas didinant gumos kiekį tūryje.[17]

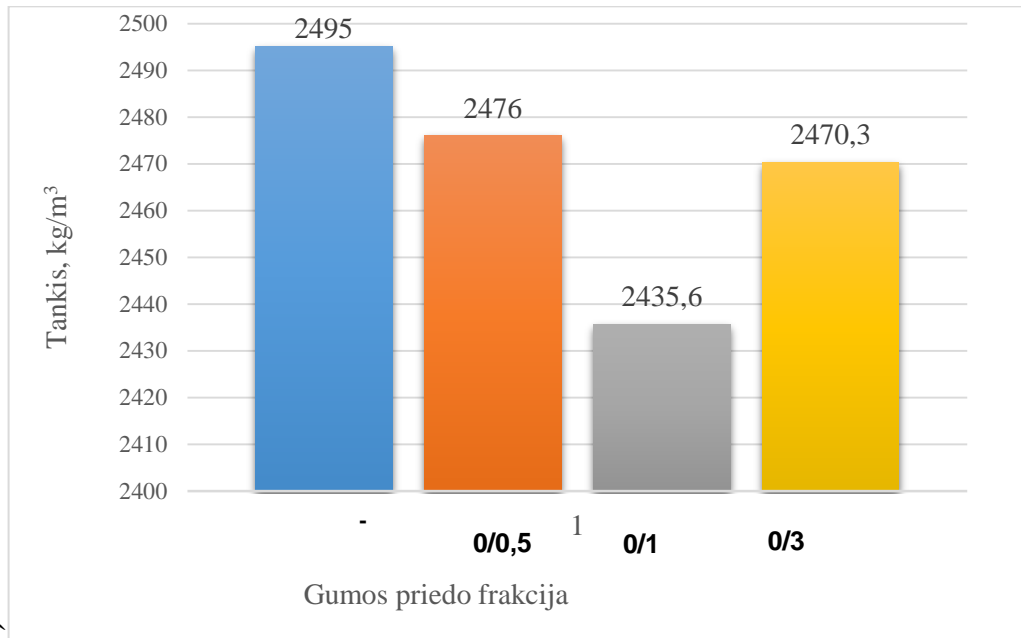
1.4.4 Tamprumo modulis

Tamprumo modulis – fizikinis dydis nusakantis medžiagos atsparumą gniuždymui ar tempimui. Jis apibrėžiamas kaip įtempio ir santykinio pailgėjimo (deformacijos) santykis.

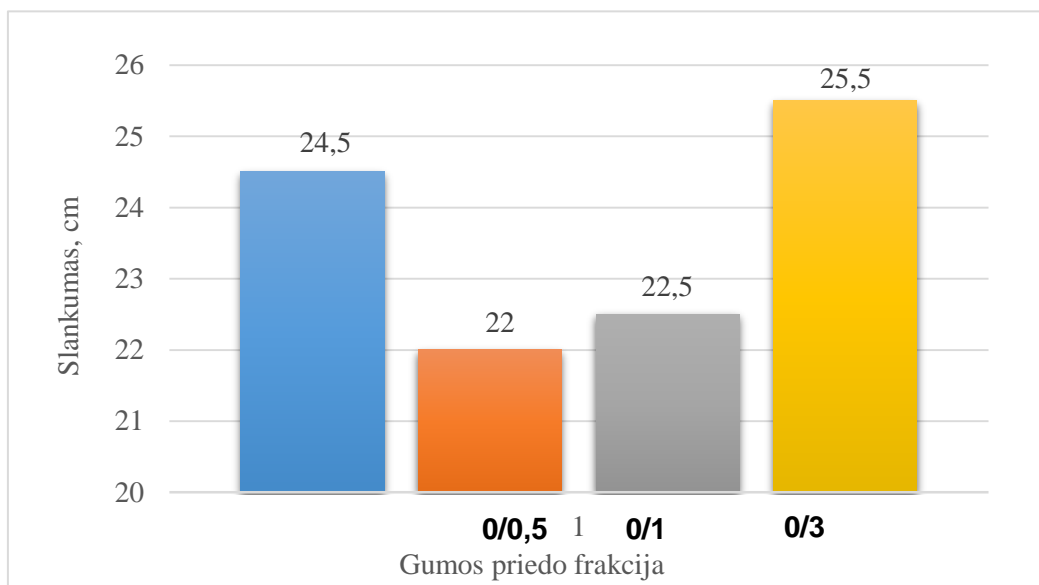
[Jingfu and Yongqi, 2008] studijavo betono mišinio bandinių atsparumą lenkiant po 3, 7 ir 28 parų. Betono mišinyje buvo panaudota perdirbtos gumos dalelės, kurių vidutinis dydis siekė iki 1,5 mm., taip pakeisdamas smulkų užpildą perdirbtos gumos frakcija. Gumos priedo buvo panaudota į mišinį procentinė dalis tai yra, 0%, 8%, 16%, 21%, ir 31,2% tūrio. Vandens ir cemento santykis buvo pastovus. Rezultatai parodė stiprumo lenkiant mažėjimą. Po 28 parų stiprumas lenkiant sumažėjo 14,81%, 25,92%, 40,74% ir 59,26% atitinkamai pagal procentines dalis 8%, 16%, 21%, ir 31,2%. [Abdulla and Ahmed, 2011] iš dalies pakeitė smėlį gumos smulkintomis dalelėmis kurių dydis yra nuo (D_{max} 2,36-2 mm) intervale nuo 0 iki 30% pagal tūrį. Vandens ir cemento santykis buvo pastovus, tai yra 0,4. Rezultatai parodė gniuždomojo stiprumo sumažėjimą, tempiant skėlimu sumažėjimą, beti tamprumo modulio sumažėjimo didinant gumos priedo keitimą vietoje smulkaus smėlio užpildo.[19]

1.5 Mišinių savybės

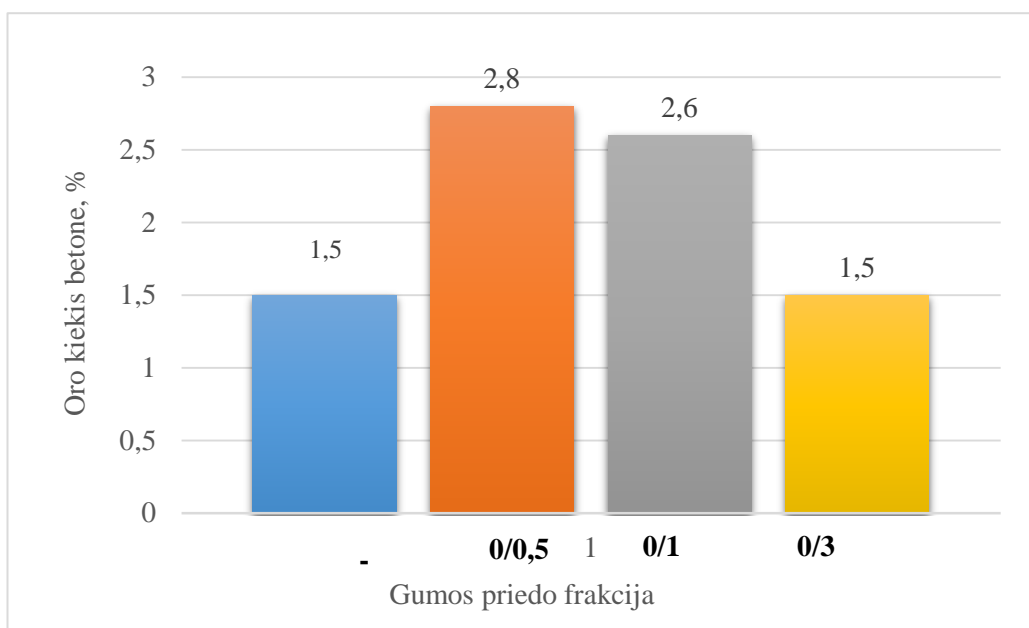
Betono mišinio tankio, slankumo ir oro kiekio priklausomybės nuo elastingo priedo iš gumos atliekų didžiausio dalelių stambumo pavaizduotos 12, 13, 14 paveikslėliuose.



12 pav. Gumos priedo stambumo įtaka betono mišinio tankiui.



13 pav. Gumos priedo stambumo įtaka betono mišinio slankumui.



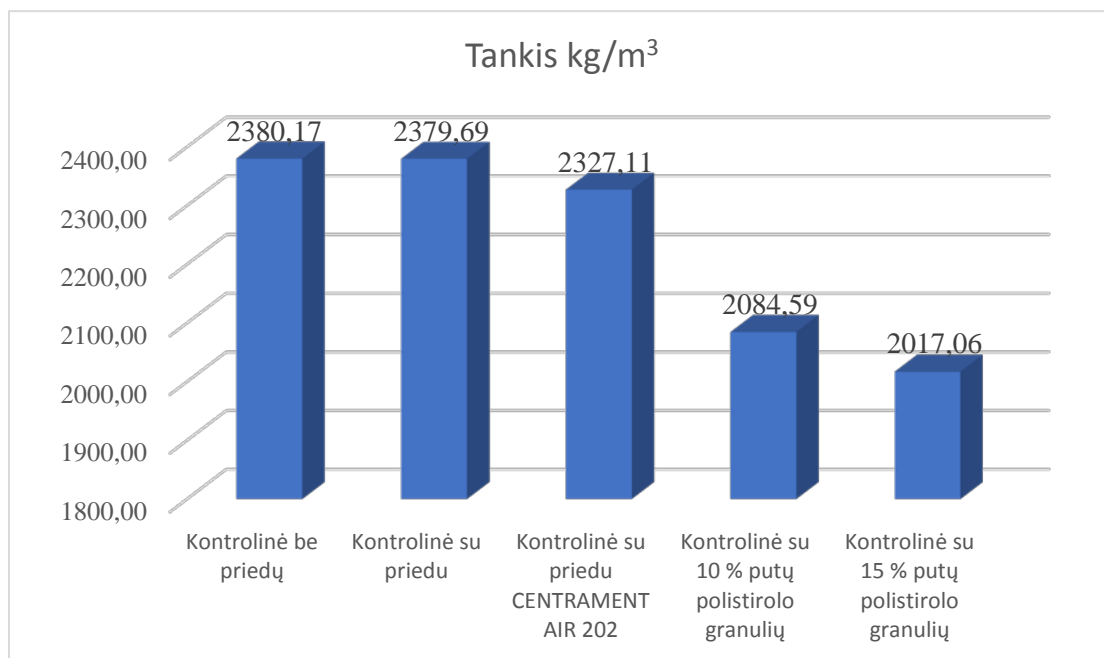
14 pav. Gumos priedo stambumo įtaka oro kiekiui betono mišnyje

Betono mišiniuose su gumos atliekomis gauname mažesnę tankį, bei didesnę oro kiekį. Betono mišinio tankio sumažėjimą naudojant gumos atliekų priedus galime paaiškinti mažesniu gumos atliekų dalelių tankiu už užpildo dalelių (smėlis fr. 0/4, kurį pakeitė gumos atliekos) ir didesniu įtraukto oro kiekiu betono mišiniuose.

Atlikus slankumo bandymus nustatyta, kad mišinių, su smulkios gumos atliekų priedu (fr. 0/0,5 ir fr. 0/1), slankumas sumažėjo 2-2,5 cm mišinių be gumos priedo atžvilgiu, o mišinio kuriame buvo naudojama stambios gumos atliekos (fr. 0/3), slankumas didesnis 1cm lyginant su mišiniu be gumos priedo (13 pav.). Slankumo sumažėjimą betono mišiniuose naudojant smulkias gumos atliekas (fr. 0/0,5 ir fr. 0/1) galime paaiškinti didesniu gumos atliekų dalelių savituoju paviršiumi ir sudėtingesne gumos atliekų dalelių paviršiaus tekstūra, nei kontrolinio mišinio smulkaus užpildo – smėlio 0/4 fr. dalelių. Sudėtingesnės tekstūros gumos dalelės ant paviršiaus absorbuoja didesnę vandens kiekį, nei apvalios formos smulkaus užpildo - smėlio 0/4 fr. dalelės, tuo sukeldamos betono mišinių slankumo mažėjimą. Mišiniuose naudojant stambios frakcijos gumos atliekas (fr. 0/3) gavome slankumo padidėjimą kontrolinio mišinio atžvilgiu, dėl sumažėjusio dalelių savitojo paviršiaus, labai mažo vandens įgėrio ir paviršiaus hidrofobiškumo.

Nustačius oro kiekį betono mišinyje (14 pav.) gavome, kad naudojant smulkesnės frakcijos gumos priedus (fr. 0/0,5 ir fr. 0/1), oro kiekis betono mišinyje padidėja iki 2,6 – 2,8%, o naudojant stambesnės frakcijos gumos priedą (fr. 0/3) – išlieka toks pat, kaip ir

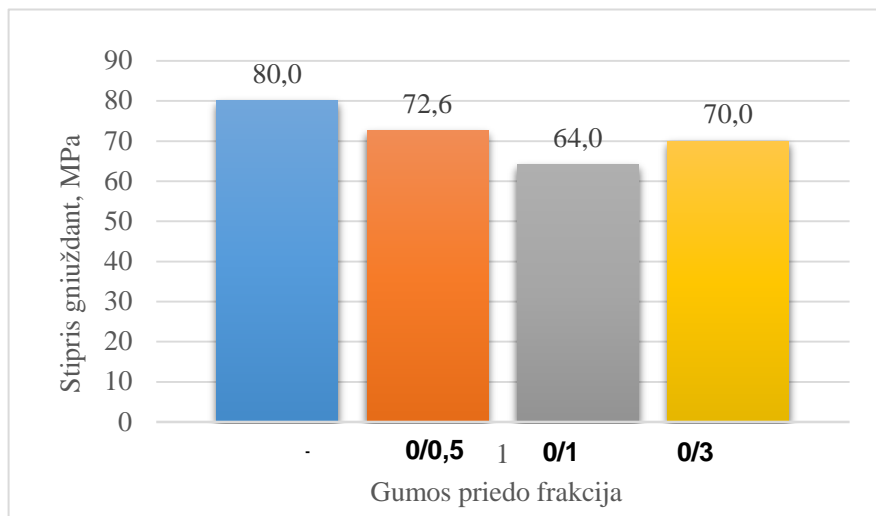
betono mišinyje be gumos priedo. Smulkios gumos atliekų frakcijos padidina oro kiekį dėl didelio dalelių savitojo paviršiaus ir dalelių paviršiaus tekstūros.[22]



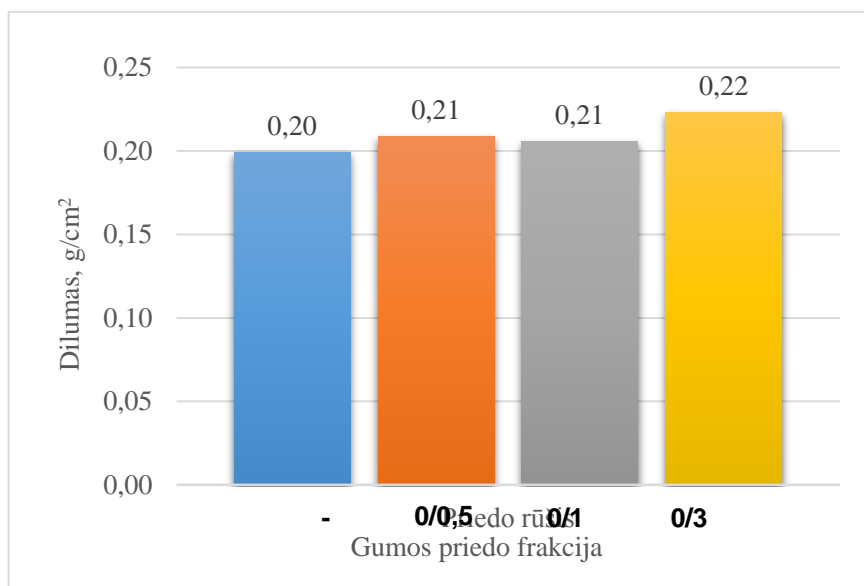
15 pav. Polistireninio putplaščio granulių įtaka betono mišinių tankiui.

1.6 Sukietėjusio betono tyrimai

Betono stiprio gniuždant priklausomybė nuo gumos priedo stambumo pavaizduota 16 pav. Iš jo matyti, kad betono stipris gniuždant pridėjus gumos atliekas sumažėja. Daugiausiai stipris gniuždant sumažėja naudojant fr. 0/1 gumos priedą (apie 20%), naudojant fr. 0/0,5 bei fr. 0/3 gumos priedus betono stipris gniuždant sumažėjo 10-13%. Įvertinus, kad betono mišinio su fr. 0/3 gumos priedu oro kiekis mažesnis negu kituose mišiniuose su gumos atliekomis, galime teigti, kad betono stipris gniuždant mažėja, didėjant gumos priedo dalelių stambumui. Tirtų betono sudėčių dilumo rezultatai pateikti 17 pav. Kaip matyti, gumos priedo stambumas neturi įtakos betono dilumui.[22]



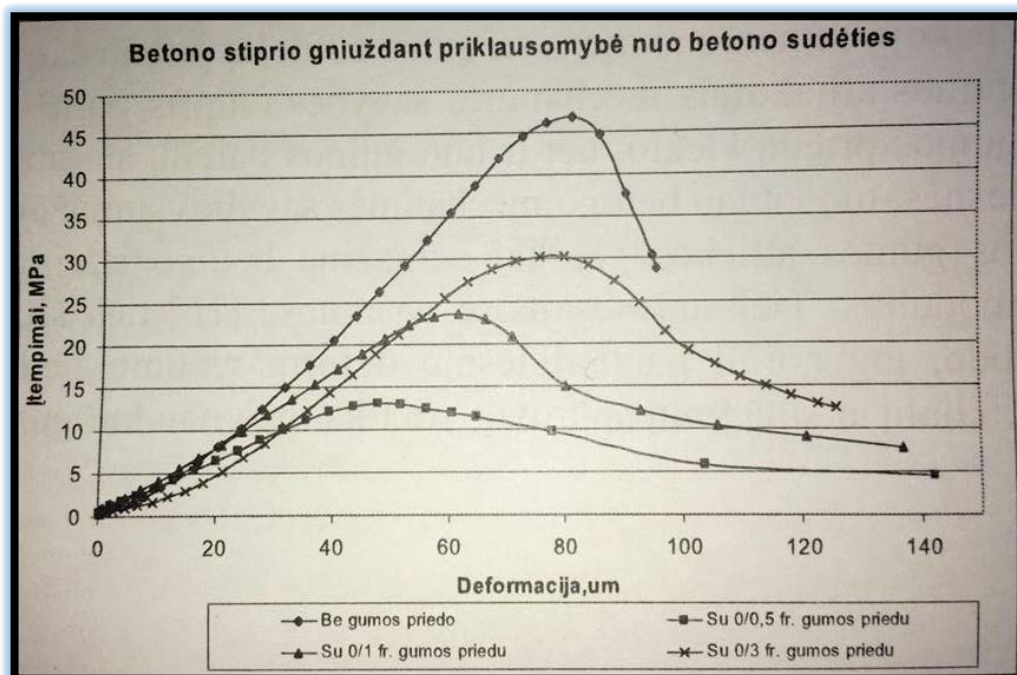
16 pav. Gumos priedo stambumo įtaka betono stipriui gniuždant



17 pav. Gumos priedo stambumo įtaka betono dilumui.

Nustačius statinį tamprumo modulį gniuždant bandinius gavome, jog atlikus bandymus su skirtingos frakcijos gumos priedais tamprumo modulio reikšmės nedaug kinta. Kai buvo atliekamas bandymas su fr. 0/1mm gumos priedu betono tamprumo modulis 35,1 GPa, su fr. 0/0,5mm – 36,2 GPa ir su fr. 0/3mm – 36,5 GPa. Taigi, rezultatai kito 3,7% (nuo 35,1 GPa iki 36,5 GPa). 10 paveiksle matyti, jog betonuose be gumos priedo tamprumo modulis žymiai didesnis (14%-18%) nei betono tamprumo modulis naudojant gumos atliekas.

Betono stiprio gniuždant priklausomybė nuo gumos priedo stambumo pavaizduota 6.3 pav. Iš jo matyti, kad betono stipris gniuždant pridėjus gumos atliekas sumažėja. Palyginus bandinius be gumos atliekų priedų daugiausia stipris gniuždant sumažėja naudojant fr. 0/0,5 gumos priedą (apie 72%), naudojant fr. 0/1 ir fr. 0/3 gumos priedus betono stipris gniuždant sumažėja atitinkamai 50 bei 35%. Pagal atliktus autorių atliktus bandymus buvo pastebėta, jog gniuždant betono be gumos priedo bandinius vyksta staigus betono suirimas, tuo tarpu bandinių su gumos atliekų priedais deformacijos mažėja ne taip greitai (6.3 pav.). Nustatyta, kad lečiausiai deformacijos mažėja betone su 0/0,5 fr. Gumos priedu, to priežastis, kad stambesnių gumos dalelių paviršius yra lygesnis nei smulkesnių gumos dalelių. Vėlesnį plyšių susidarymą įtakoja gumos dalelių dydis. Betone su didesnės frakcijos gumos priedais gaunamas mažesnis kontaktinis paviršius tarp gumos dalelių ir cementinio akmens, prastesnis sukibimas, nėra geros adhezijos.[23]

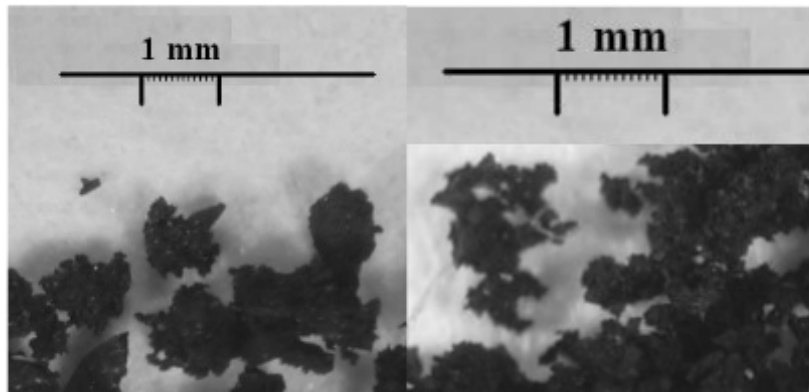


18 pav. Betono irimo pobūdžio gniuždant priklausomybė nuo betono sudėties.

1.7 Polimeriniai užpildai

Dažniausiai naudojami polimeriniai užpildai – putų polistireno granulės, gaunamos iš polistireno $[-CH_2 - CH(C_6H_5)-]_n$ išpučiant jo granules kaitinant polistireno biserį. Putų polistireno granulių piltnis tankis – 15-20 kg/m³, tuštumingumas – vidutiniškai 40 %.

Putų polistireno granulės gali būti naudojamos konglomeratuose su cementiniu rišikliu arba polimeriniais rišikliais. Kaip užpildas, pakeičiantis dalį smulkiojo užpildo konglomerate, gali būti naudojama trupinta guma, gaunama smulkinant gumos atliekas, pvz. Panaudotas padangas. Užpildo gumos atliekų dalelių tankis – 950-1050 kg/m³, piltnis tankis – 450-500 kg/m³. Gumos atliekos smulkinamos mechaniškai ir frakcionuojamos. Gaminamos kelios smulkintos gumos frakcijos: 0/0,5, 0,1, 0/3. Smulkintos gumos dalelės yra netaisyklingos formos, jų paviršius labai poringas (7.1 pav.), o tai užtikrina gerą sukibimą su mineralinių ir organinių rišiklių matrica.



19 pav. Smulkintų gumos atliekų dalelių forma ir paviršiaus tekstūra

Smulkintų gumos atliekų užpildai, naudojami kartu su sunkiaisiais gamtiniais užpildais, keičia tamprąsias konglomerato savybes ir didina sukietėjusio konglomerato atsparumą šalčiui, sudarydami rezervinius tūrius konglomerato struktūroje.[24]

2. DARBO TIKSLAI IR UŽDAVINIAI

Darbo tikslas – ištirti polistireninio putplasčio granulių atsparumą šalčiui, įtaką betono savybėms tolioms kaip tankis, gniuždymo stipris, stipris lenkiant skėlimu. Nustatyti įtaką naudojant tūrinį šaldymo metodą, kapiliarinį šaldymo metodą, vandens įgeriamumo bei paskaičiuoti kinetiką kaip įtakoja betono bandinius, nustatyti stiprumines savybes.

Apžvelgiami įvairių mokslininkų straipsniai ir darbai susiję su dempferuojančių priedų bei polistireninio putplasčio granulių savybių tyrimais.

- Ištirti betono bandinių stiprumines savybes, tai yra nustatyti gniuždomąjį stiprį bei stiprumą tempiant skėlimu,
- Nustatyti betono bandinių tankius,
- Naudojant tūrinį šaldymo metodą bei kapiliarinį šaldymo metodą nustatyti kokią įtaką daro betono bandiniams
- Nustatyti vandens įgeriamumą ir paskaičiuoti vandens įgeriamumo kinetiką kaip įtakoja betono bandinius
- Atlikti analizę
- Pagal gautus rezultatus suformuluoti išvadas

3. TYRIMAMS NAUDOTOS MEDŽIAGOS IR METODAI

3.1 Naudotos medžiagos

Cementas:	CEMII/A-LL 42,5R.
Priedai:	1) Putų polistirolu granulės, dalinai keičiant smėlį procentine dalimi 2) CENTRAMENT AIR 202
Superplastiklis:	Sika ViscoCrete - D187
Užpildai	Smėlis fr. 0/4 mm, Žvirgždo skalda fr. 4/16 mm.



20 pav. Polistireninio putplaščio granulės, dalelių tankis 30 kg/m^3

3.2 Betono mišinio sudėtis

LST EN 206 C30/37-XF3-F200-W8-C10,2-D_{max16}-S3

Cementas CEM 42,5R – 350 kg;

Žvirgzdo skalda fr. 4/16 – 960 kg;

Smėlis fr. 0/4 – 880 kg;

Vanduo – 161 l;

Superplastiklis VC D187 0,85 %, nuo cemento kiekio;

Planuojamas tankis – 2353 kg/m³

V/C – 0,46

Pastaba: galima koreguoti V/C iki 0,48. Betono sudėtis suprojektuota 1m³.

3.2.1 Suprojektuoti betono mišiniai 14,0 l kiekiui

- **Kontrolinė sudėtis be priedų**

LST EN 206 C30/37-XF3-F200-W8-C10,2-D_{max16}-S3

Cementas CEM 42,5R – 4,9 kg;

Žvirgzdo skalda fr. 4/16 – 13,44 kg;

Smėlis fr. 0/4 – 12,32 kg;

Vanduo – 2,254;

Planuojamas tankis – 2353 kg/m³

V/C – 0,46

- **Naudojant superplastiklį VC D187**

LST EN 206 C30/37-XF3-F200-W8-C10,2-D_{max16}-S3

Cementas CEM 42,5R – 4,9 kg;

Žvirgzdo skalda fr. 4/16 – 13,44 kg;

Smėlis fr. 0/4 – 12,32 kg;

Vanduo – 2,254;

Superplastiklis VC D187 0,85 %, nuo cemento kiekio – 41,65 g;

Planuojamas tankis – 2353 kg/m³

V/C – 0,46

- **Naudojant 10 % polistireninio putplaščio granulių**

LST EN 206 C30/37-XF3-F200-W8-C10,2-D_{max16}-S3

Cementas CEM 42,5R – 4,9 kg;

Žvirgzdo skalda fr. 4/16 – 13,44 kg;

Smėlis fr. 0/4 – 9,744 kg;

Vanduo – 2,254;

Superplastiklis VC D187 0,85 %, nuo cemento kiekio – 41,65 g;

Polistireninio putplaščio granulių kiekis 10% - 29,16 g;

Planuojamas tankis – 2353 kg/m³

V/C – 0,46

Pastaba: granulių dalelių tankis 30 kg/m³

- **Naudojant 15 % polistireninio putplaščio granulių**

LST EN 206 C30/37-XF3-F200-W8-C10,2-D_{max16}-S3

Cementas CEM 42,5R – 4,9 kg;

Žvirgzdo skalda fr. 4/16 – 13,44 kg;

Smėlis fr. 0/4 – 8,456 kg;

Vanduo – 2,254;

Superplastiklis VC D187 0,85 %, nuo cemento kiekio – 41,65 g;

Polistireninio putplaščio granulių kiekis 10% - 43,76 g;

Planuojamas tankis – 2353 kg/m³

V/C – 0,46

Pastaba: granulių dalelių tankis 30 kg/m³

- **Naudojant orą įtraukiantį priedą
CENTRAMENT AIR 202**

LST EN 206 C30/37-XF3-F200-W8-C10,2-D_{max16}-S3

Cementas CEM 42,5R – 4,9 kg;

Žvirgzdo skalda fr. 4/16 – 13,44 kg;

Smėlis fr. 0/4 – 12,32 kg;

Vanduo – 2,254;

Superplastiklis VC D187 0,85 %, nuo cemento kiekio – 41,65 g;

Centrament AIR 202 0,1 % nuo cemento kiekio – 4,9 g;

Planuojamas tankis – 2353 kg/m³;

V/C – 0,46

Pastaba: granulių dalelių tankis 30 kg/m³



21 pav. Suformuoti kūbeliai su 10 % polistireninio putplaščio granulių.



22 pav. Suformuoti kūbeliai su 15 % polistireninio putplaščio granulių.

Formuojant betono bandinius su polistireninio putlapščio granulėmis, didinant jų procentinį kiekį technologiškai yra sunku sutankinti. Polistireninio putplaščio granulių tankis 30kg/m^3 . Tankinta ant laboratorinės vibroaikštelės (virpesių dažnis 50 Hz). Tankinant polistireninio putplaščio granulės yra išstumiamos į formuojamo betono kūbelio paviršių, nes komponentinė medžiaga yra lengvesnė. Cemento tankis yra 3100 kg/m^3 , užpildų tankis yra 2650 kg/m^3 , vandens 1000 kg/m^3 todėl tankinti reikia pulsuojančiais, po 1-2s, jog granulės būtų tolygiai pasiskirstę visame kūbelio tūryje, nes kitaip jas išstumia į paviršių ir gauname netolygius paviršius betono bandiniuose.

Bandymams buvo formuojami $100\times 100\times 100\text{ mm}$ bandiniai – kūbeliai. Kiekvienai betono sudėčiai buvo gaminami devyni bandiniai. Kūbelių formavimui buvo naudojami priedai, tai orą įtraukiantis priedas CENTRAMENT AIR 202, superplastiklis VC D187, smulkus užpildas smėlis 0/4 fr. mm, stambus užpildas 4/16 fr. mm. žvirgždo skalda, cementas 42,5R bei dalinai pagal procentinę dalį pakeičiant smulkų užpildą, tai yra smėlį 0/4 fr. mm. į

polistireninio putplaščio granules, kurių tankis 30 kg/m³. Bandiniams naudotas akmenės portlandcementis CEM 42,5R, Zatyščių karjero smulkus 0 – 4 mm ir stambus 4 – 16 mm užpildai. Iš pateiktų betono mišinių buvo formuojami bandiniai – kūbeliai, tankinami formelėse ant laboratorinės vibroaikštelės (virpesių dažnis 50 Hz) ir po 24 valandų išformuojami ir sudedami į vandens kamerą. Po 28 parų išbandomi.

4. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APIBENDRINIMAS

Tiriant nustatyti betono bandinių stiprumą gniuždant, stiprumą tempiant skėlimu, tankių palyginimai grafiškai, masę hidrostatinėmis svarstyklėmis po 2 parų mirkymo, vandens įgeriamumo kinetikos nustatymą ir betono atsparumo šalčiui prognozavimą, kapiliarinį šaldymo metodą bei masių nuostolius, vandens įgėrį, uždara ir atvira poringumus ir tūrinį šaldymo metodą.

4.1 Gniuždumojo stiprio nustatymas

- **1 lentelė.** sudėtis su orą įtraukiančiu priedu CENTRAMENT AIR 202

Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Gniuždymo jėga kN	Stipris MPa
10,10x10,09x10	493,9	48,46
10,07x10,07x10,10	464,1	45,76
10x10,09x10,14	472,2	46,79

- **2 lentelė.** sudėtis su superplastikliu VC D187

Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Gniuždymo jėga kN	Stipris MPa
10,10x10,08x10,10	643,8	63,24
10,09x10,10x10	618,7	60,71
10,10x10,9x10,07	600,0	58,87

- 3 lentelė. Kontrolinė sudėtis su be priedų

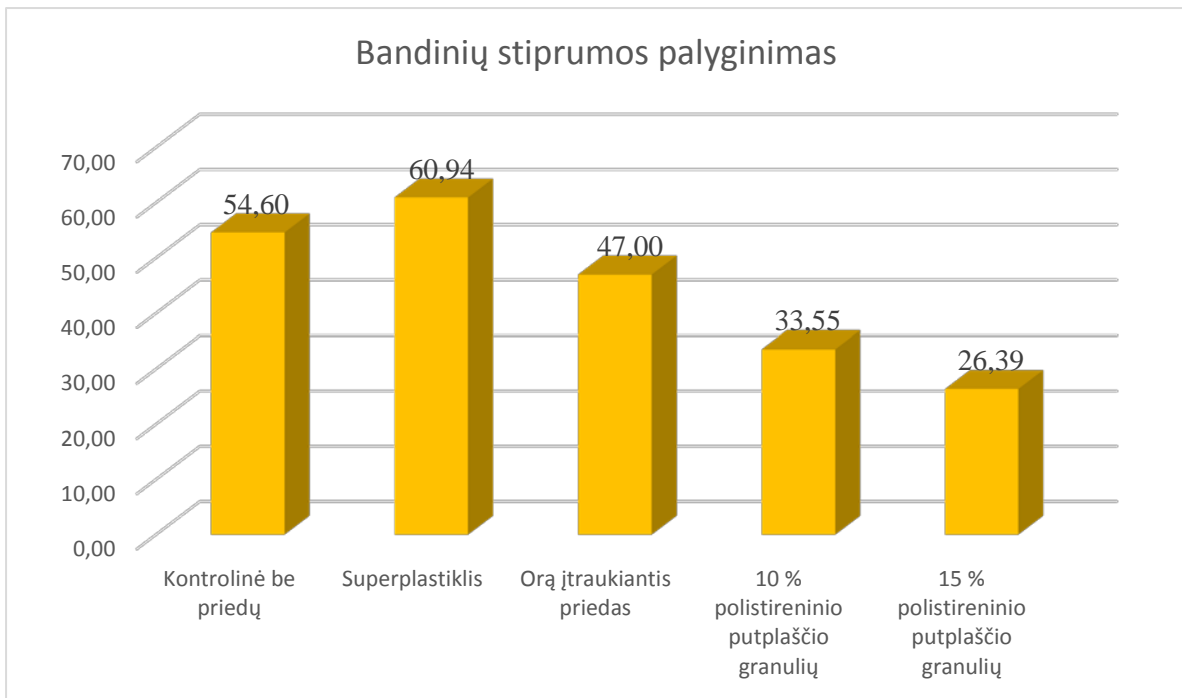
Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Gniuždymo jėga kN	Stipris MPa
10,10x10,17x10,10	548,9	53,43
10,07x10,10x10,10	578,1	56,83
10,09x10,07x10,10	544,3	53,56

- 4 lentelė. sudėtis su polistireninio putplaščio granulėmis 10 %

Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Gniuždymo jėga kN	Stipris MPa
10,10x10,16x10,10	323,4	31,51
10,08x10,09x10,08	352,7	34,67
10,07x10,09x10,10	350,3	34,47

- 5 lentelė. sudėtis su polistireninio putplaščio granulėmis 15 %

Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Gniuždymo jėga kN	Stipris MPa
10,07x10,08x10,10	289,6	28,53
10,11x10,12x10,08	266,6	26,05
10,10x10,14x9,98	251,8	24,58



23 pav. Betono bandinių gniuždomo stiprio nustatymo duomenys.

Po betono bandinių stiprumo gniuždant nustatymo, matome, jog didžiausia vidutinė vertė iš kiekvienos sudėties po 4 suspaustų bandinio kūbelių yra kontrolinė sudėtis kurioje buvo naudota VC D187 plastifikuojantis priedas, gniuždant didžiausias vidutinis stiprumas buvo 60,94 MPa, o minimaliausia vidutinis stiprumas naudojant putų polistirolo granules 15 % jų vietoje smulkaus užpildo, tai yra smėlio kurio fr. 0/4 mm. yra 26,39 MPa. Naudojant superplastiklį VC D187 vandens redukcija sumažina vandens kiekį išlaikant tą pačią betono mišinio konsistenciją. Mažėjant vandens kiekiui gaunami mažesni vandens ir



cemento santykiai (V/C), dėl to gauname betono gniuždymo stiprio padidėjimą. Įdėjus orą įtraukiantį priedą į betono mišinį, gauname gniuždymo stiprio sumažėjimą, tai yra dėl to, kad didesnis oro kiekis betone mažina jo stiprį. Mokslinėje literatūroje nustatyta, kad 1 % oro betono mišinio stiprį sumažina apie 4 % [Desing and control of

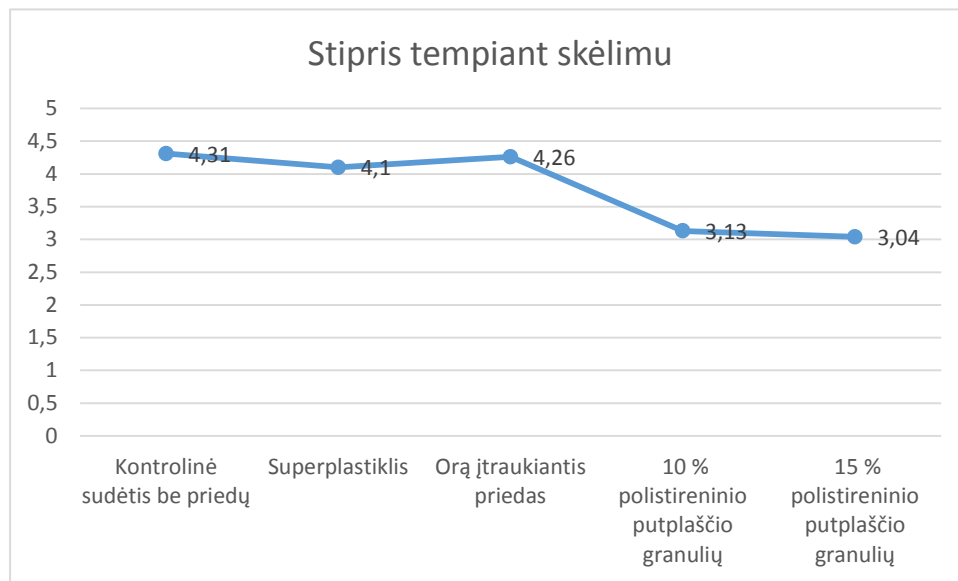
concrete mixtures, 15th edition, p.120-122].

24 pav. „Tomi-technic“ gniuždomo mašina

4.2 Stiprumo tempiant skėlimu nustatymas

6 lentelė. Stiprumo tempiant skėlimu duomenys

Bandinio pavadinimas	Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Stipris tempiant skėlimu, kN	Stipris tempiant skėlimu, MPa
Kontrolinė sudėtis be priedų	10,05x9,98x10,01	43,24	4,31
Kontrolinė sudėtis su priedu VC D187	10,10x10,06x10,10	41,69	4,1
Kontrolinė sudėtis su CENTRAMENT AIR 202	10,07x9,95x10,10	42,70	4,26
Kontrolinė sudėtis su putų polistirolo granulėmis 10 %	10,08x10,12x10,09	31,99	3,13
Kontrolinė sudėtis su putų polistirolo granulėmis 15 %	10,11x10,08x10,11	31,02	3,04



25 pav. Stiprio tempiant skėlimu nustatymo duomenys

Nustatant betono bandinių stiprumo tempiant skėlimu bandymą, jo metu iš grafiko galima pasakyti, jog didžiausia stiprumo vertė bandinio kūbelio yra kontrolinė sudėtis kurioje nenaudota joks priedas, o vertė yra 4,31 MPa. Mažiausia vertė tempiant skėlimu gauta naudojant putų polistirolo granules su 15 % dalinai, pakeitus smulkaus užpildo tai yra smėlio 0/4 fr mm, vertė 3,04 MPa. Stiprumo tempiant skėlimu duomenys koreliuoja tarpusavyje su gniuždymo stiprio duomenimis, todėl parodymai atitinka 18 pav. ir 20 pav. tendencijas.

4.3 Betono bandinių tankio nustatymas

7 lentelė. Kontrolinė sudėtis be priedų

Bandinio numeris	Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Tūris, m ³	Sauso bandinio masė, kg	Tankis kg/m ³	Tankis _{vid} kg/m ³
1	10,05x9,98x10,01	0,00100	2,406	2396,43	2380,17
2	10,10x10,09x10	0,00102	2,416	2370,74	
3	10,07x10,07x10,10	0,00102	2,458	2399,95	
4	10x10,09x10,14	0,00102	2,408	2353,57	

8 lentelė. sudėtis su superplastikliu VC D187

Bandinio numeris	Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Tūris, m ³	Sauso bandinio masė, kg	Tankis kg/m ³	Tankis _{vid} kg/m ³
1	10,10x10,06x10,10	0,00103	2,406	2344,53	2379,68
2	10,10x10,08x10,10	0,00103	2,452	2384,61	
3	10,09x10,10x10	0,00102	2,458	2411,96	
4	10,10x10,9x10,07	0,00103	2,440	2377,65	

9 lentelė. sudėtis su orą įtraukiančiu priedu CENTRAMENT AIR 202.

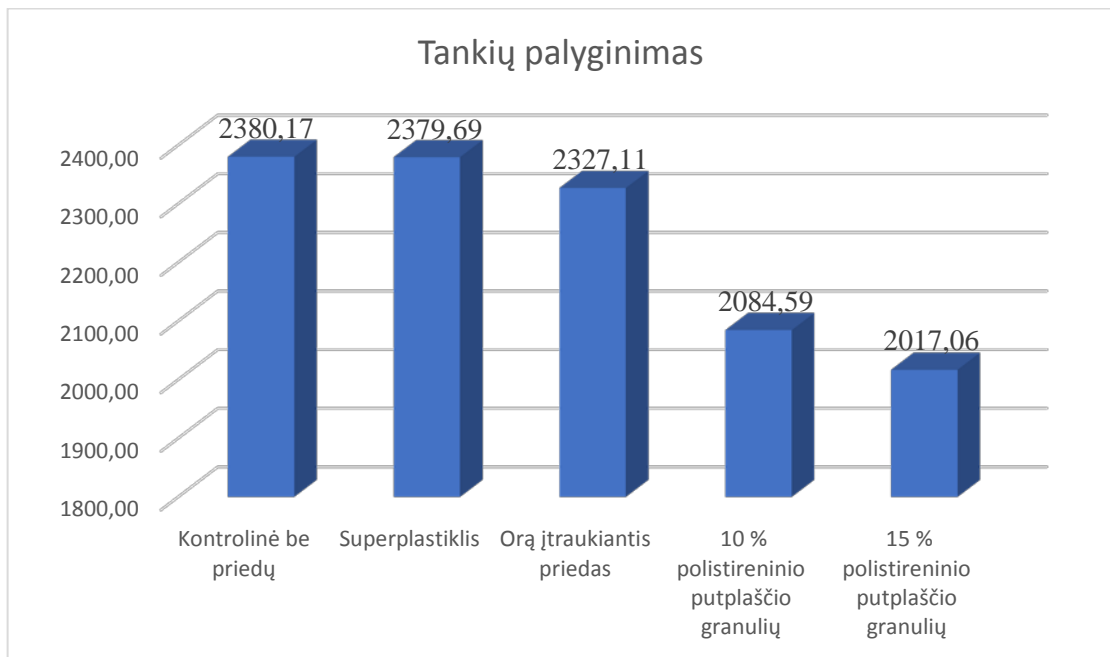
Bandinio numeris	Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Tūris, m ³	Sauso bandinio masė, kg	Tankis kg/m ³	Tankis _{vid} kg/m ³
1	10,07x9,95x10,10	0,00101	2,346	2318,22	2327,11
2	10,10x10,17x10,10	0,00104	2,418	2330,73	
3	10,07x10,10x10,10	0,00103	2,338	2276,00	
4	10,09x10,07x10,10	0,00103	2,446	2383,50	

10 lentelė. sudėtis su 10 % polistireninio putplaščio granulių.

Bandinio numeris	Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Tūris, m ³	Sauso bandinio masė, kg	Tankis kg/m ³	Tankis _{vid} kg/m ³
1	10,08x10,12x10,09	0,00103	2,118	2057,76	2084,59
2	10,10x10,16x10,10	0,00104	2,118	2043,57	
3	10,08x10,09x10,08	0,00103	2,174	2120,54	
4	10,07x10,09x10,10	0,00103	2,172	2116,50	

11 lentelė. sudėtis su 15 % polistireninio putplaščio granulių.

Bandinio numeris	Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Tūris, m ³	Sauso bandinio masė, kg	Tankis kg/m ³	Tankis _{vid} kg/m ³
1	10,11x10,08x10,11	0,00103	2,068	2007,19	2017,06
2	10,07x10,08x10,10	0,00103	2,152	2099,09	
3	10,11x10,12x10,08	0,00103	2,068	2005,20	
4	10,10x10,14x9,98	0,00102	2,000	1956,77	



26 pav. Tankio nustatymo, vidurkių išvestinė

Nustatant betono bandinių tankius, gautos reikšmės pateiktos 26 pav. Didžiausia reikšmė gauta su kontroline sudėtimi, kurioje nenaudotas joks priedas, gautas tankis yra $2380,17 \text{ kg/m}^3$. Minimaliausia reikšmė tankio yra su putų polistirolo granulėmis, kurią sudaro 15% smulkaus užpildo kiekio dalinai pakeitus smulkaus smėlio 0/4 fr. Mm $2017,06 \text{ kg/m}^3$. Įvedant orą įtraukiantį priedą, polistireninio putplaščio granules padidėja poringumas, todėl betono bandiniuose atsiranda žymiai didesnis porų kiekis (uždarų ir atvirų), dėl to pasidaro lengvesni betono mišiniai.

4.4 Vandens įgėrio nustatymas

12 lentelė. Kontrolinė sudėtis be priedų.

Kontrolinė sudėtis be priedų	Bandinio numeris	Sausas bandinys, g	Po 15 min, g	Po 60 min, g	Po 24 h, g	po 48 h, g	Bandinio masė		Vidurkis, %
							g, hidrostatinėmis svarstyklėmis	%	
	1,1	619,40	638,85	654,16	660,38	660,80	384,07	6,68	6,36
	1,2	609,99	624,38	635,89	646,16	646,50	380,17	5,99	
	1,3	545,94	562,01	575,80	581,41	581,78	340,42	6,56	
	1,4	505,22	517,17	527,34	536,08	536,56	315,21	6,20	

13 lentelė. Kontrolinė sudėtis su polistireninio putplaščio granulėmis 10 % .

Kontrolinė sudėtis su polistireno granulėmis 10 %	Bandinio numeris	Sausas bandinys, g	Po 15 min, g	Po 60 min, g	Po 24 h, g	po 48 h, g	Bandinio masė g, hidrostatinėmis svarstyklėmis	%	Vidurkis, %
	2,1	534,46	543,40	551,78	561,82	562,57	313,49	5,26	5,96
	2,2	677,47	692,90	703,82	716,38	717,10	399,48	5,85	
	2,3	435,43	448,53	457,48	460,97	461,66	255,57	6,02	
	2,4	413,37	428,10	436,77	440,57	441,17	103,48	6,73	

14 lentelė. Kontrolinė sudėtis su polistireninio putplaščio granulėmis 15 % .

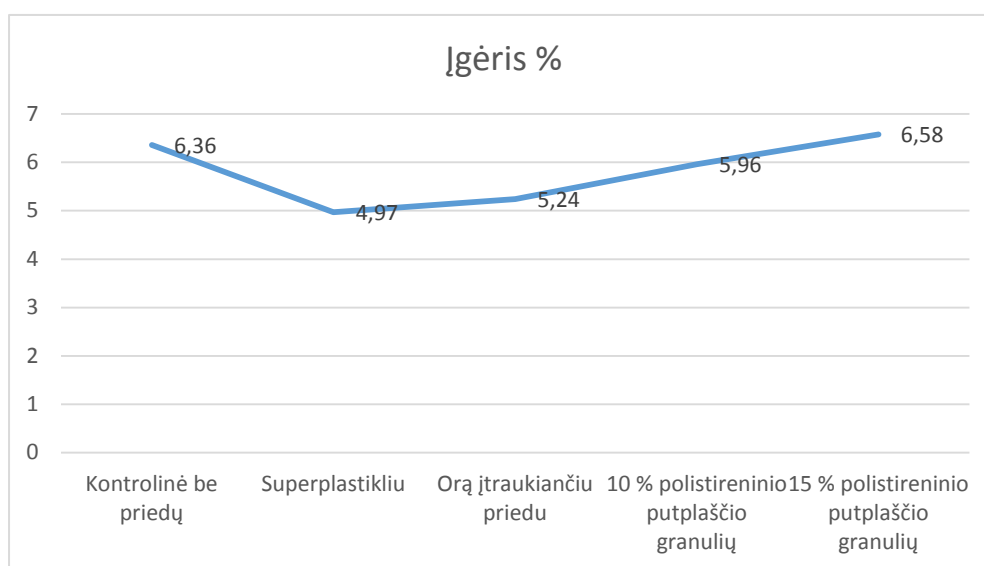
Kontrolinė sudėtis su polistireno granulėmis 15 %	Bandinio numeris	Sausas bandinys, g	Po 15 min, g	Po 60 min, g	Po 24 h, g	po 48 h, g	Bandinio masė g, hidrostatinėmis svarstyklėmis	%	Vidurkis, %
	3,1	413,13	428,71	436,35	439,96	440,81	236,72	6,70	6,58
	3,2	565,67	582,13	592,72	601,51	602,57	319,0	6,52	
	3,3	522,70	539,60	550,21	557,0	557,83	295,41	6,72	
	3,4	429,68	442,47	450,03	456,0	457,14	246,49	6,39	

15 lentelė. Kontrolinė sudėtis su orą įtraukiančiu priedu CENTRAMENT AIR 202

Orą įtraukiančiu priedu	Bandinio numeris	Sausas bandinys, g	Po 15 min, g	Po 60 min, g	Po 24 h, g	po 48 h, g	Bandinio masė g, hidrostatinėmis svarstyklėmis	%	Vidurkis, %
	4,1	607,94	618,67	628,25	639,03	639,54	378,31	5,20	5,24
	4,2	525,30	535,65	543,92	552,13	552,40	327,72	5,16	
	4,3	518,10	529,73	538,61	544,86	545,32	320,89	5,25	
	4,4	564,77	578,96	588,20	594,48	594,95	351,07	5,34	

16 lentelė. Kontrolinė sudėtis su superplastikliu VC D187.

Superplastikliu	Bandinio numeris	Sausas bandinys, g	Po 15 min, g	Po 60 min, g	Po 24 h, g	po 48 h, g	Bandinio masė g, hidrostatinėmis svarstyklėmis	%	Vidurkis, %
	5,1	581,27	590,91	598,91	609,02	609,51	362,50	4,86	4,97
	5,2	573,89	583,14	591,26	600,40	601,03	358,14	4,73	
	5,3	584,26	597,18	606,21	612,66	613,20	367,36	4,95	
	5,4	546,86	559,61	569,24	575,35	576,04	339,92	5,34	



27 pav. Vandens įgėrio nustatymas

- Įvedus superplastiklio VC D187 sumažinamas V/C, dėl to gauname tankesnę struktūrą mažiau kapiliarinių porų, todėl vandens įgeriamumas sumažėja į betono bandinį.
- Orą įtraukiantį priedą į betono matricą įvedam smulkias oro poras, kurios išskaido kapiliarines poras, dėl to vyksta vandens įgeriamumo mažėjimas.
- Naudojant putų polistirolio granules vandens įgėris keičiasi, tačiau neženkliai, tai sudaro apie 9,422 %.

4.4.2 Betono vandens įgeriamumo kinetikos nustatymas ir betono atsparumo šalčiui prognozavimas

Bandinys ventiliuojamoje (105 ± 5) C⁰ temperatūros džiovinyje buvo džiovinamas, kol masė per 24 h nepasikeitė daugiau kaip 0,2 %. Prieš svėrimą bandinys buvo atvėsintas iki artimos kambario temperatūros hermetišrame inde arba eksikatoriuje. Tada buvo mirkomas vandenyje 15 minučių, 60 minučių, 24 valandas ir 48 valandas ties kiekvienu laiku bandinys buvo išimamas ir nuo paviršiaus drėgnu skuduriuku nušluostomas vandens perteklius ir sveriamas. Po dviejų parų bandinys buvo sveriamas vandenyje. Žinant šias bandinių mases apskaičiuojami betono įgėris ir poringumo parametrai.

Vandens įgėris pagal masę:

$$W_p = \frac{m_{48} - m_s}{m_s} \times 100, \%$$

čia: m_{48} - bandinio masė po 48 val. mirkymo, g;

m_s - sauso bandinio masė ore, g.

Tankis:

$$T = \frac{m_s}{m_{48} - m_v} \times 1000, \text{ kg/m}^3$$

čia: m_{48} - bandinio masė po 48 val. mirkymo, g;

m_s - sauso bandinio masė ore, g;

m_v - bandinio masė vandenyje po 48 val. mirkymo, g.

Vandens įgėris pagal tūrį :

$$W_{p(t)} = (W_p \times T)/1000, \%$$

čia: W_p – vandens įgėris pagal masę, %;

T – tankis, kg/m^3 .

Vandens įgėris po 15 min. :

$$W_1 = \frac{m_{15} - m_s}{m_s} \times 100, \%$$

čia: m_{15} - bandinio masė ore po 15 min. mirkymo, g;

m_s - sauso bandinio masė ore, g.

Vandens įgėris po 60 min. :

$$W_2 = \frac{m_{60} - m_s}{m_s} \times 100, \%$$

čia: m_{60} - bandinio masė ore po 60 min. mirkymo, g;

m_s - sauso bandinio masė ore, g.

Santykis :

$$W_{1(s)} = \frac{W_1}{W_p}, \%$$

čia: W_1 – vandens įgėris po 15 min.;

W_p – vandens įgėris pagal masę.

Santykis :

$$W_{2(s)} = \frac{W_2}{W_p}, \%$$

čia: W_2 – vandens įgėris po 60 min.;

W_p – vandens įgėris pagal masę.

Iš standarte GOST 12730.4 – 78 pateiktos nomogramos tirtam betonui parenkami porų dydį apibūdinantys santykiniai rodikliai: porų vienodumo rodiklis - α , porų pasiskirstymas pagal dydį rodiklis – λ_1 .

Vidutinių porų dydžių rodiklis:

$$\lambda = \lambda_1 (1/\alpha)$$

Bendras poringumas:

$$P_p = \left(1 - \left(\frac{T}{2690}\right)\right) \times 100, \%$$

čia: T – tankis, kg/m³.

Atviras poringumas:

$$P_a = W_{p(t)}, \%$$

čia: W_{p(t)} – vandens įgėris pagal tūrį, %.

Uždaras poringumas:

$$P_u = P_p - P_a, \%$$

čia : P_p – bendras poringumas, %;

P_a – atviras betono poringumas, %.

Atsparumo šalčiui kriterijus:

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

čia : P_u – uždaras betono poringumas (oro kiekis betone), %;

P_a – atviras betono poringumas, %.

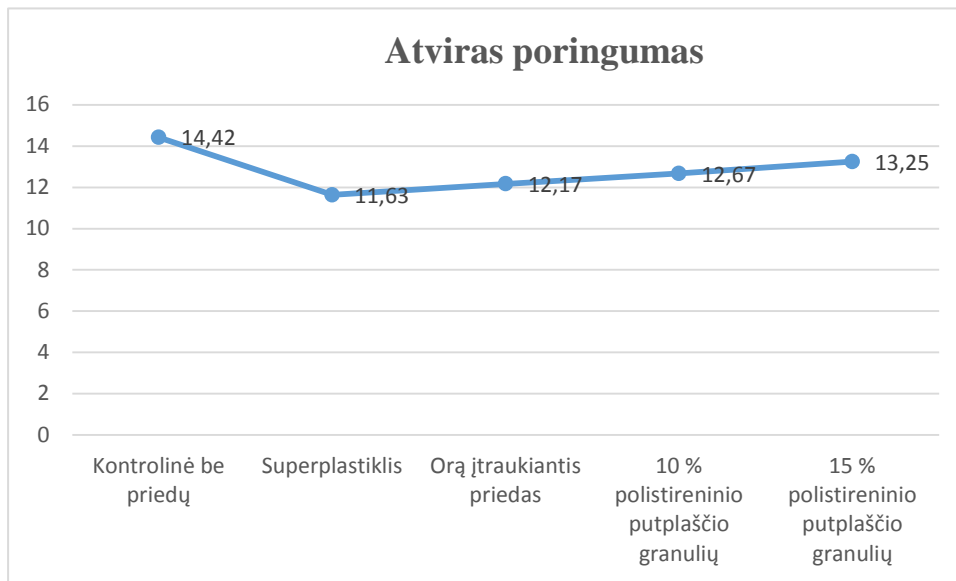
Žinant betono atsparumo šalčiui kriterijų K_s galima prognozuoti užšaldymo ir atšildymo ciklą

skaičių, kurį atlaikys betonas pagal empirinę priklausomybę.

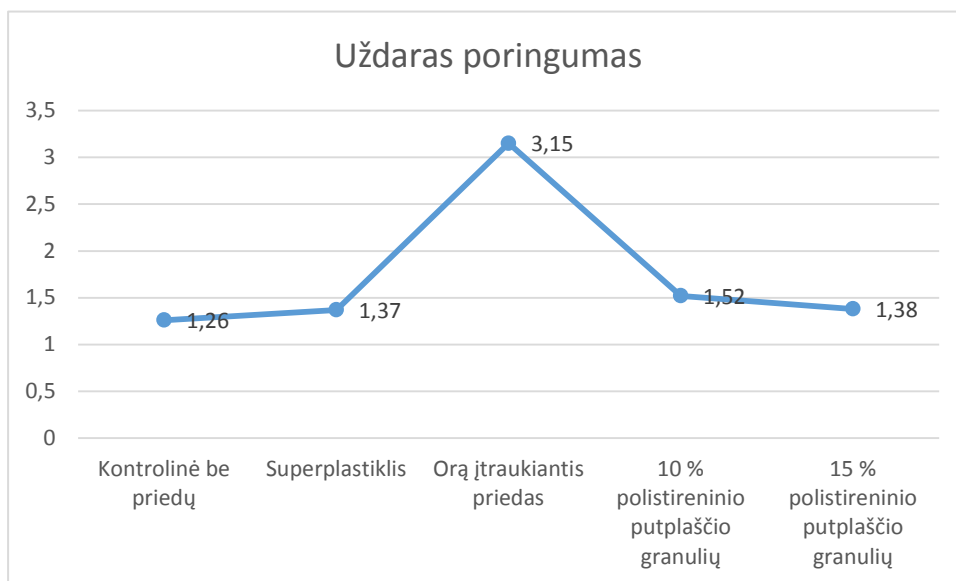
18 lentelė. Betono uždaro / atviro poringumo nustatymas pagal vandens įgeriamumo kinetiką.

Bandinių nr. / Pavadinimas	Bandinio masė, g						Wp,% po 48h	Tankis p, kg/m ³ sauso band.	Wp(t),% pagal turį	Wt ₁ ,% po 15min	Wt ₂ ,% po 1h	Wt ₃ ,% Po 24h	W' t ₁ arba W ₁ /W _p	W' t ₂ arba W ₂ /W _p	λ ₁	α	λ	Bendr. Poringumas	Atviras poringumas	Uždaras poringumas	Atsparumo šalčiui kriterijus	Prognozuojamas atsparumas šalčiui, ciklais
	Masė sauso	Po 15 min	Po 1h	Po 24h	Po 48h	Masė vanden vie												P, %	P _a , %	P _u , %	K _ξ	F, ciklais
Kontrlinė be priedų 1.1	619,40	638,85	654,16	660,38	660,80	384,07	6,68	2238	14,96	3,14	5,61	6,62	0,47	0,84	0,48	0,35	0,12	16,79	14,96	1,83	1,36	166
Kontrlinė be priedų 1.2	609,99	624,38	635,89	646,16	646,50	380,17	5,99	2290	13,71	2,36	4,25	5,93	0,39	0,71	0,59	0,30	0,17	14,86	13,71	1,15	0,93	57
Kontrlinė be priedų 1.3	545,94	562,01	575,80	581,41	581,78	340,42	6,56	2262	14,85	2,94	5,47	6,50	0,45	0,83	0,48	0,20	0,03	15,91	14,85	1,06	0,80	19
Kontrlinė be priedų 1.4	505,22	517,17	527,34	536,08	536,66	315,21	6,20	2282	14,16	2,37	4,38	6,11	0,38	0,71	0,47	0,30	0,08	15,15	14,16	0,99	0,78	14
Vidurkiai							6,36	2268,25	14,42	2,70	4,93	6,29	0,42	0,77	0,50	0,27	0,08	15,68	14,42	1,26	0,97	63,86
10 % 2.1	534,46	543,40	551,78	561,82	562,57	313,49	5,26	2146	11,29	1,67	3,24	5,12	0,32	0,62	0,42	0,38	0,09	13,22	11,29	1,93	1,90	283
10 % 2.2	677,47	692,90	703,82	716,38	717,10	399,48	5,85	2133	12,48	2,28	3,89	5,74	0,39	0,66	0,46	0,40	0,14	14,03	12,48	1,55	1,38	171
10 % 2.3	435,43	448,53	457,48	460,97	461,66	255,57	6,02	2113	12,73	3,01	5,06	5,87	0,50	0,84	0,47	0,35	0,12	14,24	12,73	1,51	1,32	157
10 % 2.4	413,37	428,10	436,77	440,57	441,17	245,09	6,73	2108	14,18	3,56	5,66	6,58	0,53	0,84	0,51	0,36	0,15	15,25	14,18	1,07	0,84	31
Vidurkiai							5,96	2125	12,67	2,63	4,46	5,83	0,43	0,74	0,47	0,37	0,13	14,19	12,67	1,52	1,36	161
15 % 3.1	413,13	428,71	436,35	439,96	440,81	236,72	6,70	2024	13,56	3,77	5,62	6,49	0,56	0,84	0,68	0,39	0,37	15,07	13,56	1,51	1,23	136
15 % 3.2	565,67	582,13	592,72	601,51	602,57	319,00	6,52	1995	13,01	2,91	4,78	6,34	0,45	0,73	0,64	0,41	0,34	14,21	13,01	1,20	1,02	81
15 % 3.3	522,70	539,60	550,21	557,00	557,83	295,41	6,72	1992	13,39	3,23	5,26	6,56	0,48	0,78	0,63	0,40	0,32	14,54	13,39	1,15	0,96	64
15 % 3.4	429,68	442,47	450,03	456,00	457,14	246,49	6,39	2040	13,04	2,98	4,74	6,13	0,47	0,74	0,65	0,42	0,36	14,71	13,04	1,67	1,43	182
Vidurkiai							6,58	2012,7	13,25	3,22	5,10	6,38	0,49	0,77	0,65	0,41	0,35	14,63	13,25	1,38	1,16	116
CENTRAMENT AIR 202 4.1	607,94	618,67	628,25	639,03	639,54	378,31	5,20	2327	12,10	1,76	3,34	5,11	0,34	0,64	1,35	0,75	1,49	15,49	12,10	3,39	3,12	499
CENTRAMENT AIR 202 4.2	525,30	535,65	543,92	552,13	552,40	327,72	5,16	2338	12,06	1,97	3,54	5,11	0,38	0,69	1,35	0,80	1,46	15,09	12,06	3,03	2,79	443
CENTRAMENT AIR 202 4.3	518,10	529,73	538,61	544,66	545,32	320,89	5,25	2309	12,13	2,24	3,96	5,17	0,43	0,75	1,43	0,78	1,58	16,18	12,13	4,05	3,71	596
CENTRAMENT AIR 202 4.4	564,77	578,96	588,20	594,48	594,95	351,07	5,34	2316	12,37	2,51	4,15	5,26	0,47	0,78	1,27	0,72	1,39	14,51	12,37	2,14	1,92	285
Vidurkiai							5,24	2322,37	12,17	2,12	3,75	5,16	0,40	0,71	1,34	0,76	1,48	15,32	12,17	3,15	2,88	455,96
VC D187 5.1	581,27	590,91	598,91	609,02	609,51	362,50	4,86	2353	11,43	1,66	3,03	4,77	0,34	0,62	0,79	0,40	0,55	12,52	11,43	1,09	1,06	90
VC D187 5.2	573,89	583,14	591,26	600,40	601,03	358,14	4,73	2363	11,17	1,61	3,03	4,62	0,34	0,64	0,64	0,40	0,33	12,17	11,17	0,99	0,99	72
VC D187 5.3	584,26	597,18	606,21	612,66	613,20	362,36	4,95	2329	11,54	2,21	3,76	4,86	0,45	0,76	0,64	0,22	0,13	13,41	11,54	1,87	1,81	263
VC D187 5.4	546,86	559,61	569,24	575,35	576,04	339,92	5,34	2316	12,36	2,33	4,09	5,21	0,44	0,77	0,81	0,32	0,52	13,90	12,36	1,54	1,39	173
Vidurkiai							4,97	2340,31	11,63	1,95	3,48	4,87	0,39	0,70	0,75	0,33	0,43	13,00	11,63	1,37	1,31	149,42

4.5 Uždaras ir atviras poringumas



28 pav. Atvirojo poringumo išsidėstymo grafikas.



29 pav. Uždarojo poringumo išsidėstymo grafikas.

Paskaičiavus atvirą ir uždarą poringumas, atviro poringumo duomenys kinta tarp 14-11 %, o uždarojo poringumo tarp 1-3 %. 29 pav. matome, jog labiausiai išsiskiria orą įtraukiantis priedas. Jis susideda iš uždarų oro porų, taip padidindamas uždarą betono poringumą bei atitinkamai padidindamas atsparumui šalčiui kriterijų ir pačio betono mišinio atsparumą šalčiui.

4.6 Atsparumo šaldymo ir atšildymo nustatymas

Nustatyta penkių betono bandymo kubelių kapiliarinis šaldymo metodas. Paskaičiuoti masės nuostoliai kiekvienai iš sudėčių.



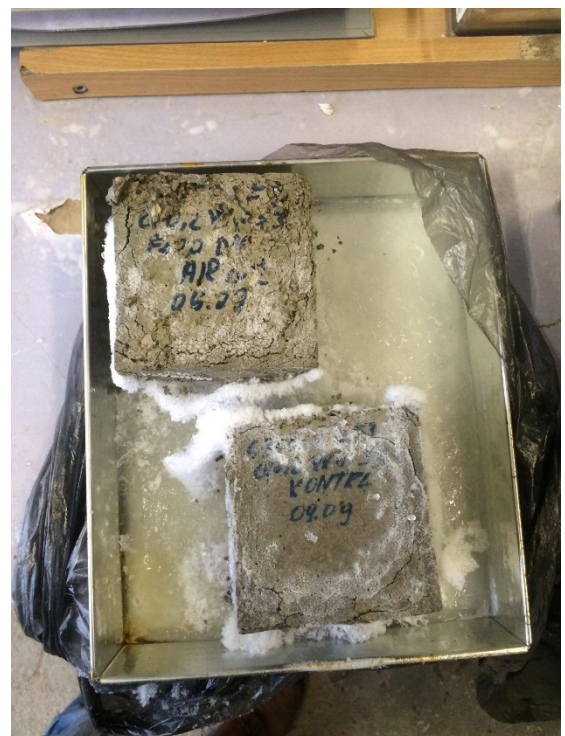
30 pav. Betono bandiniai prieš kapiliarinį bandymą.

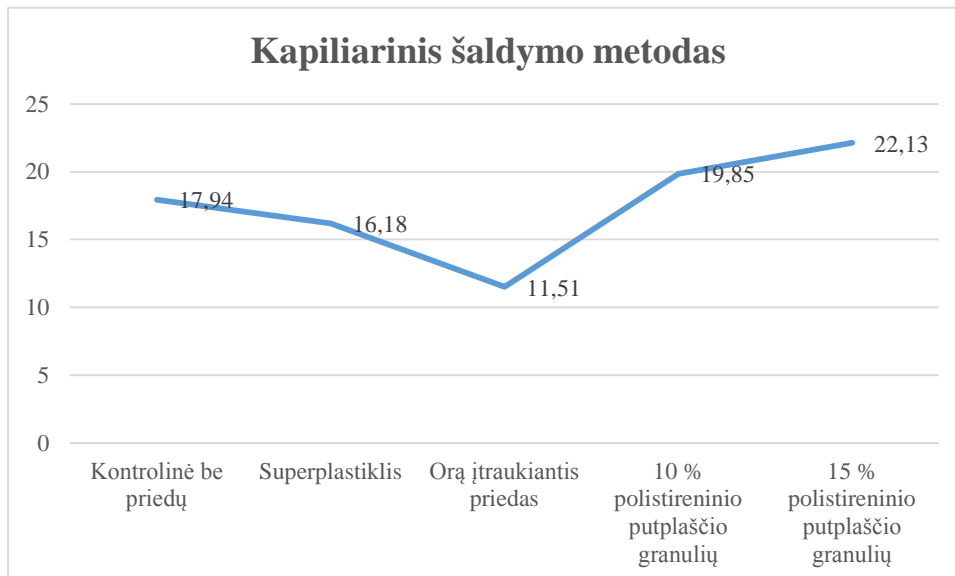


31 pav. Betono bandiniai prieš kapiliarinį bandymą



32 pav. Betono bandiniai po kapiliarinio bandymo metodo.





33 pav. Kapiliarinio šaldymo metodo duomenys

- Naudojant orą įtraukiantį priedą masės nuostolis 11,51
- Nenaudojant jokių priedų masės nuostolis 17,94 %
- Naudojant superplastiklį masės nuostolis 16,18 %
- Naudojant polistireninio putplaščio granules 10% masės nuostolis 19,85 %
- Naudojant polistireninio putplaščio granules 15% masės nuostolis 22,13 %

Pastaba: kapiliarinis šaldymo metodas truko per ilgai, manau, jog reikėtų trumpinti šaldymo laiką, jog anksčiau galima būtų užfiksuoti betono įtrūkimus. Yra alternatyva, tai yra tūrinis šaldymo metodas, kuris yra standartizuotas pagal LST 1974 ir LST 1428.17. Šio bandymo bandiniai yra padaryti. Betono bandiniai atlaikė 200 su virš ciklų. Kapiliarinio bandymo metu, betono bandiniai buvo panardinti į natrio chlorido tirpalą (NaCl) 5%. Daugelį betono gaminių eksploatacijos metu intensyviai veikia klimatiniai poveikiai iš vienos – išorinės pusės. Todėl jų ilgaamžiškumo nustatymui gerai tinka kapiliarinis šaldymo metodas. Atsparumo šalčiui markei (ciklų skaičiui) F nustatyti betono bandiniai mirkomi vandenyje. Atskirais atvejais bandiniai gali būti mirkomi numatytos įvairios koncentracijos vandeniniame druskos (arba keletu druskų) tirpale. Atsparumo šalčiui markei F nustatyti iš bandinių yra sumontuojamas imitacinis fragmentas, kuris papildomai sudrėkintas nedelsiant yra nepertraukiamai cikliškai šaldomas ir šildomas bei periodiškai tikrinamas, ar bandinių paviršiuje neatsiranda imitacinio fragmento reikšmingų irimų. Vienas bandymo ciklas susideda iš programuoto modelinio šaldymo (vienpusiu šaldymu) ir šildymo etapo, kurio temperatūra kinta nuo -20°C iki +20°C ir taip kartojasi. Bendra ciklo trukmė 48 ±0,5 h.

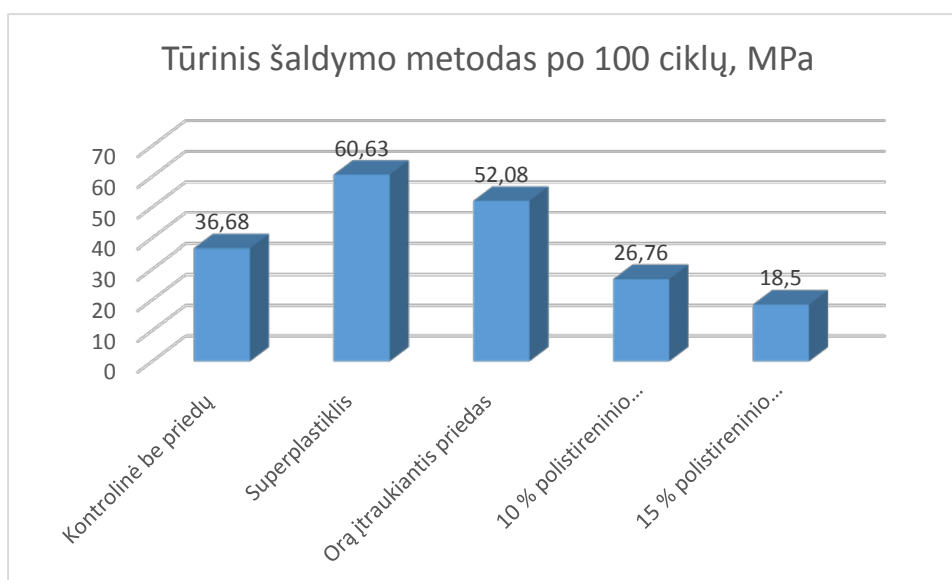


34 pav. Betono bandiniai po kapiliarinio šaldymo metodo, nustatant masės nuostolius.

4.7 Tūrinis šaldymo metodas

19 lentelė. Tūrinio šaldymo metodo parodymai po 100 užšaldymo ir atšildymo ciklų.

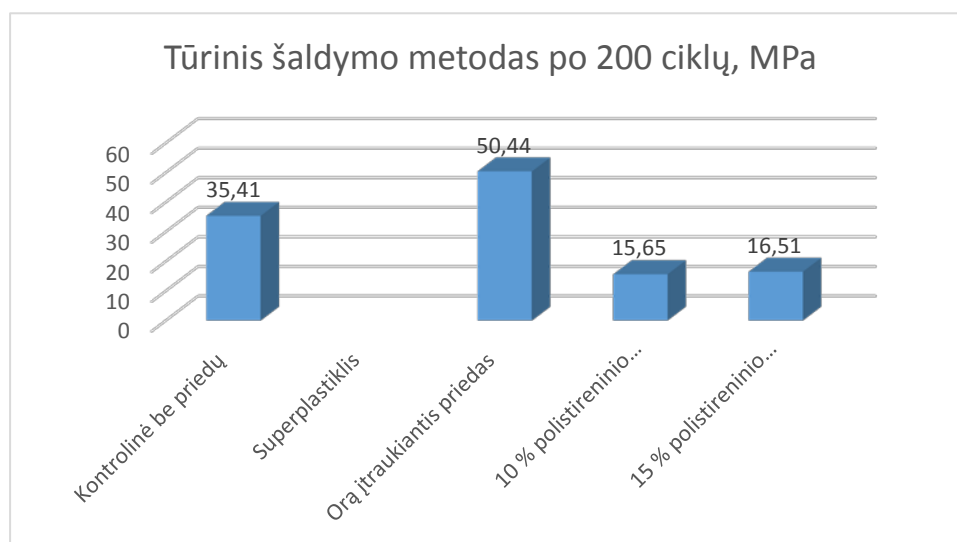
Bandinio pavadinimas	Bandinio matmenys, cm plotis x ilgis x aukštis	Masė, g	Gniuždymo jėga, kN	Stipris, Mpa
Kontrolinė sudėtis be priedų	9,85x9,87x10,0	2388	376,1	38,68
Kontrolinė sudėtis su priedu VC D187	9,9x10,05x9,95	2404	600,2	60,63
Kontrolinė sudėtis su CENTRAMENT AIR 202	9,9x10x9,85	2394	507,9	52,08
Kontrolinė sudėtis su putų polistirolo granulėmis 10 %	9,9x10,13x9,95	2170	267,3	26,76
Kontrolinė sudėtis su putų polistirolo granulėmis 15 %	9,94x10,05x10,03	2062	190,4	18,50



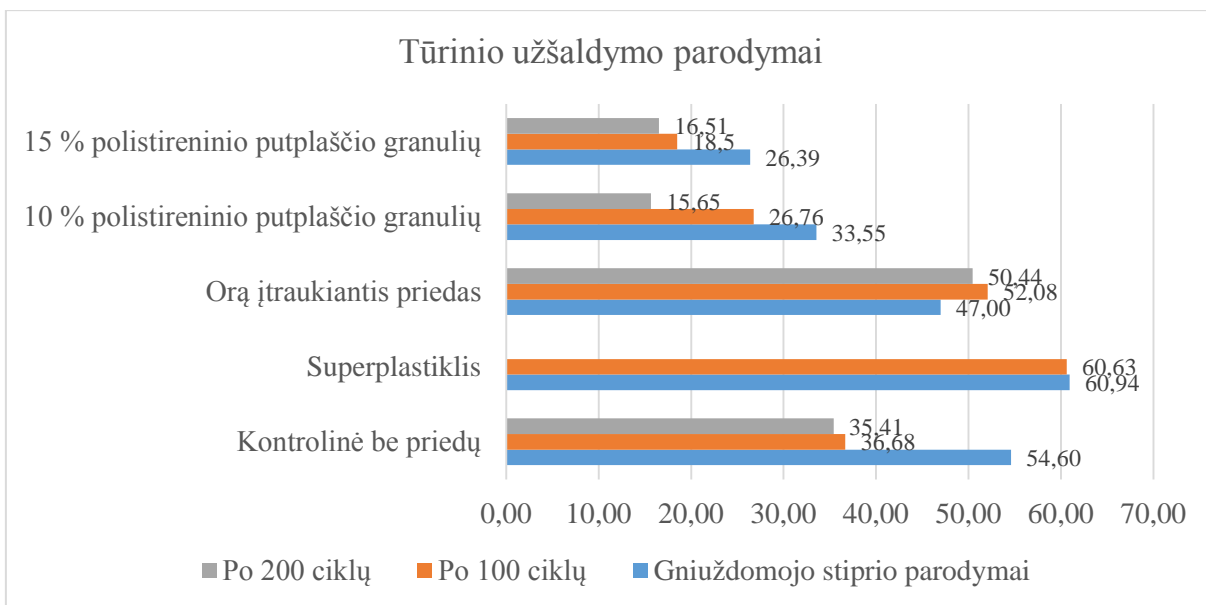
35 pav. Tūrinio šaldymo metodo parodymai po 100 užšaldymo ir atšildymo ciklų.

20 lentelė. Tūrinio šaldymo metodo parodymai po 200 užšaldymo ir atšildymo ciklų.

Bandinio pavadinimas	Gniuždymo jėga, kN	Gniuždymo jėga, Mpa
Kontrolinė sudėtis be priedų	354,1	35,41
Kontrolinė sudėtis su priedu VC D187	Kūbelis sutrūkęs, netinkamas bandymui	
Kontrolinė sudėtis su CENTRAMENT AIR 202	504,4	50,44
Kontrolinė sudėtis su putų polistirolu granulėmis 10 %	156,55	15,65
Kontrolinė sudėtis su putų polistirolu granulėmis 15 %	165,1	16,51



36 pav. Tūrinio šaldymo metodo parodymai po 200 užšaldymo ir atšildymo ciklų.



37 pav. Tūrinio užšaldymo parodymai



38 pav. Iš kairės į dešinę, bandinio kūbelis su superplastikliu, orą įtraukiančiu priedu, kontroline sudėtimi be priedų, 2 kūbeliai su 10 % polistireninio putplaščio granulių, 2 kūbeliai su 15 % polistireninio putplaščio granulių. Bandiniai po tūrinio šaldymo metodo, tai yra po 200 ciklų.

Betono atsparumas šalčiui nustatomas pakaitomis ore šaldant vandeniu prisotintus betono bandinius ir po to juos atšildant vandenyje arba druskos tirpale. Yra keletas standartizuotų atsparumo šalčiui nustatymo metodų. Įprastiniam betonui dažniausiai naudojamas tūrinio šaldymo metodas. Bandant šiuo metodu, betono atsparumo šalčiui markė (F) yra atsparumo šalčiui bandymo skaičius ciklų, po kurių bandiniai pradeda irti, bet jų stipris gniuždant sumažėja ne daugiau kaip 5%. Betono irimas dėl šalčio poveikio, kaip ir plieninės armatūros korozija – dažniausiai pasitaikantis gelžbetoninių konstrukcijų destrukcijos atvejis. Cikliškai šaldomas ir šildomas vandeniu prisotintas betonas kaip ir kitas mineralinis kietas kūnas gali suirti. Pagrindinė irimo, trūkinėjimo, trupėjimo ir aižėjimo priežastis yra ta, kad gaminio porose užšalancio vandens, virtusio ledu, tūris didėja. Vandens tankis yra 1 g/cm³, o ledo 0,917 g/cm³. Ledas užima 9% didesnę tūrį negu vanduo. Todėl ledo kristalai slegia medžiagos porų bei kapiliarų sienelės, plečia visą gaminį ir gali jį suardyti. Tūrinis šaldymo metodas buvo atliktas pagal standartą LST 1428.17. Bandymo kūbeliai buvo išlaikyti 200 užšaldymo ir atšildymo ciklų. Taip pat įvertinta ir po 100 ciklų, tai nurodyta 37 pav. Pagal 37 pav. tai yra tūrinio šaldymo metodą, rezultatai gauti, jog polistireninio putplaščio granuliu su 10 % ir 15 % stiprumas gniuždant po 200 ciklų sumažėja daugiau negu 5 %. Su 15 % polistireninio putplaščio granuliu stiprumas gniuždant sumažėja 37,44 %, o analogiškai su 10 % polistireninio putplaščio 53,35 %. Su orą įtraukiančiu priedu, mes gauname gniuždomojo stiprio padidėjimą po 200 ciklų, tai sudaro 6,82 %. Su superplastikliu bandinys po 200 ciklų visiškai suiro, 38 pav. yra nuotrauka, kurioje matyti kūbelio forma. Kontrolinėje sudėtyje betono bandiniai atlaikę F200, po gniuždomojo stiprio nustatymo sudarė 35,14 % stiprio sumažėjimą.

Išvados

1. Įvedus superplastiklį yra sumažinamas betono V/C, dėl to gaunama tankesnės struktūros medžiaga, sumažėja kapiliarinių porų kiekis, todėl sumažėja tokio betono vandens įgėris. Naudojant orą įtraukiantį priedą į betono matricą mes įvedame smulkias oro poras, kurios išskaido kapiliarines poras, todėl įtraukiant šiuos priedus tai pat gaunamas vandens įgeriamumo sumažėjimas. Polistireninio putplaščio granulės vandens įgėrį keičia neženkliai tai yra sumažina apie 9 procentus lyginant su kontroline sudėtimi.
2. Nustatant stiprumines savybes, didžiausias gniuždomasis stipris gautas naudojant superplastiklį, kurio vertė 60,94 MPa, mažiausia su 15 % polistireninio putplaščio granulių – 26,39 MPa. Naudojant superplastiklį sumažinama vandens redukcija, nekeičiant betono mišinio konsistencijos, o mažėjant vandens kiekiui mes gauname mažesnę vandens ir cemento santykį, dėl to padidėja betono gniuždymo stiprumas.
3. Nustačius tankį, maksimalios reikšmės gautos bandiniuose, kuriuose nenaudota jokių priedų – 2380, 17 kg/m³. Minimaliausia – bandiniuose su 15 % polistireninio putplaščio granulių, t.y. 2017,06 kg/m³. Įvedant orą įtraukiantį priedą, polistireninio putplaščio granules, padidiname poringumą, todėl betono bandiniuose atsiranda (uždarų ir atvirų) padidintas porų kiekis, tai įtakoja, jog betono bandiniai tampa poringesni bei jų tankis sumažėja.
4. Atlikus tūrinį šaldymo metodą pagal LST 1428.17 gauti užšaldymo bei atšildymo po 200 ciklų rezultatai. Nustatyta kad gniuždymo stipris po 200 užšaldymo ciklų sumažėjo ne daugiau nei 5% bandiniuose, kuriuose buvo naudojamas orą įtraukiantys priedai. Taip pat gauta, kad pagal minėtą metodą F100 atlaikė bandiniai, kuriuose buvo naudojamas superplastiklis. Kontroliniai bandiniai ir bandiniai, kuriuose buvo dedamos polistireninės granulės neatlaikė šalčio ciklų, t.y. net po F100 jų stipris sumažėjo daugiau nei 5%.
5. Buvo atliktas kapiliarinis šaldymo metodas bei nustatyti bandinių masės nuostoliai. Šio bandymo metu, mažiausiai masės nuostolių prarado betono bandinys su orą įtraukiančiu priedu, tai yra 11,51 %. Didžiausi masės nuostoliai yra bandiniuose su 15 % polistireninio putplaščio granulėmis.

LITERATŪRA

1. Beinbreach G., Hillmann R. EPS in road construction – current situation in Germany. Geotextiles and Geomembranes 15, 1997. p. 39-57.
2. Žemaitis, A. Polimerų fizika ir chemija. Kaunas „Technologija“ 2001. 568 p.
3. Hutsman Technical Bulletin 1-10. Instruction to expandable polystyrene. 2001.
4. Effect of rubber ash content on the initial and final setting time
(Al-Akhras and Samadi, 2004) Manuscript Number: WM-14-68 Al-Akhras Nabil and Samadi Mohammed M., "Properties of tire rubber ash mortar", Cement & concrete Composites, 26, 2004, 821-826.
5. Marques et al., 2008 Manuscript Number: WM-14-68
6. Topçu and Demir, 2007 Manuscript Number: WM-14-68
7. Effect of rubber content on the slump-flow of self-consolidating mortar mixtures (Uygunoğlu and Topçu, 2010), Manuscript Number: WM-14-68
8. Slump flow of CLSRC and CLSRLC (Wang et al., 2013)
[Rubber-A st,2013] Manuscript Number: WM-14-68
9. Al-Akhras and Samadi, 2004
10. Segre et al., 2004 Effect of rubber sand on the water absorption, porosity and chloride ion penetration of mortars and concretes
11. Oilonomou and Mavridou, 2009 (itraukti i abecele)
12. Ozbay et al., 2011 Effect of rubber sand on the workability, setting time, segregation and bleeding of concrete mixtures, Manuscript Number: WM-14-68.
13. Paineetal., 2012
14. Paine and Dhir, 2010
15. Al-Akhras and Samadi, 2004
16. Topcu and Demir, 2007

17. Karahan et al., 2012 Karahan Okan, Özbay Erdo?an, Hossain Khandaker M. A., Lachemi Mohamed and Ati?Cengiz D., "Fresh, mechanical, transport, and durability properties of self-consolidating rubberized concrete", ACI Materials Journal, 109-M39, July-August 2012, 413-420.
18. Jingfu and Yongqi, 2008 (i abecele)
19. Abdulla and Ahmed, 2011 Abdulla Aziz Ibrahim and Ahmed Salwa Hadi, "Effect of rubber treated by acidic solution on some mechanical properties of rubberize cement mortar", Eng. & Tech. Journal, 29, 13, 2011, 2793-2793. Abdulla Aziz Ibrahim, Aules Wisam Amer and Ahmed Salwa Hadi, "Cement mortar properties contain crumb rubber treated with alkaline materials", Modern Applied Science, 4, 12, December 2010, 146-163.
20. SikaAer solid produkto aprašymas, leidimas 01/2013.
21. V. Kerševičius. Gumos atliekos – statytininių medžiagų žaliava: techniniai ir ekonominiai utilizavimo aspektai. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. 2002
22. „Damping Properties of Concrete with Rubber Waste Additives“ G. Skripkiūnas, A. Grinys, K. Miškinis
23. Konferencija "Pažangioji statyba", Kaunas 2007.11.15-16d., p.118-125.
24. Gintautas Skripkiūnas " Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės. p 207.
25. <http://www.syntheoninc.com/product-lines/elemix-concrete-additive/>
26. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308, PARTIAL REPLACEMENT OF COARSE AGGREGATES BY EXPANDED POLYSTYRENE BEADS IN CONCRETE.
27. Desing and control of concrete mixtures, 15th edition, p.120-122
28. <http://www.sts54.ru/en/polystyrene/>