

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Deividas Povilaitis

**BEAUTOKLAVIO AKYTOJO BETONO TECHNOLOGIJA,
PANAUDOJANT TECHNOGENINES ATLIEKAS**

Magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas:

Dr. Doc. Vytautas Sasnauskas

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(parašas) Prof. dr. Vitoldas Vaitkevičius

(data)

**BEAUTOKLAVIO AKYTOJO BETONO TECHNOLOGIJA,
PANAUDOJANT TECHNOGENINES ATLIEKAS**

Magistro baigiamasis darbas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija, 621H20001

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Vytautas Sasnauskas

(data)

Recenzentas

(parašas)

(data)

Projektą atliko

(parašas) Deividas Povilaitis

(data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros fakultetas

(Fakultetas)

Deividas Povilaitis

(Studento vardas, pavardė)

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija, 621H20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

BEAUTOKLAVIO AKYTOJO BETONO TECHNOLOGIJA, PANAUDOJANT TECHNOGENINES ATLIEKAS AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Deivido Povilaičio**, baigiamasis projektas tema „Beautoklavio akytojo betono technologija, panaudojant technogenines atliekas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Magistro baigiamasis darbas

**BEAUTOKLAVIO AKYTOJO BETONO TECHNOLOGIJA, PANAUDOJANT
TECHNOGENINES ATLIEKAS**

Deividas Povilaitis

Anotacija

Beautoklavis akytasis betonas yra priskiriamas lengviesiems betonams, kurių tankis siekia nuo 200 iki 1800 kg/m³. Akytasis betonas turi tokių savybių kaip didelis stipris svorio santykiu ir nedidelis tankis. Naudojant akytąjį betoną sumažėja pastovi apkrova, kuri tenka konstrukcijoms ir pamatams, taupoma daugiau energijos ir sumažinamos išlaidos statybų darbams. Taip pat gaminant statybinius gaminius, tokius kaip betono blokeliai ir kt., yra sumažinamos gamybos ir transportavimo išlaidos lyginant su normaliuoju betonu, akytasis betonas turi potencialą būti naudojamas kaip struktūrinė medžiaga konstrukcijoms.

Pagal paskirtį lengvieji betonai skirstomi į termoizoliacinius, kurių tankis yra mažesnis kaip 500 kg/m³, konstrukcinius - termoizoliacinius, kurių tankis 500 – 1200 kg/m³, ir konstrukcinius. Jų tankis 1200 – 1800 kg/m³.

Laivų gamybos - remonto technologijoje susidaro gamybinės atliekos, kurios sudarytos iš metalo ir antikorozinių dangų dulkių. Jų utilizavimas yra gana problematiškas, todėl ieškoma būdų kaip pigiau ir efektyviau utilizuoti šias atliekas. Vienas iš galimų sprendimų yra šių atliekų panaudojimas akytojo betono gamyboje.

Brangstant energiniams ištekliams beautoklavio akytojo betono gamybos būdas tampa vis perspektyvesnis. Tačiau jo gamybos technologija dar yra tobulintina. Šis straipsnis yra trumpa apžvalga apie akytąjį betoną, jo sudedamąsias dalis, gamybos metodą ir savybes. Atliktos literatūrinės analizės tikslas – praplėsti ir pagilinti žinias apie galimą akytojo betono taikymą statybos pramonėje šiomis dienomis, jame panaudojant technogenines atliekas.

Reikšminai žodžiai: beautoklavis, akytasis betonas, technologija, technogeninės atliekos, šratavimo atliekos

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE
DEPARTMENT OF BUILDING MATERIALS

Master Final Work

NOT AUTOCLAVED FOAMED CONCRETE TECHNOLOGY USING
TECHNOGENIC WASTE

Deividas Povilaitis

Summary

Not autoclaved concrete is classified as lightweight concrete with a density of 200 to 1800 kg/m³. Poured concrete has characteristics such as high strength in weight ratio and low density. The use of acrylic concrete reduces the constant load on structures and foundations, saves more energy and reduces the cost of construction work. Also, in the production of construction products such as concrete blocks, etc., production and transportation costs are reduced compared to normal concrete, the porous concrete has the potential to be used as structural material for structures.

According to the purpose, lightweight concrete is divided into thermal insulation with a density less than 500 kg/m³, structural - thermal insulation with a density of 500 - 1200 kg/m³, and structural ones. Their density is 1200 - 1800 kg/m³.

Ship production - repair technology generates industrial waste that consists of metal and anti-corrosion coating dust. Their utilization is quite problematic, and it is looking for ways to cheapen and more efficiently utilize these waste. One of the possible solutions is the use of these wastes in the production of aerated concrete.

With the increasing cost of energy resources, the production of autoclaved aerated concrete is becoming increasingly promising. However, its manufacturing technology is still being refined. This article is a brief overview of concrete, its constituents, production method and properties. The purpose of the literary analysis was to broaden and deepen the knowledge about the potential application of aerated concrete in the construction industry these days, using technogenic waste.

Key words: without autoclave, not autoclaved, foamed concrete, porous concrete, technology, technogenic waste, shredding waste

TURINYS

ĮVADAS.....	3
1. LITERATŪROS APŽVALGA	5
1.1 Sudedamosios medžiagos ir paruošimo metodai	5
1.1.1 Rišamoji medžiaga.....	5
1.1.2 Putodaris.....	5
1.1.3 Vanduo ir plastikliai.....	6
1.1.4 Smėlis.....	7
1.1.5 Technogeninės atliekos	7
1.1.6. Putų cementbetonio paruošimas, putų susidarymas, mišinio struktūra.....	9
1.1.7 Saugos reikalavimai	11
1.2 Akytų betonų savybės.....	11
1.2.1 Tankis.....	11
1.2.2 Gniuždomasis stipris	13
1.2.3 Kapiliarinis vandens įgėrimas.....	14
1.2.4 Garso izoliavimas.....	15
1.2.5 Termoizoliacinės savybės.....	15
1.2.6 Atsparumas šalčiui	17
1.3 Metalų šratavimo atliekos, toksiškumas ir poveikis sveikatai, utilizavimo svarba.....	17
2. TYRIMŲ METODIKA IR NAUDOTOS MEDŽIAGOS	19
2.1 Medžiagos.....	19
2.2 Mišinio sudėtis	20
2.3 Mišinio paruošimas	22
2.4 Bandinių formavimas ir kietėjimo sąlygos	24
2.5 Bandinių stiprio ir vandens įgerties nustatymas.....	25
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ.....	26
3.1 Akytojo betono bandiniai su metalo šratavimo atliekomis (pagal masės procentą)	26
3.2 Akytojo betono bandiniai su metalo šratavimo atliekomis (pagal turio procentą)	32
IŠVADOS.....	38
LITERATŪRA	39

ĮVADAS

Beautoklavis akytasis betonas yra priskiriamas lengviesiems betonams, kurių tankis siekia nuo 200 iki 1800 kg/m³. Akytasis betonas turi tokių savybių kaip didelis stipris svorio santykiu ir nedidelis tankis. Naudojant akytąjį betoną sumažėja pastovi apkrova, kuri tenka konstrukcijoms ir pamatams, taupoma daugiau energijos ir sumažinamos išlaidos statybų darbams. Taip pat gaminant statybinius gaminius, tokius kaip betono blokeliai ir kt., yra sumažinamos gamybos ir transportavimo išlaidos lyginant su normaliuoju betonu, akytasis betonas turi potencialą būti naudojamas kaip struktūrinė medžiaga konstrukcijoms.

Lengvųjų betonų tankis priklauso nuo jų akytumo. Lengvųjų betonų struktūra gaunama naudojant lengvus akytuosius užpildus, kartu didinant cementinio akmens poringumą arba pakeičiant užpildus tuštumomis, kurios gali siekti 1-3 mm.

Kai poros gaunamos naudojant dujodarius, akytieji betonai vadinami dujų betonais. Kai šios poros gaunamos į betono mišinį įmaišius iš putokšlio tirpalo paruoštų stabilijų putų, akytieji betonai vadinami putų betonais.

Pagal paskirtį lengvieji betonai skirstomi į termoizoliacinius, kurių tankis yra mažesnis kaip 500 kg/m³, konstrukcinius - termoizoliacinius, kurių tankis 500 – 1200 kg/m³, ir konstrukcinius. Jų tankis 1200 – 1800 kg/m³.

Pagal kietėjimo būdus lengvieji betonai skirstomi į autoklavinius ir beautoklavinius. Beautoklaviai lengvieji betonai gali būti šutinami specialiose šutinimo kamerose, kai yra tam tikras atmosferinis slėgis ir 50 – 100 °C vandens garų temperatūra, bei gali kietėti normaliomis sąlygomis (28 paras).

Putų betonas žinomas jau seniai. Pirmą kartą sumaišyti rišamąsias medžiagas su putomis ir tokiu būdu pagaminti akytąjį betoną 1911 m. pasiūlė danų inžinierius Bayeris. Bet praktiškai šiuo būdu betonas buvo pradėtas gaminti tik 1923–1925 m., iš pradžių Danijoje, paskui Vokietijoje, vėliau ir kitose šalyse. Nuo to laiko buvo paskelbta daug išradimų ir putų betono gamybos patentų. Toliau pateikiama keletas užsienyje vartojamų putų betonų pavadinimų: celenbetonas, izobetonas, betoselas ir kt. Tačiau putų betonas yra mažiau paplitęs nei dujų betonas. Lietuvoje putų betonas (jo atmaina – putų silikatas) buvo pradėtas gaminti 1957 m. Kauno silikatinių plytų gamykloje „Bitukas“ (cecho našumas buvo 9000 m³ per metus). Vėliau ši gamyba įdiegta Gargždų statybinių medžiagų kombinate. Tačiau tai buvo autoklavinis gamybos būdas. Didėjant tokių gaminių paklausai, putų betonai buvo pakeisti dujų betonais, kurių technologija paprastesnė, o jų gamybai taip pat naudojami autoklavai.

Laivų gamybos - remonto technologijoje susidaro gamybinės atliekos, kurios sudarytos iš metalo ir antikoroziinių dangų dulkių. Jų utilizavimas yra gana problematiškas, todėl ieškoma būdų kaip pigiau ir efektyviau utilizuoti šias atliekas. Vienas iš galimų sprendimų yra šių atliekų panaudojimas akytojo betono gamyboje.

Brangstant energiniams ištekliams beautoklavio akytojo betono gamybos būdas tampa vis perspektyvesnis. Tačiau jo gamybos technologija dar yra tobulintina. Šis darbas yra apžvalga apie akytąjį betoną, jo sudedamąsias dalis, gamybos metodą ir savybes.

Darbo tikslas:

1. Žaliavų analizė akytojo betono paruošimui
2. Mišinio paruošimo analizė
3. Bandinių tyrimas (tankio nustatymas, stiprio gniuždant nustatymas, vandens įgerties nustatymas)
4. Bandinių tyrimo gautų rezultatų palyginimas
5. Tyrimo išvados

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Sudedamosios medžiagos ir paruošimo metodai

Putų cementbetonį sudaro pagrindinės ir pagalbinės sudedamosios dalys. Pagrindinės sudedamosios dalys skiediniui yra cementas, smėlis, vanduo ir kiti užpildai. Pridėtinės arba pagalbinės – pelenai, plastikliai, pluoštai. Visos paminėtos medžiagos bus detaliai aprašytos žemiau pateiktuose poskyriuose. [4][5]

1.1.1 Rišamoji medžiaga

Cementas yra labiausiai vyraujanti rišamoji medžiaga putų cementbetonyje. Cementų tipai naudojami putų cementbetonyje yra įprasti rišikliai – portlandcementis, greitai kietėjantis portlandcementis, kalcio sulfato cementas, kalcio aluminatų (kt. molžemio) cementas, kurie gali būti panaudojami nuo 25% iki 100% rišiklio turinio. Kitos pridėtinės medžiagos kaip silicio dioksido smalkės, pelenai, kalkės gali būti pakeisti cementu, atitinkamai nuo 10% iki 75%.

Pridėtinės arba pagalbinės medžiagos yra naudojamos tam, kad sumažintų išlaidas, pagerintų mišinio struktūrą ir ilgalaikį stiprumą. Kiekviena pagalbinė medžiaga gali skirtingai pakeisti putų cementbetonio savybes. Pavyzdžiui, silicio dioksido smalkės dėl savo užpildymo ir pucolaninių savybių padeda putų cementbetoniui greičiau sustiprėti per trumpesnę laiką, lyginant su pelenais. Taigi, remiantis putų cementbetonio savybėmis, pagalbinės medžiagos turėtų būti naudojamos kaip dalinis pakaitalas pagrindiniams užpildams. [6][7][11]

1.1.2 Putodaris

Putodaris kontroliuoja betono tankį, sudarydamas oro burbulus cemento mišinyje. Putų burbulai yra prilyginami uždarams oro tuštumoms, susidariusiems veikiant putodario priedui. Putodariai dažniausiai yra dirbtiniai skysčiai, kurių pagrindas baltymai, dervos klijai, hidrolizuoti baltymai, muilinė derva ir saponinas. Dažniausiai pasitaikantis putodaris yra sintetinis ir baltymų pagrindu. Baltymų pagrindo putodaris pasižymi stipresne ir uždaresne burbulų struktūra, kuri leidžia įtraukti didesnę kiekį oro ir tai pat suteikia stabilesnę oro tuštumų sandarą. Sintetinis putodaris pasižymi didesne plėtra, kas įtakoja putų cementbetonio mažesnę tankį. Putokšlio kiekis turi didelį poveikį putų cementbetonio savybėms, nepriklausomai nuo jo

būsenos – skystam ar sukietėjusiam. Yra pastebėta, kad per didelis kiekis putodario lėtina mišinio tekėjimą. Visgi didžiausią įtaką mišinio tekėjimui daro jo maišymo laikas. Kuo didesnis maišymo laikas, tuo daugiau įtraukiama oro į mišinį, bet jeigu mišinys yra maišomas per ilgai yra galimybė, kad mišinyje įtraukto oro kiekis pradės mažėti. Be to vandens mažinimo priedai gali sukelti nepastovumą putose, dėl to yra rečiau naudojami putų cementbetonio mišiniuose. Putodario pastovumas turi būti patvirtintas ASTM C869-91 ir ASTM C796-97 bandymų procedūromis. Oro tuštumos turi sudaryti nuo 6% iki 35% galutinio mišinio. [1]

Kitas gamybos procesas taip pat buvo pristatytas Taylor, Valore ir Brossard. [4] Jų teigimu, putų kokybė priklauso nuo putodario praskiedimo santykio, formavimo proceso, suspausto oro santykio, užpildų dozavimo ir skiedinio maišymo. Putų kokybė yra labai svarbi, kadangi ji paveikia putu cementbetonio stabilumą, taip pat nulemia sukietėjusio betono stiprį bei standumą. Putų cementbetonyje gniuždomoji jėga daugiausiai priklauso nuo putodario nei nuo V/C santykio, ir ypačingai nuo putodario tipo – naudojant baltymų pagrindo putodarį gaunama didesnė gniuždomoji jėga negu naudojant sintenį. Wee et al., atlikęs nemažai eksperimentų ir tyrimų, priėjo išvadą, kad įtrauktas oras putu cementbetonyje daro didesnę įtaką gniuždomajam stipriui, negu tamprumo moduliui. Apskritai, putodaris turi būti dozuojamas iškart po atidarymo, skystoje būsenoje, kad galėtumėme garantuoti putų stabilumą. Stabilumas taip pat gali būti pasiektas tolesnėse eigose papildomai įmaišant stabilizuojančių medžiagų į putų cementbetonio mišinį. [4][9]

1.1.3 Vanduo ir plastikliai

Vanduo, naudojamas akytųjų betonų formavimo mišiniams paruošti, turi atitikti LST EN 206-1:2002/A2:2005 reikalavimus. Leidžiama naudoti daugiau priemaišų turintį techninį arba gamtinį vandenį, jeigu pagaminto akytojo betono kokybė atitinka standarto LST EN 206-1:2002/A2:2005 arba konkretaus gaminio techninius rodiklius reglamentuojančio normatyvinio dokumento reikalavimus. [2]

Visi priedai – formavimo mišinių plastikliai, rišimosi bei kietėjimo procesų lėtikliai arba greitikliai, stabilizuojantys, hidrofobiniai bei armuojantys priedai – turi atitikti LST EN 206-1:2002/A2:2005 reikalavimus. Jie neturi bloginti akytojo betono techninių rodiklių. Kiekvienas iš priedų turi atitikti jo techninius rodiklius reglamentuojančio normatyvinio dokumento reikalavimus. [2]

Akytųjų betonų ir jų formavimo mišinių sudėtys parenkamos pagal nustatyta tvarka patvirtintas mokslo tiriamųjų organizacijų rekomendacijas bei konkretaus gaminio techniniuose dokumentuose pateiktus nurodymus. [8][9]

1.1.4 Smėlis

Gamtinis natūralus kvarcinis ir putnaginis smėliai arba jų mišinys turi atitikti LST 1273:1992 arba LST 1342:1994 reikalavimus.

Smėlyje turi būti ne mažiau kaip 70% kvarco, o molio ir dulkių priemaišų – ne daugiau kaip 5%, jame neturi būti organinių priemaišų.

Smėlyje gali būti ne daugiau kaip 2,7% šarmų ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ kiekis, perskaičiuotas į Na_2O) ir ne daugiau kaip 2% sieros junginių (perskaičiuota į SO_3).

Perdirbtame smėlyje bei technologinėse atliekose (kvarcinio smėlio sodrinimo atliekos, stiklo šlifavimo dulkės bei SiO_2 mikrodulkės, smėlio bei žvyro sijojimo ir trupinimo išbiros ir kitos medžiagos) turi būti ne mažiau kaip 60% SiO_2 , ne daugiau kaip 3% šarmų ir ne daugiau kaip 3% sieros junginių.

Pelenuose (šiluminių elektrinių) ir šlakuose turi būti ne mažiau kaip 45% SiO_2 , ne daugiau kaip 10% CaO , ne daugiau kaip 3% sieros junginių ir ne daugiau kaip 3% šarmų. Akytiesiems betonams gaminti gali būti naudojamos ir kitos SiO_2 turinčios medžiagos, jeigu iš jų pagaminto akytojo betono kokybė atitinka standarto reikalavimus.

Smėlio arba kitų SiO_2 turinčių medžiagų malimo smulkumas (savitasis paviršius) pasirenkamas, atsižvelgiant į gaminamo akytojo betono sudėtį, tankį bei kietinimo sąlygas. Savitasis malto smėlio paviršius nurodomas nustatyta tvarka patvirtintuose konkretaus akytojo betono gaminio techniniuose dokumentuose. [1][2]

1.1.5 Technogeninės atliekos

Dumblo atliekos yra parodytos 1.1.5.1 pav. Rudos spalvos dumblo atliekos yra labai drėgnos, nes jos gamykloje sukaupiamos vandens baseine.



1.1.5.1 pav. Išdžiovintos dumblo atliekos

Optiniu mikroskopu „Zeiss Axio Imager.Z2m“ gautas dumblo atliekų vaizdas parodytas 1.1.5.2 pav. Iš jų matosi, kad dumblo atliekose vyrauja įvairių dydžių apvalios rutulio formos dalelės. Kai kur pasitaiko sulipusios drėgno dumblo atliekų dalelės. [3]



1.1.5.2 pav. Dumblo atliekų optinio mikroskopo nuotrauka (tamsus laukas)

Gamybinės atliekos buvo sutrintos ir išdžiovintos prie 105 °C temperatūros. Technogeninių medžiagų tankis: piltinis - 3268 kg/m³, savitasis – 5972 kg/m³. Vyraujančios

cheminės medžiagos technogeniniame dumble – FeO, Fe, Fe₂O₃, Fe₃O₄. Dumblo dalelių pasiskirstymas pagal procentus: [3]

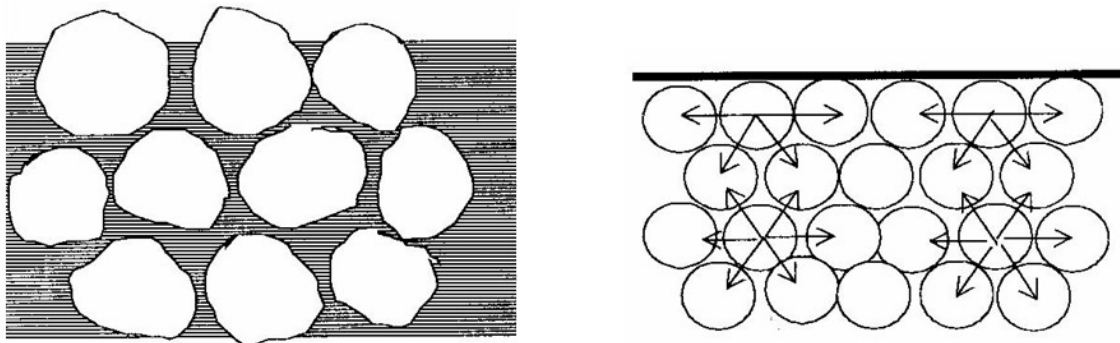
Dalelių pasiskirstymas (išbira), %	Dumblo atliekų atitinkamas skersmuo, μm
iki 10 %	2,01
iki 25 %	6,45
iki 50 %	21,41
iki 75 %	47,55
iki 90 %	107,39
Vidutinis visų dalelių skersmuo, μm	44,61

1.1.6. Putų cementbetonio paruošimas, putų susidarymas, mišinio struktūra

Gaminant aktyuosius betonus taikomas išputinimo būdas. Šio metodo esmė tokia: aktytojo betono mišinio komponentai sumaišomi su specialiai pagamintomis putomis. Yra keli putokšlių dozavimo būdai: putokšlis dozuojamas prieš mišinio maišymą, kitas kai putokšlis dozuojamas mišinio maišymo metu. Abu dozavimo būdai puikiai kontroliuoja oro ertmių susidarymą ir betono kokybę. Mišiniui sukietėjus gaunama aktytoji medžiagos struktūra. Putos – dispersinė dviejų fazių sistema, sudaryta iš skystosios fazės, dažniausiai vandens, ir dujinės fazės, kurią sudaro oro burbuliukai, vienas nuo kito atskirti plonomis skysčio plėvelėmis. Tačiau ne kiekvieną dispersinę dviejų fazių sistemą, sudarytą iš skysčio ir dujų, galima pavadinti putomis. Pagal P. A. Rebinderio teoriją putos – tai struktūrizuota sistema, pasižyminti tam tikru formos standumu (tamprumu). Putų burbuliukai nėra sferiniai, jie daugiau ar mažiau deformuoti, veikiami kapiliarinių jėgų ir yra daugiakampio formos. Putos – tai koncentruota emulsija, nepaisant agregatinio fazės būvio sudaranti dispersinę sistemą

Putų gamybai naudojami putokšliai – ypatingos paviršiaus aktyviosios medžiagos, skystį, pavyzdžiui vandenį, paverčiančios putomis. Fizikinė putų susidarymo reiškinio esmė tokia. Skysčio molekulės tarpusavyje susijusios tarpmolekulinėmis traukos jėgomis. Kiekviena molekulė skysčio viduje yra pusiausvira todėl, kad aplinkui esančių molekulių traukos jėgos yra nukreiptos priešinga kryptimi, nei konkrečios molekulės traukos jėga. Skysčio paviršiuje, t.y. ties skystosios ir dujinės fazės riba, jėgų pusiausvira sutrinka, nes plono paviršiaus sluoksnio molekulės nesąveikauja su oro molekulėmis. Paviršiaus sluoksnio molekulės

veikiamos traukos jėgų, stengiasi nugrimzti į gilesnius skysčio sluoksnius, tokiu būdu paviršiuje sudarydamos tankesnę skysčio sluoksnį, turintį laisvos paviršinės energijos. Paviršiaus įtempimai, nusakantys viršutinio skysčio sluoksnio laisvosios energijos dydį, išreiškiami N/m.



1.1.6 pav. Putų sandaros schema ir tankaus skysčio paviršiaus schema

Įvairių skysčių paviršiaus įtempimas nevienodas. Į skystį pridėjus putokšlio, jo paviršiaus įtempimas sumažėja. Todėl į skystį leidžiant orą arba jį plakant, paviršiuje susidaro putos, t.y. oro burbuliukai skysčio apvalkale, kurio paviršiaus įtempimai mažesni nei gryno skysčio.

Oro slėgis putų burbuliukuose didesnis už atmosferos slėgį, todėl skysčio plėvelė, sudaranti burbuliuko apvalkalą, visuomet išsitempusi. Kuo mažesni burbuliukai, tuo didesnis oro slėgis jų viduje ir stabilesnės putos.

Cheminiu požiūriu putokšlio įtaką skysčio paviršiaus įtempimų sumažėjimui galima apibūdinti taip: aktyviausias paviršiaus medžiagas paprastai sudaro asimetriškai polinės molekulės, pavyzdžiui, riebiosios naftinės rūgštys ir jų natrio bei kalio muilai, sudaryti iš aktyvios polinės ir nepolines angliavandenilio grupių – karboksilo ir deguonies radikalo. Asimetrinė polinė molekulių struktūra nulemia jų sugebėjimą koncentruotis fazės ribojančiuose sluoksniuose ir sumažinti skysčio paviršiaus įtempimus. [1][2]

1.1.7 Saugos reikalavimai

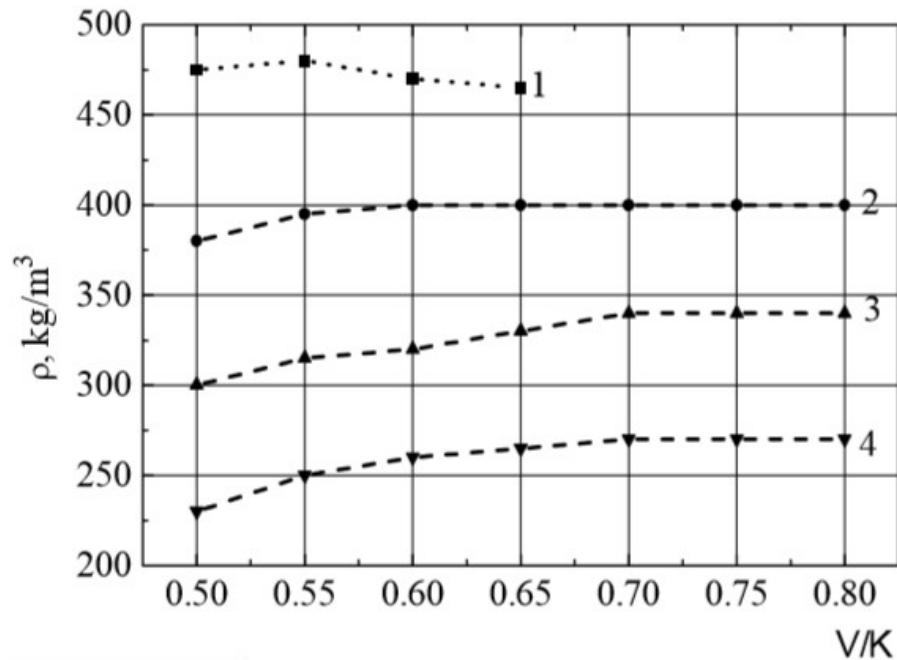
Saugos reikalavimai. Akytieji betonai turi būti nenuodingi ir nedegūs. Jų gamybai naudojamose žaliavose ir medžiagose esančių gamtinių radionuklidų santykinis efektyvusis aktyvumas turi atitikti Lietuvos Respublikos higienos normų HN 40 reikalavimus. Iš akytųjų betonų išsiskiriantis kenksmingų cheminių medžiagų ir dulkių kiekis neturi būti didesnis už Lietuvos Respublikos higienos normų HN 35 leistinuosius kiekius. [1][2]

1.2 Akytų betonų savybės

1.2.1 Tankis

250–500 kg/m³ tankio akytieji betonai buvo mažai tirti. Daugiau tirti 400–500 kg/m³ tankio akytieji betonai. Įvairios akytojo betono atmainos plačiau ištirtos autoriaus A. Laukaičio bei kitų Termoizoliacijos instituto mokslininkų. [1]

Putų cementbetonio tankis priklauso nuo putų kiekio mišinyje (1.2.1.1 pav.). Skirtingai nei dujų cementbetonio, didesnis V/K nesumažina putų cementbetonio gaminių tankio, nes šiuo atveju tas pats putų kiekis pasiskirsto didesniame tūryje. Kai V/K reikšmės mažesnės nei 0,6, gaminius galima gaminti, tačiau jų kokybė dėl prasčiau sumaišytų komponentų blogesnė. Šiuo atveju mišinio komponentus reikėtų ilgiau maišyti su putomis, tačiau ilgiau maišant putos pradeda irti. Nepatartina naudoti ir labai didelio V/K santykio (daugiau nei 0,7), nes tada mišinys pradeda sluoksniuotis (smėlio dalelės nusėda ant formos dugno, nes mišinio klampumas mažas). [9][10]



1.2.1.1 pav. Putų cementbetonio tankio priklausomybė nuo V/K bei putų sąnaudų (dm^3/kg kietųjų medžiagų): 1 – 1,5; 2 – 2,0; 3 – 2,5; 4 – 3,0

Taigi putų cementbetonį, kurio rišamoji medžiaga yra portlandcementis, racionaliausia gaminti kai V/K santykiui nuo 0,6 iki 0,7. Putų kiekis parenkamas iš pateiktų grafikų (1.2.1.1 pav.), atsižvelgiant į reikiamą gaminio tankį. Matematiškai dujų cementbetonio tankio priklausomybė nuo putų kiekio ir V/K išreiškiama tokia regresijos lygtimi:

$$\rho = 784 P_{\text{put}}^{-0,956} \cdot (V/K)^{0,141} \quad (1.2.1.1);$$

čia ρ – tankis, kg/m^3 ; P_{put} – putų kiekis, dm^3/kg .

Koreliacijos koeficientas 0,985 reikšmingas pagal Stjudento kriterijų 0,05, regresijos lygtis adekvati su tikimybe 0,95, vidutinis kvadratinis nuokrypis $5,69 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Pagrindiniai technologiniai veiksniai, lemiantys putų cementbetonių tankį, yra V/K ir porodario kiekis, o dujų cementbetonio su mišriąja rišamą ja medžiaga – dar ir šios medžiagos sudėtis. Didinant kalkių kiekį mišriojoje rišamojoje medžiagoje bei gamybos atliekų kiekį, bandinių tankis didėja. Skirtingai nuo dujų cementbetonio, didesnis V/K nesumažina putų cementbetonio tankio. [4][5]

1.2.2 Gniuždomasis stipris

Putų cementbetonio gniuždomasis stipris priklauso nuo putų kartotinumų. Naudojant putas, kurių kartotinumai 50, gaminių gniuždomasis stipris padidėja 10–20%, palyginti su stipriu gaminių, pagamintų su putomis, kurių kartotinumai 20 (1.2.2.1 lentelė). Tai galima paaiškinti vienodesne gaminių struktūra.

Pagrindinis technologinis veiksnys, lemiantis putų gniuždomąjį stiprį, yra santykis tarp porų skaičiaus, gautų maišant formavimo mišinį su Al pudra, ir porų, susidariusių maišant formavimo mišinį su PAM. Didėjant porų, gautų maišant formavimo mišinio komponentus su PAM, skaičiui, jo bandinių gniuždomasis stipris didėja. Pvz., kai porų, gautų maišant formavimo mišinio komponentus su PAM, daugėja nuo 25 iki 75%, 300 kg/m³ tankio putų betono bandinių gniuždomasis stipris padidėja nuo 0,9 iki 1,1 MPa, t.y. 22,22%. Tai taip pat galima paaiškinti taisyklingsnėmis, tolygiau pasiskirsčiusiomis poromis.

Putų kiekis, dm ³ /kg	Putų kartotinumai	Putų cementbetonio tankis, kg/m ³	Putų cementbetonio gniuždomasis stipris, Mpa		
			Faktinis	Perskaičiuotas, kai tankiai	
				250 kg/m ³	500 kg/m ³
1,0	20	556	2,84	0,57	2,3
1,0	50	550	3,22	0,67	2,66
1,5	20	407	1,1	0,42	1,66
1,5	50	405	1,2	0,46	1,83
2,0	20	353	1,1	0,55	2,2
2,0	50	348	1,4	0,72	2,9
2,5	20	302	0,9	0,62	2,45
2,5	50	296	0,95	0,70	2,71

1.2.2.1 lent. Putų kartotinumų įtaka putų cementbetonio savybėms.

Akytojo betono vienodo tankio bandinių stiprumas priklauso nuo jo struktūros, fazinės naujadarų sudėties, specialiųjų priedų. Putų cementbetonio gaminiai yra geresnės struktūros, turi didžiausią gniuždomąjį stiprį lyginant su kitais.

Putų cementbetonio gniuždomasis stipris priklauso nuo putų kartotinumų (didėjant kartotinumui jis auga). Gniuždomasis stipris didėja, didėjant porų, gautų maišant formavimo mišinį su PAM, kiekiui. [1][2]

1.2.3 Kapiliarinis vandens įgėrimas

Kaip neigiamą aktyjų betonų savybę, ypač naudojant juos atitvarinėms konstrukcijoms, galima paminėti didelį įmirkį. Todėl tokius betonus naudoti leidžiama tik pastatuose, kur yra sausas ar normalus drėgmės režimas. Pastatuose su padidėjusia drėgme aktyuosius betonus naudoti reikia labai atsargiai.

Žinoma, kad akytajam betonui kietėjant, dalis vandens sunaudojama rišamosios medžiagos hidratacijai, o didelė dalis lieka laisva. Laisvas vanduo, garuodamas iš sukietėjusio betono, sudaro kapiliarus, kurie dažnai lieka atviri. Tokios poros, ypač didesnio diametro, įgeriančios vandenį ar garo kondensatą sąlyčio metu, yra neatsparumo šalčiui priežastis, nes vanduo užšąla ardydamas gaminį. Porų buvimas taip pat yra deformacijų ir akytojo betono suirimo priežastis, nes daro įtaką eksploatacijos metu įvairaus pobūdžio struktūros defektų atsiradimui. [6][8]

Medžiagos įmirkis priklauso nuo drėgmės prasiskverbimo būdo. Sugeriant drėgmę iš oro, vyksta absorbcija ir kondensacija. Ir viena, ir kita priklauso nuo medžiagos struktūros. Sąlyčio su vandeniu metu veikiama hidrostatinio slėgio medžiaga sudrėksta (kapiliarinis įgėrimas), prasiskverbia drėgmė, vyksta termodifuzija ir kiti procesai.

Absorbcijos metu susidaro vandens sluoksnis, kuris mažina medžiagos stiprumą. Šis procesas gali būti grįžtamas, nes iš džiūstančios medžiagos absorbuotas vanduo pasišalina, ir atkuriamas pirminis stiprumas, būdingas sausam akytajam betonui. Tačiau įgeriant drėgmę iš oro, kai poros iš dalies prisipildo vandens, dujų betone atsiranda ir negrįžtami efektai, mažinančių stiprumą, o galiausiai visiškai suardančių betoną. Tokie negrįžtami efektai dažniausiai atsiranda susilietus akytojo betono paviršiui su skystąja faze (vandeniu).

Akytasis betonas prisipildo vandens tokiu būdu: vanduo iš pradžių kyla stambesniais kapiliarais ir po truputį iš didesnių įtraukiamas į mažesnius. Toks vandens judėjimas priklauso nuo kapiliarų kiekio, kurių galuose kinta slėgis. Akytajame betone, kur kapiliarai išdėstyti chaotiškai visu kūno tūriu, visada yra kapiliarų, orientuotų statmenai skysčio judėjimo kryptims. Šie kapiliarai neįgeria vandens, nes juose slėgis nekinta. Prie kapiliarų, neįgeriančių vandens, priklauso ir uždaros poros. [7][9]

1.2.4 Garso izoliavimas

Viena iš teigiamų akytojo betono savybių yra gebėjimas sugerti garso bangų energiją. Kiekvienos medžiagos garso sugertis labiausiai priklauso nuo jos akytumo ir kapilaringumo pobūdžio. Kai garso bangos patenka į akytąją medžiagą, tai dalis garso energijos virsta šiluma, kuri atsiranda nuo trinties ir oro klampumo bei medžiagos tarp porų savitųjų virpesių. Garso sugerties mechanizmą poringame sluoksnyje galima įsivaizduoti taip: į paviršių šios medžiagos krinta garso banga. Dalis šios bangos patenka į medžiagos poras. Garso banga, sklisdama medžiagoje, praranda dalį energijos. Kai banga pasiekia kietą paviršių, nuo jo atsispindi, pakeičia savo kryptį ir blėsta. Manoma, kad banga visiškai išblėsta tada, kai jos, sklindančios pirmyn ir atsispindinčios atgal, amplitudė sumažėja 95%. Atsispindėjusios garso bangos ir konkrečios bangos energijos tankių santykis yra medžiagos garso sugerties koeficientas.

Taigi, galime teigti jog akytojo betono garso sugerties koeficientas priklauso nuo jo technologinių gamybos veiksnių, nulemiančių jo tankį ir makrostruktūrą bei nuo mechaninio jo paviršiaus apdorojimo (specialių įpjovų bei išpjovų). Mažėjant tankiui ir struktūroje vyraujant didesnio skersmens susisiekiančioms poroms, garso sugerties koeficientas didėja. [1][2]

1.2.5 Termoizoliacinės savybės

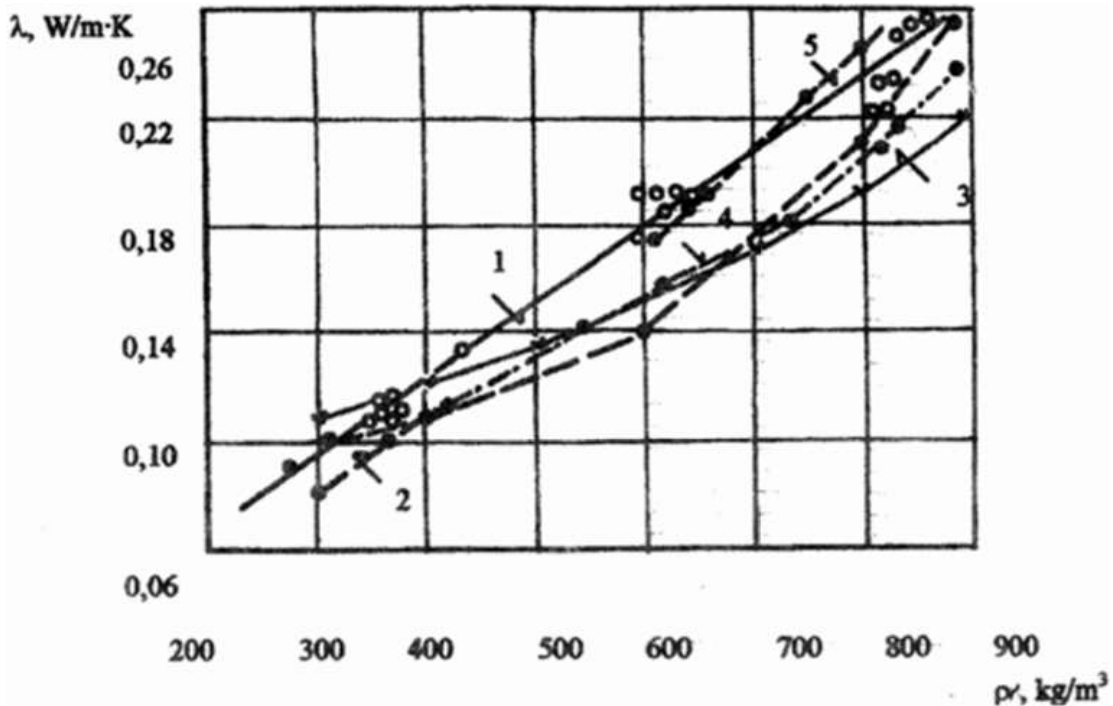
Akytojo betono šilumos laidumas priklauso nuo tankio bei makrostruktūros, t.y. nuo jo formavimo mišinio sudėties ir technologinių gamybos veiksnių. Akytųjų betonų šilumos laidumas nustatytas pagal metodiką, vidutinėje $25 \pm 0,3$ °C temperatūroje. Bandinių matmenys 250x250x50 mm. Šilumos laidumui palyginti pagaminti vienodo tankio dujų silikatbetonio, dujų cementbetonio, putų ir dujų silikatbetonio ir putų cementbetonio gaminiai. Nustatyta, kad akytojo betono šilumos laidumo koeficientas priklauso nuo jo atmainos, t.y. nuo betono makrostruktūros. Pvz., 270 kg/m³ tankio dujų silikatbetonio šilumos laidumo koeficientas 0,0802 W/(m·K), dujų cementbetonio – 0,08 W/(m·K), putų ir dujų silikatbetonio 0,0779 W/(m·K), o putų cementbetonio – 0,0703 W/(m·K). [1]

Kaip jau minėta, putų cementbetonis turi geresnius struktūros rodiklius, nes jo makrostruktūroje vyrauja uždaros poros ir tai lemia mažesnę nei dujų silikatbetonio šilumos laidumą. Gaminamo neautoklavinio akytojo betono šilumos laidumas mažai skiriasi nuo autoklavinio akytojo betono (1.2.5.1 pav.). [2]

Matematiniais statistiniais metodais apdorojus dvidešimties bandymų rezultatus, gauta neautoklavinio putų cementbetonio šilumos laidumo koeficiento priklausomybės nuo tankio regresijos lygtis (koreliacijos koeficientas 0,988):

$$\lambda = 0,0111 + 0,000278 \cdot \rho \quad (1.2.5.1);$$

čia λ – sauso putų cementbetonio šilumos laidumo koeficientas, W/(m · K); ρ - sauso putų cementbetonio tankis, kg/m³.



1.2.5.1 pav. Tankio įtaka sauso putų cementbetonio šilumos laidumo koeficientui, čia 1, 2, 3, 4, 5 – skirtingų institutų rezultatai.

Akytojo betono bandinių šilumos laidumas priklauso nuo jo tankio ir struktūros. Kai yra tas pats betono tankis, laidumas yra mažiausias tų bandinių, kurių struktūroje vyrauja uždarnos smulkios poros. Šilumos laidumo koeficientas yra didžiausias dujų silikatbetonio bandinių, o putų ir dujų silikatbetonio bei dujų cementbetonio užima tarpinę padėtį remiantis pagal termoizoliacijos institute pateiktą informaciją. Akytojo betono šilumos laidumo koeficiento reikšmės didėja proporcingai jo tankiui. [6][9]

1.2.6 Atsparumas šalčiui

Atsparumas šalčiui yra svarbi aktytųjų betonų savybė. Aktytųjų betonų atsparumas šalčiui priklauso nuo gaminių tankio, makrostruktūros, gamybos technologijos. Putų betonų atsparumas šalčiui didesnis už dujų betonų, dujų cementbetonio – už dujų silikatbetonių.

Autoklaviniai aktytieji betonai apibūdinami šiomis atsparumo šalčiui markėmis: F 15, F 25, F 35, F 50, F 75, F 100.

Aktytųjų betonų atsparumą šalčiui galima padidinti, jį armuojant pluoštinėmis medžiagomis. Pvz., sintetinio anglies pluošto priedas (0,1–0,3% nuo kietųjų medžiagų masės) padidina 450–500 kg/m³ tankio dujų silikatbetonio atsparumą šalčiui 2–3 kartus (iki F 50).

Gaminių atsparumą šalčiui galima įvertinti atliekant bandymus pagal LST 1413.12 vienpusio šaldymo ir šildymo būdu.

Bandant šiuo būdu, labai geri rezultatai gauti neautoklavinio 800 kg/m³ tankio putų cementbetonio (per 200 ciklą).[4][9]

1.3 Metalų šratavimo atliekos, toksiškumas ir poveikis sveikatai, utilizavimo svarba

Šratavimo atliekose yra sunkiųjų metalų. Sunkiesiems metalams sąlygiškai priskiriami cheminiai elementai, kurių atominė masė didesnė už 40 ir kurių tankis didesnis nei 5 g/cm³, turintys metalų arba metaloidų savybių. Pagal pavojingumą gyvam organizmui sunkieji metalai yra išsidėstę taip: varis (Cu), cinkas (Zn), chromas (Cr), manganas (Mn), geležis (Fe), titanas (Ti), švinas (Pb), o kancerogeninis bei mutageninis jų poveikis priklauso nuo koncentracijos ir gali pasireikšti ne iš karto, bet po tam tikro laiko.

Mikroelementų stygius ar perteklius dirvožemyje sąlygoja vandens ir augalų cheminę sudėtį. Dėl to žmonėms ir gyvūnams gali atsirasti būdingų ligų, pasireiškiančių medžiagų apykaitos sutrikimais. Pvz., didelės molibdeno koncentracijos dirvoje gali skatinti molibdenozės (endeminės podagros) atsiradimą, švinas pažeidžia nervų sistemą, stroncis sukelia kremzlinio ir kaulinio audinio distrofiją, selenas sutrikdo kepenų ir virškinimo trakto veiklą.

Šiuo metu sukaupta pakankamai duomenų, bylojančių apie užteršto vandens neigiamą įtaką augalams, gyvūnams ir žmogui. Šis poveikis perduodamas per mitybines grandines: per

augalus, auginamus užterštame dirvožemyje, vandenį, gyvūnų mėsą arba pieną, kurie buvo šeriami užterštais augalais arba girdomi užterštu vandeniu.

Laivų gamybos - remonto technologijoje susidaro gamybinės atliekos, kurios sudarytos iš metalo ir antikoroziinių dangų dulkių. Jų utilizavimas yra gana problematiškas, o atliekos – kenksmingos žmogui, augalams ir gyvūnams, todėl ieškoma būdų kaip pigiau ir efektyviau utilizuoti šias atliekas. Vienas iš galimų sprendimų yra šių atliekų panaudojimas gaminant akytąjį betoną. [13][14]

2. TYRIMŲ METODIKA IR NAUDOTOS MEDŽIAGOS

2.1 Medžiagos

Pagrindinės medžiagos naudotos tyrimams:

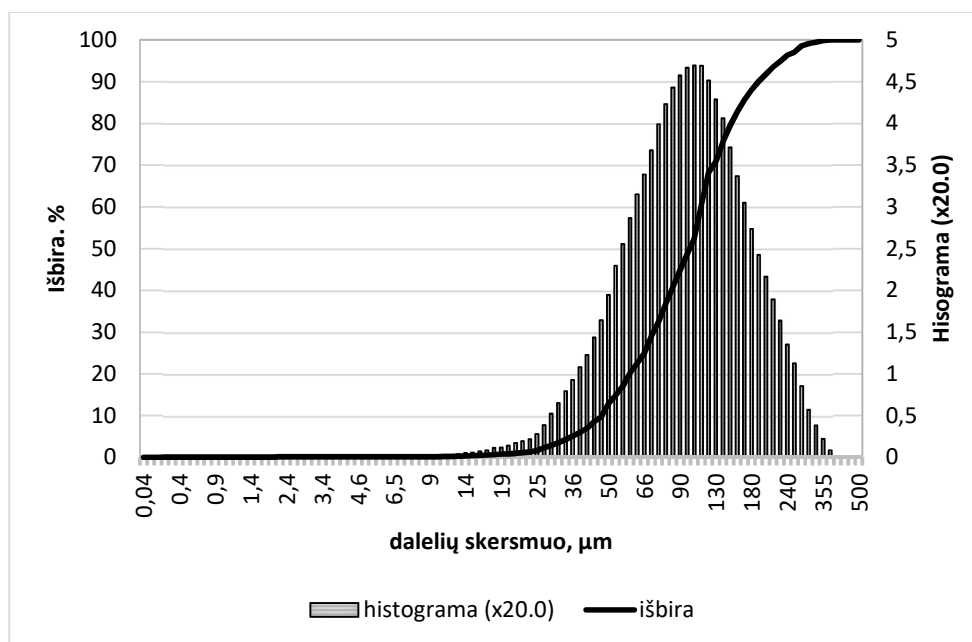
- Cementas
- Vanduo
- Kvarcinis smėlis
- Stabilizatorius ST-6
- Putodaris SB-2
- Armatūrinis pluoštas
- Technogeninės atliekos
- Skystas stiklas

Cementas. CEM II/ A-LL 42.5R klasės cementas, atitinkantis LST EN 197-1/P standartą.

Kvarcinis smėlis. 0,8-1,25 frakcija, drėgmė <0,5 %, piltinis tankis 1460 kg/m³, cheminė sudėtis – SiO₂ >98,5 %, Fe₂O₃ <0,05 %, Al₂O₃ <0,60 %.

Stabilizatorius ST-6. Tankis 1070 kg/m³, pH 9,5.

Technogeninės atliekos. Tyrimams naudotos šratinės atliekos, tankis 2649 kg/m³.



2.1.1 pav. Šratinių atliekų išbira (%) ir dalelių dydžio pasiskirstymo histograma

2.1.2 lentelė. Rentgeno spindulių fotoelektronų spektroskopijos (XPS) metodu nustatyti cheminiai elementai atliekose

Cheminiai elementai	Cheminių elementų kiekis atliekose, %			
	Šratinė atlieka		Dumblo atlieka	
Fe	81,9	(97,74)	79,0	(95,11)
Mn	1,06	(1,26)	2,20	(2,65)
Si	0,278	(0,33)	0,719	(0,87)
Zn	0,0170	(0,02)	0,404	(0,49)
Ca	0,0805	(0,10)	0,199	(0,24)
P	0,138	(0,16)	0,140	(0,17)
Gd	0,0896	(0,11)	0,0856	(0,10)
Al	0,0230	(0,03)	0,0755	(0,09)
Cr	0,0589	(0,07)	0,0638	(0,08)
Eu	0,0577	(0,07)	0,0636	(0,08)
Cu	0,0444	(0,05)	0,0341	(0,04)
Ni	0,0239	(0,03)	0,0202	(0,02)
Nb	0,0212	(0,03)	0,0194	(0,02)
V	-	-	0,0143	(0,02)
S	-	-	0,0131	(0,02)
Ti	-	-	0,0119	(0,01)
Mo	0,005	(0,01)	-	-

2.2 Mišinio sudėtis

Norint išgauti palankiausią mišinio sudėtį tyrimams, buvo eksperimentuojama su įvairiais priedais ir jų kiekiais. Pirminis tikslas – sudaryti tolygią ir stabilią cemento porų stuktūrą panaudojant kuo daugiau metalo atliekų, taip pat neprarandant ypač lengvojo betono savybėms būdingo tankio ir stiprio:

2.2.1 lentelė. Mišinių sudėtys vienam kubiniam metrui ir jų bandinių rezultatai

Mišinio Nr.	Mišinio sudėtis 1 m ³	Masė (kg)		Tankis	Įmirkis (%)	Stipris (N/mm ²)
		Drėgnas	Sausas			
1	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Stabilizatorius ST3 – 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	0,935	0,461	461,12	50,70	2,01
2	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 200 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	1,113	0,676	675,78	39,26	2,8
3	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 150 kg. Atliekos - 50 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg.	1,194	0,753	753	36,93	3,59
4	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 175 kg. Atliekos - 25 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	1,085	0,568	579,24	47,65	1,09
5	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 125 kg. Atliekos - 75 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	1,079	0,562	579,12	47,91	1,14
6	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 100 kg. Atliekos - 100 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	1,114	0,546	546	50,99	1,16
7	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 200 kg. Skystas stiklas - 20 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	1,33	0,629	627,31	52,71	1,17

8	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 100 kg. Atliekos - 100 kg. Skystas stiklas - 20 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	1,343	0,642	640,88	52,20	0,9
9	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Smėlis - 200 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	1,17	0,563	562,21	51,88	0,96
10	Cementas – 400 kg. Vanduo - 250 kg. Stabilizatorius ST3 - 2,4 kg. Putokšlis - 2 kg. Fibros – 1,5 kg.	0,758	0,315	315	58,44	0,49

Iš visų mišinių sudėčių (2.3.1 lentelė) tolimesiems tyrimams buvo pasirinktas mišinys Nr. 3. Šio mišinio bandinio rezultatai - 3,59 MPa, tankis 753,01 kg/m³, technogeninių atliekų kiekis – 5,84 % (2.3.1 lentelė).

2.3 Mišinio paruošimas

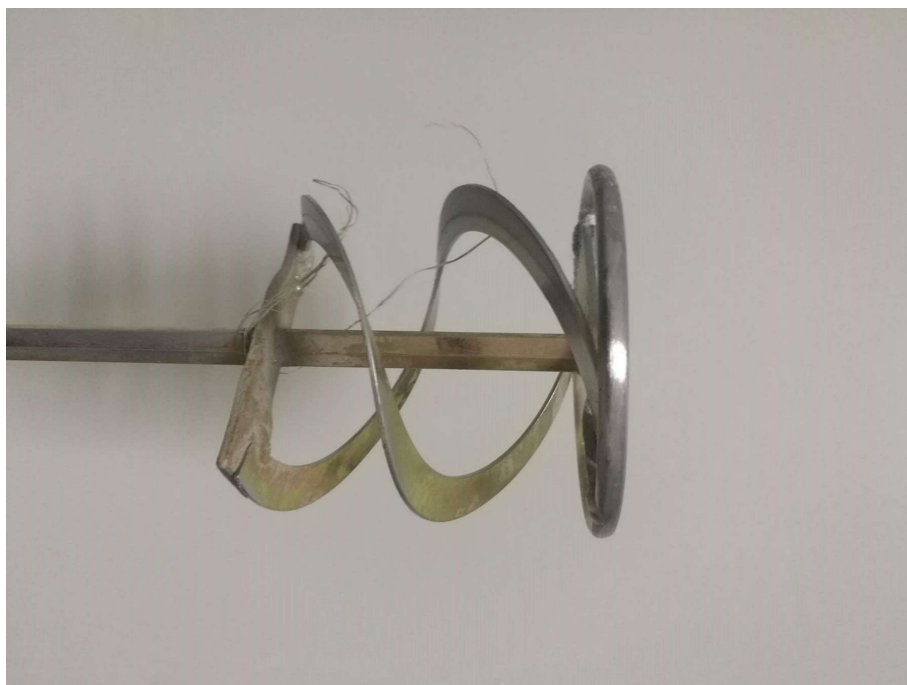
Mišinio paruošimo eiga, kurią naudojant buvo gauti geriausi rezultatai atsižvelgiant į betono porų struktūrą ir mišinyje esančių medžiagų pasiskirstymą:

1. Į maišymo indą supilama pusė mišiniui priklausančio smėlio.
2. Į maišymo indą supilama pusė mišiniui priklausančio cemento.
3. Į maišymo indą supilamos technogeninės atliekos.
4. Į maišymo indą supilamas likęs cementas ir smėlis.
5. Į maišymo indą supilama pusė mišiniui priklausančio vandens ir visa mišinio masė trumpam pamaišoma.
6. Į likusį vandenį supilamas putokšlis SB-2, vanduo maišomas 30 sekundžių kol susidaro putos.
7. Į maišymo indą supilamos putos ir visas mišinys maišomas 90 sekundžių, prieš baigiant maišyti supilamas stabilizatorius ST3 ir mišinys pamaišomas dar 20 sekundžių.

Mišinio paruošimui naudoti įrankiai:



2.3.1 pav. Perforatorius



2.3.2 pav. Maišymo antgalis

2.4 Bandinių formavimas ir kietėjimo sąlygos

Bandiniai formuojami 100x100x100 mm formose. Praėjus savaitei (po 7 parų) bandiniai išformuojami. Bandiniai paskirstomi į kelias poras – vieni bandiniai paliekami kietėti ore, kita dalis paliekama kietėti vandenyje dar 21 parą kol pilnai sukietės ir pasieks savo 100% stiprį. Šiuo būdu siekiama išsiaiškinti kuri aplinka (oras arba vanduo) yra palankesnis akytojo betono kietėjimui.



2.4.1 pav. 100x100x100 mm bandinių forma



2.4.2 pav. Suformuoti bandiniai

2.5 Bandinių stiprio ir vandens įgerties nustatymas

Bandinių stipriui nustatyti buvo naudojamas KTU laboratorijose esantis presas. Eksperimento eigoje išviso buvo sugniuždyta 40 bandinių, kurių matmenys 100x100x100 mm. Gauti rezultatai pateikti trečiajame skyriuje (3. Tyrimų rezultatai ir jų analizė).



2.6.1 pav. Bandinių gniuždymas

Vandens įgerties nustatymui bandiniai buvo pamerkti į indą su vandeniu ir palikti 7 paroms pilnai įmirkti. Išimti iš vandens bandiniai pasverti ir palikti pilnam išdžiūvimui. Bandinių vandens įgerties procentas buvo apskaičiuotas pagal formulę (rezultatai 3 skyriuje):

$$x = \frac{m_d - m_s}{m_d} \cdot 100 \%$$

Čia:

x – vandens įgertis, %;

m_d – drėgno bandinio masė, kg;

m_s – sauso bandinio masė, kg;

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

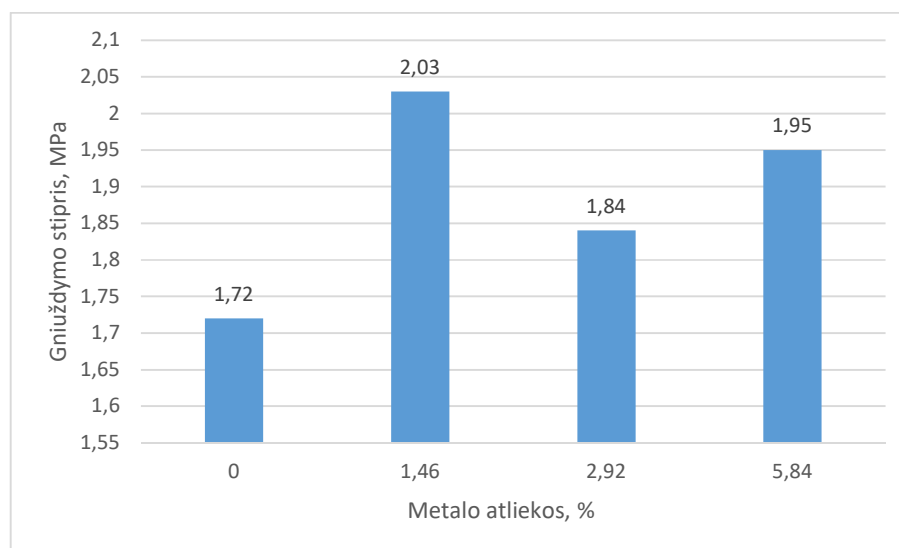
3.1 Akytojo betono bandiniai su metalo šratavimo atliekomis (pagal masės procentą)

Žemiau pateikti rezultatai bandinių, kurių dalis sudėtinių medžiagų t.y. kvarcinio smėlio, buvo pakeistos į metalo atliekas pagal masės procentą. Bandinių stipris nustatytas po 7 parų, bandiniams sukietėjus ore:

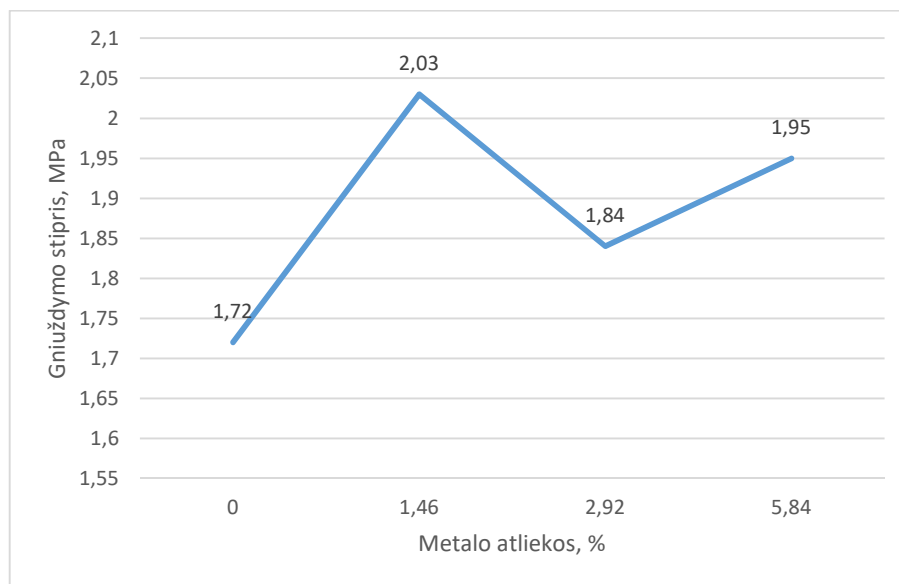
3.1.1 lentelė. Akytojo betono bandinių rezultatai po 7 parų

Nr.	Metalo atliekų kiekis %, skaičiuojant pagal masę	Tankis	Stipris (N/mm ²)
1	Be atliekų (be stabilizatoriaus)	769,23	1,72
2	1,46%	696,138	2,03
3	2,92%	703,7137	1,84
4	5,84%	716,5633	1,95

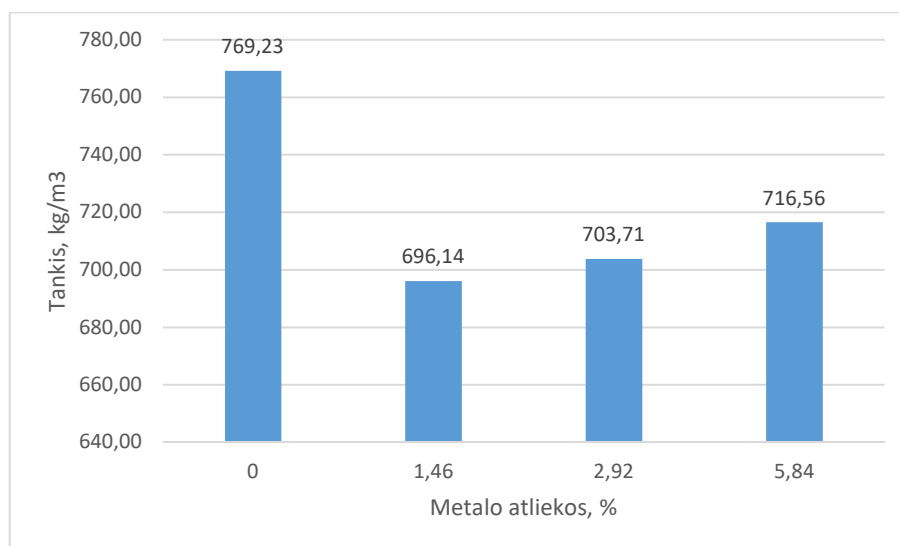
3.1.1.1 grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 7 parų



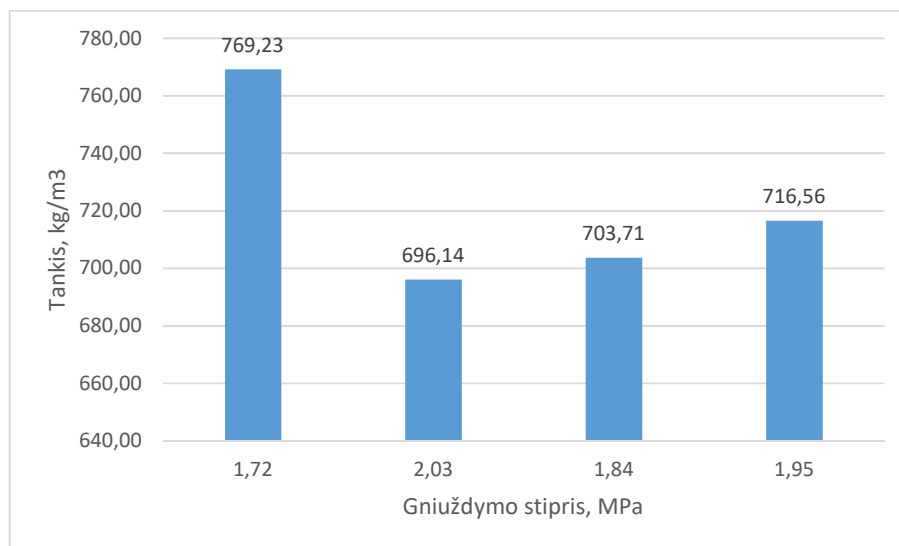
3.1.1.2 linijinis grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 7 parų



3.1.2 grafikas. Tankio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 7 parų



3.1.3 grafikas. Tankio ir stiprio santykis, bandiniams sukietėjus po 7 parų

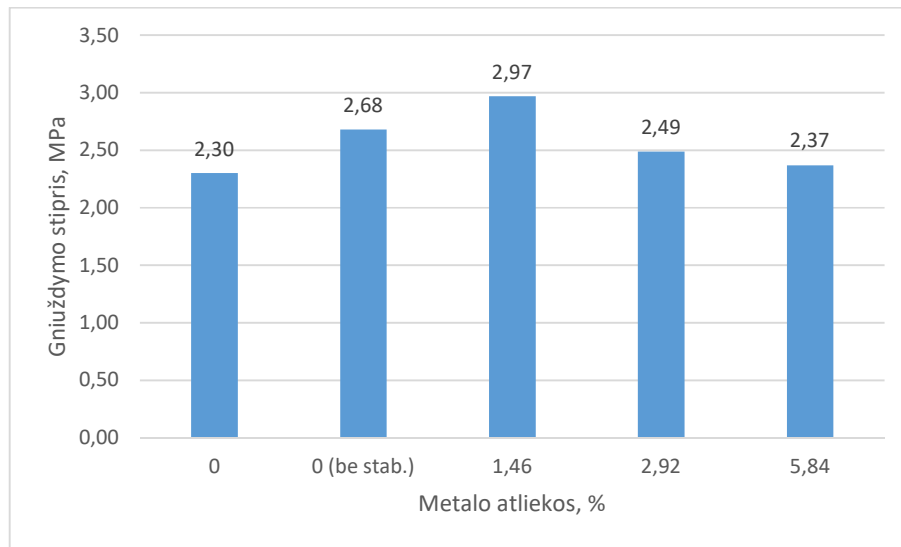


Akytojo betono bandinių stipris po 28 parų, bandiniams sukietėjus ore:

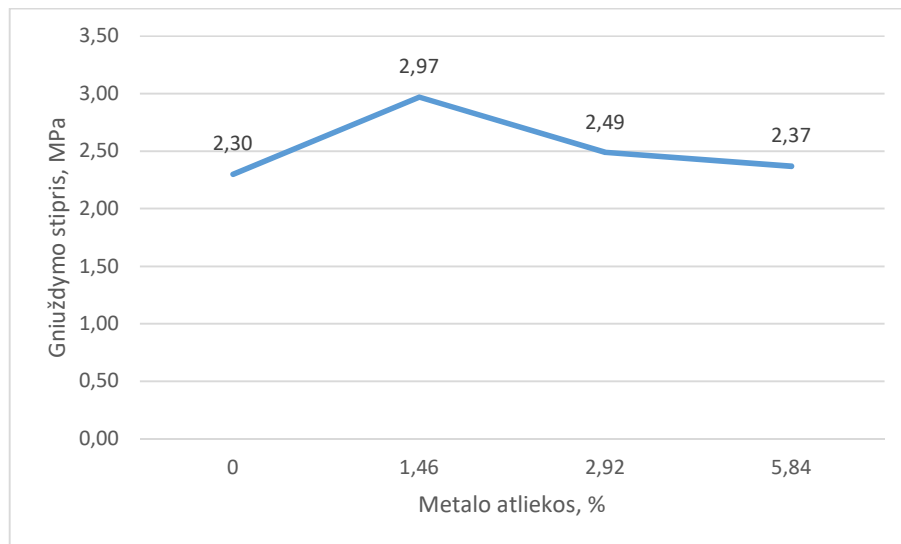
3.1.2 lentelė. Akytojo betono bandinių rezultatai po 28 parų

Nr.	Metalo atliekų kiekis %, skaičiuojant pagal masę	Tankis	Stipris (N/mm ²)
1	Be atliekų (tik stabilizatorius)	701,20	2,3
2	Be atliekų (be stabilizatorius)	738,54	2,68
3	1,46%	703,84	2,97
4	2,92%	685,86	2,49
5	5,84%	699,92	2,37

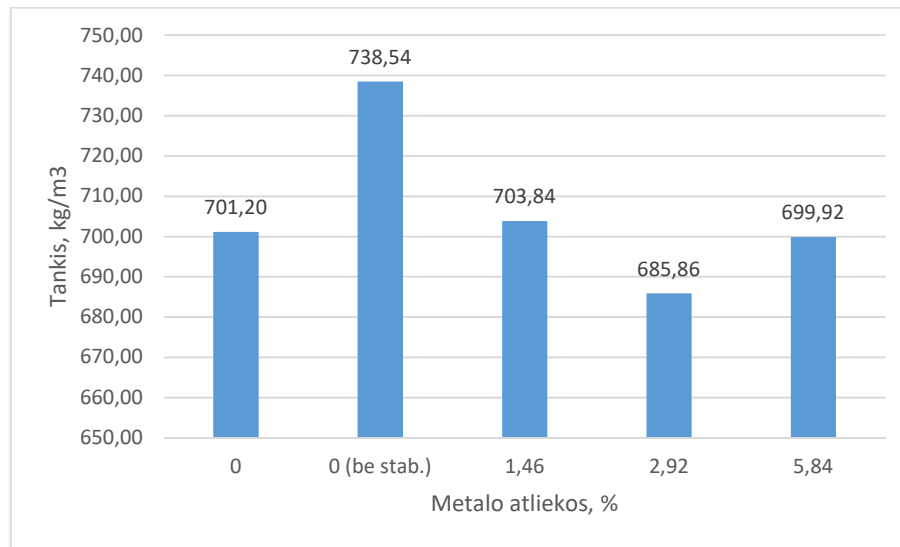
3.1.4.1 grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



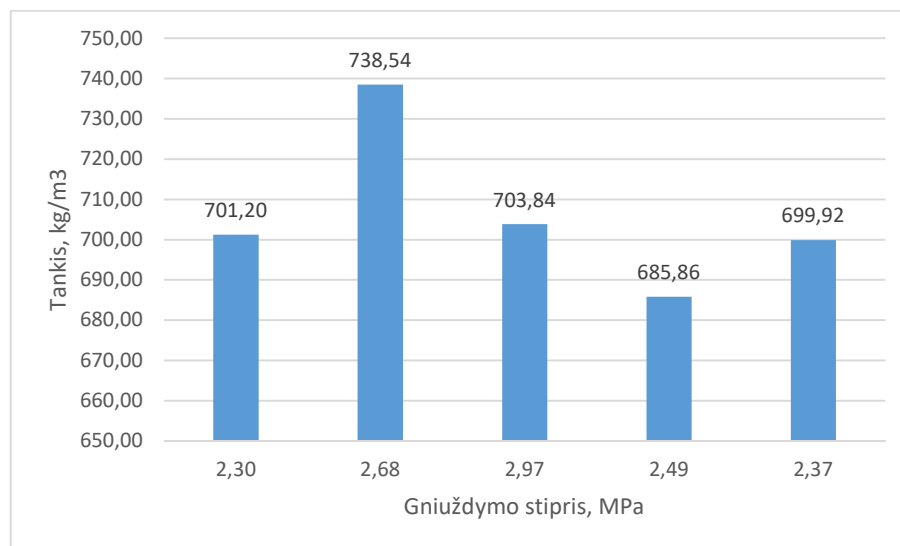
3.1.4.2 linijinis grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



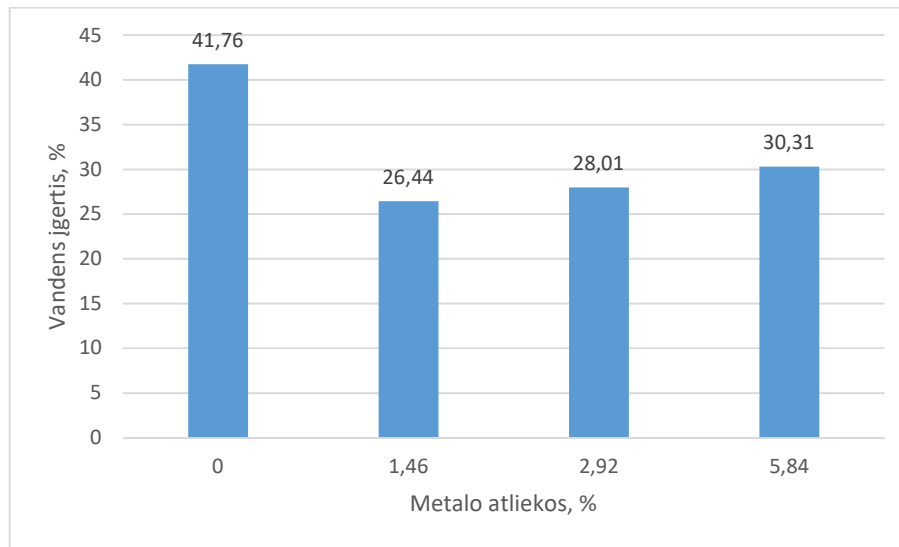
3.1.5 grafikas. Tankio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



3.1.6 grafikas. Tankio ir gniuždymo stiprio santykis, bandiniams sukietėjus po 28 parų



3.1.7 grafikas. Akytojo betono vandens įgerties priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų kiekio, bandiniams sukietėjus po 28 parų



Išvados:

1. Įvertinę 3.1.1 ir 3.1.4 grafikus galime teigti jog įdėjus 1,46 % metalo atliekų (skaičiuojant pagal mišinio medžiagų masę) akytojo betono stipris išauga nuo 15,3 % iki 22,5 %.
2. Įdėjus didesnę kiekį metalo atliekų (daugiau nei 1,46 %), akytojo betono stipris mažėja. Betono stipris 2,97 MPa kai metalo atliekų kiekis 1,46 %, 2,49 MPa kai 2,92 % ir 2,37 MPa kai 5,84 %.
3. Įvertinę 3.1.2 ir 3.1.5 grafikus galime teigti jog akytojo betono tankis, įdėjus metalo atliekų, kinta nežymiai – keičiant 25 gramus kvarcinio smėlio (1,46 %) į 25 gramus metalo atliekų bandinių tankis padidėja 1,07 %.
4. Įvertinę 3.1.3 ir 3.1.6 grafikus galime teigti jog akytojo betono bandinių stipris nepriklauso nuo jų tankio.
5. Akytojo betono bandiniai be stabilizatoriaus ST3 yra 5 % tankesnis už bandinius kurių mišiniuose jo buvo panaudota 0,4 % (procentais nuo visų medžiagų masės). Taigi panaudojus stabilizatorių ST3 akytojo betono mišinys greičiau sustingsta ir nesukrenta nuo savo masės, to pasekoje jo tankis išlieka mažesnis.
6. Akytojo betono, kuriame buvo utilizuotos metalo atliekos, vandens įgertis - 36,93 %.

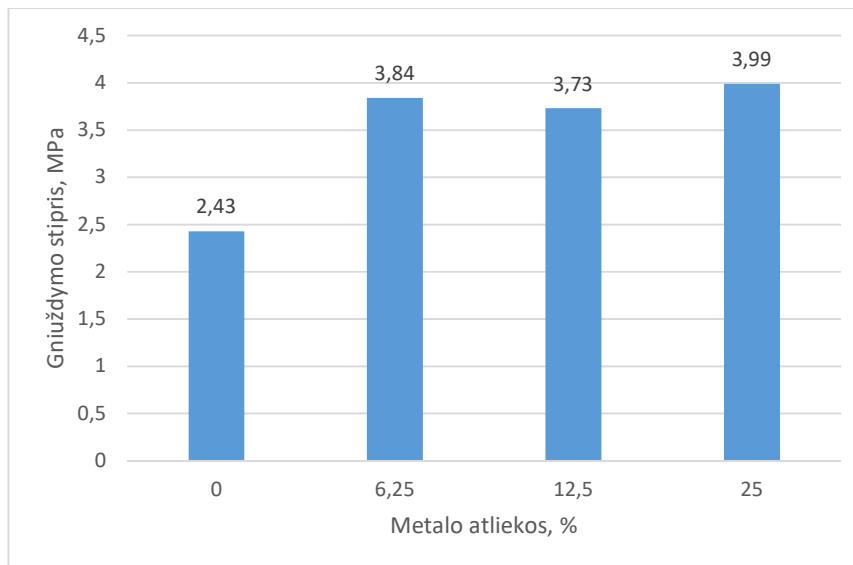
3.2 Akytojo betono bandiniai su metalo šratavimo atliekomis (pagal turio procentą)

Žemiau pateikti rezultatai bandinių, kurių dalis sudėtinių medžiagų t.y. kvarcinio smėlio, buvo pakeistos į metalo atliekas pagal tūrio procentą. Bandinių stipris nustatytas po 7 ir po 28 parų, bandiniams sukietėjus ore ir vandenyje:

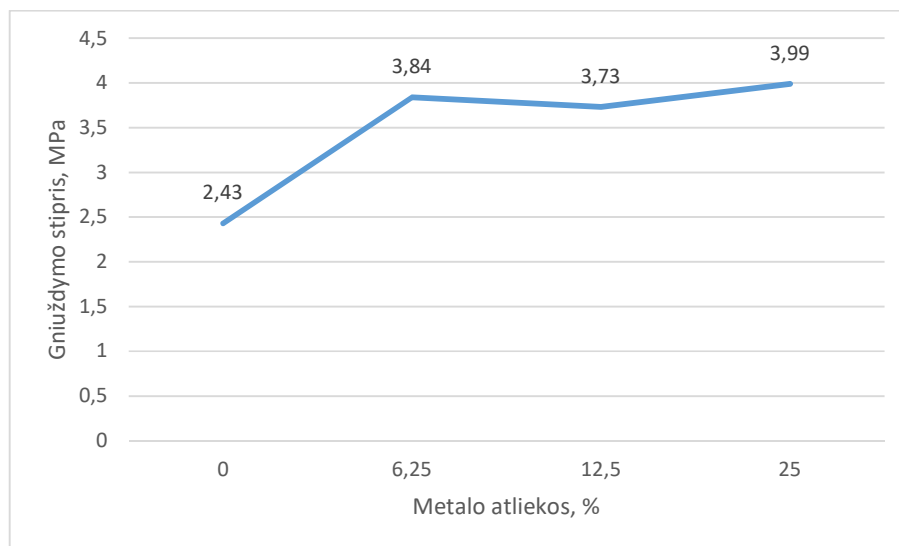
3.2.1 lentelė. Akytojo betono bandinių, sukietėjusių vandenyje, rezultatai po 28 parų

Nr.	Metalo atliekų kiekis %, skaičiuojant pagal tūrį	Tankis	Stipris (N/mm ²)
1	Be atliekų (tik stabilizatorius)	694,68	2,43
2	6,25%	880,08	3,84
3	12,5%	901,62	3,73
4	25%	951,88	3,99

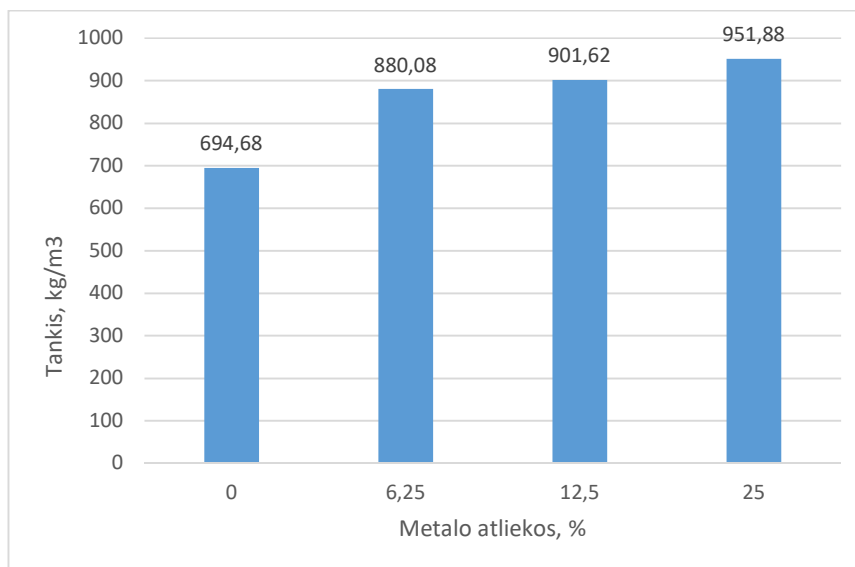
3.2.1.1 grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



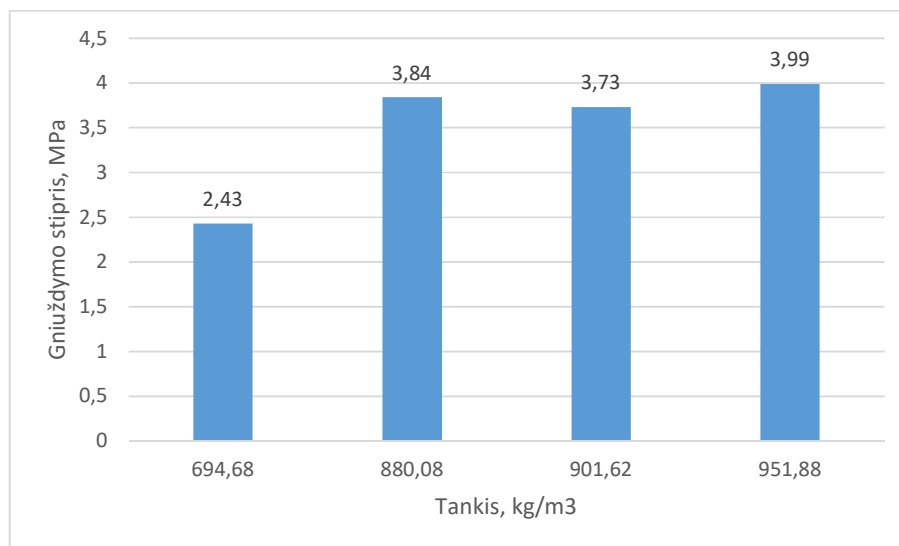
3.2.1.2 linijinis grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



3.2.2 grafikas. Tankio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



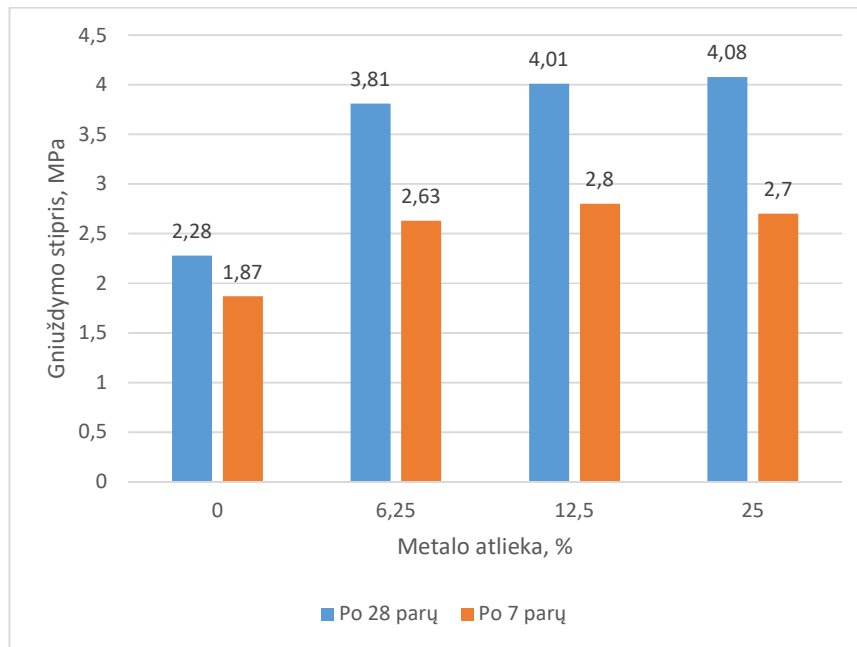
3.2.3 grafikas. Tankio ir gniuždymo stiprio santykis, bandiniams sukietėjus po 28 parų



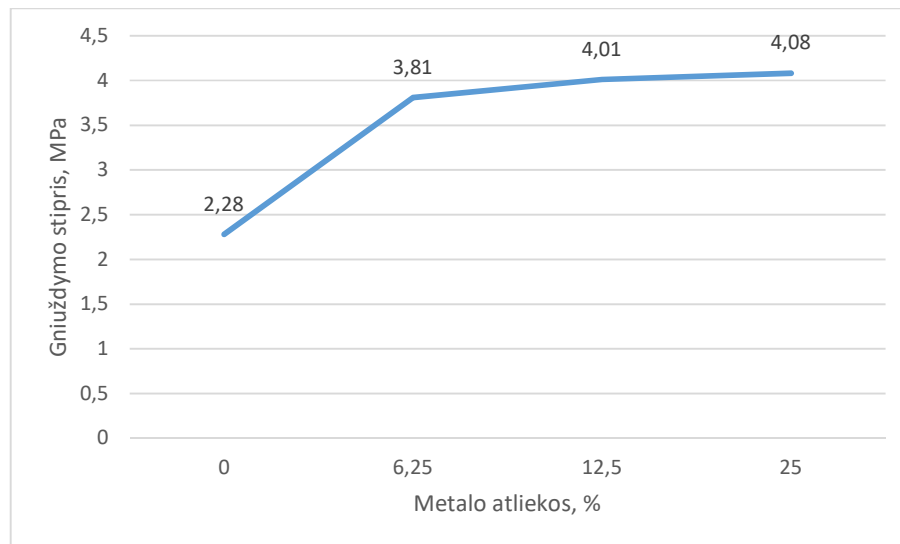
Akytojo betono bandinių stipris po 7 ir 28 parų, bandiniams sukietėjus ore, ir jų vandens įgertis:

Nr.	Metalo atliekų kiekis %, skaičiuojant pagal tūrį	Tankis	Įmirkis (%)	Stipris (N/mm ²)	
				po 7 d.	po 28 d.
1	Be atliekų (tik stabilizatorius)	723,85	42,35	1,87	2,28
2	6,25%	880,11	25,92	2,63	3,81
3	12,5%	969,51	27,56	2,8	4,01
4	25%	1006,22	29,36	2,7	4,08

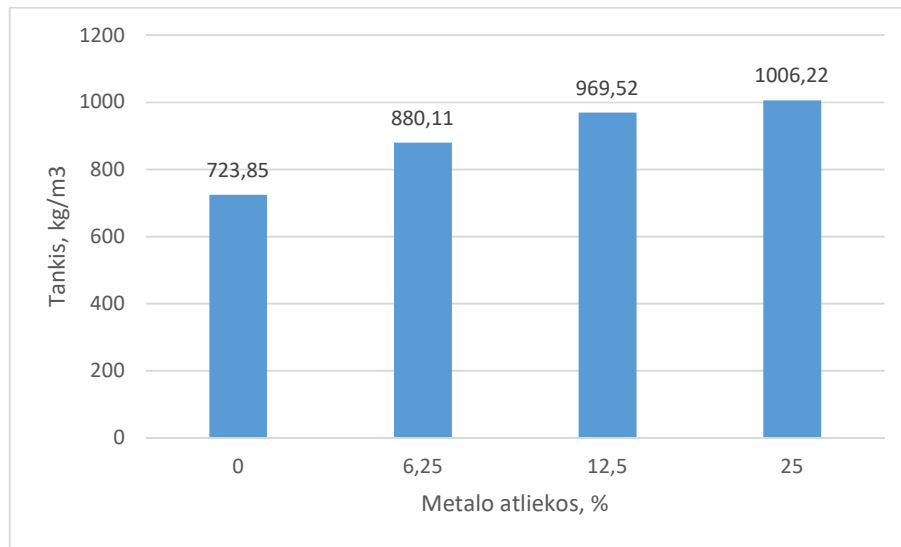
3.2.4.1 grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 7 ir po 28 parų



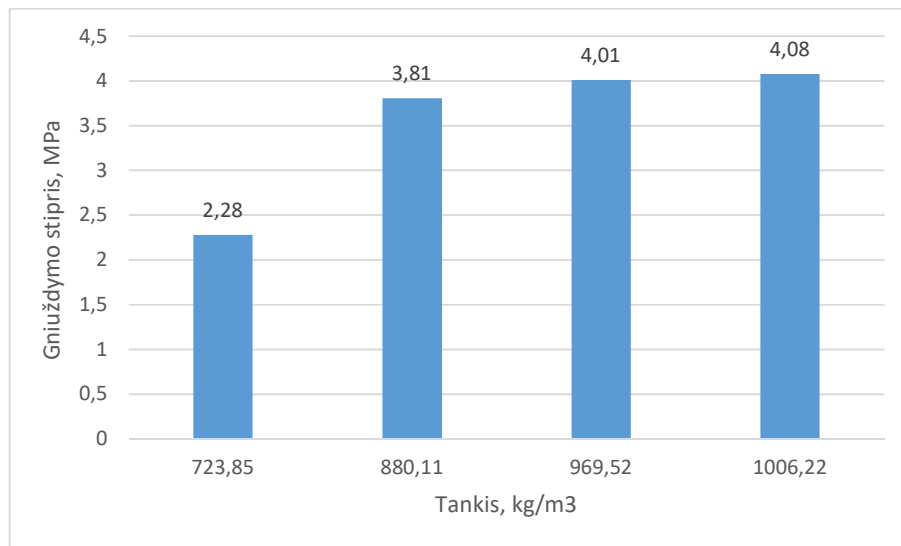
3.2.4.2 linijinis grafikas. Gniuždymo stiprio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



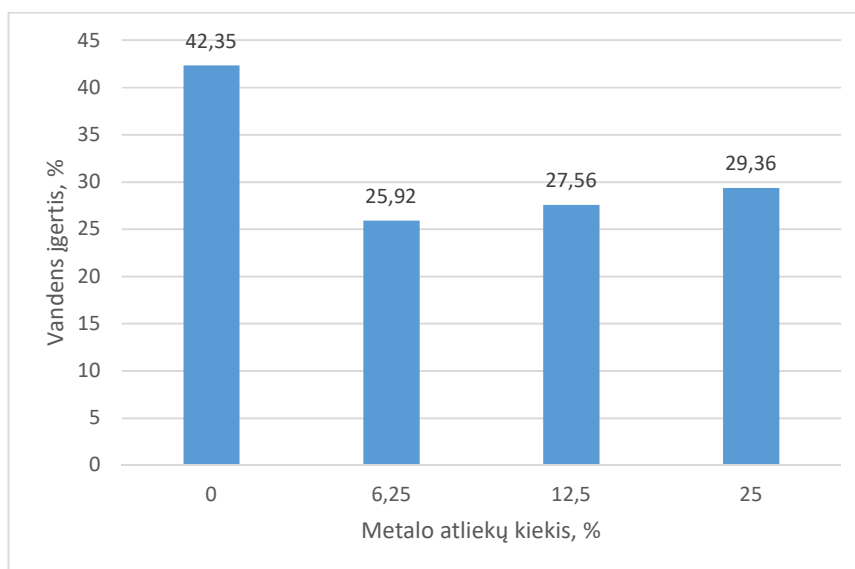
3.2.5 grafikas. Tankio priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų, bandiniams sukietėjus po 28 parų



3.2.6 grafikas. Tankio ir gniuždymo stiprio santykis, bandiniams sukietėjus po 28 parų



3.2.7 grafikas. Akytojo betono vandens įgerties priklausomybė nuo metalo šratavimo atliekų kiekio, bandiniams sukietėjus po 28 parų



Išvados:

1. Įvertinę 3.2.1 ir 3.2.4 grafikus galime teigti jog įdėjus metalo atliekų akytojo betono stipris išauga nuo 40,1 % iki 44,11 %.
2. Didinant metalo atliekų kiekį betono mišinyje stipris nežymiai didėja – didinant atliekų kiekį kas 6,25 % arba 165 gramus stipris vidutiniškai pakyla po 0,135 Mpa.
3. Įvertinę 3.2.2 ir 3.2.5 grafikus galime teigti jog akytojo betono tankis, įdėjus metalo atliekų (6,25 %), padidėja apie 185 kg/m³. Toliau didinant metalo atliekų kiekį kas 6,25 % arba 165 gramus akytojo betono tankis padidėja po 24,44 kg/m³.
4. Vandens įgertis akytajame betone sumažėja į betono mišinį idėjus 3,91 % metalo atliekų. Papildomai didinant metalo atliekų kiekį kas 6,25 % arba 165 gramų, vandens įgertis betone vidutiniškai pakyla po 1,12 %.
5. Akytojo betono kietėjimo aplinka neįtakoja jo stiprio.

IŠVADOS

1. 1 m³ akytojo betono galima utilizuoti nuo 25 kg iki 100 kg metalo šratavimo atliekų, išlaikant jo tankį iki 800 kg/m³ (ypač lengvi betonai), bet akytojo betono gaminiai turi būti izoliuoti nuo vandens arba drėgmės.
2. Panaudojus metalo šratavimo atliekas akytame betone jo stipris išauga nuo 15,3 % iki 22,5 %, keičiant akytojo betono sudėtines medžiagas (kvarcinį smėlį) į metalo šratavimo atliekas pagal masės procentą, ir nuo 40,1 % iki 44,11 %, keičiant pagal turio procentą.
3. Akytojo betono tankis, įdėjus metalo šratavimo atliekų, kinta nežymiai – keičiant 12,5 kg kvarcinio smėlio į 12,5 kg metalo atliekų kubiniam metrui (1,46 %) bandinių tankis padidėja po 1,07 %. Keičiant akytojo betono sudėtines medžiagas (kvarcinį smėlį) į metalo atliekas pagal kvarcinio smėlio tūrį, bandinių tankis padidėja apie 185 kg/m³ įdėjus 6,25 % metalo šratavimo atliekų. Toliau didinant metalo atliekų kiekį kas 3,91 % arba 165 gramus akytojo betono tankis padidėja po 24,44 kg/m³.
4. Akytojo betono vandens įgertis, įdėjus metalo šratavimo atliekų, sumažėja 16,43 %, bet papildomai didinant metalo šratavimo atliekų kiekį kas 6,25 % arba 165 gramų, vandens įgertis betone vidutiniškai pakyla po 1,12 %.
5. Akytojo betono bandiniai be stabilizatoriaus ST3 yra 5 % tankesnis už bandinius kurių mišiniuose jo buvo panaudota 0,4 % (procentais nuo visų medžiagų masės). Taigi panaudojus stabilizatorių ST3 akytojo betono mišinys greičiau sustingsta ir nesukrenta nuo savo masės, to pasekoje jo tankis išlieka mažesnis.
6. Akytojo betono kietėjimo aplinka (vanduo arba oras) neįtakoja jo savybių (stiprio, tankio ir kt.).
7. Utilizuojant atliekas akytame betone yra:
 - Ekologiška** – utilizuotos metalo šratavimo atliekos akytame betone neturi kontakto su vandeniu, todėl juose esantys sunkieji metalai neišsiplauna ir nepatenka į jūrą, gruntinius vandenis ir į patį gruntą.
 - Ekonomiška** – dalis akyto betono sudėtinių medžiagų yra pakeičiamos metalo šratavimo atliekomos, šiuo atveju – kvarcinis smėlis, todėl galima sumažinti akytojo betono gamybos kaštus, tuo pačiu pagerinant jo savybes (stiprį).

LITERATŪRA

1. Antanas Laukaitis, Marijonas Sinica, „Beautoklavis akylasis betonas ir kompozitiniai jo gaminai“, Vilnius 2006 m.
2. Antanas Laukaitis, „Akytūjų betonų formavimo mišinių ir gaminių savybės“, Vilnius 2000 m.
3. A. Augonis, V. Sasnauskas, R. Gečys, K. Miškinis, „Metalo paruošimo (srautinio valymo ir plazminio pjovimo) metu susidarančių gamybos atliekų utilizavimas sukuriant aplinkai nekenksmingą betoną“, Kaunas 2015 m.
4. Y.H. Mugahed Amran, Nima Farzadnia, A.A Abang Ali, „Properties and applications of foamed concrete“, Department of Civil Engineering, Housing Research Center, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia UPM, 43400 Serdang, Selangor, Malaysia
5. R.C. Valore Jr., Cellular concretes Part 2 physical properties, ACI J. Proc. 50 (6) (1954).
6. K. Ramamurthy, E.K. Nambiar, G.I.S. Ranjani, A classification of studies on properties of foam concrete, Cem. Concr. Compos. 31 (6) (2009) 388–396.
7. M.R. Jones, A. McCarthy, Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material, Mag. Concr. Res. 57 (1) (2005) 21–31.
8. Chengwen Wang Associate Professor, Xin Chen, Li Wang, Hongtao Ma, Ruihe Wang, „A novel self-generating nitrogen foamed cement: The preparation, evaluation and field application“, College of Petroleum Engineering, China
9. Gouchen Sang, Yiyun Zhu, Gang Yang, „Mechanical properties of high porosity cement-based foam materials modified by EVA“, Xi'am University of Technology, China 2016.
10. Jun Jiang, Zhongyuan Lu, Yunhui Niu, Jun Li, Yuping Zhang, „Investigation of the properties of high-porosity cement foams based on ternary Portland cement-metakoalin-silica fume blends“, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, China 2015.
11. Marius Rutkevičius, Zak Austin, Benjamin Chalk, Georg H. Mehl, Qin Qin, Philip A. Rubini, Simeon D. Stoyanov, Vesselin N. Paunov, Sound absorption of porous cement composites: effects of the porosity and the pore size, J. Mater. Sci. 50 (9) (2015) 3495–350.
12. Z. Pan, H. Li, W. Liu, Preparation and characterization of super low density foamed concrete from Portland cement and admixtures, Constr. Build. Mater. 72 (2014) 256–261.
13. Mažvila, J., „Sunkieji metalai Lietuvos dirvožemiuose ir augaluose“. Kaunas, 2001.
14. Diliūnas J., Jurevičius A., „Geležis Lietuvos gélame požeminiame vandenyje“. Vilnius, 1998.
15. Rimvydas Kaminskas, „Rišamųjų medžiagų statybiniai gaminiai“. 2012 m.

16. Vitoldas Vaitkevičius, Algirdas Augonis, Audrius Grinys, Arūnas Aleksandras Navickas, „Statybinių dirbinių gamybos įmonių projektavimas“. Vilnius, 2011 m.
17. LST EN 206-1:2002/A2:2005 Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis.
18. LST EN 206:2013+A1:2017. Betonas. Specifikacija, eksploatacinės savybės, gamyba ir atitiktis.
19. LST EN 13965-1:2005. Atliekų apibūdinimas. Terminija. 1 dalis. Medžiagų terminai ir apibrėžtys.
20. Internetinė nuoroda: http://www.vedrana.lt/bendra_informacija_akytas_betonas/
21. Internetinė nuoroda: http://gamta.lt/files/Chemine_bukle_pagal_prioritetines_pavojingas_ir_pavojingas_medziagas_1995-2003.pdf