



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Paulius Rožėnas

PUTŲ CEMENTBETONIO SAVYBIŲ TYRIMAS
RESEARCH OF THE FOAM CEMENT CONCRETE

Baigiamasis magistro darbas

Statybinės medžiagos studijų programa, valstybinis kodas 62108T103

Medžiagų mokslas mokslo kryptis

Vilnius, 2008

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Romualdas Mačiulaitis

(Vardas, pavardė)

(Data)

Paulius Rožėnas

PUTŲ CEMENTBETONIO SAVYBIŲ TYRIMAS

RESEARCH OF THE FOAM CEMENT CONCRETE

Baigiamasis magistro darbas

Statybinės medžiagos studijų programa, valstybinis kodas 62108T103

Medžiagų mokslas mokslo kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2008

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Prof. Romualdas Mačiulaitis

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

..... Nr.

Vilnius

Studentui (ei)

Pauliui Rožėnui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Putų cementbetonio savybių tyrimas

patvirtinta 2008m. kovo mėn. 23 d. dekanų įsakymu Nr. STf-4.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2008 m. birželio 5 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Atlikti literatūros analizę, išaiškinti aktyviųjų betonų savybes, terminus, žaliavas, fizikinius-cheminius procesus, bei kitų tyrinėtojų šioje srityje atliktus mokslinius tyrimus.
2. Metodinėje dalyje aprašyti žaliavų paruošimą ir naudotas metodikas.
3. Eksperimentinėje dalyje parenkti moksliniais tyrimais gautą geriausią putokšlį, nustatyti gauto produkto pagrindines savybes.
4. Darbą apibudinti mokslinėmis išvadomis.
5. Literatūros sąrašas ir priedai.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas

.....

prof. habil. dr. Antanas Laukaitis

(Paraša)

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

Paulius Rožėnas

(Vardas, pavardė)

2008. 02. 04.

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Statybos fakultetas

Statybinių medžiagų katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Statybinės medžiagos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas: **Putų cementbetonio savybių tyrimas**

Autorius: **Paulius Rožėnas**

Vadovas: prof. habil. dr. Antanas Laukaitis

Kalba

☒ x lietuvių

☐ užsienio

Anotacija

Šio magistrantūros studijų baigiamojo darbo tikslas yra išnagrinėti autoklavinio poringojo betono savybes į kurio mišinio sudėtį dedama akytojo betono gamybos atliekų. Akyta cementbetonio struktūra sudaryta naudojant putas. Darbas susideda iš teorinės ir eksperimentinės dalių.

Teorinėje dalyje atlikta literatūros analizė, pateiktos bendrosios žinios apie akytuosius betonų, jų žaliavas, klasifikaciją bei kai kurias fizikines ir mechanines savybes. Autoklavinis putų cementbetonis nagrinėjamas kaip viena iš akytojo betono atmainų. Nagrinėjami putokšliai, lyginamos iš jų išplaktų putų savybės. Aptariamas akyto betono atliekų panaudojimas gaminant putų cementbetonį. Šiuo tikslu buvo nagrinėjami įvairūs literatūros šaltiniai, lyginamos įvairių autorių sukauptos žinios ir tyrimų rezultatai.

Eksperimentinėje dalyje tiriamos putokšlių ir iš jų išplaktų putų savybės. Nagrinėjamas akytojo betono gamybos atliekų panaudojimas. Aprašoma putų ir betono atliekų kiekio įtaka putų cementbetonio tankiui, gniuždomajam stipriui ir gaminių struktūrai.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, literatūros analizė, metodinė, eksperimentinė, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 69 p. teksto be priedų, 22 iliustracijos, 19 lentelių, 55 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: akytasis betonas, putokšlis, putos, betono atliekos, tankis, gniuždomasis stipris, struktūra.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Building Materials

ISBN ISSN
Copies No.
Date-....-....

Construction Materials and Products study programme bachelor thesis.

Title: Research of the foam cement concrete

Author: Paulius Rožėnas

Academic supervisor: prof. habil. dr. Antanas Laukaitis

Thesis language

☐

Lithuanian

☒

Foreign (English)

Annotation

The point of this postgraduate studies final work is research the autoclaved porous concrete characteristics, in whose composition is waste of porous concrete. The porous structure is made by foam. This work consists of theoretical and experimental parts.

The theoretical part of this work consists of literature analysis, there are given general knowledge about porous concrete, materials, classifications, physical and mechanical characteristics. The autoclaved foam cement concrete was researched like one of the active concrete species. There were analysed foamers, comparable internals of foams. Considering the waste of porous concrete utilization making foam cement concrete. For this purpose were researched various information publications, compared the cumulated knowledges and experimental results of various authors.

In experimental part are described foamers and from their made foams characteristics. Researching the waste of porous concrete utilization. Described quantity of foams and concrete wastes influence to density, strength and composition of foam cement concrete.

Structure: introduction, literature analysis, methodical, experimental, conclusions and suggestions, references.

Thesis consists of: 69 p. text without appendixes, 22 pictures, 19 tables, 55 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: porous concrete, foamer, foam, concrete wastes, density, compression resistance, composition

Turinys

LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
1. ĮVADAS	9
2. LITERATŪROS ANALIZĖ	11
2.1. Pagrindiniai terminai ir apibrėžimai	11
2.2. Aktyvių betonų klasifikacija	13
2.3. Žaliavoms keliami reikalavimai	15
2.4. Dujodariai ir putokšliai	17
2.5. Autoklavinio kietėjimo metu vykstantys procesai	27
2.6. Kai kurios putų cementbetonio savybės	29
2.7. Apibendrinimas	35
3. METODINĖ DALIS	36
3.1. Putų savybės	36
3.2. Žaliavos ir gaminių sudėtys	39
3.3. Tankio nustatymas	43
3.4. Gniuždomojo stiprio nustatymas	45
3.5. Gaminių struktūra	47
4. EKSPERIMENTINĖ DALIS	49
4.1. Putų savybės	49
4.1.1. Paviršių aktyvinančių medžiagų (PAM) tirpalų išputojimas (Rooso-Mailso metodas)	49
4.1.2. Putokšlio išsiskyrimas iš putų	50
4.1.3. Išvados	53
4.2. Tankio nustatymas	53
4.3. Gniuždomojo stiprio nustatymas	57
4.4. Gaminių struktūra	63
5. IŠVADOS	65
LITERATŪRA	67
PRIEDAI	70

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Akytojo betono tankio klasės	13
2 lentelė. Akytojo betono gniuždomojo stiprio klasės	13
3 lentelė. Smėlio cheminė sudėtis	15
4 lentelė. Smėlio granulometrinė sudėtis	16
5 lentelė. PAM putų sudarymo galimybė su stabilizatoriais (Rosso-Mailso metodas)	24
6 lentelė. Putų savybės	25
7 lentelė. Putų kartotinumų įtaka putų cementbetonio savybėms	32
8 lentelė. Putų cementbetonio sudėtys.....	42
9 lentelė. PAM tirpalų išputojimas pagal Rosso-Mailso metodą	49
10 lentelė. Putų nusėdimas 5 litrų inde	51
11 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, vanduo, putos	53
12 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, vanduo, putos.....	53
13 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, silikatbetonio atliekos 5 % nuo kietųjų medžiagų kiekio, vanduo, putos	54
14 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, silikatbetonio atliekos 10 % nuo kietųjų medžiagų kiekio, vanduo, putos	54
15 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, silikatbetonio atliekos 15 % nuo kietųjų medžiagų kiekio, vanduo, putos	54
16 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, polipropeno pluoštas, vanduo, putos	54
17 lentelė. Stipris gniuždant	58
18 lentelė. Perskaičiuotas stipris gniuždant prie 400 (kai putų kiekis 2,0 dm ³ /kg), 500 (kai putų kiekis 1,5 dm ³ /kg) ir 600 kg/m ³ (kai putų kiekis 1,0 dm ³ /kg) tankio	58
19 lentelė. Bendrasis poringumas, susisiekančios poros ir susisiekančių ir bendrų porų tūrių santykis	63

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Įvairių PAM putų sudarymo galimybė Rosso-Mailso metodu	23
2 pav. PAM tirpalų išputojimas pagal Rosso ir Mailso metodą (be stabilizatoriaus)	25
3 pav. Putų tankis naudojant ju gamybai mineralinius priedus	26
4 pav. Mineralinių priedų įtaka putų stabilumui	27
5 pav. Putų cementbetonio tankio priklausomybė nuo V/K bei putų sąnaudų	29
6 pav. Atliekų kiekio įtaka dujų cementbetonio su mišriąja rišamąja medžiagagaminių tankiui	30
7 pav. Putų cementbetonio laidumo orui priklausomybė nuo tankio ir V/K	31
8 pav. Maltų atliekų priedo įtaka dujų cementbetonio su mišriąja rišamąja medžiaga bandinių gniuždomajam stipriui	33
9 pav. Rosso-Mailso prietaiso schema	36
10 pav. CNIPS-1 prietaisas	37
11 pav. PAM tirpalų išputojimas pagal Rosso-Mailso metodą	50
12 pav. Iš putų išsiskyrusio skysčio tūrio priklausomybė nuo laiko	52
13 pav. Mišinio sudėties įtaka bandinių tankiui, kai putų kiekis $2,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$	55
14 pav. Mišinio sudėties įtaka bandinių tankiui, kai putų kiekis $1,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$	56
15 pav. Mišinio sudėties įtaka bandinių tankiui, kai putų kiekis $1,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$	56
16 pav. Bandinių tankio priklausomybė nuo naudojamo akyto betono gamybos atliekų ir putų kiekio	57
17 pav. Stiprio gniuždant priklausomybė nuo tankio	59
18 pav. Stiprio gniuždant, perskaičiuoto prie 400 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $2,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$, priklausomybė nuo bandinių mišinio sudėties	60
19 pav. Stiprio gniuždant, perskaičiuoto prie 500 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $1,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$, priklausomybė nuo bandinių mišinio sudėties	61
20 pav. Stiprio gniuždant, perskaičiuoto prie 600 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $1,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$, priklausomybė nuo bandinių mišinio sudėties	62
21 pav. Stiprio gniuždant priklausomybė nuo akyto betono atliekų naudojamo kiekio	62
22 pav. Susisiekiančių ir bendrųjų porų tūrio sntykių priklausomybė nuo į mišinį dedamų akytojo betono gamybos atliekų ir putų kiekio	64

1. ĮVADAS

Kylant kuro ir energetikos resursų kainoms atitinkamai brangsta gyvenamųjų namų šildymas. Siekiant sumažinti būsto eksploataavimo išlaidas, yra griežtinami reikalavimai pastatų atitvarų šiluminei varžai. Nuo Nepriklausomybės atgavimo Lietuvoje jau du kartus pakeistos statybos normos atitvarų konstrukcijoms. Tokiu būdu yra ribojama naujai statomų pastatų atitvarų šiluminė varža.

Tyrimais nustatyta, kad daugiaaukščių pastatų šiluminiai nuostoliai per atitvaras sudaro: per sienas 25–30 %, per perdangas 5–10 %, per grindis 3–5 %, per langus 60–65 % [1]. Todėl labai svarbu sumažinti šiluminius nuostolius per sienas.

Betonų tankis svyruoja nuo 200 iki 2000 kg/m³ [5]. Gaminant aktyuosius betonus, tankį sumažinti galima dviem būdais:

- panaudojant gamybai lengvus poringus užpildus, gauti betoną, kurio aktyumas didesnis nei 6 % tūrio,
- panaudoti gamybai porodarį, užtikrinantį tuštumų-porų susidarymą betone.

Jeigu betono aktyumas didesnis nei 15 % tūrio, gauname aktyvų betoną [6].

Lengvieji betonai plačiausiai yra naudojami atitvarinėse konstrukcijose. Taip naudojant užpildu keramzitą yra gaminamas keramzitbetonis. Iš šios medžiagos yra pastatyti dauguma daugiaaukščių blokinių namų Lietuvoje. Naudojant užpildu šlakus, medžio drožles, perlitą, o rišamąją medžiagą cementą, gaminamas šlakbetonis, medžio betonas, perlitbetonis. Iš šių medžiagų gaminami sieniniai blokeliai. Tokie gaminiai yra nedidelio tankio, turi stiprumo charakteristikas, tenkinančias mažaaukštės statybos sieniniams elementams keliamus reikalavimus. Tankis siekia 1100–1500 kg/m² [5].

Iš lengvų užpildų Lietuvoje šiuo metu yra gaminamas tik keramzitas. Kitų lengvų užpildų, pvz., perlito Lietuvoje negamina. Mūsų sąlygomis perspektyvus yra porizuotas betonas atitinkamai parenkant užpildų granulimetrinę sudėtį.

Jeigu nagrinėsime poringąjį betoną kaip kompozicinę medžiagą, kompozito matricą sudaro cemento tešla su įtrauktais oro burbuliukais. Naudojant putas galima suformuoti putų cementbetonį iki 200 kg/m³ tankio.

Pagal panaudotą rišamosios medžiagos tipą, galima išskirti aktyvų silikatbetonį ir aktyvų cementbetonį [6]. Silikatbetonio gamybai naudojamos orinės statybinės kalkės, o cementbetonio - portlandcementis.

Todėl nagrinėjant rišamosios medžiagos panaudojimo galimybes, reikia atsižvelgti į betonų apdorojimo būdą. Jis gali būti:

- autoklavinis apdorojimas naudojant didesnio slėgio ir aukštesnės temperatūros sočiuosius vandens garus,

- šutinimą, atliekamą prie atmosferinio slėgio iki 95 °C temperatūros vandens garuose,

- kietėjimą, kuris vyksta natūraliomis sąlygomis, bet ne mažesnėje kaip 15 °C temperatūroje.

Autoklavinis kietinimas reikalauja specialių įrengimų – autoklavų ir nemažų energetinių sąnaudų gaminant sočius vandens garus, kas didina gamybos išlaidas ir brangina produkciją. Dėl to, kad kietėjant betonui cheminės reakcijos natūraliomis sąlygomis arba šutinant tarp rišamosios medžiagos – portlandcemenčio ir užpildo – smėlio nevyksta [7], stiprį kietėdamas betonas įgauna dėka cemento mineralų hidratacijos. Nagrinėjami poringieji betonai struktūriniu požiūriu atitinka akytojo betono struktūrą, kurioje gaminių stipris, deformacijos, atsparumas šalčiui kinta pagal tuos pačius dėsningumus, kaip ir akytuose betonuose, kietintuose natūraliomis sąlygomis. Rišamoji medžiaga – portlandcementis, reaguodama su vandeniu kietėja ir sujungia akytosios betono struktūros komponentus tarpusavyje.

Pagrindinės putų cementbetonio žaliavos yra rišamoji medžiaga ir užpildai, kurių mišiniai užmaišomi vandeniui. Putų formavimui naudojami putokšliai, kurių išplaktas vandens tirpalas suformuoja putas. Sumaišius visus komponentus gauname putų cementbetonio mišinį. Aktyvūs mišinio komponentai yra rišamoji medžiaga ir vanduo. Putų cementbetonyje kietėjančiame natūraliomis sąlygomis arba šutinimo metu reakcijos vyksta tarp rišamosios medžiagos ir vandens, dėka ko mišinys susiriša ir sukietėja. Užpildai sudaro standžius putų cementbetonio griaučius, kurie kietėjant mišiniui sumažina jo susitraukimą. Putų cementbetonio gamybai naudojamos įvairios rišamosios medžiagos, dažniausiai portlandcementis.

Darbo tikslas: išnagrinėti akyto betono savybes, naudojant autoklave kietėjusį poringąjį cementbetonį, į kurio mišinį dėta akyto betono gamybos atliekų. Akyta cementbetonio struktūra sudaroma naudojant putas.

Uždaviniai:

1. Ištirti putokšlių įtaką putų susidarymui ir jų stabilumui.
2. Ištirti putų įtaką betono tankiui.
3. Ištirti akyto betono gamybos atliekų įtaką gaminių tankiui.
4. Nustatyti akyto betono gamybos atliekų įtaką gaminių gniuždomajam stipriui.
5. Palyginti suformuotų gaminių struktūrą.

2. LITERATŪROS ANALIZĖ

2.1. Pagrindiniai terminai ir apibrėžimai

Poringasis betonas – tai viena iš lengvųjų betonų rūšių [1]. Sumažinti betono tankį galima dviem būdais: panaudojant gamybai lengvus poringus užpildus; panaudojant gamybai porodari, užtikrinantį tuštumų-porų susidarymą betone. Lengvojo betono akytumas yra didesnis nei 6 % tūrio. Jei betono akytumas didesnis nei 15 % tūrio, gauname akytąjį betoną. Poringuosius betonus galima gaminti dviem būdais: į formavimo mišinį pridedant paviršių aktyvinančių medžiagų, kurios mišinio permaišymo metu į cemento tešlą įtraukia oro burbuliukų; naudojant *putokšlius* yra suformuojamos *putos*, kurios sumaišomos su atskirai permaišyta rišamąja medžiaga, priedais bei užpildais ir gaunamas *putų cementbetonis*.

Statybinis kompozitas [2] – tai medžiagos ir dirbiniai, kurių atskiros dedamosios dalys turi savo iš anksto apibrėžtą ribą, sukurtos žmogaus, susideda ne mažiau kaip dviejų komponentų sąlygojančių naujas medžiagos savybes. Medžiagos yra nevienalytės mikrostruktūros ir vienalytės makrostruktūros. Kompozito struktūroje skiriamos dvi dalys: užpildai arba intarpai ir matrica, jungianti visus komponentus į vieną kūną.

Kompozito matrica – tai betonas iš portlandcemenčio su tuštumas formuojančiais priedais (putos, PAM).

Intarpai – dispersiniai, susidedantys iš smėlio, putų cementbetonio atliekų.

Silikatbetonis – tai dirbtinis akmuo, kurio komponentai surišti kalcio hidrosilikatais, susidaranciais autoklavinio apdorojimo metu.

Akytasis silikatbetonis – tai silikatbetonis, gautas iš malto smėlio, maltų kalkių ir vandens vienalyčio mišinio, kurio porėtumas padidinamas įmaišius į ruošiamą mišinį porodarių (tankis 200 – 1200 kg/m³).

Dujų silikatbetonis – akytasis silikatbetonis, gautas į vienalytį mišinį įmaišius dujodarių.

Dujų cementbetonis – tai akytasis betonas, kurio rišamoji medžiaga yra portlandcementis arba mišri (portlandcementis, kalkės), gautas į vienalytį mišinį įmaišius dujodarių.

Putų silikatbetonis [3] – akytasis silikatbetonis, gautas į vienalytį mišinį įmaišius iš putokšlio paruoštų stabilių putų.

Putų cementbetonis [3] – akytasis betonas, kurio rišamoji medžiaga yra portlandcementis arba mišri (portlandcementis, kalkės), gautas į vienalytį mišinį įmaišius iš putokšlio paruoštų stabilių putų.

Maltas smėlis – sausu arba šlapiu būdu malūnuose iki $150 - 500 \text{ m}^2/\text{kg}$ savitojo paviršiaus susmulkintas smėlis.

Smėlio šlamos – Tai vandens terpėje malto smėlio suspensija, kurios tankis $1550 - 1800 \text{ kg/m}^3$ (drėgnumas $30 - 42 \%$).

Porodariai – įmaišomos į homogenizuojamą silikatinį mišinį medžiagos, sudarančios sferines poras ir sumažinančios gaminių tankį.

Putokšlis – paviršių aktyvinanti medžiaga, kurios vandeninis tirpalas maišant disperguoja įtrauktą orą ir sudaro stabilias putas.

Paviršių aktyvinančios medžiagos – tai linijinės sandaros organinės medžiagos, susidedančios iš angliavandenilių grandinės ($12 - 18$ anglies atomų) bei polinės grupės, kurios kietos medžiagos ir vandens skiriamajame paviršiuje sudaro monomolekulinį sluoksnį ir mažina vandens paviršiaus įtempimą.

Putų stabilizatorius [4] – priedas, padidinantis iš putokšlio paruoštų putų klampumą ir stabilumą.

Vandens ir kietųjų medžiagų santykis (V/K) – akytojo betono mišinį sudarančio vandens ir kietųjų medžiagų masių santykis, lemiantis mišinio takumą (konsistenciją) ir priklausantis nuo pasirinkto gaminių tankio.

2.2. Akytųjų betonų klasifikacija

Akytieji betonai skirstomi pagal tankį, gniuždomąjį stiprį, naudotą porodarį, naudotą rišamąją medžiagą, naudotą užpildą, kietėjimo sąlygas [6, 10].

Tankis

Pagal tankį akytieji betonai skirstomi į šias klases (1 lentelė).

1 lentelė. Akytojo betono tankio klasės

Klasė	300	350	400	450	500	550	600	650
Sausasis tankis, ρ_m	>250 ≤ 300	>300 ≤ 350	>350 ≤ 400	>400 ≤ 450	>450 ≤ 500	>500 ≤ 550	>550 ≤ 600	>600 ≤ 650
Klasė	700	750	800	850	900	950	1000	
Sausasis tankis, ρ_m	>650 ≤ 700	>700 ≤ 750	>750 ≤ 800	>800 ≤ 850	>850 ≤ 900	>900 ≤ 950	>950 ≤ 1000	

Gniuždomasis stipris

Pagal gniuždomąjį stiprį akytieji betonai skirstomi į šias klases (2 lentelė).

2 lentelė. Akytojo betono gniuždomojo stiprio klasės (MPa)

Klasė	AAC 0,35	AAC 0,5	AAC 0,75	AAC 1,0	AAC 1,5	AAC 2	AAC 2,5
Būdingasis stipris	0,35	0,5	0,75	1,0	1,5	2	2,5
Mažiausia vertė	0,30	0,42	0,64	0,85	1,3	1,8	2,2
Reikalaujama vidutinė vertė	0,48	0,65	0,90	1,20	1,8	2,3	2,9

Klasė	AAC 3	AAC 3,5	AAC 4	AAC 4,5	AAC 5	AAC 6	AAC 7
Būdingasis stipris	3	3,5	4	4,5	5	6	7
Mažiausia vertė	2,7	3,1	3,6	4,0	4,5	5,4	6,3
Reikalaujama vidutinė vertė	3,4	4,0	4,5	5,0	5,5	6,5	7,5

Porodariai

Pagal naudojamą porodarių aktyvieji betonai skirstomi į:

Dujų, kurių gamybai naudojami įvairūs dujodariai;

Putų, kuriems gaminti naudojami įvairūs putokšliai;

Putų ir dujų, kuriems gaminti naudojami įvairūs mišrūs porodariai, susidedantys iš dujodario ir putokšlio.

Rišamoji medžiaga

Pagal rišamąją medžiagą aktyvieji betonai skirstomi į:

Aktytąjį silikatbetonį, kurio gamybai naudojamos statybinės kalkės arba mišri kalkių ir cemento rišamoji medžiaga. Joje turi būti ne mažiau kaip 50 % kalkių;

Aktytąjį cementbetonį, kurio gamybai naudojamas cementas arba mišri cemento ir kalkių rišamoji medžiaga, kurioje turi būti ne mažiau kaip 50 % cemento.

Užpildai

Pagal naudojamą užpildą (SiO_2 turintį komponentą) aktyvieji betonai skirstomi į:

Gamtinio natūralaus smėlio aktyuosius betonų, kurių gamybai naudojamas kvarcinis arba putnaginis smėlis bei jų mišinys;

Perdirbto smėlio aktyuosius betonų, gaunamus sodrinant kvarcinį smėlį, trupinant ir sijojant žvyrą bei smėlį;

Technologinių atliekų aktyuosius betonų, kuriems gaminti naudojamos kitos, SiO_2 turinčios technologinės atliekos (stiklo šlifavimo dulkės, šlakai, pelenai, SiO_2 mikrodulkės ir kt.).

Kietėjimo sąlygos

Pgal kietėjimo sąlygas akytieji betonai skirstomi į:

Autoklavinius, kurie kietinami didesniame slėgyje (iki 1,6 MPa) ir aukštesnėje temperatūroje (iki 203 °C) sočiuosiuose vandens garuose;

Šutintus, kurie kietinami atmosferinio slėgio ir 65–95 °C temperatūros vandens garuose;

Natūraliai sukietėjusius, kurie kietinami natūraliomis sąlygomis, bet ne žemesnėje kaip 18 °C temperatūroje.

2.3. Žaliavoms keliami reikalavimai

Akytųjų betonų gamybai naudojamas švarus kvarcinis smėlis, atitinkantis LST 1273–92 „Silikatinų plytų ir aktybetonio smėlis“ standarto reikalavimus. Akytajam betonui gaminti naudojamas gamtinis, sodrintas, maltas arba nemaltas smėlis, trupintų uolienu atsijos arba šių smėlių mišiniai [3].

Svarbiausio smėlio mineralo – kvarco turi būti nemažiau kaip 70 %, o molio dulkių ir priemaišų – ne daugiau kaip 5 % [3]. Be kvarco smėlio yra ir kitų mineralų: chalcedono, opalo, ortoklazo, nefelino, biotito, kalcito, dolomito, magnetito, limonito [11]. Cheminė smėlio sudėtis pateikta 3 lentelėje.

3 lentelė. Smėlio cheminė sudėtis

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₂ (%)	Kait. nuost. (%)
91	4,30	0,70	1,22	0,20	pėdsakai	1,20

Gaminių kokybę lemia smėlio granulometrinė sudėtis, grūdelių dydis, jų paviršiaus pobūdis ir priemaišos. Pageidautina, kad betono mišinyje būtų kuo mažiau tuštumų, kurias turi užpildyti brangiausias mišinio komponentas – rišamoji medžiaga, todėl geriausia, kai smėlio grūdeliai yra skirtingo dydžio (4 lentelė). Esant vieno dydžio smėlio dalelėms, padidėja rišamosios medžiagos sąnaudos ir sumažėja gaminių stiprumas. Akytųjų betonų gamyboje tinkamiausio smėlio rupumo modulis yra nuo 1,1 iki 2,3. Optimalus rupaus, vidutinio rupumo bei smulkaus smėlio frakcijų santykis yra nuo 9:3:1 iki 16:4:1. Tinkamiausias smėlis, kurio grūdeliai yra aštriabriauniai, šiurkštaus paviršiaus (pirminiai smėliai), nes jie geriau sukimba su rišamąja medžiaga, negu lygaus paviršiaus, apzuliniai antriniai smėliai [12].

4 lentelė. Smėlio granulometrinė sudėtis

Sieto akučių dydis (mm)	Likutis ant sieto (%)
5,0	0
2,5	1 – 8
1,25	2 – 15
0,63	10 – 35
0,315	35 – 80
0,15	65 – 95
0,08	100

Smėlyje neturi būti molio grumstelių, bet tam tikras smulkių, vienodai pasiskirsčiusių molio dalelių kiekis nekenkia, nes tada lengviau presuojami pusgaminiai ir gaunami stipresni gaminiai. Taip pat smėlyje ribojami kai kurių priemaišų kiekiai. Dulkių, dumblo ir molingųjų dalelių kiekiai negali viršyti 20 %, šarmų – Na_2O ir K_2O (perskaičiavus į N_2O) gali būti ne daugiau nei 7,2 %, sulfidų ir sulfatų – 2 %, sieros junginių – 2 %, žėručių – 0,5 %, lauko špato – iki 10 %. Daugelis šių priemaišų trukdo rišamajai medžiagai sukibti su smėlio grudeliais, mažina gaminių stiprumą. Esant šarmų, gaminių paviršiuje gali atsirasti dėmių, jie taip pat mažina dirbinių atsparumą šalčiui.

Smėlyje taip pat neturi būti šaknų, akmenų, metalo priemaišų. Didesnių kaip 5,0 – 10,0 mm smėlio grudelių gali būti ne daugiau kaip 10 % [3]. Smėlio lyginamasis paviršius turi būti ne mažesnis kaip $300 \text{ cm}^2/\text{g}$ [13].

Smėlio lyginamasis svoris – $2,60\text{--}2,65 \text{ g/cm}^3$. Lyginamasis svoris, smėliui esant puriois būklės, svyruoja plačiose ribose ir priklauso nuo smėlio grudelių stambumo, frakcijų tarpusavio santykio, smėlio drėgnumo. Gamybiniuose skaičiavimuose laikoma, kad natūralaus drėgnumo smėlio 1 m^3 sveria 1500–1650 kg [13].

Cementas yra hidraulinė rišančioji medžiaga, gaminama smulkiai malant iki sukepimo išdegta klinčių ir molio mišinį (arba kitokią analogiškos cheminės sudėties žaliavą) su gipso priedu. Cementas, tai žalsvi milteliai, kuriuos užmaišius vandeniu, gaunama plastiška, palaipsniui suakmenėjanti tešla [11].

Cementas susideda iš smulkių grūdelių, kurių per sieta su 0,8 mm dydžio akutėmis turi išbyrėti 85 % sijojamo kiekio. Jo smulkumas išreiškiamas cemento grūdelių lyginamuoju paviršiumi. Cemento lyginamasis paviršius lygus $2500\text{--}3000 \text{ cm}^2/\text{g}$.

Cemento tankis būna nuo 3,05 iki 3,15 g/cm³, priklausomai nuo to, kokia jo sudėtis ir kiek jame priedų. Nesutankinto cemento tūrio masė – 1000–1100 kg/m³, o sutankinto – 1400–1600 kg/m³.

Cemento rišimosi trukmė gali būti įvairi. Svarbi yra rišimosi pradžia, t.y. periodo trukmė nuo teslos užmaišymo pradžios iki tesla pradeda netekti slankumo (plastiškumo). Rišimosi pabaiga laikomas periodas nuo užmaišymo pradžios iki cemento akmenėjimo pradžios. Rišimosi ir kietėjimo greičiui turi įtakos užmaišymui panaudotas vandens kiekis, teslos temperatūra ir cemento sudėtis. Didėjant vandens kiekiui, rišimasis lėtėja. Kylant temperatūrai, rišimasis pagreitinėja, o 70 °C temperatūroje cementas susiriša staiga [14].

Skiriami penki cementų tipai: CEM I – portlandcementis, CEM II – sudėtinis portlandcementis, CEM III – šlakinis cementas, CEM IV – pucolaninis cementas, CEM V – sudėtinis cementas. Pagal standarto reikalavimus, cementas turi pradėti rišti ne anksčiau kaip po 45 min, o baigti – ne vėliau kaip po 12 val [14].

Kietėdamas cementas keičia savo tūrį. Kietėdamas ore cementas traukiasi, vandenyje – plečiasi. Siekiant išvengti susitraukimo deformacijų, kietėjančiam cementui reikia sudaryti drėgną aplinką. Be to, cemento tūris kinta netolygiai, tada kai jame yra laisvų CaO ir MgO. Gesinantis šiems junginiams didėja jų tūris ir kietėjantis cementas sutrūkinėja. Kuo smulkesnis cementas, tuo CaO greičiau hidratuojasi. Tokiu atveju laisvų kalkių hidratacijos procesas betone praktiškai nežalingas. Kietėjančiam betonui ypač kenkia MgO priemaišos, nes jos lėtai hidratuojasi. Todėl cemente MgO gali būti tik iki 5 % [8].

Cementui reaguojant su vandeniu išsiskiria šiluma. Ypač daug šilumos išsiskiria, kietėjant aluminatiniam cementui. Išsiskirianti šiluma dažniausiai yra teigiamas faktorius, ji greitina cemento kietėjimą, netaip pavojinga aplinkos žemesnė temperatūra. Tačiau labai stambių konstrukcijų vidinėje dalyje temperatūra gali pakilti iki 50–60 °C ir dėl nevienodos atskirų masyvo dalių temperatūros gali atsirasti plyšių [12].

2.4. Dujodariai ir putokšliai

Dujodariai

Dujodariai – tai ypatingos medžiagos, dedamos į betono masę, tam kad išsiskirtų dujos [23]. Iš dujodario, cheminės reakcijos metu susidariusios dujos, bandydamos išeiti iš plastiškos betono masės, sudaro joje poras.

Šitokiu būdu gaminami dujų cementbetonis ir dujų silikatbetonis.

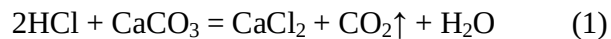
Naudojami dujodariai turi pasižymėti tokiomis savybėmis [3]:

- 1) išskiriamų dujų tūris turi būti artimas teoriniam;
- 2) dujos turi išsiskirti tolygiai;
- 3) dujodariai turi būti chemiškai stabilūs; sandėliuojami ir transportuojami; neturi savaime skilti;
- 4) neišskirti žmonių sveikatai kenksmingų dujų;
- 5) turi būti pigūs ir plačiai paplitę.

Tokiomis savybėmis pasižymi daugelis medžiagų, kurios skildamos išskiria azotą, vandenilį, deguonį ir anglies dioksidą.

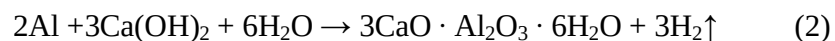
Pagal cheminės reakcijos tipą dujodariai skirstomi į grupes:

- medžiagos, reaguojančios su mišinio komponentais, aliuminio pudra (Al), cinku, magniu ir kt.
- medžiagos, reaguojančios tarpusavyje, ir išskiriančios dujas dėl cheminės mainų reakcijos pavyzdžiui:



- medžiagos, kurios skildamos išskiria dujas dėl oksidacijos – redukcijos reakcijos šarminėje mišinio aplinkoje.

Kaip dujodaris labiausiai paplitusi aliuminio pudra, kuri, reaguodama su kalkėmis išskiria vandenilį:



Išsiskirdamas vandenilis išpučia akytojo betono tešlą. Kuo naudojami Al milteliai yra smulkesni, tuo daugiau išsiskiria dujų. Jeigu Al pudra išsijota per sietą Nr. 008 (savitasis paviršius 600–700 m²/kg), tai jos 1 g išskiria 0,5–0,6 dm³ dujų.

Putokšliai

Gaminant akytuosius betonus taikomas ir kitas – išputinimo būdas. Naudojant šį metodą akytojo betono mišinio komponentai sumaišomi su specialiai pagamintomis putomis. Mišiniui suketėjus gaminama akytoji medžiagos struktūra [11, 21].

Putos – dispersinė dviejų fazių sistema, sudaryta iš skystosios fazės, dažniausiai vandens, ir dujinės fazės, kuria 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 putas – tai struktūrinė 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 aktyvios medžiagos, skystį, pavyzdžiui, vandenį, paverčiančios putomis. Fizikinė putų susidarymo reiškinių esmė tokia. Skysčio molekulės tarpusavyje susijusios tarpmolekulinėmis traukos jėgomis. Kiekviena molekulė skysčio viduje yra pusiausvyra todėl, kad aplinkui esančių molekulių traukos jėgos yra nukreiptos priešinga kryptimi, nei konkrečios molekulės traukos jėga. Skysčio paviršiuje, ties skystosios ir dujinės fazės riba, jėgų pusiausvyra sutrinka, nes plono paviršiaus sluoksnio molekulės nesaveikauja 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 [3].

Įvairių skysčių paviršiaus įtempimas nevienodas, vandens 73,9 N/m, etilo spirito 22 N/m, eterio 10,5 N/m. Įskystį pridėjus putokšlio, jo paviršiaus įtempimas sumažėja. Todėl į skystį leidžiant orą arba jį plakant, paviršiuje susidaro putos, t.y. oro burbulikai 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: aktyviasias paviršiaus medžiagas paprastai sudaro asimetriškai pailgos molekulės, pavyzdžiui, riebiosios naftinės rūgštys ir jų natrio bei kalio muilai, sudarantys iš aktyvios polinės ir nepolinės angliavandenilio grupių – karboksilo ir deguonies radikalo. Asimetrinė polinė molekulių struktūra nulemia jų sugebėjimą koncentruotis fazės ribojančiuose sluoksniuose ir sumažinti skysčio paviršiaus įtempimus.

Putokšlių savybės

Putokšliai, naudojami techninėms putoms gaminti, tai koloidinės arba pusiau koloidinės medžiagos, kurių vandeniniai tirpalai gali sudaryti stiprias ir rišlias adsorbcines plėveles. Putų kokybę nurodo *putų kartotinumai* ir *putų stabilumas*.

Putų kartotinumumas – tai putų išeiga, t.y. gautų putų ir putokšlio vandeninio tirpalo tūrių santykis. Jis apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$K = V_p/V_t, \quad (3)$$

Čia V_p – putų tūris, m^3 ; V_t – putokšlio vandeninio tirpalo tūris, m^3 .

Putų stabilumas – tai putų sugebėjimas kuo ilgesnį laiką išlaikyti nepakytusį savo pradinį tūrį. Putų stabilumą apibūdina putų stulpo suslūgimas per laiko vienetą. Putų kartotinumumas padidėja, kai gaunami didesni burbuliukai ir suplonėja juos vieną nuo kito skiriančios plėvelės storis. Bet tuo atveju sumažėja putų stabilumas.

Gauti didelio kartotinumumo ir labai stabilias putas sudėtinga. Todėl norint sumažinti šias dvi pagrindines savybes, naudojami įvairūs priedai.

Putų kartotinumumas ir stabilumas visų pirma priklauso nuo putų rūšies ir nuo tirpalo koncentracijos. Pridėjus į putokšlį tam tikrų medžiagų galima padidinti išputojimą ir putų stabilumą. Tokios medžiagos, kurios didina išputojimą, vadinamos putų susidarymo aktyvikliais. Aktyvikliai gali būti šarminiai, neutralūs ir rūgštiniai elektrolitai. Jie daro poveikį putokšlio tirpalo koloidiškumo laipsniui. Pridėjus elektrolitų, padidėja putokšlio koaguliacija, o tai plėvelės stiprumą. Putokšlio aktyvumui didelę įtaką turi vandenilio jonų koncentracija pH. Pridėjus sulfonaftenų sumažėja terpės pH, tai nulemia didelių rūgštinių grupių susiskaidymą ir putų susidarymo sumažėjimą. Tokiais atvejais reikia naudoti aktyvatorius. pH vertės padidėjimas iki tam tikros ribos ($pH = 8-10$) skatina putų susidarymą.

Putų stabilumui padidinti naudojami tirštikliai – putų stabilizatoriai. Naudojant stabilizatorius padidėja putokšlio tirpalo klampumas ir dėl to putos, laikui bėgant, netaip greitai suyra.

Kaip stabilizatorius galima panaudoti klijus, dervas ir kitokias organines medžiagas.

Be didelio kartotinumumo ir stabilumo putos turi atitikti ir šiuos reikalavimus:

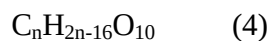
- a) lengvai maišytis su rišamosiomis ar kitokios medžiagos komponentais, sudarydamos medžiagoje tolygiai pasiskirsčiusias poras;
- b) nereaguoti su cementu ir kitomis rišamosiomis medžiagomis ir tokiu būdu nelėtinti rišimosi proceso;
- c) nereaguoti su cemento kietėjimo greitikliais;
- d) pageidautina, kad būtų sudarytos iš vienos rūšies žaliavos ir nereikalauti sudėtingos paruošimo technologijos;
- e) ilgai laikant nekeisti savo savybių ir neturėti kenksmingo poveikio žmogaus organizmui.

Putų betono gamybai naudojami labiausiai paplitę putokšliai: saponinas, klijų-kanifolinis muilas, sulfonolas, hidrolizuotas kraujas.

Saponino putokšlis

Saponino putokšlis gaunamas ekstrahuojant saponiną (augalinė putojanti glikozidinė medžiaga) iš kai kurių augalų. Šioms putoms kaip stabilizatorius naudojamas alginatinis ekstraktas – tam tikrų vandens augalų nuoviras (alginatas – polisacharidas, susidedantis iš manurono ir guluzono rūgščių liekanų).

Saponino sudėtis (%): anglis 50–63, vandenilis 6–9, deguonis 28–31. Jo cheminė formulė užrašoma taip:



čia n – dydis, priklausantis nuo saponino rūšies.

Saponinas yra nuodinga medžiaga – jis ardo hemoglobiną, būdamas miltelių pavidalo erzina gleivinę.

Pridėjus (4 %) saponino, vandens paviršiaus įtempimas sumažėja nuo 73,9 N/m iki 56,7 N/m. Saponinas vandenyje sudaro gausias putas ir pašalina nešvarumus kaip ir muilas. Saponino putų stabilumas yra didesnis negu paprasto muilo putų. Vandenyje ištirpinus 0,05 % techninio saponino, gaunamos putos, kurios savo stabilumą išlaiko 30 min, o putos, pagamintos iš paprasto muilo, suyra po 15 min. Vandens kietumas saponino išputojimui įtakos neturi.

Hidrolizuoto kraujo putokšlis

Hidrolizuoto kraujo putokšlis gaunamas perdirbant mėsos gamyklų atliekas. Putokšliui pagaminti reikia techninio kraujo, natrio šarmo (NaOH), geležies sulfato ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) ir amonio chlorido (NH_4Cl). Putokšlio gamybos etapai:

- 1) pagaminamas 2 % NaOH;
- 2) hidrolizuojamas šviežias nesukrešėjęs kraujas;
- 3) hidrolizuoto kraujo tirpalas neutralizuojamas amonio chloridu;
- 4) pagaminamas $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ tirpalas;
- 5) gautas tirpalas sumaišomas su hidrolizuotu krauju.

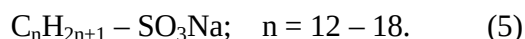
Su šiuo putokšliu galima naudoti ir cemento kietėjimo greitiklius. Pagrindinis putokšlio trūkumas – nemalonus kvapas.

Sulfonolas

Pačios stabiliausios putos, pasižyminčios didžiausiu išputojimo laipsniu, yra sulfonolo putos.

Akytojo betono bandinių gamybai naudojami sulfonolo milteliai, atitinkantys techninius reikalavimus TS 6-01-1001-75 [26]. Sulfonolo milteliai naudojami sintetinėms skalbimo priemonėms gaminti ir kitose srityse, kur reikalingos putos.

Cheminė sulfonolo formulė yra tokia:



Sulfonolas gaunamas iš žibalo. Jis gerai tirpsta vandenyje. Kietajame vandenyje iškrinta nuosėdos. Vandenis jo tirpalas drumsčiasi, kai yra NaCl.

Fizinės ir cheminės sulfonolo savybės:

Sulfonolas yra miltelių pavidalo; 5 % vandeninio tirpalo pagal jodo spalvų skalę – ne daugiau kaip 7; bendras natrio sulfido ir sulfato kiekis – ne daugiau kaip 20%; nesulfidinių junginių – ne daugiau kaip 2 %; geležies – ne daugiau kaip 0,006 %; alkilbenzolsulfonų natrio druskų – ne mažiau kaip 75 %; vandenilio jonų rodiklis (pH) 1 % tirpalo – 7,0–8,5; bekvapis arba su silpnu žibalo kvapu; pasižymi toksišku poveikiu.

Putokšlių palyginimai

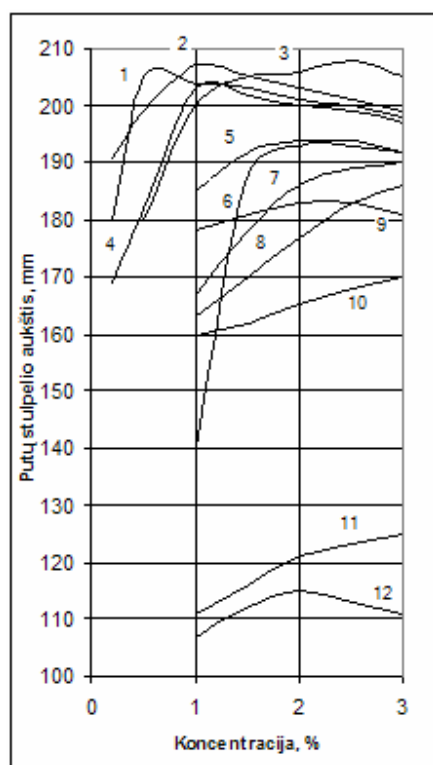
Darbe [27] ištirta, kad putų susidarymo sąlygos priklauso nuo PAM tipo ir koncentracijos (1 pav). Kaip matyti iš grafiko, didinant koncentraciją iki tam tikros ribos, padidėja ir visų putokšlių putų susidarymo galimybės. Naudojant putokšliu sulfonolą, kaip ir kitas PAM, putų susidarymo galimybė priklauso nuo PAM koncentracijos bei stabilizatoriaus kiekio. Termoizoliacijos instituto mokslininkų atlikti tyrimai [27–28] parodė, kad naudojant didesnės koncentracijos PAM tirpalus, putų išeiga didėja (1 pav.).

Didinant putokšlio koncentraciją, visų PAM putų stulpelio aukštis praktiškai nesikeičia. Kaip matyti iš grafiko, maksimaliu išputojimu, kai yra minimali tirpalo koncentracija, pasižymi tokios PAM, kaip alkildimetilamino oksidas, „progresas“, sulfonolas. Šios medžiagos, kai yra 0,5–1 % koncentracija, sudaro 204–209 mm stulpelio aukščio putas. Panašia putų susidarymo galimybe, bet kai yra didesnės koncentracijos (2–3 %), pasižymi nekalis, trietillaurilsulfato druska, drėkiklis DB, prevocelas W – ON ir W – OF. Truputi mažiau (170–185 mm) yra išputoję 3% koncentracijos OP – 10 ir OC – 20 tirpalai. Sintamidas ir metauponas (iš esamų grafike putokšlių) putų sudaro mažiausiai – kai yra 2–3 % koncentracija, gautų putų aukštis siekia 115–125 mm. Tačiau kai yra mažos koncentracijos (iki 0,5 %),

gautos putos iškartos suyra, o didesnės koncentracijos – stabilios. Todėl Termoizoliacijos instituto mokslininkų tyrimuose naudojamos tik didesnių koncentracijų (1–3 %) PAM tirpalai.

PAM sumažina vandens paviršiaus įtempimą, todėl intensyviai maišant tirpalą, susidaro tankūs putų burbuliukai, kurie gali ir suirti. Putų pastovumą sustiprina į tirpalą dedami stabilizatoriai, kurie padidina susirišimą ir sulėtina skisčio ištekėjimo iš putų procesą.

Vandens ištekėjimo iš putų greitis kinta atsižvelgiant į stabilizatoriaus koncentraciją. Stabilizatoriais gali būti naudojami kaulų klijai, polivinilo alkoholis, karboksilmetilceliuliozės natrio druska (KMC) ir metilceliuliozė (MC). Norint gauti 250 kg/m^3 tankio betoną su minimaliu PAM kiekiu, putų kartotinumą turėtų būti 40–50. Toks kartotinumas gaunamas naudojant PAM, kurių Rosso-Mailso stulpelio aukštis siekia 180–190 mm. Todėl iš grafike pateiktų PAM tikslingiausia naudoti alkildimetilamino oksidą, nekalį ir sulfonolą.



1 pav. *Įvairių PAM putų sudarymo galimybė Rosso-Mailso metodu:* (1 - „Progresas“, 2 – alkildimetilamino oksidas, 3 – nekalis, 4 – sulfanolas, 5 – prevocelas W-OF, 6 – trietillaurilsulfato druska, 7 – drėkiklis DB, 8 – prevocelas W-ON, 9 – OP-10, 10 – OC-20, 11 – sintamidas, 12 – metauponas) [27]

Remiantis Termoizoliacijos instituto mokslininkų bandymais, galima teigti, kad stabilizatoriaus kiekio padidėjimas putose iki tam tikrų ribų sumažina PAM išputojimą (5 lentelė) [27].

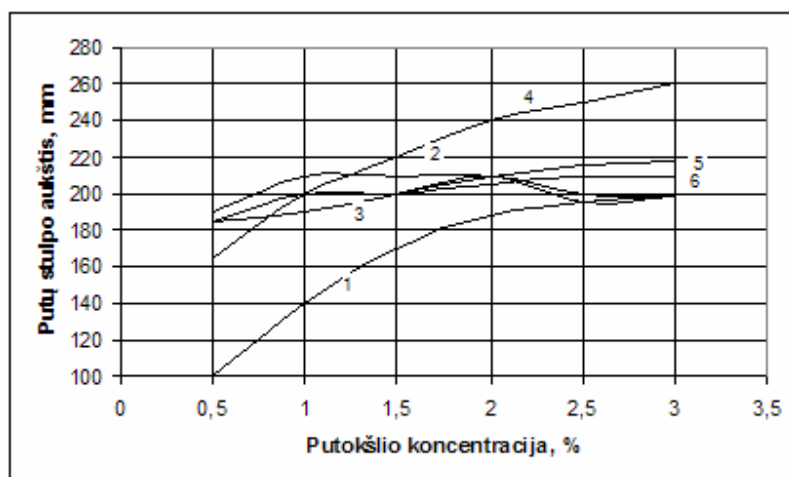
Norint gauti reikiamo kartotinumų ir pastovesnes putas, stabilizatoriais geriausiai tinka kaulų klėjai, MC ir PVS.

5 lentelė. PAM putų sudarymo galimybė su stabilizatoriais (Rosso-Mailso stulpelio aukštis, mm)

PAM, koncentracija	PAM : stabilizatorius	Stabilizatorius			
		Kaulų klėjai	PVC	KMC	MC
Sulfonolas, 2 %	1:0,25	198	191	191	147
	1:0,5	194	180	180	-
	1:0,75	187	163	171	-
	1:1	182	138	160	-
„Progresas“, 2 %	1:0,25	190	195	193	165
	1:0,5	180	191	188	-
	1:0,75	172	188	180	-
	1:1	165	187	174	-
Alkildimetilamino oksidai, 2 %	1:0,25	191	199	179	92
	1:0,5	182	197	158	-
	1:0,75	172	188	137	-
	1:1	164	166	113	-
Nekalis, 2 %	1:0,25	193	198	193	135
	1:0,5	188	192	186	-
	1:0,75	180	190	172	-
	1:1	176	188	154	-

Remiantis kitais Termoizoliacijos mokslininkų tyrimais, didinant putokšlio koncentraciją, jo išputojimas iki tam tikro momento labai didėja (2 pav.). Esant mažai putokšlio tirpalo koncentracijai (mažiau nei 1 %) putos staiga suyra. Todėl didinti putokšlio koncentraciją daugiau nei 2 % neracionalu [29].

Todėl 2 pav. ir 6 lentelėje pateikti bandymų duomenys buvo gauti naudojant 2 % koncentracijos putokšlius. Iš pateiktų putokšlių geriausiai išputoja putokšlis ESTAND-1N, iš jo pagamintų putų nusėda daugiausia, taip pat jis pasižymi didžiausia sinereze.



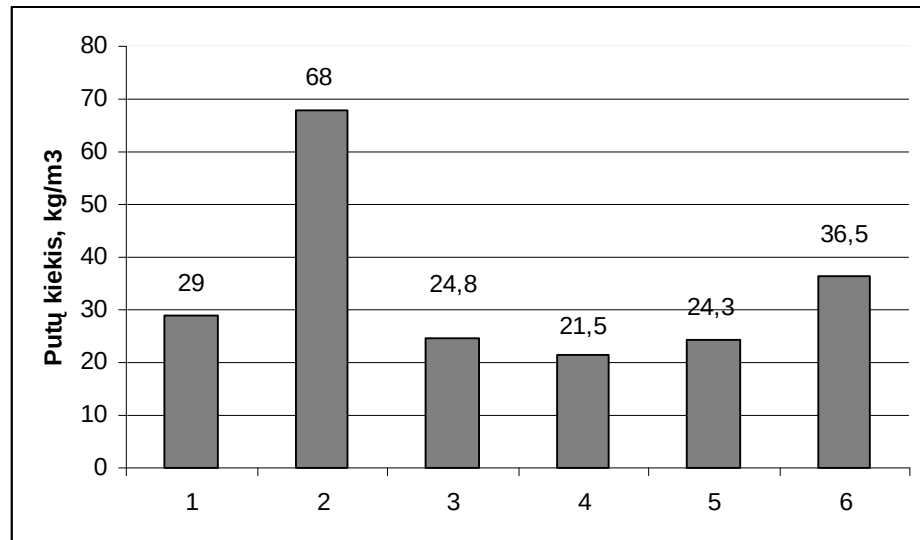
2 pav. **PAM tirpalų išputojimas pagal Rosso ir Mailso metodą (be stabilizatoriaus):** (1 – kanifolijos muilas, 2 – sulfonolas I, 3 – sulfonolas II, 4 – ESTAND-1N, 5 – NANSA, 6 – UFARIL)

6 lentelė. Putų savybės

PAM tirpalas ir jo koncentracija (%)	Putų kartotinumumas	CNIPS prietaiso rodmenys	
		Nusėdusių putų kiekis (mm)	Išsiskyrusio putokšlio kiekis (ml)
1. Sulfonolas I, 2 %	50	68	69
2. Sulfanolas II, 2 %	50	60	73
3. ESTAND-1N, 2 %	52	70	75
4. Nansa, 2 %	54	65	70
5. Ufaril, 2 %	48	68	72
6. Kanifolinis muilas	50	62	71

Priedų įtaka putoms

Putų stabilumui padidinti naudojami įvairūs mineraliniai priedai [30]. Tyrimų rezultatai pateikti 3 ir 4 paveiksluose.

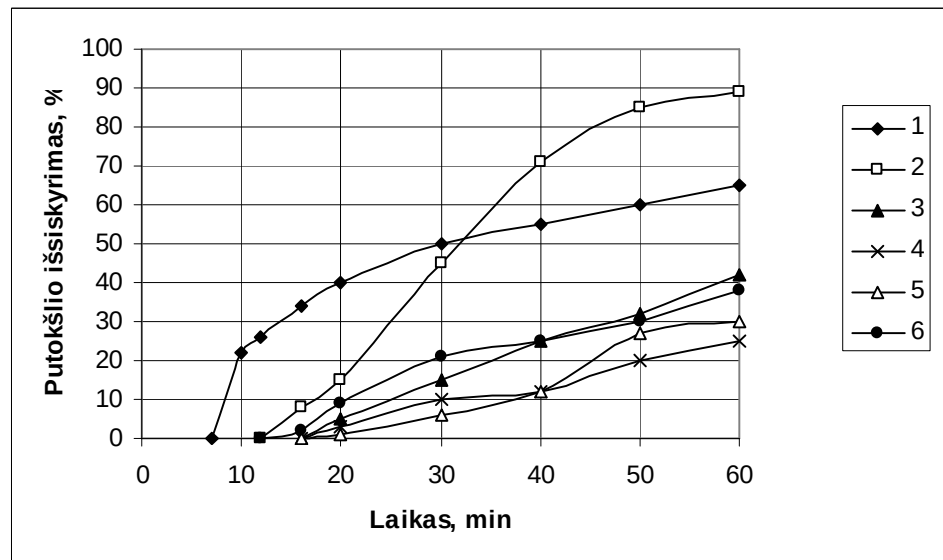


3 pav. *Putų tankis naudojant ju gamybai mineralinius priedus:* (1 – kontrolinis (be priedų), 2 – gesintąsias kalkes, 3 – gipsą, 4 – maltas dujų silikatbetonio atliekas, 5 – SiO₂ mikrodulkes, 6 – aerosilą)

Mažiausias putų tankis gautas naudojant mineralizatoriais maltasdujų silikatbetonio atliekas. Naudojant mineralizatoriais gipsą ir SiO₂ mikro dulkes, putų tankis nedaug padidėja. Putas labiausiai ardo gesintų kalkių priedas, šiuo atveju putų tankis buvo didžiausias [29].

Naudojant mineralizatoriumi gesintąsias kalkes, putokšlio, išsiskiriančio iš putų, kiekis, palyginti su ontroliniu, po 30 min yra 3 % mažesnis. Po 33 min kalkės putas suardė ir išskiriamo putokšlio kiekis labai padidėjo. Kiti mineralizatoriai gerokai sumažino išsiskiriančio iš putų putokšlio kiekį. Naudojant putų mineralizacijai gipsą po 30 min putokšlio kiekis, palyginti su kontroliniu, sumažėjo 33 %, o po 60 min – 23 %. Naudojant maltas dujų silikatbetonio atliekas atitinkamai sumažėjo 40 % ir 40 %. Analogiškai SiO₂ mikrodulkes – 44 % ir 35 %, aerosilą – 28 % ir 26 %.

Iš šių rezultatų galima padaryti išvadą, kad naudojant smulkiai maltas dujų silikatbetonio atliekas kaip priedą putoms, putų tankis ir putokšlio išsiskyrimas yra mažiausi. Taip pat su tokiomis putomis padarytų bandinių makrostruktūra yra tolygiausia.



4 pav. *Mineralinių priedų įtaka putų stabilumui.*

(Naudojami šie mineraliniai priedai: 1 – kontrolinis (be priedų), 2 – gesintąsias kalkes, 3 – gipsą, 4 – maltas dujų silikatbetonio atliekas, 5 - SiO₂ mikrodulkes, 6 – aerosilą)

2.5. Autoklavinio kietėjimo metu vykstantys procesai

Akytojo betono gaminiai gali būti kietinimi keliais būdais: 1) šūtinimas; 2) autoklavinis kietinimas; 3) gaminių kietinimas natūraliomis sąlygomis.

Autoklavinio kietinimo procesą, kaip ir šūtinimo, esant atmosferiniam slėgiui, galima suskirstyti į keturis periodus [36]: 1) suformuotų gaminių išlaikymo normalioje temperatūroje; 2) gaminių įkaitinimo iki numatytos temperatūros; 3) išlaikymo pastovioje temperatūroje; 4) gaminių ataušinimo.

Autoklavinis apdorojimas – pati svarbiausia autoklavinių gaminių technologijos stadija. Autoklave vyksta sudėtingi procesai, paverčiantys masę į dirbtinį numatyto tankio ir formos akmenį, atitinkantį eksploatacines savybes.

Autoklavinių gaminių savybės priklauso nuo daugelio veiksnių: nuo autoklavinio apdorojimo režimo, vandens ir garo parametrų, priešautoklavinio laikymo laiko ir sąlygų autoklavinimo formose arba kitur, gaminių dydžio ir kita.

Pats slėgimas kietinimo procesui neturi jokios reikšmės. Jeigu garo slėgis yra mažesnis kaip 0,8 MPa, tai kartu ir temperatūra autoklave yra žemesnė. Šiuo atveju gaminiai lėtai kietėja ir esti silpnesni.

Autoklavinio apdorojimo metu, be fizikinių-cheminių procesų, vyksta svarbūs fizikiniai procesai, susiję su temperatūra ir drėgmės gradientais, nustatomi termodinaminėmis vandens garų savybėmis ir kintančiomis fizikinėmis charakteristikomis mišinyje, o vėliau ir susidarančiame dirbtiniame akmenyje.

Autoklavinio kietėjimo procese P. Boženovas pasiūlė išskirti 5 etapus.

Pirmasis etapas – nuo garo įleidimo pradžios iki 100 °C nusistovėjusios temperatūros autoklave. Šioje stadijoje garas, kaip labai veiksmingas šilumos pernešėjas, atiduoda šilumą. Kuo didesnis garų slėgis, tuo didesnė jo šiluma ir tuo efektyvesnis šilumos atidavimas.

Garų įleidimas yra sudėtingas ir atsakingas autoklavinimo momentas. Autoklavo sienos, vagonėliai ir kiti metaliniai daiktai pasižymi didesniu šilumos laidumu nei autoklavinamieji gaminiai ir todėl anksčiau pasiekia 100°C temperatūrą. Dėl šios priežasties gaminių paviršiuje mažesnė ne tik tiekiamo garo temperatūra, bet ir susidariusio kondensato. Šilumos mainai vyksta dėl vandens garų kondensacijos ant gaminių paviršiaus. Šioje stadijoje (iki 100 °C) visais atvejais matomas didžiausias temperatūros skirtumas tarp aplinkos ir gaminių paviršiaus, taip pat ir tarp gaminių paviršiaus bei jo centro. Šis skirtumas siekia 30–50 °C. Atsižvelgiant į gaminių konfigūraciją, matmenis ir šilumos laidumą, temperatūros šuolis ir su juo susiję įtempimai gali būti gaminių suirimo priežastimi.

Antrasis etapas prasideda, kai $t > 100$ °C, t.y. nuo slėgio kėlimo pradžios ir tęsiasi, kol pasiekiamas didžiausias slėgis autoklave. Šiuo periodu kyla ne tik temperatūra, bet ir garų slėgis. Kylant slėgiui, greitėja šilumos mainų procesas, garas dėl slėgio patenka į gaminių poras ir ten kondensuojasi. Tai turi reikšmės viso kūno išilimui. Šioje stadijoje temperatūrinis šuolis tarp paviršiaus ir centro sumažėja iki 3–5 °C, o tai jau nebegali sukelti ardančių temperatūrinių įtempimų. Iki šio laiko gaminyje įgauna tam tikro stiprumo.

Trečiasis etapas – gaminių išlaikymas esant pastoviai temperatūrai ir slėgiui. Temperatūra visame kūno tūryje išsilygina maždaug po 30–60 min nuo laikymo pradžios. Kai susidaro dideli slėgiai (1,6–2 MPa), net maži temperatūrų svyravimai (5–7 °C) veikia kūną ne tik paviršiuje, bet ir centre.

Izoterminio laikymo periodas priklauso nuo gaminiui keliamų kokybės reikalavimų, taip pat nuo slėgio dydžio: kuo didesnis slėgis, tuo trumpesnis autoklavinimo režimas.

Ketvirtasis etapas prasideda slėgio mažinimu. Jis apibūdinamas tuo, kad gaminiai turi aukštesnę temperatūrą nei aplinka, todėl porose, pripildytose kondensato, susidaro garas, o tai gali sukelti suirimą. Šiuo etapu yra didžiausia tikimybė atsirasti įtrūkimams dėl didesnio slėgio gaminių viduje. Pradžioje garus išleisti reikia kaip galima lėčiau, nedarant staigių šuolių.

Penktasis etapas apibūdinamas temperatūros mažėjimu nuo 100 °C iki 18–20 °C, t.y. gaminių atvėsimas autoklave arba iškrovus iš jo gaminius.

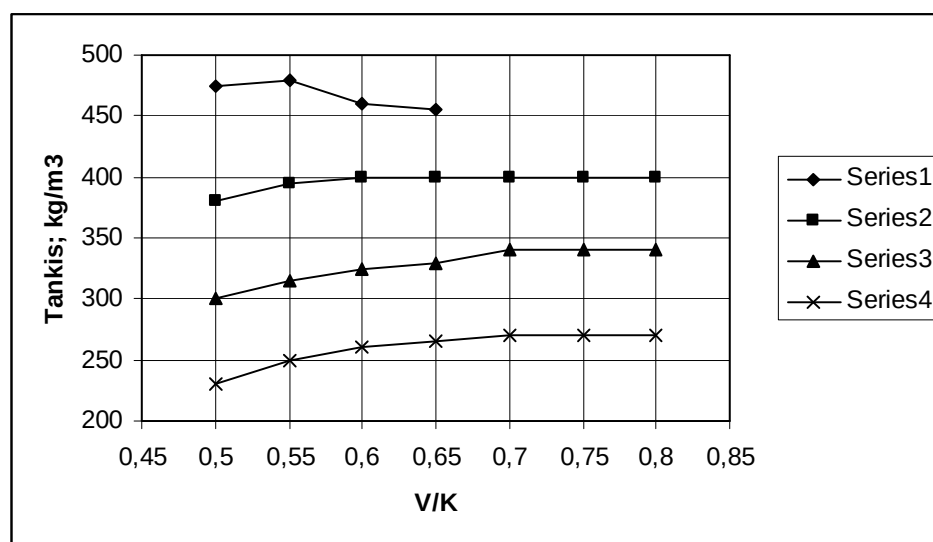
Temperatūros pokytis „gaminys-aplinka“ penktoje stadijoje pasiekia 30–40 °C. Dėl greitesnio vėsimo gali atsirasti mikroplyšių, kurie turi reikšmės mechaniniam stiprumui. Todėl ir šis periodas laikomas pavojingu gaminio savybių atžvilgiu.

Dažnai, keliant slėgį temperatūriniais įtempimams suteikiama per didelė reikšmė, nes neįvertinami juos mažinantys veiksniai: 1) garo kondensacija, kuri vyksta todėl, kad keliant slėgį gaminio temperatūra mažesnė už garo temperatūrą autoklave; 2) egzoterminės hidratacijos reakcijos, dėl kurių daug greičiau įkaista vidiniai gaminių sluoksniai.

2.6. Kai kurios putų cementbetonio savybės

Tankis

Putų cementbetonio tankis priklauso nuo putų kiekio mišinyje (5 pav.) [3]. Skirtingai nei dujų cementbetonio, didesnis vandens ir kietųjų medžiagų santykis (V/K) nesumažina putų cementbetonio gaminių tankio, nes šiame mišinyje tas pats putų kiekis pasiskirsto didesniame tūryje [41]. Kai V/K reikšmės mažesnės nei 0,6, gaminius galima gaminti, tačiau jų kokybė dėl prasčiau sumaišytų komponentų blogesnė. Todėl mišinio komponentus reikėtų ilgiau maišyti su putomis, tačiau ilgiau maišant putas 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).

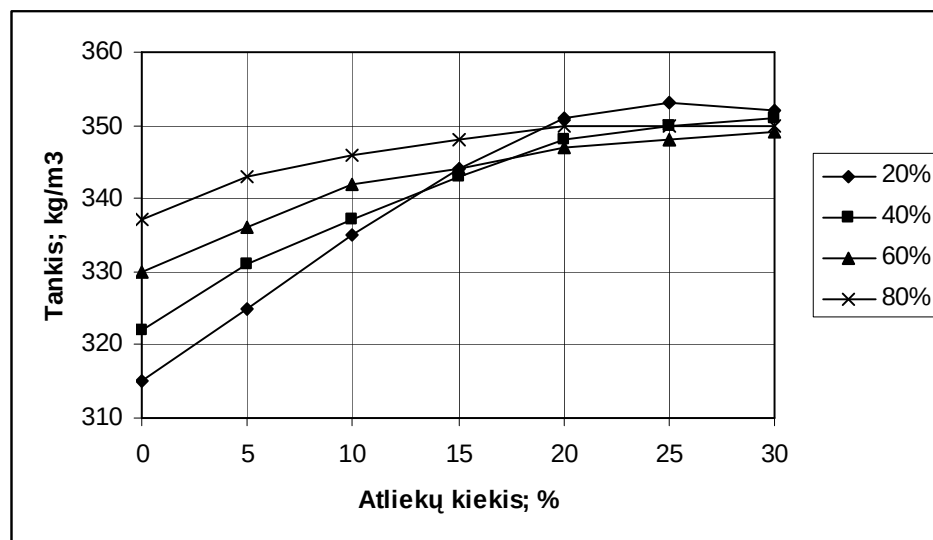


5 pav. *Putų cementbetonio tankio priklausomybė nuo V/K bei putų sąnaudų (dm³/kg kietųjų medžiagų): (1 – 1,5; 2 – 2,0; 3 – 2,5; 4 – 3,0)*

Putų cementbetonį, kurio rišamoji medžiaga portlandcementis, geriausia gaminti, kai V/K santykis nuo 0,6 iki 0,7. Tokiam putbetoniui putų kiekis parenkamas iš grafikų (5 pav.), atsižvelgiant į reikiamą gaminio tankį.

Pagrindiniai technologiniai veiksniai lemiantys putų cementbetonio tankį, yra V/K ir porodario kiekis. Skirtingai nei dujų cementbetonio, didesnis V/K nesumažina putų cementbetonio tankio [47].

Dujų cementbetonio su mišriąja rišamąja medžiaga gaminių tankis priklauso ir nuo į mišinį dedamų akyto betono gamybos atliekų. Pridėjus į mišinį vietoje smėlio maltų gamybos atliekų tankis padidėja (6 pav.) Tačiau didinant kalkių kiekį rišamojoje medžiagoje, maltų dujų cementbetonio atliekų priedo priedo padidėjimas mažiau padidina gaminių tankį. Kai rišamojoje medžiagoje yra 20 % kalkių, pridėjus į formavimo mišinį 30 % atliekų, gaminių tankis padidėjo 12 % (6 pav.), o kai 80 % kalkių – 3,86 %.



6 pav. *Atliekų kiekio įtaka dujų cementbetonio su mišriąja rišamąja medžiaga gaminių tankiui.* (Mišriojoje rišamojoje medžiagoje portlandcemenčio pakeista kalkėmis: 1 – 20 %, 2 – 40 %, 3 – 60 %, 4 – 80 %)

Makrostruktūra

Akytojo betono makrostruktūra susidaro jo formavimo metu ir priklauso nuo technologinių veiksnių [41].

Gaminių makrostruktūrai tirti pagamintų nušlifuočių gaminių paviršius fotografuojamas per mikroskopą, didinantį 10 kartų. Mikrofotografijoje tiriamas 10x10 mm dydžio plotas, kuriame matuojamas didžiausias ir mažiausias porų skersmuo, po to skaičiuojamas vidutinis porų skersmuo.

Formuojant putų cementbetonį, rišamosios medžiagos hidratacija vyksta lėtai, mišinio temperatūra maža, todėl jo gaminių struktūroje yra daugiau smulkesnių porų.

Laidumas orui

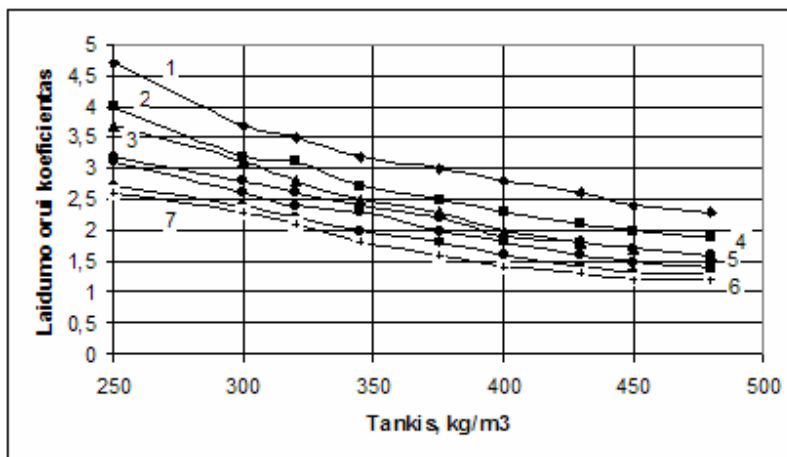
Akytojo betono laidumu orui galima įvertinti jo makrostruktūrą bei kai kurias savybes [49].

Laidumo orui koeficientas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$i = \frac{W \cdot \delta}{\Delta p}, \quad (6)$$

Čia i – laidumo orui koeficientas, $\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$; W – oro debitas, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; δ – bandinio storis, m ; Δp – slėgių skirtumas, Pa .

Putų cementbetonio laidumas orui taip pat priklauso nuo formavimo mišinio V/K . Ir gaminių tankio. Tačiau skirtingai nuo dujų cementbetonio, jo laidumo orui koeficientas didėjant V/K mažėja. Tai priklauso nuo gaminių makrostruktūros. Putų cementbetonio poros yra uždaros, ir kai yra didesnis V/K , jos yra mažesnės bei taisiklingesnės sferinės formos. Neatsižvelgiant į putų cementbetonio tankį, gaminių laidumas orui mažėja didinant formavimo mišinio V/K (7 pav).



7 pav. *Putų cementbetonio laidumo orui priklausomybė nuo tankio ir V/K* : (1 – 0,50; 2 – 0,55; 3 – 0,60; 4 – 0,65; 5 – 0,70; 6 – 0,75; 7 – 0,80).

Putų cementbetonio laidumo orui koeficiento priklausomybė nuo gaminio tankio ir V/K aprašoma šia regresijos lygtimi (koreliacijos koeficientas 0,976 reikšmingas pagal Stjudento kriterijų, regresijos lygtis adekvati su tikimibe 0,95, vidutinis kvadratinis nuokrypis – $0,58 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$):

$$i = 4,68 \cdot 10^{-4} \rho^{-1,393} \left(\frac{V}{K} \right)^{-1,11} \quad (7)$$

Šio koeficiento priklausomybė nuo formavimo parametrų išreiškiama tokia regresijos lygtimi:

$$i = 0,435 \cdot 10^{-7} \cdot P_{put}^{1,332} \left(\frac{V}{K} \right)^{-1,31} \quad (8)$$

Akytojo betono laidumas orui apibūdina jo makrostruktūrą. Tokio betono laidumą orui galima reguliuoti keičiant porodario kiekį, V/K santykį, rišamosios medžiagos sudėtį.

Stiprumas

Akytojo betono stiprumas priklauso ne vien nuo akytojo betono tankio, makrostruktūros, formavimo būdo (dujų putų betonai), bet ir nuo technologinių veiksnių: smėlio sumalimo smulkumo, vandens ir kietųjų medžiagų santykio (V/K), porodario rūšies ir jo paruošimo būdo.

Armuojant akytąjį betoną nailono arba stiklo pluoštu galima 1,35–2,5 karto padidinti gaminių stiprį, ypač lenkiamąjį.

Putų cementbetonio gniuždomasis stipris priklauso nuo putų kartotinumų [50]. Naudojant putas, kurių kartotinumas 50, gaminių gniuždomasis stipris padidėja 10–20 %, palyginti su stipriu gaminių, pagamintų su putomis, kurių kartotinumas 20. Tai būtų galima paaiškinti vienodesne gaminių struktūra.

7 lentelė. Putų kartotinumų įtaka putų cementbetonio savybėms

Putų kiekis (dm ³ /kg)	Putų kartotinumas	Putų cementbetonio tankis (kg/m ³)	Putų cementbetonio gniuždomasis stipris (Mpa)		
			Faktinis	Perskaičiuotas, kai tankiai:	
				200 (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

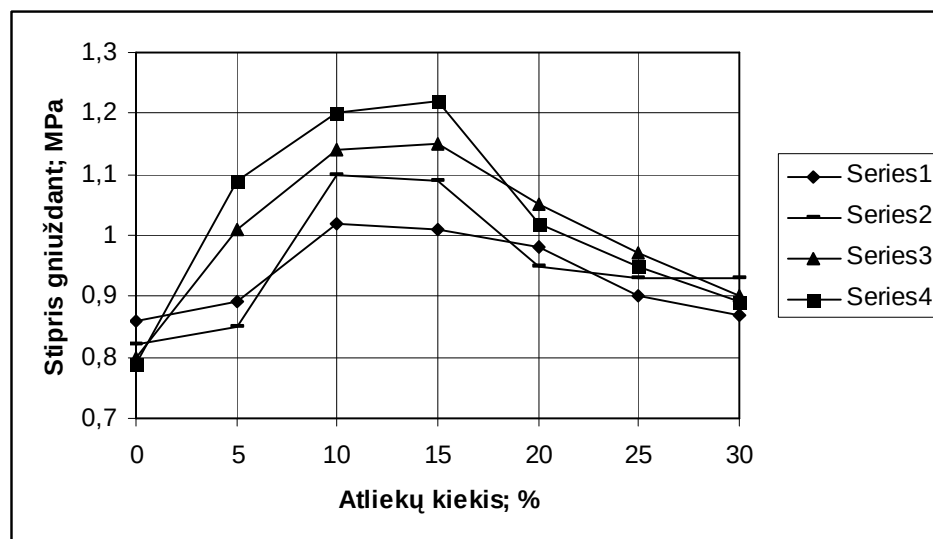
Pagrindinis technologinis veiksnys, lemiantis putų ir dujų silikatbetonio gniuždomąjį stiprį, yra santykis tarp porų skaičiaus, gautų maišant formavimo mišinį su Al pudra, ir porų susidariusių maišant

formavimo mišinį su PAM [53]. Didėjant porų, gautų maišant formavimo mišinio komponentus su PAM, skaičiui, jo bandinių gniuždomasis stipris didėja.

Lyginant įvairių rūšių to paties tankio akytojo betono stiprumą, nustatyta, kad putų cementbetonio bandiniai, kurių struktūra geresnė, turi didžiausią stiprumą ir mažiausią stiprumo variacijos koeficientą.

Dujų silikatbetonio gniuždomąjį stiprį nulemia formavimo mišinio aktyvumas, izoterminio išlaikymo trukmė autoklave ir maltų akytojo betono atliekų kiekis [48]. Pagal šiuose šaltiniuose pateiktus duomenis, galima teigti, kad į mišinį pridėju gamybos atliekų, gerokai padidėja gaminių gniuždomasis stipris. Racionaliausias atliekų kiekis 15–20 %. Esant šiam procentiniam atliekų kiekiui, akytojo betono gniuždomasis stipris kinta nuo 0,647 iki 1,305 MPa.

Naudojant 10 % maltų dujų betono atliekų priedą 350 kg/m^3 tankio dujų cementbetonio gniuždomasis stipris padidėja nuo 0,88 iki 1,23 MPa, tai būtų 39,7 % [46]. Toliau didinant atliekų kiekį, gaminių stipris mažėja. O portlandcemenčio kiekio padidėjimas formavimo mišinyje nuo 50 % iki 60 % tokio pat betono stiprį padidina tik 7,8 %. Maltų dujų betono atliekų priedas leidžia gaminti stipresnį betoną arba taupyti rišamąsias medžiagas ne tik nesumažinant, bet netgi padidinant betono stiprumą. Šiuo atveju tikslingiausia naudoti smėlio portlandcemenčio santykį 1:1 ir 10 % smėlio pakeisti maltomis dujų cementbetonio atliekomis.



8 pav. *Maltų atliekų priedo įtaka dujų cementbetonio su mišriąja rišamąja medžiaga bandinių gniuždomajam stipriui.* (Pakeista portlandcemenčio kalkėmis, %: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 80)

Dujų cementbetonio su mišriąja rišamąja medžiaga bandinių gniuždomasis stipris pastebimai padidėja pridėjus į mišinį maltų gamybos atliekų, nors stiprumas mažai priklauso nuo rišamosios medžiagos sudėties [47].

Bandiniuose, kuriuose 20 ir 40 % portlandcemenčio pakeista kalkėmis, didžiausias gniuždomasis stipris gaunamas, kai atliekų kiekis yra 10 %, o kai 60 ir 80 % portlandcemenčio pakeista kalkėmis – 15 %. Daugiau didinant atliekų kiekį bandinių stipris pradeda mažėti, bet išlieka didesnis už kontrolinių bandinių stiprį (8 pav.).

Atliekų veiksmingumas padidėja, kai didėja kalkių kiekis rišamojoje medžiagoje. Kai 20 % portlandcemenčio pakeista kalkėmis, bandinių gniuždomasis stipris, pridėjus optimalų atliekų kiekį, padidėjo 17,6 % (8 pav., 1 kreivė), o kai 80 % portlandcemenčio pakeista kalkėmis – stiprumas padidėjo 56,5 % (8 pav., 4 kreivė).

Teigiamą maltų betono atliekų poveikį akytojo betono stipriui galima paaiškinti tuo, kad šios atliekos hidroterminėmis sąlygomis yra naujadarų kristalizacijos centrai ir intensivina tobermorito susidarymą.

Putų cementbetonio gaminiai yra geresnės struktūros, turi didžiausią gniuždomąjį stiprį (lyginant su dujų ir putų silikatbetoniu ar dujų cementbetoniu) ir mažiausią variacijos koeficientą. Maltų akytojo betono atliekų priedas (10–15 %) gerokai (iki 56,5 %) padidina gniuždomąjį stiprį.

2.7. Apibendrinimas

Išanalizavus literatūros šaltinius, galima daryti išvadą, kad akytojo betono gamybos atliekų panaudojimas putų cementbetonio gamybai nėra pakankamai ištirtas. Nepakankamai ištirtos savybės, kurias būtų galima palyginti su kitais, panašaus pobūdžio gaminiais (pvz. dujų cementbetonio), kuriuose taip pat naudojamos akytojo betono gamybos atliekos.

Šiame darbe nagrinėjamos UAB „Matuizų plytinė“ akytojo betono gamybos atliekų panaudojimo galimybės putų cementbetonio gamybai. Akytojo betono atliekos naudojamos kaip užpildas, kurios pakeičia dalį smėlio. Siekiama ištirti putų cementbetonio savybes, panaudojus įvairius atliekų kiekius ir jas palyginti, kad būtų galima kuo tikslingiau panaudoti akytojo betono gamybos atliekas.

Darbo uždaviniai:

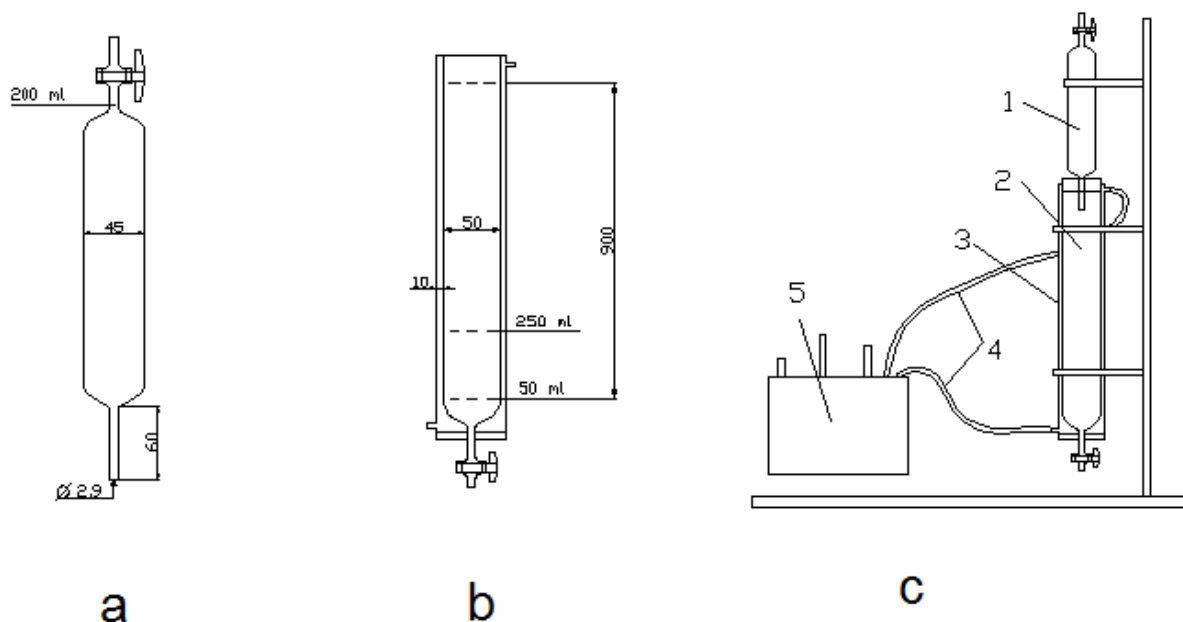
- Ištirti putokšlių įtaką putų susidarymui ir jų stabilumui.
- Ištirti putų įtaką betono tankiui.
- Ištirti akyto betono gamybos atliekų įtaką gaminių tankiui.
- Nustatyti akyto betono gamybos atliekų įtaką gaminių gniuždomajam stipriui.
- Palyginti suformuotų gaminių struktūrą.

3. METODINĖ DALIS

3.1. Putų savybės

Paviršių aktyvinančių medžiagų (PAM) tirpalų išputojimas (Rooso-Mailso metodas)

Norint gauti putas iš paviršių aktyvinančių medžiagų (PAM) tirpalo, tirpalą reikia paveikti mechaniškai, taip, kad po tirpalo paviršiumi patektų oras. PAM tirpalų išputojimo savybės buvo vertinamos tiriamojo tirpalo srovės laisvojo kritimo metodu (Rooso-Mailso metodas) [29]. Prietaisas, kuriuo buvo atliktas bandymas, pavaizduotas 9 paveiksle.



9 pav. *Rosso-Mailso prietaiso schema:*

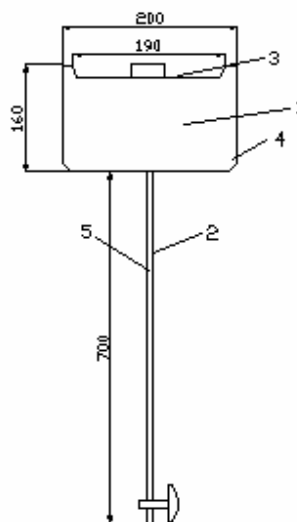
(a – kalibruotas vamzdelis, b – matavimo cilindras, c – bendras vaizdas: 1 – kalibruotas vamzdelis, 2 – matavimo cilindras, 3 – termostatinis apvalkalas, 4 – vamzdeliai, 5 – termostatas)

Bandymas buvo atliekamas tokiu būdu. Į vertikaliai įtvirtintą stiklinį matavimo cilindrą, kurio skersmuo 50 mm, o aukštis 900 mm, vertikaliai įstatėme kalibruotą vamzdelį, kurio talpa 200 ml. Pradžioje iš šio vamzdelio į matavimo cilindrą išpylėme 50 ml tiriamojo PAM tirpalo. Palaukę 40 sekundžių į kalibruotą vamzdelį pripylėme dar 200 ml tokio paties tirpalo ir įstatėme šį vamzdelį vertikaliai į viršutinį stiklinio cilindro galą. Atstumas nuo apatinės stiklinio cilindro atžymos (50 ml) iki

apatinės kalibruoto vamzdelio kiaurymės yra 900 mm. Atsukę kalibruoto vamzdelio kranelį, leidome skysčiui ištekti. Ištekėjus skysčiui, pamatavome matavimo cilindro apačioje susidariusį putų stulpelio aukštį. Tyrimas turi būti atliktas esant 20 °C temperatūrai. Literatūroje pateikti įvairių PAM tirpalų išputojimo rezultatai dažnai nesutampa, nes tyrimai atliekami naudojant distiliuotą vandenį ir kitas specifines sąlygas.

Putokšlio išsiskyrimas iš putų

Putokšlio išsiskyrimas iš putų nustatomas naudojant CNIPS-1 prietaisą (10 pav.) [29]. Šis bandymas apibūdina putų ilgaamžiškumą. CNIPS-1 prietaisas susideda iš trijų pagrindinių dalių: stiklinio indo, stiklinio vamzdelio ir plūduro. Indo vidinis diametras 200 mm, o aukštis – 160 mm (indo tūris – 5 litrai). Indo dugno centre yra kiaurymė. Stiklinis vamzdelis, kurio skersmuo 14 mm ir aukštis 700 mm (jo tūris – 100 cm³), sujungtas su kiauryme esančia indo dugne, o vamzdelio apačioje yra sklendė. Plūduras pagamintas iš aliuminio plokštelės, kurios skersmuo 190 mm, o svoris 25 g.



10 pav. **CNIPS-1 prietaisas:**

(1 – stiklinis indas, 2 – stiklinis vamzdelis, 3 – plūduras, 4 – skalė putų aukščiui matuoti, 5 – skalė skysčio išsiskyrimui iš putų matuoti)

Ant indo sienelės yra skalė putų aukščiui matuoti (padalos vertė 1 mm). Vamzdelio sienelėje yra skalė skysčio išsiskyrimui iš putų matuoti (cm³). Nustatant putų ilgaamžiškumą, CNIPS-1 prietaisas pripilamas putų, pagamintų iš tiriamų putokšlių, ir po valandos nustatomos šios putų charakteristikos:

suslūgimas, putų kartotinumumas, t.y. pradinio putų tūrio inde (5024 cm^3) santykis su iš putų išsiskyrusio skysčio tūriu po pilno putų suirimo.

Putos buvo plakamos laboratoriniame 15 dm^3 talpos putų plaktuve. Plakama 375 ml PAM tirpalo. Plakimo trukmė 10 minučių.

Putų savybių tyrimams naudojami šie putokšliai:

- 1) 2 %, 3 %, 4 % koncentracijos sulfonolo – kaulų klijų tirpalai;
- 2) 2 %, 3 %, 4 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalai.

1. Sulfonolo – kaulų klijų tirpalui pagaminti, sulfonolas naudojamas kaip putokšlis, o kaulų klijai kaip putų stabilizatorius. Naudotas sulfonolo ir kaulų klijų santikis buvo 1 : 0,2; tai:

1 litrui 2 % koncentracijos sulfonolo – kaulų klijų tirpalui reikėjo 20 g sulfonolo ir 4 g kaulų klijų.

1 litrui 3 % koncentracijos sulfonolo – kaulų klijų tirpalui reikėjo 30 g sulfonolo ir 6 g kaulų klijų.

1 litrui 4 % koncentracijos sulfonolo – kaulų klijų tirpalui reikėjo 40 g sulfonolo ir 8 g kaulų klijų.

2. „Ufapore CC“ tirpalui pagaminti, buvo naudotas 29,1 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalas, tai:

1 litrui 2 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalui reikėjo 68,7 ml 29,1 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalo.

1 litrui 3 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalui reikėjo 103,1 ml 29,1 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalo.

1 litrui 4 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalui reikėjo 137,5 ml 29,1 % koncentracijos „Ufapore CC“ tirpalo.

3.2. Žaliavos ir gaminių sudėtys

Akytojo betono tyrimams buvo gaminami keturių rūšių bandiniai. Kiekviena rūšis – trijų skirtingų tankių.

Pūtų cementbetonio bandiniams gaminti buvo naudojamos tokios žaliavos: Vilniaus Panerių Telkinio maltas kvarcinis smėlis, AB „Akmenės cementas“ CEM I 42,5 portlandcementis, vanduo, putos, polipropeno pluoštas, maltos UAB „Matuizų plytinė“ akytojo betono gamybos atliekos.

Akytojo betono bandiniai buvo formuojami iš Vilniaus Panerių telkinio kvarcinio smėlio. Naudojamas smėlis atitiko LST 1273 reikalavimus [13]. Jis buvo malamas rutuliniame malūne sausuoju būdu. Smėlio savitasis paviršius apie 300 m²/kg. Portlandcemenčio mineralinė klinkerio sudėtis, % : C₃S – (50,38–54,74); C₂S (20–24,53); C₃A – (4,3–4,37); C₄AF (14,32–14,77) [14]. Vanduo atitinkantis GOST 3732 reikalavimus. Polipropenas naudojamas pluoštinis, siūlelio ilgis 10–15 mm.

Tyrimų metodikos.

Gaminant putų cementbetonį, putos buvo plakamos iš 2 % koncentracijos sulfonolo putokšlio. Putų stabilumui padidinti į putokšlį buvo dedama, 0,3 % nuo sulfonolo kiekio, kaulų klijų. Putos buvo plakamos laboratoriniame 15 dm³ talpos putų plaktuve. Pasirinktas putų kartotinumumas 50, tai plakimo trukmė – 10 min.

Putų cementbetonio mišiniai buvo gaminami tokios sudėties:

I. Šios rūšies putų cementbetonio bandiniai buvo gaminami tokios sudėties:

- Portlandcementis;
- Vanduo;
- Putos.

Portlandcementis maišomas su vandeniu ir putomis. Vandens ir kietųjų medžiagų (V/K) santykis – 0,55; putų kiekis: 1 kg kietųjų medžiagų 2, 1,5 ir 1 dm³ putų.

II. Šios rūšies putų cementbetonio bandiniai buvo gaminami tokios sudėties:

- Portlandcementis;
- Smėlis;
- Vanduo;
- Putos.

Portlandcemenčio ir smėlio santykis 1:1; V/K – 0,55; putų kiekis: 1 kg kietųjų medžiagų 2, 1,5 ir 1 dm³ putų.

III. Šios rūšies putų cementbetonio bandiniai buvo gaminami tokios sudėties:

- Portlandcementis;
- Smėlis;
- „Matuizų plytinės“ akyto betono gamybos atliekos 5 %, 10 %, 15 %;
- Vanduo;
- Pūtos;

Portlandcementis : smėlis su silikatbetonio atliekomis – 1 : 1; akytbetonio atliekų dedama 5 %, 10 % ir 15 % nuo kietųjų medžiagų kiekio; V/K – 0,55; putų kiekis: 1 kg kietųjų medžiagų 2, 1,5 ir 1 dm³ putų.

IV. Šios rūšies putų cementbetonio bandiniai buvo gaminami tokios sudėties:

- Portlandcementis;
- Smėlis;
- Polipropeno pluoštas;
- Vanduo;
- Putos.

Portlandcemenčio ir smėlio santykis 1:1; polipropeno pluošto dedama 0,02 % nuo kietųjų medžiagų kiekio; V/K – 0,55; putų kiekis: 1 kg kietųjų medžiagų 2, 1,5 ir 1 dm³ putų.

Pasirinkęs tinkamas žaliavas ir žinodamas, norimų gauti, putų cementbetonio rūšių sudedamąsias dalis, ir santykius, apskaičiuoju tikslius žaliavų kiekius. Akytojo betono formavimo sudėčių skaičiavimui, naudojama metodika iš šaltinio [3].

II – 1

- *Apskaičiuojamas kietųjų medžiagų kiekis:*

$$K_m = 1,06 \cdot \rho \cdot V_f, \quad (9)$$

K_m – kietųjų medžiagų kiekis, kg;

1,06 – masės pertekliaus koeficientas;

ρ – putų cementbetonio tankis, kg/m³;

V_f – formos tūris, m³.

$$K_m = 1,06 \cdot 400 \cdot 0,006 = 2,544 \text{ kg};$$

- *Portlandcemenčio kiekis:*

$$Cem = \frac{2,544 \cdot 50}{100} = 1,272 \text{ kg}; \quad (10)$$

- *Smėlio kiekis:*

$$Sm = 2,544 - 1,272 = 1,272 \text{ kg}; \quad (11)$$

- *Bendras vandens kiekis:*

$$H = K_m \cdot \frac{V}{K} = 2,544 \cdot 0,55 = 1,399 \text{ dm}^3 \quad (12)$$

H – bendras vandens kiekis, dm³;

V/K – vandens ir kietųjų medžiagų santykis.

- *Putų kiekis:*

400 kg/m³ putų cementbetonio gamybai pagal grafiką parenku putų kiekį 1 kg kietųjų medžiagų – 2 dm³, tai 2,544 kg kietųjų medžiagų reiks 5 dm³ putų.

Putų kartotinumą parenkamas 50, tai norint gauti 5 dm³ putų, reikia paruošti putokšlio 5 : 50 = 0,1 dm³.

- *Vandens kiekis dozavimui:*

$$d H_{doz} = 1,399 - 0,1 = 1,299 \text{ m}^3 \quad (13)$$

III – 1 B

- *Apskaičiuojamas kietųjų medžiagų kiekis:*

$$K_m = 1,06 \cdot \rho \cdot V_f \quad (14)$$

K_m – kietųjų medžiagų kiekis, kg;

1,06 – masės pertekliaus koeficientas;

ρ – putų cementbetonio tankis, kg/m³;

V_f – formos tūris, m³.

$$K_m = 1,06 \cdot 400 \cdot 0,006 = 2,544 \text{ kg};$$

- *Portlandcemenčio kiekis:*

$$Cem = \frac{2,544 \cdot 50}{100} = 1,272 \text{ kg};$$

- *Atliekų kiekis:*

Atliekų dedama 10 % nuo kietųjų medžiagų kiekio

$$A = 2,544 \cdot 0,1 = 0,26 \text{ kg}; \quad (15)$$

- *Smėlio kiekis:*

$$S_m = 2,544 - 1,272 - 0,26 = 1,012 \text{ kg};$$

- *Bendras vandens kiekis:*

$$H = K_m \cdot \frac{V}{K} = 2,544 \cdot 0,55 = 1,399 \text{ dm}^3$$

H – bendras vandens kiekis, dm³;

V/K – vandens ir kietųjų medžiagų santykis.

- *Putų kiekis:*

400 kg/m³ putų cementbetonio gamybai pagal grafiką parenku putų kiekį 1 kg kietųjų medžiagų – 2 dm³, tai 2,544 kg kietųjų medžiagų reiks 5 dm³ putų.

Putų kartotinumą parenkamas 50, tai norint gauti 5 dm³ putų, reikia paruošti putokšlio 5 : 50 = 0,1 dm³.

Kiti gaminamo putų cementbetonio sudėčių skaičiavimai pateikiami prieduose, o visos aktybetonio sudėtys pateikiamos 8 lentelėje.

8 lentelė. Putų cementbetonio sudėtys

Žymėjimas	K _m (kg)	Cem (kg)	S _m (kg)	A (kg)	Pl (kg)	H (l)	Putos (l/kg)	H _{doz} (l)
I – 1	2,544	2,544	-	-	-	1,399	5,0	1,299
I – 2	3,18	3,18	-	-	-	1,749	4,7	1,655
I – 3	3,816	3,816	-	-	-	2,099	3,8	2,02
II – 1	2,544	1,272	1,272	-	-	1,399	5,0	1,299
II – 2	3,18	1,59	1,59	-	-	1,749	4,7	1,655
II – 3	3,816	1,908	1,908	-	-	2,099	3,8	2,02
III – 1 A	2,544	1,272	1,144	0,136	-	1,399	5,0	1,299
III – 2 A	3,18	1,59	1,43	0,16	-	1,749	4,7	1,655
III – 3 A	3,816	1,908	1,718	0,19	-	2,099	3,8	2,02
III – 1 B	2,544	1,272	1,012	0,26	-	1,399	5,0	1,299
III – 2 B	3,18	1,59	1,272	0,32	-	1,749	4,7	1,655
III – 3 B	3,816	1,908	1,528	0,38	-	2,099	3,8	2,02

III – 1 C	2,544	1,272	0,829	0,38	-	1,399	5,0	1,299
III – 2 C	3,18	1,59	1,110	0,48	-	1,749	4,7	1,655
III – 3 C	3,816	1,908	1,328	0,58	-	2,099	3,8	2,02
IV – 1	2,544	1,272	1,272	-	0,0051	1,399	5,0	1,299
IV – 2	3,18	1,59	1,59	-	0,0064	1,749	4,7	1,655
IV – 3	3,816	1,908	1,908	-	0,0076	2,099	3,8	2,02

3.3. Tankio nustatymas

Metodo esmė

Bandiniai (prizmės, kubai ar cilindrai) išpjaujami iš gaminių. Tankis nustatomas apskaičiuojant iki pastovios masės (105 ± 5) °C temperatūroje išdžiovintų bandinių masės ir jų tūrio santykį [44, 45].

Įranga

- pjūklas arba specialus grąžtas bandiniams išpjauti;
- ne trumpesnė kaip 200 mm liniuotė ir 0,1 mm tarpumatis;
- slankmatis arba kita matavimo priemonė, užtikrinanti bandinių matmenų nustatymą 0,1 mm tikslumu;
- vėdinama džiovykla, kurioje galima palaikyti (105 ± 5) °C temperatūrą;
- svarstyklės, kuriomis galima nustatyti bandinių masę 0,1 % tikslumu.

Imtis

Imtis bandiniams ruošti turi būti paimta taip, kad ji visiškai atitiktų tiriamą gaminį.

Bandinių forma ir matmenys

Bandiniai turi būti prizmės, kubai ar cilindrai, kurių mažiausias matmuo turi būti ne mažesnis kaip 50 mm, o kiekvieno tūris – ne mažesnis kaip $0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Bandinių skaičius

Vienam bandimui turi būti ruošiami trys bandiniai.

Jei įmanoma, vieną bandinį reikia išpjauti statybinio elemento viršutiniame trečdalyje, vieną – viduriniame trečdalyje ir vieną – apatiniame trečdalyje pagal formavimo masės pūtimosi kryptį.

Bandiniai turi būti paženklinėti, nurodant jų išpjovimo vietą pagal masės pūtimosi kryptį.

Taip pat galima naudoti ir vieną bandinį, jei jis yra išpjautas per visą formavimo masės pūtimosi aukštį ir jo tūris ne mažesnis kaip $1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Iš tokio vieno bandinio nustatytas tankis yra lygus iš trijų atskirų bandinių nustatytam tankiui.

Bandinių ruošimas

Bandiniai išpjaujami pjūkle (ar specialiu grąžtu)

Bandinių paviršius nuokryptai nuo plokštumos neturi būti didesni kaip 0,1 mm. Nuokryptai turi būti nustatomi linuote ir tarpumačiu pagal abiejų istrižainių kryptis. Nelygumai pašalinami, bandinius šlifuojant, frezuojant ar kitais panašiais būdais.

Bandymas

Bandinių tūrio nustatymas

Kiekvieno bandinio tūris apskaičiuojamas pagal jo matenis, nustatytus slankmačiu 0,1 mm tikslumu. Atskirų matavimų, pagal kuriuos turi būti apskaičiuojami vidutiniai matmenys, reikiamas skaičius priklauso nuo bandinių formos ir dydžio bei paviršiaus taisiklingumo ir turi garantuoti tūrio V nustatymą ne didesne kaip 1 % paklaida.

Sausų bandinių masės nustatymas

Išmatuoti bandiniai džiovinami vėdinamoje džiovykloje (105 ± 5) °C temperatūroje iki pastovios masės. Kiekvieno sauso bandinio masė m_d turi būti nustatoma nedelsiant išėmus iš džiovyklos. Bandinio masės nustatymo paklaida, turi būti ne didesnė kaip 0,1 %. Bandinio masė laikoma pastovia, kai ji, džiovinta 24 h – nebepasikeičia daugiau kaip 0,2 %.

Bandymų rezultatai

Kiekvieno i – tojo bandinio tankis ρ_i (kg/m^3), yra apskaičiuojamas taip:

$$\rho_i = m_{di}/V_i ; i = 1,2,3, \quad (16)$$

m_{di} – sauso i -tojo bandinio masė, kg;

V_i – bandinio tūris, m^3 .

Kiekvieno bandinio tankis ρ_i apskaičiuojamas 5 kg/m^3 tikslumu.

Gaminio tankis ρ apskaičiuojamas, kaip 3-jų bandinių tankių ρ_i aritmetinis vidurkis:

$$\rho_i = 1/3(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3), \quad (17)$$

Gaminio tankis ρ apskaičiuojamas 5 kg/m³ tikslumu.

3.4. Gniuždomojo stiprio nustatymas

Metodo esmė

Gniuždomasis stipris yra nustatomas apskaičiuojant santykį tarp bandinį suardančios ašinės apkrovos ir statmeno apkrovos jėgos krypčiai bandinio ploto [46, 47].

Bandinių forma ir matmenys

Naudojami kubo formos bandiniai, kurių kraštinės ilgis – 100 mm. Gali būti naudojami ir kitos formos bei didžio bandiniai, jei tarp jų gniuždomojo stiprio ir 100 mm kubų gniuždomojo stiprio yra tiesioginė priklausomybė. Rekomenduojama naudoti bandinius, skirtus tankiui nustatyti.

Bandinių skaičius

Vienam bandimui turi būti ruošiami trys bandiniai.

Jei įmanoma, vieną bandinį reikia išpjauti statybinio elemento viršutiniame trečdalyje, vieną – viduriniame trečdalyje ir vieną – apatiniame trečdalyje pagal formavimo masės pūtimosi kryptį.

Bandiniai turi būti paženklinėti, nurodant jų išpjovimo vietą pagal masės pūtimosi kryptį.

Bandinių paruošimas

Bandiniai išpjaujami besisukančiu karborundiniu pjūkle ar panašiu pjovimo įrenginiu. Bandiniai turi būti be armatūros. Visi bandinių paviršiai turi būti plokšti ir švarūs. Bandinių paviršiaus nuokrypiai nuo plokštumos turi būti ne didesni kaip 0,1 mm. Plokštumas turi būti tikrinamas linuote ir 0,1 mm tarpumačiu pagal abiejų įstrižainių kryptis.

Kampo tarp gniuždomo paviršiaus ir jam gretimų paviršių nuokrypiai nuo stataus kampo turi būti ne didesnis kaip 1 mm/100 mm. Nuokrypis tikrinamas išilgai bandinio pagal dvi vidurines gniuždomų paviršių ašis. Tikrinama kampinių ir 1,0 mm tarpumačiu arba kita reikiamo tikslumo matavimo priemone.

Bandinių matavimas ir jų tūrio nustatymas

Bandiniai išmatuojami 0,1 mm tikslumu slankmačiu ar kita matavimo priemone.

Gniuždomų bandinių skerspjūvio plotas A_c turi būti nustatomas matuojant jo ilgį ir plotį dviejų priešingų bandinio šonų aukščio viduryje. Skerspjūvio plotas apskaičiuojamas, sudauginant vidutinės pločio ir ilgio vertes. Bandinių aukštis, statmenas gniuždomo skerspjūvio plotui, turi būti matuojamas dviejų priešingų šonų, gretimų gniuždomiesiems paviršiams, viduryje. Bandinio tūris apskaičiuojamas, dauginant A_c iš aukščio vidutinės vertės.

Bandinių kondicionavimas

Bandiniai laikomi ne aukštesnėje kaip 60 °C temperatūroje, kol jų tikėtinas absoliutusias drėgnis sudarys (6 ± 2) % masės. Šis drėgnis gali būti apytikriai apskaičiuotas, lyginant pagal EN 678 nustatytus drėgnų ir sausų porinių bandinių, paimtų iš to paties gaminio ir tos pačios zonos, tankius.

Pasiekus nustatytą drėgnį bandiniai mažiausiai 2 h turi būti laikomi tokiomis sąlygomis, kad jų drėgnis negalėtų keistis, o bandinių temperatūra susilygintų su bandymų laboratorijos temperatūra (20 ± 5) °C. Prieš pat bandymą 0,1 % tikslumu turi būti nustatyta bandinių masė.

Gniuždymo įrenginio (preso) plokštės turi būti švariai nuvalytos, o bandinys centruotas gniuždymo įrenginyje. Apkrovimas turi būti ašinis ir statmenas masės pūtimosi kryptiai. Bandinio apkrova turi didėti tolygiai, be smūgių, pastoviu $(0,1 \pm 0,05)$ MPa per sekundę greičiu, kol bandinys suyra.

Užrašoma didžiausia pasiekta apkrovos vertė.

Bandinių faktinio absoliutaus drėgnio ir sausų bandinių tankio nustatymas

Sugniuždyti bandiniai kiekvienas atskirai išdžiovinami iki pastovios masės (105 ± 5) °C temperatūroje, pasveriami ir nustatomas jų faktinis drėgnis gniuždymo metu pagal EN 1353 reikalavimus bei sausų bandinių tankis pagal EN 678. Surenkant sugniuždyto bandinio nuolaužas, reikia vengti masės nuostolių.

Bandymo rezultatai

Pavienio i-tojo bandinio gniuždomasis stipris f_{ci} , MPa, apskaičiuojamas taip:

$$f_{ci} = \frac{F_i}{A_{ci}}, i = 1, 2, 3, \quad (18)$$

čia F_i – didžiausia gniuždymo apkrova, N; A_{ci} – gniuždomo bandinio skerspjūvio plotas, mm².

Kiekvieno bandinio gniuždomojo stiprio vertė f_{ci} suapvalinama 0,05 MPa tikslumu.

Gaminio gniuždomojo stiprio vertė f_e yra trijų bandinių gniuždomųjų stiprių f_{ci} vidurkis:

$$f_c = (f_{c1} + f_{c2} + f_{c3})/3, \quad (19)$$

Gauta gniuždomojo stiprio vertė f_c suapvalinama 0,1 MPa tikslumu.

Kad aiškiau matytusi gauti rezultatai ir būtų galima palyginti bandinių stiprumus, stipriai gniuždant perskaičiuojami prie 400, kai putų kiekis 2,0 dm³/kg, 500, kai putų kiekis 1,5 dm³/kg ir 600 kg/m³, kai putų kiekis 1,0 dm³/kg, tankio putų cementbetonio stiprio [33].

Perkaičiuojama pagal šią formulę:

$$R_{sk} = \frac{R_{fakt} \cdot \rho_{sk}^2}{\rho_{fakt}^2}; \text{ Mpa} \quad (20)$$

R_{sk} – pasirinkto tankio bandinių skaičiuojamasis stipris, Mpa

R_{fakt} – faktinio tankio bandinių stipris, Mpa

ρ_{sk} – pasirinktas bandinių tankis, kg/m³

ρ_{fakt} – faktinio tankio bandinių tankis, kg/m³

3.5. Gaminių struktūra

Šiuo atveju gaminių struktūra nustatoma apskaičiuojant bandinių bendrąjį poringumą, bei atvirų ir susisiekiančių porų tūrį. Šie duomenys išreiškiami procentais ir apskaičiuojamas koeficientas K, kuris yra atvirų ir susisiekiančių porų tūrių santykis su bendruoju poringumu.

Bendrajam statybinių medžiagų poringumui apskaičiuoti reikalingas bandinių tankis ir specifinių žaliavų, iš kurių buvo suformuoti bandiniai, tankiai.

Bendrasis statybinių medžiagų poringumas apskaičiuojamas pagal šią formulę [55]:

$$H = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_f}\right) \cdot 100\%, \quad (21)$$

čia: H – bendrasis poringumas, %

ρ_m – bandinio tankis, kg/m³

ρ_f – specifinis žaliavų, reikalingų bandiniui suformuoti, tankis, kg/m³

Norint nustatyti atvirų ir susisiekiančių porų tūrį reikia žinoti vandens tankį bei sauso ir vandenyje įmirkyto bandinio masę. Dėl šios priežasties buvo nustatinėjamas bandinių vandens įmirkis

[39]. Vandens įmirčio nustatymas atliekamas taip: bandiniai pamerkami į vandenį taip, kad būtų apsemta tik trečdalis gaminio ir laikoma 8 valandas. Po to pripilama vandens, kad būtų apsemta du trečdaliai gaminio ir paliekama mirkti dar 8 valandoms. Praėjus šiam laikui bandiniai visiškai apsiami ir laikomi dar 8 valandas. Baigus mirkymą vandenyje bandiniai nusausinami ir pasveriami ant svarstyklių.

Atvirų ir susisiekiančių porų tūris apskaičiuojamas pagal formulę [55]:

$$H_i = \frac{m_1 - m}{\rho_w}, \quad (22)$$

čia: H_i – atvirų ir susisiekiančių porų tūris, m^3

m – suso bandinio masė, kg

m_1 – vandenyje įmirkyto bandinio masė, kg

ρ_w – vandens tankis, kg/m^3

Koeficientas K apskaičiuojamas taip:
$$K = \frac{H_i}{H} \quad (23)$$

4. EKSPERIMENTINĖ DALIS

4.1. Putų savybės

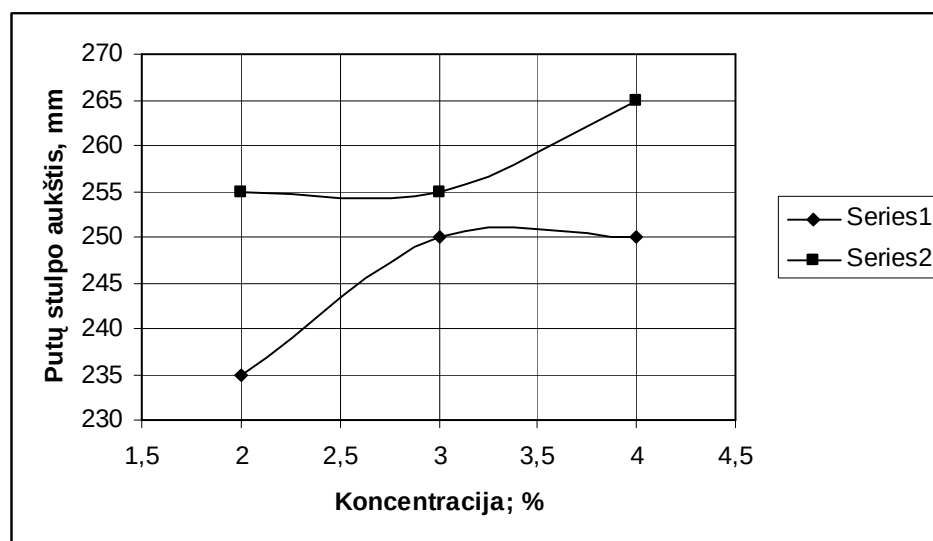
4.1.1. Paviršių aktyvinančių medžiagų (PAM) tirpalų išputojimas (Rooso-Mailso metodas)

Kadangi gaminant putų cementbetonį distiliuotas vanduo naudojamas, tyrimams naudojome vandentiekio vandenį. Ši bandymą (Rooso-Mailso metodas) atlikame naudodami metodinėje dalyje nurodytus ir apskaičiuotus 2 %, 3 %, 4 % sulfonolo – kaulų klijų ir 2 %, 3 %, 4 % „Ufapore CC“ tirpalus. Bandymo rezultatai pateikti 9 lentelėje ir 11 paveiksle.

9 lentelė. PAM tirpalų išputojimas pagal Rooso-Mailso metodą

Eil. Nr.	Tirpalas	Putų stulpelio aukštis (mm)
1.	2 % Sulfonolo – kaulų klijų tirpalas	235
2.	3 % Sulfonolo – kaulų klijų tirpalas	250
3.	4 % Sulfonolo – kaulų klijų tirpalas	250
4.	2 % „Ufapore CC“ tirpalas	255
5.	3 % „Ufapore CC“ tirpalas	255
6.	4 % „Ufapore CC“ tirpalas	265

Kaip matyome 9 lentelėje ir 11 paveiksle pateiktuose rezultatuose pagal Rooso-Mailso metodą geriausiai išputoja „Ufapore CC“ tirpalas. Kuo tirpalo koncentracija didesnė tuo putų stulpelio aukštis didesnis. Didžiausias išputojimas gautas 4 % „Ufapore CC“ tirpalo – 265 mm. Dažniausiai praktikoje naudojamo putokšlio Sulfonolo, išputojimo laipsnis mažesnis nei „Ufapore CC“, didinant šio tirpalo koncentraciją, putų stulpelio aukštis didėja. Tačiau išputojimas nėra tiesiogiai proporcingas tirpalo koncentracijai. Lašant 2 % koncentracijos Sulfonolo tirpalui putų stulpelis pakyla iki 235 mm aukščio, o 3 % ir 4 % – išputojimas 250 mm.



11 pav. PAM *tirpalų išputojimas pagal Rooso-Mailso metodą*: (1 – Ufapore CC, 2 – Sulfonolas – kaulų klėjai)

4.1.2. Putokšlio išsiskyrimas iš putų

Putų išputojimas priklauso nuo putokšlio rūšies ir jo vandeninio tirpalo koncentracijos. Didėjant putokšlio koncentracijai, jo išputojimas iki tam tikro momento labai didėja. Esant mažai putokšlio tirpalo koncentracijai (mažiau kaip 1 %) putos staiga suyra.

Šiame bandyme naudojami tie patys PAM tirpalai, kurie nurodyti ir apskaičiuoti metodinėje dalyje, tai: 2 %, 3 % ir 4 % koncentracijos sulfonolo – kaulų klijų ir „Ufapore CC“ tirpalai. Sulfonolo tirpaluose putų stabilumui ir ilgaamžiškumui padidinti dedami kaulų klėjai. Sulfonolo ir kaulų klijų santykis visuose tirpaluose naudojamas vienodas 1 : 0,2, todėl kaulų klėjai skirtingiems sulfonolo tirpalams įtakos neturi. Putų nusėdimo rezultatai pateikti 10 lentelėje, o putokšlio išsiskyrimas – 12 paveiksle ir prieduose esančioje lentelėje.

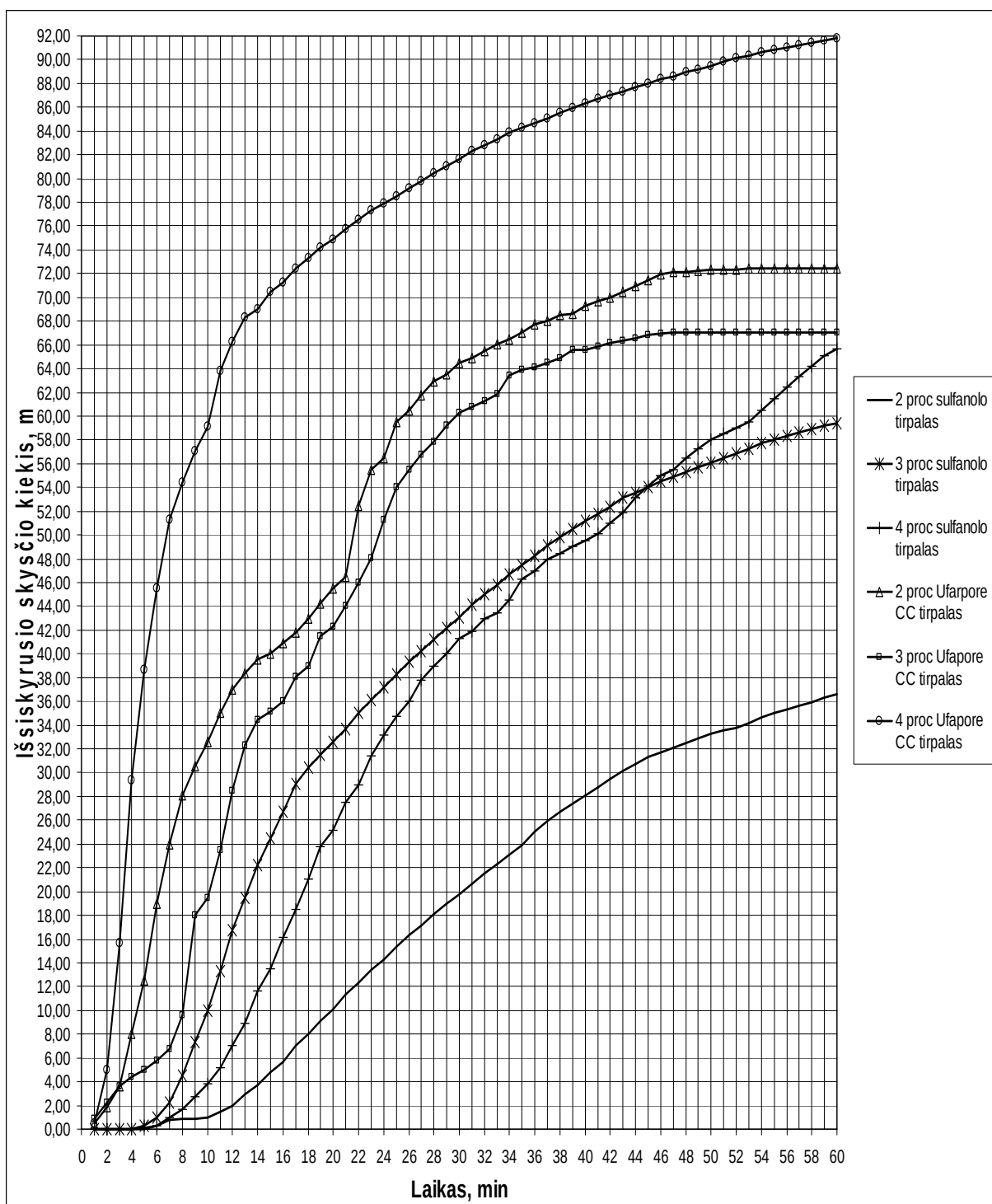
Kaip matyti 10 lentelėje ir 12 paveiksle pateiktų duomenų putokšlio išsiskyrimas priklauso nuo putų nusėdimo. Pagal šiuos duomenis galima teigti, kad stabiliausios putos gaunamos iš 2 % koncentracijos Sulfonolo tirpalo. Po 60 min putokšlio išsiskyrė 36,6 ml, o putos nusėdo 55 mm. Iš 3 % ir 4 % koncentracijos Sulfonolo tirpalo išplaktos putos nėra tokios stabilios kaip 2 %, šių putų putokšlio išsiskyrimas, per tą patį laiką, atitinkamai siekia 59,4 ir 65,7 ml. Iš „Ufapore CC“ tirpalo išplaktos putos yra stabilesnės, kai tirpalo koncentracija 3 %, putokšlio išsiskyrimas 67,0 ml. O iš 2 % ir 4 %

koncentracijos tirpalo išplaktos putos suyra greičiau, per 60 min. putokšlio išsiskyrimas atitinkamai yra 72,4 ml ir 91,8 ml. Tačiau iš „Ufapore CC“ tirpalų pagamintų putų stabilumas yra ženkliai mažesnis nei Sulfonolo tirpalų. Pvz. daugiausiai, iš Sulfonolo tirpalų išplaktų putų, putokšlio išsiskyrė iš 4 % koncentracijos tirpalo 65,7 ml, o mažiausias „Ufapore CC“ tirpalų putokšlio išsiskyrimas 3 % - 67,0 ml.

Nagrinėjant putokšlio išsiskyrimą detaliau (12 pav.), matome, kad iš Sulfonolo tirpalų pagamintų putų, skysčio išsiskyrimas pirmosiomis minutėmis yra žymiai mažesnis nei „Ufapore CC“ tirpalų. Po 6 min. visų Sulfonolo putokšlių išsiskyrimas yra apie 1 ml, o „Ufapore CC“ 3 %, 2 % ir 4 % koncentracijos tirpalų atitinkamai 5,8 ml, 19,0 ml ir 45,0 ml. Iš putų pagamintų naudojant „Ufapore CC“ tirpalus beveik visas putokšlis išsiskiria per pirmasias 30 min, o per likusį laiką tik maža dalis, tuo tarpu iš Sulfonolo pagrindu gautų putų per tą patį laiką išsiskiria tik apie pusę putokšlio kiekio išlašėjusio per 60 min. Žinant, kad putų stabilumas labai svarbus pirmosiomis minutėmis, kai betono mišinys dar nėra sukietėjęs ir putos turi sudaryti ir išlaikyti akytą struktūrą, galima teigti, kad putų cementbetonio gamybai labiau tinka iš Sulfonolo tirpalų išplaktos putos.

10 lentelė. Putų nusėdimas 5 litrų inde

Eil.Nr.	PAM, tirpalo koncentracija	Putų nusėdimas (mm)	Putokšlio išsiskyrimas (ml)
1.	2 % sulfonolo-kaulų klijų tirpalas	55	36,60
2.	3 % sulfonolo-kaulų klijų tirpalas	87	59,40
3.	4 % sulfonolo-kaulų klijų tirpalas	50	65,70
4.	2 % „Ufapore CC“ tirpalas	130	72,40
5.	3 % „Ufapore CC“ tirpalas	140	67,00
6.	4 % „Ufapore CC“ tirpalas	128	91,80



12 pav. Iš putų išsiskyrusio skysčio tūrio priklausomybė nuo laiko

4.1.3. Išvados

Išnagrinėję atliktų bandymų, tirpalų išputojimo (Rooso-Mailso metodas) ir putokšlio išsiskyrimo iš putų, gautus rezultatus, matome, kad geriausiai išputoja 4 % „Ufapore CC“ tirpalas, putų stulpelio aukštis 265 mm, tačiau šio tirpalo išsiskirimas iš putų yra didžiausias 91,8 ml. Mažiausias putokšlio išsiskyrimas iš putų 2 % koncentracijos Sulfonolo – kaulų klijų tirpalo, per 60 minučių 36,6 ml., bet šio tirpalo išputojimas yra mažiausias 235 mm. 3 % ir 4 % Sulfonolo tirpalo išputojimas šiek tiek didesnis 250 mm, tačiau iš jų suplaktose putose putokšlio išsiskyrimas per 60 min. beveik du kartus didesnis nei iš putų, kuriose naudotas 2 % koncentracijos Sulfonolo tirpalo. Atsižvelgiant į tai, kad akyto betono poringai struktūrai sudaryti svarbesnis putų stabilumas, tolesniems bandymams ir putų cementbetonio formavimui pasirenkamas 2 % koncentracijos Sulfonolo – kaulų klijų tirpalas.

4.2. Tankio nustatymas

Autoklave sukietintus ir išdžiovintus bandinius išmatuojame ir pasverame, taip kaip pateikta tankio nustatymo standartuose ir šio darbo metodinėje dalyje. Pagal šiuos duomenis apskaičiuojame bandinių tankius ir vidutinį gaminio tankį.

Gauti gaminių tankiai pateikti žemiau esančiose lentelėse.

11 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, vanduo, putos

Žymėjimai	Putų kiekis (l/kg)	A; ρ_1 (kg/m ³)	B; ρ_2 (kg/m ³)	C; ρ_3 (kg/m ³)	ρ_{vid} (kg/m ³)
I – 1	2	541	562	519	540
I – 2	1,5	685	685	655	675
I – 3	1	740	728	716	728

12 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, vanduo, putos

Žymėjimai	Putų kiekis (l/kg)	A; ρ_1 (kg/m ³)	B; ρ_2 (kg/m ³)	C; ρ_3 (kg/m ³)	ρ_{vid} (kg/m ³)
II – 1	2	495	487	495	492
II – 2	1,5	611	648	616	625
II – 3	1	721	716	678	705

13 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, silikatbetonio atliekos 5 % nuo kietųjų medžiagų kiekio, vanduo, putos

Žymėjimai	Putų kiekis (l/kg)	A; ρ_1 (kg/m ³)	B; ρ_2 (kg/m ³)	C; ρ_3 (kg/m ³)	ρ_{vid} (kg/m ³)
III – 1A	2	563	622	548	573
III – 2A	1,5	694	697	664	685
III – 3A	1	775	824	771	790

14 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, silikatbetonio atliekos 10 % nuo kietųjų medžiagų kiekio, vanduo, putos

Žymėjimai	Putų kiekis (l/kg)	A; ρ_1 (kg/m ³)	B; ρ_2 (kg/m ³)	C; ρ_3 (kg/m ³)	ρ_{vid} (kg/m ³)
III – 1B	2	699	771	793	754
III – 2B	1,5	795	849	787	810
III – 3B	1	855	859	846	853

15 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, silikatbetonio atliekos 15 % nuo kietųjų medžiagų kiekio, vanduo, putos

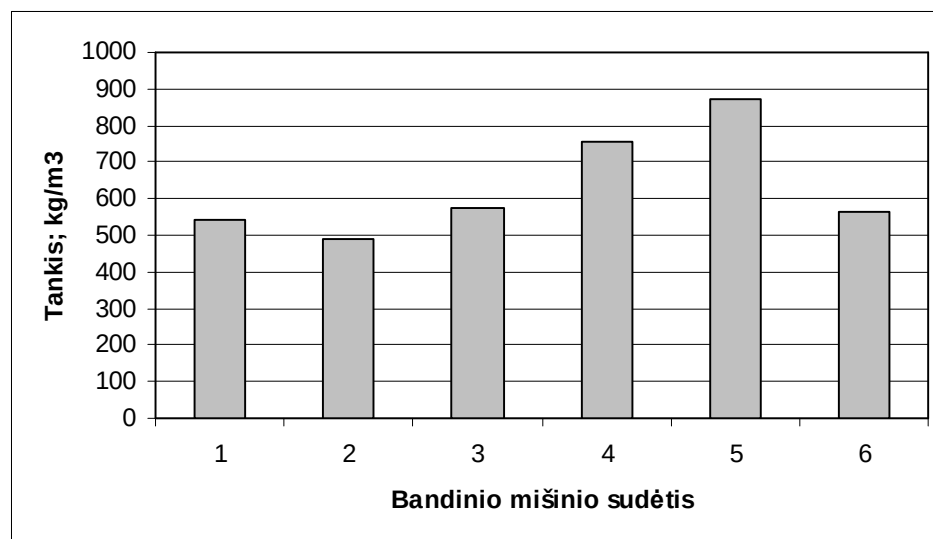
Žymėjimai	Putų kiekis (l/kg)	A; ρ_1 (kg/m ³)	B; ρ_2 (kg/m ³)	C; ρ_3 (kg/m ³)	ρ_{vid} (kg/m ³)
III – 1C	2	853	887	872	870
III – 2C	1,5	944	990	967	965
III – 3C	1	1110	1155	1138	1130

16 lentelė. Putų cementbetonio tankis. Žaliavos: portlandcementis, smėlis, polipropeno pluoštas, vanduo, putos

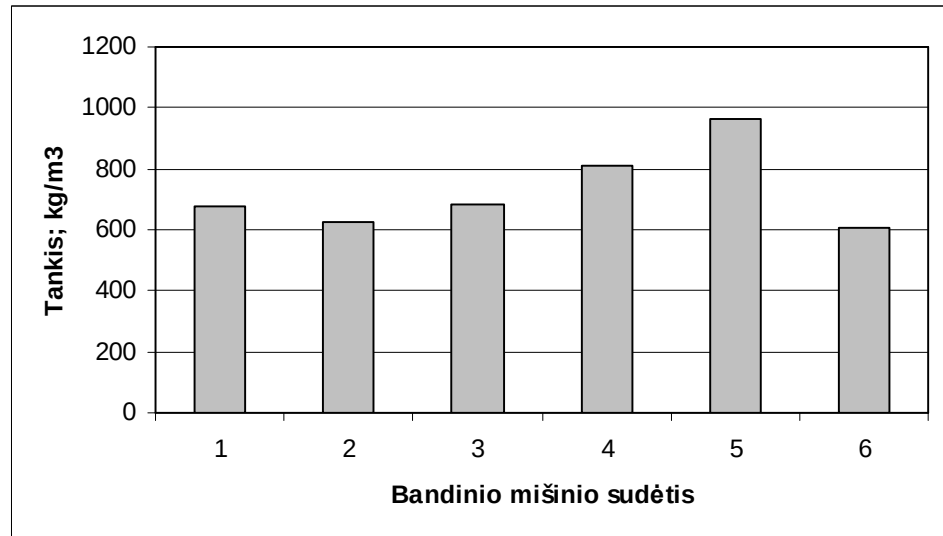
Žymėjimai	Putų kiekis (l/kg)	A; ρ_1 (kg/m ³)	B; ρ_2 (kg/m ³)	C; ρ_3 (kg/m ³)	ρ_{vid} (kg/m ³)
IV – 1	2	555	560	578	564
IV – 2	1,5	567	599	549	571
IV – 3	1	695	677	672	681

Putų cementbetonio tankį lemiantys technologiniai veiksniai yra vandens ir kietųjų medžiagų santykis, į mišinį dedamas putų kiekis, bei formuojamo mišinio sudėtis. Kaip matyti 13, 14 ir 15 paveiksluose į mišinį dedamas mažesnis putų kiekis gana ženkliai padidina gaminių tankį. Naudojant skirtingą putų kiekį ir vienodą vandens ir kietųjų medžiagų santykį, visose bandinių grupėse mažiausias tankis gautas, į betono mišinį dedant cementą ir smėlį, kai jų santykis 1:1 (2 stulpelis). Šie gaminiai naudojami, kaip atskaitos taškas, lyginant kitas bandinių grupes. Putų cementbetonio tešlą maišant, tik iš cemento, bandinių tankiai gaunami šiek tiek didesni (1 stulpelis), nei tada, kai mišinyje yra smėlio. Palyginimui buvo formuojami gaminiai su polipropeno pluoštu (6 stulpelis), kadangi šio aktybetonio sudėtis cementas, smėlis (santykis 1:1) ir papildomai dėta pluošto, tai šių bandinių tankiai labai panašūs į kontrolinių bandinių. Todėl galima teigti, kad polipropeno pluoštas gaminių tankiui didelės įtakos neturi.

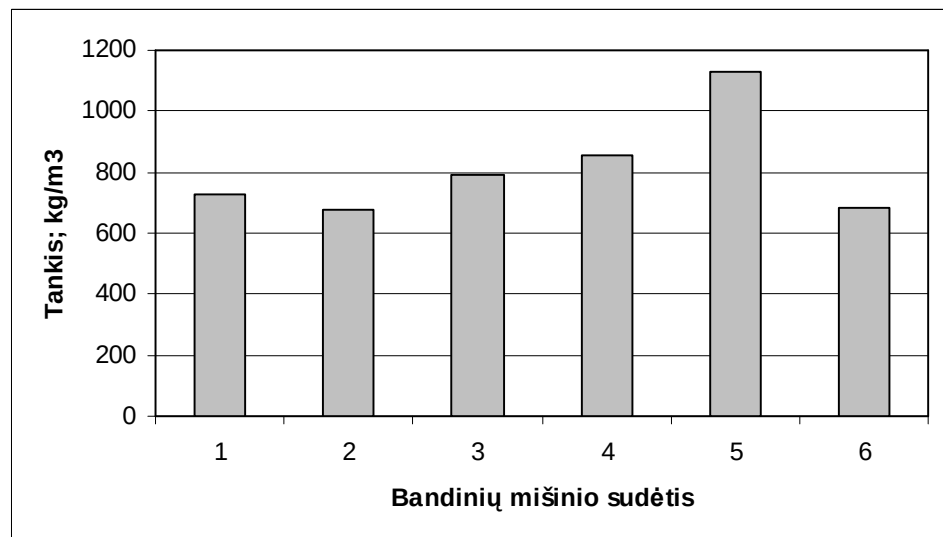
Putų cementbetonio mišinyje įmaišius maltų akyto betono gamybos atliekų, gaminių tankis akivaizdžiai padidėja (16 pav.). Didinant atliekų kiekį didėja ir bandinių tankis. Kontrolinių gaminių tankis, kai putų kiekis 2, 1,5 ir 1 dm^3/kg atitinkamai yra 492, 625 ir 705 kg/m^3 , pridėjus 5 % nuo kietųjų medžiagų kiekio, akyto betono atliekų, gaminių tankis padidėja apie 80 kg/m^3 , atitinkamai 573, 685 ir 790 kg/m^3 . Didinant atliekų kiekį iki 10 %, tankis padidėja apie 180 kg/m^3 . Ir didžiausias gaminių tankis gaunamas naudojant 15 % akyto betono gamybos atliekų priedą.



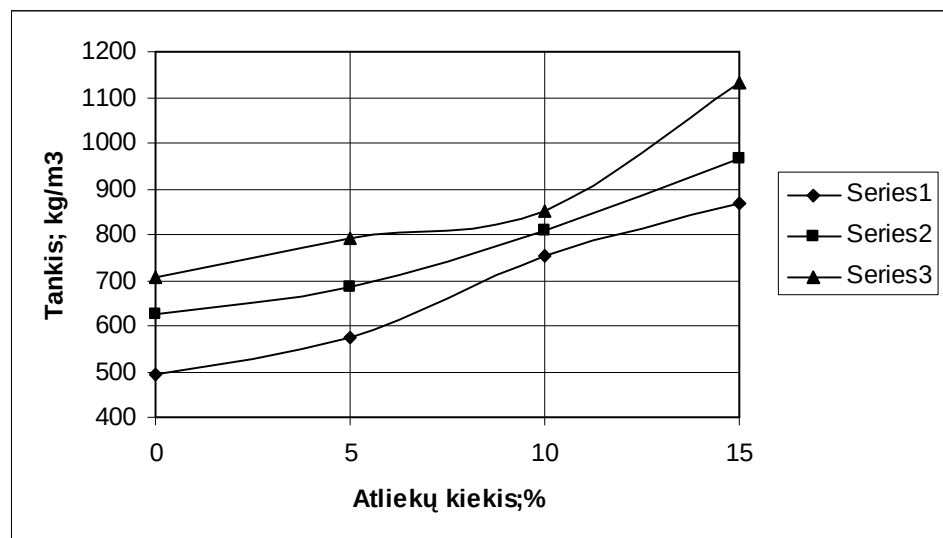
13 pav. **Mišinio sudėties įtaka bandinių tankiui, kai putų kiekis 2,0 dm^3/kg .** (Bandinių mišinio sudėtys: 1 – portlandcementis, 2 – portlandcementis : smėlis, 3 – portlandcementis : smėlis : atliekos 5 %, 4 – portlandcementis : smėlis : atliekos 10 %, 5 – portlandcementis : smėlis : atliekos 15 %, 6 – portlandcementis : smėlis : polipropeno pluoštas)



14 pav. **Mišinio sudėties įtaka bandinių tankiui, kai putų kiekis $1,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$.** (Bandinių mišinio sudėtys: 1 – portlandcementis, 2 – portlandcementis : smėlis, 3 – portlandcementis : smėlis : atliekos 5 %, 4 – portlandcementis : smėlis : atliekos 10 %, 5 – portlandcementis : smėlis : atliekos 15 %, 6 – portlandcementis : smėlis : polipropeno pluoštas)



15 pav. **Mišinio sudėties įtaka bandinių tankiui, kai putų kiekis $1,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$.** (Bandinių mišinio sudėtys: 1 – portlandcementis, 2 – portlandcementis : smėlis, 3 – portlandcementis : smėlis : atliekos 5 %, 4 – portlandcementis : smėlis : atliekos 10 %, 5 – portlandcementis : smėlis : atliekos 15 %, 6 – portlandcementis : smėlis : polipropeno pluoštas)



16 pav. **Bandinių tankio priklausomybė nuo naudojamo akyto betono gamybos atliekų ir putų kiekio.** (1 – naudota 2,0 dm³/kg putų, 2 – 1,5 dm³/kg, 3 – 2,0 dm³/kg)

Toks akivaizdus gaminių tankio padidėjimas, panaudojus akytojo betono gamybos atliekas, gali būti paaiškinamas tuo, kad visuose ruošiamo akyto betono mišiniuose buvo naudojamas vienodas vandens ir kietųjų medžiagų santykis (V/K). Kadangi reikiamas atliekų kiekis dedamas keičiant smėlį, o maltų gamybos atliekų savitasis paviršius yra mažesnis nei mišinyje naudoto smėlio, tai norint gerai išmaišyti mišinį, turintį daugiau smulkių užpildo dalelių, reikalingas didesnis vandens kiekis. Norint gauti mažesnio tankio putų cementbetonį, dedant akyto betono gamybos atliekas, mišinio užmaišymui reikėtų naudoti didesnį vandens ir kietųjų medžiagų santykį.

4.3. Gniuždomojo stiprio nustatymas

Gniuždomasis stipris nustatomas pagal atitinkamą standartą, taip kaip aprasyta metodinėje dalyje. Atlikus autoklave sukietintų ir išdžiovintų bandinių matavimus, ir apskaičiavus gniuždomąjį skerspjuvio plotą, bandiniai buvo suspausti presu, o pagal gautus duomenis apskaičiuotas gniuždomasis stipris.

Gauti rezultatai pateikti 17 lentelėje.

17 lentelė. Stipris gniuždant

Žymėjimai	Stipris gniuždant (MPa)		Žymėjimai	Stipris gniuždant (Mpa)
I – 1	1,5		III – 1B	3,9
I – 2	2,2		III – 2B	4,2
I – 3	2,6		III – 3B	5,7
II – 1	1,4		III – 1C	4,3
II – 2	2,7		III – 2C	5,6
II – 3	3,6		III – 3C	9,2
III – 1A	2,6		IV – 1	2,1
III – 2A	3,6		IV – 2	2,1
III – 3A	5,5		IV – 3	3,5

Kad aiškiau matytusi gauti rezultatai ir būtų galima palyginti bandinių stiprumus, stipriai gniuždant perskaičiuojami prie 400, kai putų kiekis $2,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$, 500, kai putų kiekis $1,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ir 600 kg/m^3 , kai putų kiekis $1,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$, tankio putų cementbetonio stiprio. Perskaičiuojama taip, kaip pateikta metodinėje dalyje.

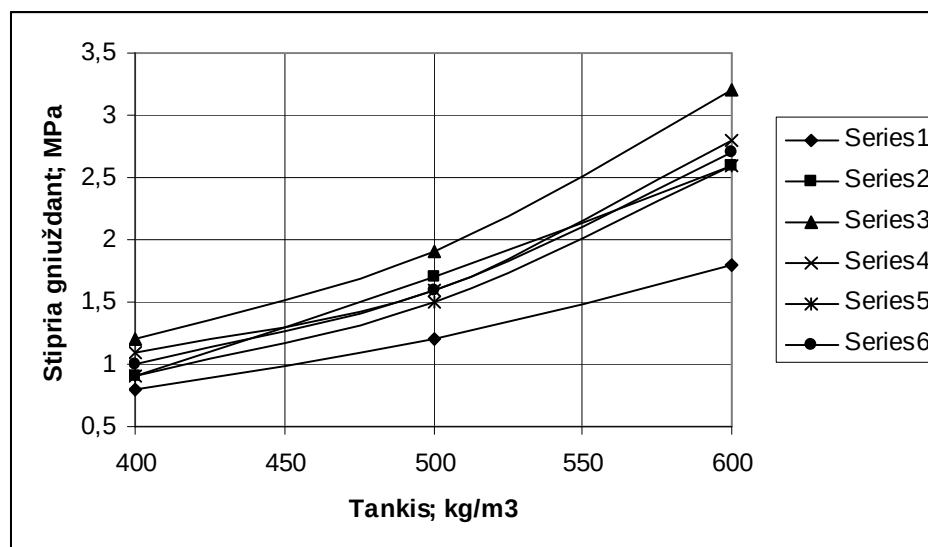
Gauti rezultatai pateikiami 18 lentelėje.

18 lentelė. Perskaičiuotas stipris gniuždant prie 400 (kai putų kiekis $2,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$), 500 (kai putų kiekis $1,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$) ir 600 kg/m^3 (kai putų kiekis $1,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$) tankio

Žymėjimai	Stipris gniuždant (MPa)		Žymėjimai	Stipris gniuždant (MPa)
I – 1 (400)	0,8		III – 1B (400)	1,1
I – 2 (500)	1,2		III – 2B (500)	1,6
I – 3 (600)	1,8		III – 3B (600)	2,8
II – 1 (400)	0,9		III – 1C (400)	0,9
II – 2 (500)	1,7		III – 2C (500)	1,5
II – 3 (600)	2,6		III – 3C (600)	2,6
III – 1A (400)	1,2		IV – 1 (400)	1,0
III – 2A (500)	1,9		IV – 2 (500)	1,6
III – 3A (600)	3,2		IV – 3 (600)	2,7

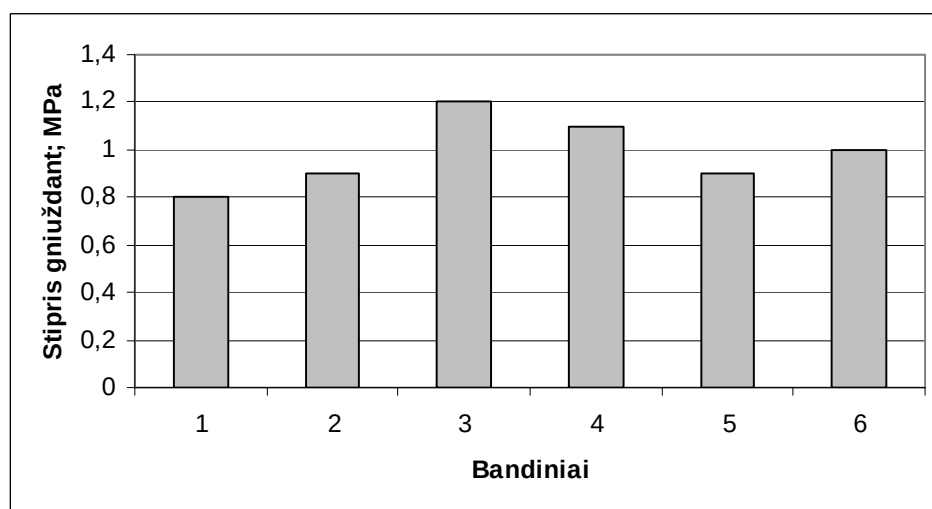
Akytojo betono stiprumas priklauso nuo akytojo betono tankio, jo makrostruktūros formavimo būdo ir nuo technologinių veiksnių: smėlio sumalimo smulkumo, vandens ir kietųjų medžiagų santykio (V/K), dedamų priedų kiekio, porodario rūšies ir jo paruošimo būdo.

Sugniuždžius tam tikslui ruoštus bandinius aiškiai matome stiprio gniuždant priklausomybę nuo tankio. Didėjant putų cementbetonio tankiui didėja ir bandinių stiprumas (17 pav.), tačiau šis didėjimas nėra proporcingas ir kiekvienai bandinių rūšiai skirtingas. Iš atlikto bandymo gautų rezultatų, matome, kaip įvairaus tankio betono kubelių stipris gniuždant priklauso nuo gaminių mišinio sudėties, šie pokyčiai pavaizduoti grafikuose (18, 19 ir 20 pav.). Mažiausio stiprumo gaminiai, kurių sudėtyje naudotas tik portlandcementis, vanduo ir putos. Mažinant putų kiekį ir didėjant tankiui stiprumas didėja. Todėl galima teigti, kad šie gaminiai nėra racionalūs, jų gamybai sunaudojama daugiausia rišamosios medžiagos, šiuo atveju portlandcemenčio, o stipruminės savybės gautos mažiausios.



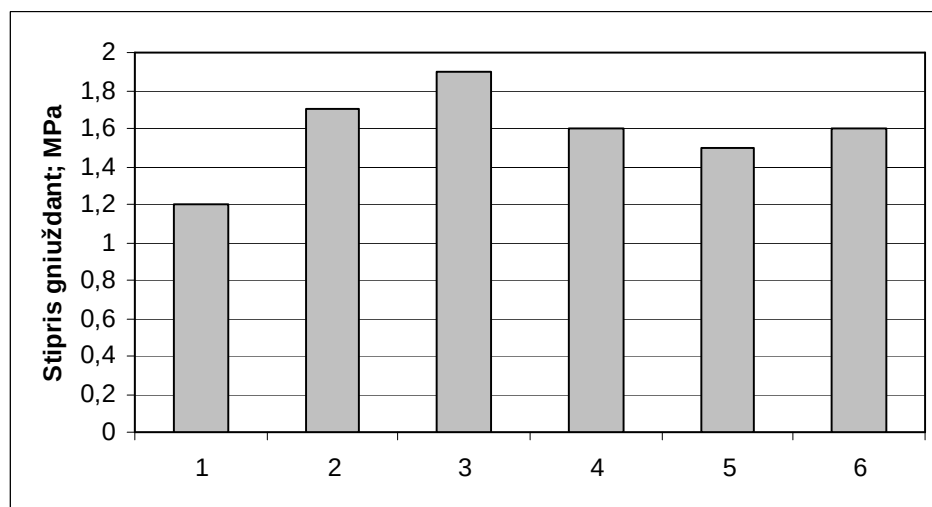
17 pav. **Stiprio gniuždant priklausomybė nuo tankio.** (Bandinių mišinio sudėtys: 1 – portlandcementis, 2 – portlandcementis : smėlis, 3 – portlandcementis : smėlis : atliekos 5 %, 4 – portlandcementis : smėlis : atliekos 10 %, 5 – portlandcementis : smėlis : atliekos 15 %, 6 – portlandcementis : smėlis : polipropeno pluoštas.

Kaip atskaitos taškas, akyto betono gamybos atliekų panaudojimui palyginti, gaminti bandiniai, kurių mišinio sudėtis tokia: portlandcementis : smėlis (1:1), vanduo ir putos (18, 19 ir 20 pav., 2 stulpelis). Šių gaminių stipris prie 400, 500 ir 600 kg/m³ tankio atitinkamai 0,9; 1,7 ir 2,6 MPa. Palyginimui buvo gaminti bandiniai su polipropeno pluoštu, tačiau šių bandinių stipriai (prie 400, 500 ir 600 kg/m³ tankio atitinkamai 1,0; 1,6 ir 2,7) nežymiai skiriasi nuo kontrolinių betono kubelių stiprumo. Į putų cementbetonio mišinį pridėjus akyto betono atliekų (smėlis pakeičiamas tuo pačiu atliekų kiekiu) stipris gniuždamas padidėja. Tokį teigiamą maltų betono atliekų poveikį akytojo betono stipriui galima paaiškinti tuo, kad šios atliekos hidroterminėmis sąlygomis yra naujų kristalizacijos centrų ir intensyvina tobermorito susidarymą. Tačiau gaminių stiprumo didėjimas akivaizdžiai matomas tik įmaišius 5 % atliekų (18, 19 ir 20 pav., 3 stulpelis). Dedant 10 % ir 15 % atliekų stipris gniuždamas pradeda mažėti ir prie kaikurių tankių, bandinių stiprumas beveik susilygina ar net tampa šiek tiek mažesnis, nei kontrolinių kubelių.

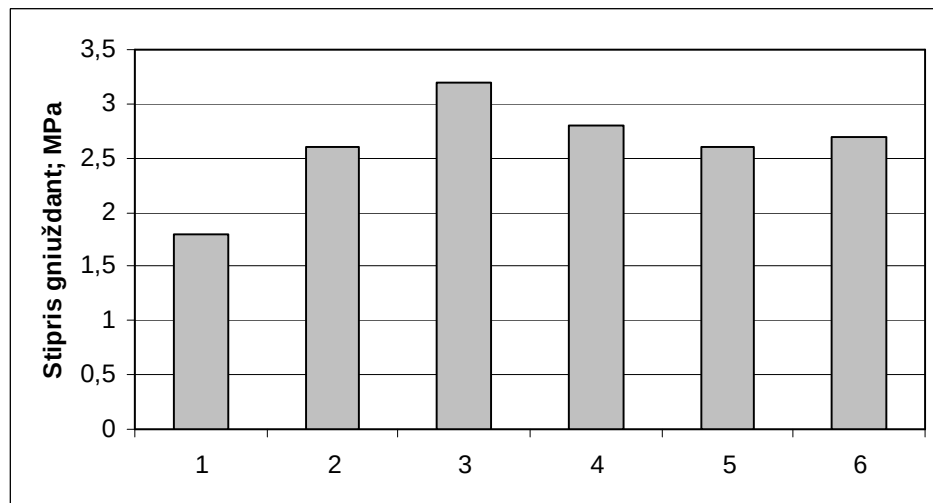


18 pav. *Stiprio gniuždamas, perskaičiuoto prie 400 kg/m³ tankio, kai putų kiekis 2,0 dm³/kg, priklausomybė nuo bandinių mišinio sudėties.* (Bandinių mišinio sudėtys: 1 – portlandcementis, 2 – portlandcementis : smėlis, 3 – portlandcementis : smėlis : atliekos 5 %, 4 – portlandcementis : smėlis : atliekos 10 %, 5 – portlandcementis : smėlis : atliekos 15 %, 6 – portlandcementis : smėlis : polipropeno pluoštas)

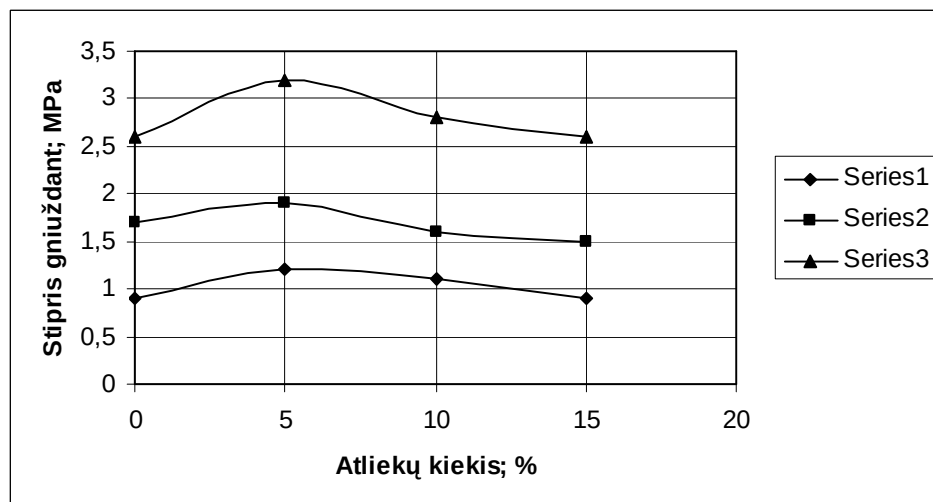
Didžiausias bandinių gniuždomasis stipris gaunamas, kai į putų cementbetonio mišinį dedama 2,0 l/kg putų ir 5 % maltų betono atliekų, stiprumas padidėjo 33,3 % (18 pav., 3 stulpelis), lyginant su tos pačios sudėties gaminiais be betono atliekų. Esant didesniai akyto betono tankiui naudojant 5% betono atliekų, stiprumas padidėja šiek tiek mažiau, bet vistiek gaunamas ženkliai didesnis nei kontrolinių bandinių. Įmaišius į mišinį 10 % maltų akyto betono atliekų, didžiausias stiprio padidėjimas (22,2 %) lyginant su kontroliniais bandiniais gaunamas, kai į mišinį dedama 2,0 l/kg putų (18 pav. 4 stulpelis). Esant didesniems akytojo betono tankiams stiprio gniuždant padidėjimas mažesnis, o kai mišinyje putų kiekis 1,5 l/kg bandinių stiprumas 5,9 % mažesnis. Kai atliekų kiekis 15 % gaminių stiprumas išlieka toks pat kaip ir kontrolinių bandinių tik esant putų kiekiui 1,5 l/kg stipris gniuždant sumažėja 7,8 % (18, 19 ir 20 pav., 5 stulpelis). Išnagrinėję gautus rezultatus galime teigti, kad optimaliausia naudoti 5 % maltų akyto betono atliekų priedą, bet jeigu gaminamų gaminių stiprumas nėra labai svarbus galima naudoti ir didesnę atliekų kiekį, nes šių bandinių stipris gniuždant yra didesnis arba labai artimas gaminiams be priedų.



19 pav. **Stiprio gniuždant, perskaičiuoto prie 500 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $1,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$, priklausomybė nuo bandinių mišinio sudėties.** (Bandinių mišinio sudėtys: 1 – portlandcementis, 2 – portlandcementis : smėlis, 3 – portlandcementis : smėlis : atliekos 5 %, 4 – portlandcementis : smėlis : atliekos 10 %, 5 – portlandcementis : smėlis : atliekos 15 %, 6 – portlandcementis : smėlis : polipropeno pluoštas)



20 pav. *Stiprio gniuždam, perskaičiuoto prie 600 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $1,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$, priklausomybė nuo bandinių mišinio sudėties.* (Bandinių mišinio sudėtys: 1 – portlandcementis, 2 – portlandcementis : smėlis, 3 – portlandcementis : smėlis : atliekos 5 %, 4 – portlandcementis : smėlis : atliekos 10 %, 5 – portlandcementis : smėlis : atliekos 15 %, 6 – portlandcementis : smėlis : polipropeno pluoštas)



21 pav. *Stiprio gniuždam priklausomybė nuo akyto betono atliekų naudojamo kiekio.* (1 – perskaičiuoto prie 400 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $2,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$, 2 – perskaičiuoto prie 500 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $1,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$, 3 – perskaičiuoto prie 600 kg/m^3 tankio, kai putų kiekis $1,0 \text{ dm}^3/\text{kg}$)

4.4. Gaminių struktūra

Gaminių struktūra nustatoma apskaičiuojant bandinių bendrąjį poringumą, bei atvirų ir susisiekiančių porų tūrį. Šie duomenys išreiškiami procentais ir apskaičiuojamas koeficientas K , kuris yra atvirų ir susisiekiančių porų tūrių santykis su bendruoju poringumu.

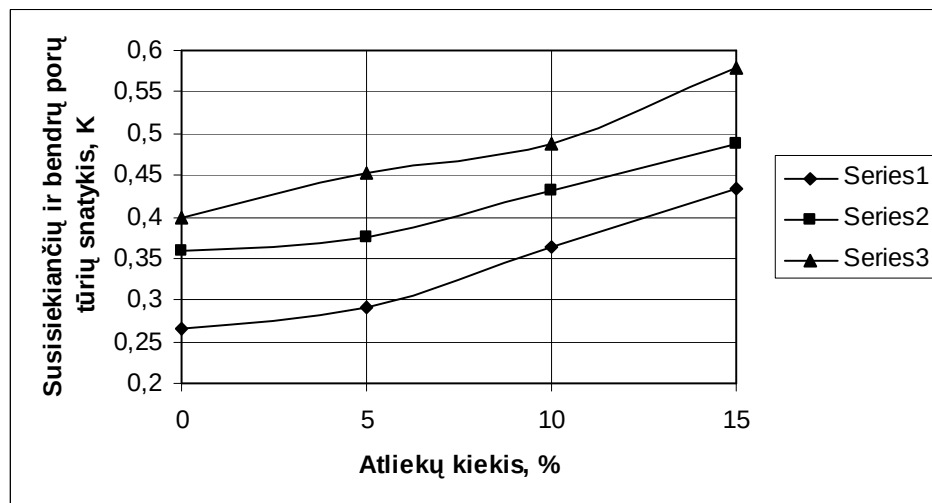
Gauti rezultatai pateikti 19 lentelėje ir 22 paveiksle.

19 lentelė. Bendrasis poringumas, susisiekiančios poros ir susisiekiančių ir bendrų porų tūrių santykis

Žymėjimai	Bendras poringumas, BP (%)	Susisiekiančios poros, SP (%)	Susisiekiančių porų ir bendrojo poringumo santykis; $K = SP/BP$
I – 1	91,5	29,6	0,323
I – 2	88,5	29,9	0,337
I – 3	86,2	30,9	0,358
II – 1	93,2	24,7	0,265
II – 2	87,5	31,5	0,360
II – 3	86,4	34,4	0,398
III – 1A	91,7	24,7	0,291
III – 2A	86,4	32,4	0,375
III – 3A	82,1	37,2	0,453
III – 1B	86,5	31,4	0,363
III – 2B	79,9	34,5	0,432
III – 3B	78,0	38,1	0,488
III – 1C	83,8	36,4	0,434
III – 2C	82,1	40,1	0,488
III – 3C	78,9	45,8	0,580
IV – 1	90,5	27,0	0,298
IV – 2	88,5	29,9	0,337
IV – 3	84,7	32,9	0,388

Ruoštų bandinių struktūra pagrįste priklauso nuo gaminių tankio ir bandinių mišinio sudėties, t.y. nuo naudoto putų kiekio ir į mišinį dedamų priedų. Didžiausias bendrasis poringumas 93,2 %, mažiaus susisiekiančių porų kiekis 24,7 % ir mažiausias koeficientas $K = 0,265$ gautas kontrolinių bandinių, kurių sudėtis cementas, smėlis ir dėta 2,0 l/kg putų (19 lentelė, II–1 bandinys). Kuo koeficientas K mažesnis tuo gaminyje didesnis bendrasis poringumas ir mažiau susisiekiančių porų. Į akyto betono mišinį dedant mažiau putų poringumas mažėja, o susisiekiančių porų kiekis didėja. Dalį smėlio pakeitus akytojo betono gamybos atliekomis koeficientas K pradeda didėti (22 pav.). Į betoną įmaišius 5 % atliekų koeficiento K padidėjimas nedidelis $K = 0,291$ (kai putų kiekis 2,0 l/kg), nes purtingumo ir susisiekiančių porų pokyčiai gaunami nedideli. Didinant gamybos atliekų kiekį akytbetono mišinyje iki 10–15 % gaminių struktūra prastėja, atsiranda daugiau susisiekiančių porų, koeficientas K pakyla iki 0,434 esant 15 % atliekų ir 2,0 l/kg putų (22 pav., 1 kreivė). Prasčiausios struktūros bandiniai gauti naudojant 15 % akyto betono atliekų, kai putų kiekis 1,0 l/kg (22 pav., 3 kreivė).

Išnagrinėjus gautus rezultatus matome, kad gamybos atliekų panaudojimas blogina gaminių struktūrą, tačiau mažas atliekų kiekis sukelia labai nedidelius poringumo ir susisiekiančių porų kiekio pokyčius. Todėl optimaliausias akytojo betono gamybos atliekų kiekis 5 % nuo kietųjų medžiagų kiekio.



22 pav. *Susisiekiančių ir bendrųjų porų tūrio santykių priklausomybė nuo į mišinį dedamų akytojo betono gamybos atliekų ir putų kiekio* (1 – kai putų kiekis 2,0 dm³/kg, 2 – kai putų kiekis 1,5 dm³/kg, 3 – kai putų kiekis 1,0 dm³/kg)

5. IŠVADOS

- Išanalizavę literatūrą galime teigti, kad nepakankamai yra ištirtas akytojo betono gamybos atliekų panaudojimas putų cementbetonio gamybai. Gana nedaug literatūroje rasta duomenų apie atliekų kiekio įtaką putų cementbetonio savybėms.

- Akytojo betono gamybos būdai priklauso nuo daugelio faktorių, tokių kaip naudojamos rišamosios medžiagos rūšis, užpildų rūšis bei forma, vandens ir kietųjų medžiagų santykis, kietinimo pobūdis, porodarių prigimtis, savybės bei sąveika su kitais mišinio komponentais.

- Bandymais nustatyta, kad daugiausiai išputojantis tirpalas 4 % koncentracijos „Ufapore CC“ (putų stulpelio aukštis 265 mm), o mažiausiai 2 % koncentracijos Sulfonolo – kaulų klijų (putų stulpelio aukštis 235 mm). Tačiau stabiliausios putos išplaktos iš 2 % koncentracijos Sulfonolo – kaulų klijų tirpalo (putokšlio išsiskyrimas per 60 min. 36,6 ml). Iš „Ufapore CC“ tirpalo išplaktų putų putokšlio išsiskiria beveik tris kartus daugiau 91,8 ml. Kadangi gaminių formavimui putų stabilumas yra svarbesnis tolimesniems bandymams buvo pasirinktas 2 % Sulfonolo – kaulų klijų tirpalas.

- Eksperimentiniai tyrimai parodė, kad putų cementbetonio tankis priklauso nuo į mišinį dedamų putų kiekio. Didinant putų kiekį, tankis mažėja. Mažiausias tankis 492 kg/m^3 , buvo gautas kontrolinių bandinių į mišinį dedant 2,0 l/kg putų. Sumažinus putų kiekį iki 1,0 l/kg bandinių tankis padidėjo 43,3 % t.y. iki 705 kg/m^3 . Didžiausias tankis gautas, kai akytojo betono gamybai naudota 15 % gamybos atliekų. Šiame mišinyje putų kiekų sumažinus nuo 2,0 iki 1,0 l/kg bandinių tankis padidėjo 29,9 %.

- Naudojant vienodą putų kiekį, gaminių tankis didėja didinant akytojo betono gamybos atliekų kiekį bandinių mišinyje. Esant 2,0 l/kg putų kontrolinių gaminių tankis – 492 kg/m^3 , pridėjus 5 % atliekų tankis padidėjo 16,5 % t.y. iki 573 kg/m^3 . Įmaišius 10 ir 15 % betono atliekų, tankis padidėjo atitinkamai iki 754 ir 870 kg/m^3 . Didinant atliekų kiekį betono mišinyje V/K nebuvo keičiamas, todėl norint sumažinti bandinių tankį naudojant maltas akytojo betono gamybos atliekas reikėtų didinti vandens ir kietųjų medžiagų santykį.

- Nustatyta, kad didžiausias gniuždomasis stipris gaunamas į akytojo betono mišinį įdėjus 5 % maltų betono atliekų, naudojant 2,0 l/kg putų, stipris gniuždant perskaičiuotas prie 400 kg/m^3 tankio yra 1,2 MPa, tuo tarpu kontrolinių bandinių stipris 0,9 MPa. Toliau didinant atliekų kiekį stipris gniuždant mažėja, esant 10 % atliekų gaminių stiprumas 1,1MPa, padidinus iki 15 % – stipris gniuždant susilygina su kontrolinių bandinių stiprumu.

- Suformuotų gaminių iš putų cementbetonio geriausia struktūra, esant 2,0 l/kg putų kiekiui, kontrolinių bandinių $K = 0,265$, bendrasis poringumas 93,2 %, atvirų ir susisiekiančių porų 24,7 %. Mažinant putų kiekį ir į aktytąjį betoną įmaišant maltų gamybos atliekų, susisiekiančių porų daugėja, bendrasis poringumas mažėja, o koeficientas K didėja. Didžiausios koeficiento K reikšmės gautos naudojant 15 % atliekų ir 1,0 l/kg putų.

LITERATŪRA

1. *Бурлаков, Г.С.* Технология изделий из легкого бетона. Москва, Высшая школа, 1986. 296 с.
2. *Marčiukaitis G.* Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo principai. Vilnius „Technika“ 1998, 135 p.
3. *Laukaitis, A.* Aktyjų betonų formavimo mišinių ir gaminių savybės. Monografija. Vilnius: Technika, 2000. 231 p.
4. LST 1436:1996. Autoklaviniai silikatiniai gaminiai. Terminai ir apibrėžimai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas. 47 p.
5. *Бурлаков, Г.С.* Технология изделий из легкого бетона. Москва, Высшая школа, 1986. 296 с.
6. LST 1469:1997. Aktyvieji betonai/ Bendrieji techniniai reikalavimai, 17 p.
7. *Комар, А. Г.* Строительные материалы и изделия. Москва, Высшая школа, 1976. 535 с.
8. *Jasiukevičius, V.; Kapačiauskas, J.; Lasys, A.* ir kt. Silikatų technologijos pagrindai. Vilnius:1963, 380 p.
9. *Пинскер, В. К.* Вопросы трещиностойкости и допустимой влажностной усадки ячеистых бетонов. Саратов-Пенза. 1969, 578 с.
10. LST 1469:2000 Autoklavinis aktyšasis betonas. Bendrieji techniniai reikalavimai ir atitikties įvertinimas. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas. 13 p.
11. *Malakauskas, M.* Gelžbetoninių gaminių technologijos. Vilnius: Mokslo, 1990. 286p.
12. *Kazragis A.* Statybinių medžiagų žaliavos Lietuvoje. Vilnius: Technika, 1994, 125 p.
13. *Balandis A.* ir kiti Silikatų technologijos pagrindai. V.: Mokslo ir enciklopedijų leidykla, 1995, 437 p.
14. LST 1273 – 92. Silikatinų plytų ir aktybetonų smėlis.
15. LST EN 197 - 1:2001. Cementas. 1 Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai. Lietuvos standartizacijos departamentas, TK 25. Vilnius,2004.
16. LST 1469:2000. Autoklavinis aktyšasis betonas. Bendrieji techniniai reikalavimai ir atitikties įvertinimas.
17. www.penobeton.ru
18. www.sciencedirect.com

19. LST EN 1351:2000. Autoklavinio akytojo betono stiprio lenkiant nustatymas.
20. LST EN 1353:2000. Autoklavinio akytojo betono drėgnio nustatymas.
21. *Тихомиров, В. К.*; Пеня. Теория и практика палучения и разрушения. М. Химия. 1975. 263 с.
22. LST EN 680:2000. Autoklavinio akytojo betono susitraukimo džiustant nustatymas.
23. *Кутайцев, В. А.* Технология теплоизоляционных материалов. Москва. 1970. 384 с.
24. *Martusevičius, M.; Kaminskas, R.* Rišamųjų medžiagų cheminė technologija. Kaunas: Technologija, 2002.
25. LST EN 197-1:2000. Cementas. 1 dalis. Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai.
26. *Горлов, Ю. П.* Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. Москва: Высшая школа, 1989. 384 с.
27. LST 1273-92. Silikatinių plytų ir akytbetono smėlis. Techniniai reikalavimai
28. *Laukaitis, A.* Technologinių veiksnių įtaka akytojo betono formavimo mišinių ir produkto savybėms. Kaunas. 1999. 101 p.
29. *Laukaitis, A.; Sinica, M.* Beautoklavis akytasis betonas ir kompozitiniai jo gaminiai. Monografija. Vilnius: Technika, 2006. 236p.
30. *Girnenė, I.; Laukaitis, A.; Dudik, A.* Mineralinių priedų įtaka putų stabilumui. Konf. „Chemija ir cheminė technologija“. Kaunas, 2000 p.
31. *Киселев, Д. П.; Кудрявцев, А. А.* Поризированные легкие бетоны. Стройиздат, 1966. 10 с.
32. www.penostroy.ru
33. LST EN 1352:2000. Autoklavinio akytojo betono ir atitvaros struktūros lengvų užpildų betono statinio tamprumo modulio nustatymas gniuždant. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas. 8 p.
34. LST EN 1355:2000. Autoklavinio akytojo betono ir atitvaros struktūros lengvų užpildų betono valkšnumo deformacijų nustatymas gniuždant. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas. 8 p.
35. *Laukaitis, A. Žvironaitė, J; Gnip, I.* Akytojo betono atitikties įvertinimo problemos// Konferencijos „Betonas ir gelžbetonis: dabartis ir ateitis“ medžiaga. Kaunas: Technologija, 1999. 44 – 46 p.
36. *Кратеников, А. Н.* Автоклавный термоизолирующий пенобетон. М. Госэнергоиздат. 1959. 235 с.

37. *Laukaitis, A.* Akytojo betono sudėčių skaičiavimas ir jo savybių tyrimų metodikos. Vilnius: Termoizoliacija, 1996.
38. LST EN 772-13 Mūro gaminių bandymo metodai (13 dalis) Mūro gaminių (išskyrus gamtinio akmens) neti ir tariamojo (bruto) sausojo tankio nustatymas.
39. *Laukaitis, A.* Kai kurių akytojo betono savybių prognozavimas Cheminė technologija. Kaunas: Technologija, 1999.
40. *Laukaitis, A.* Dujų betono su mišria rišančiąja medžiaga formavimo ypatumų tyrimai. Statyba, Nr.4(4). Vilnius: Technika, 1995.
41. *Laukaitis, A.* Technologinių veiksnių įtaka akytojo betono formavimo mišinių ir produkto savybėms. Hab. Darbas. Kaunas, 1999.
42. LST EN 772-1 Mūro gaminių bandymo metodai (1 dalis) Stiprio gniuždant nustatymas.
43. www.teplostroy.com
44. LST EN 678:2000. Autoklavinio akytojo betono tankio nustatymas.
45. LST EN 772-11 Mūro gaminių bandymo metodai (11 dalis) Užpildų betono, autoklavinio akytojo betono, dirbtinio ir gamtinio akmens, mūro gaminių kapiliarinės vandens įgerties ir keraminių mūro gaminių pradinės vandens įgerties spartos nustatymas.
46. LST EN 679:2000. Autoklavinio akytojo betono stiprio gniuždant nustatymas.
47. LST EN 772-4 Mūro gaminių techniniai reikalavimai (4 dalis) Autoklavinio akytojo betono mūro gaminiai.
48. *Laukaitis, A.; Dudik, A.; Kazlauskienė, M.; Laukaitis, A.* Akytbetono formavimo mišinių rišimosi kinetikos tyrimai / Termoizoliacijos instituto darbai. Vilnius: Termoizoliacija, 1994.
49. *Laukaitis, A.; Kunskaite, L.J.* Mažo tankio akyto betono oro laidumo tyrimai // Statyba, Nr.3(7). Vilnius: Technika, 1996, 45p.
50. *Laukaitis, A.; Dudik, A.; Kerienė, J.* Pluoštinių priedų įtaka putų cementbetonio mikrostruktūrai ir fizikinėms mechaninėms savybėms.// Cheminė technologija, Nr 3. Kaunas: Technologija, 1999, 87 – 92 p.
51. www.concret.ru
52. *Laukaitis, A.* Technologinių veiksnių įtaka putų cementbetonio formavimo mišinių ir gaminių savybėms. Statyba, Nr. 3(11). Technika, 1997.
53. *Laukaitis, A.* Technologinių veiksnių įtaka putų-dujų silikatbetonio formavimo mišinių ir produkto savybėms // Statyba, IV tomas, Nr. 1. Vilnius: Technika, 1998, 55p.
54. www.ibeton.ru
55. *Laukaitis, A.; Fiks, B.* Acoustical properties of aerated autoklaved concret.