

VANDENS ĮGERTĮ MAŽINANČIŲ CHEMINIŲ PRIEDŲ ĮTAKA SMULKIAGRŪDŽIŲ BETONŲ SAVYBĖMS

Ieva Ragaišytė¹, Mindaugas Daukšys², Albertas Klovas³

¹UAB „Betonika“, Naglio g. 4, LT-52367 Kaunas, Lietuva

^{2, 3}Kauno technologijos universitetas, Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva

El. paštas: ¹ieva_ragaišyte@yahoo.com; ²mindaugas.dauksys@ktu.lt; ³albertas.klovas@gmail.com

Įteikta 2011 10 19; priimta 2011 12 02

Santrauka. Atliekant eksperimentinius tyrimus, nustatyta vandens įgertį mažinančių cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu įtaka betono mišinio technologinėms bei sukietėjusio betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms bei poringumui. Tyrimams buvo suprojektuotos šešios betono mišinio sudėtys naudojant skirtingos koncentracijos silanų/siloksanų pagrindu pagamintus cheminius priedus. Nustatyta, kad naudojant skirtingos koncentracijos silanų pagrindu pagamintus cheminius priedus, betono mišinio Vebe trukmė sumažėjo iki 1,78 karto, palyginti su kontroliniu mišiniu be cheminių priedų silanų pagrindu. Silanų/siloksanų pagrindu pagaminti cheminiai priedai, dedant jų 0,1–0,4 % nuo mišinio masės, didesnės įtakos bandinių tankiui neturėjo. Betono bandinių lenkimo stipris sumažėjo apie 27,4 %, gniuždymo stipris sumažėjo apie 34,6 %, o skėlimo stipris sumažėjo apie 34,7 %, palyginti su kontroliniu bandiniu. Betono bandinių be priedų silanų pagrindu vandens įgertis kinta nuo 2,61 % iki 4,09 %, o su priedais silanų pagrindu kinta nuo 1,49 % iki 4,14 %. Remiantis betono čerpių bandymo metodu, vandens nepraleido tie betono bandiniai, kuriuose buvo panaudotas cheminis priedas silanų pagrindu. Visi betono bandiniai išlaikė 100 ciklų atsparumo šalčiui bandymą.

Reikšminiai žodžiai: cheminiai priedai, silanai/siloksanai, betono mišinys, betonas, fizikinės ir mechaninės savybės, poringumas, atsparumas šalčiui.

1. Įvadas

Iš smulkiagrūdžio betono mišinio pagal vibracinio presavimo technologiją pagamintoms betoninėms čerpėms būdinga išskirtinė išvaizda, jų aukšta atsparumo ugniai klasė, geros ilgaamžiškumo, stiprumo ir patvarumo savybės. Čerpės taip pat atlaiko didelius krūvius – sniegą, rudenines liūtis ir panašiai. Čerpės gaminamos iš betono mišinio masės, kuri nudažoma įvairių spalvų pigmentais, o viršutinis čerpės paviršius dar padengiamas akrilinais dažais vandens pagrindu (Naujokaitis 2007). Tai ekologiška danga, kuri nedaro žalos aplinkai, o pakeistos dangos nereikia utilizuoti, duženas galima panaudoti kitiems statybos darbams – betonuoti, keliui įrengti ir pan. Betoninėms čerpėms labai svarbios tokios savybės, kaip paviršiaus lygumas ir poringumas, nes kuo lygesnis čerpės paviršius, tuo

mažiau nešvarumų ant jo kaupsis. Nedidelis poringumas vis dėlto pageidautinas, kad čerpė galėtų sugerti ir išgarinti kylantį iš namo drėgną ir šiltą orą, neleisdama ant savo paviršiaus kauptis kondensatui ir susidaryti vandens lašams (Betonwerk... 2003).

Siekiant sumažinti šių čerpių masinę vandens įgertį naudojami jų mažinantys cheminiai priedai. Jie padeda apsaugoti paviršius nuo drėgmės. Sugeriamo vandens kiekis daugiausia priklausys nuo kapiliarinių porų kiekio betone. Dėl šių priedų betono paviršius tampa hidrofobinis, o vanduo, atsiradęs ant šio paviršiaus, susitelkia vienoje vietoje ir neišsiskverbia į medžiagą, poros lieka atviros, t. y. „kvėpuojančios“, todėl drėgmė, esanti porose, gali lengvai pasišalinti į išorę.

Betono struktūroje porų susidaro dėl daugelio priežasčių, pavyzdžiui, įdėjus orą įsiurbiančių priedų,

išryškėjus gamybos technologijos netobulumams, netinkamai parinkus betono mišinio sudėtį, nepakankamai sutankinus betono mišinį, taip pat porų gali atsirasti dėl temperatūrinių ir susitraukimo deformacijų. Skiriamas atviras (kapiliarinis) ir uždaras (oro kiekis cementiniame akmenyje) poringumas. Dėl betone esančių porų jo struktūrai poveikį daro chloridai, deguonis ir anglies dioksidas, dėl kurių įtakos gali prisidėti korozija. Betono poringumas, porų ir kapiliarų dydis, jų pasiskirstymas ir pobūdis turi įtakos jo atsparumui šalčiui (Stroeven *et al.* 2010; Skripiūnas 2007).

Atviros poros ir kapiliarai susidaro pasišalinant laisvajam vandeniui iš betono. Tokių porų skaičius ir dydis priklauso nuo vandens ir cemento santykio. Uždarosios poros formuojasi iš aplinkos įtraukiant orą ir dėl kietėjančio cementinio akmens kontrakcijos (Vektaris, Vilkas 2006; Safiuddin, Hearn 2005).

Betono atsparumą šalčiui mažina atviros poros ir kapiliarai. Atvirų porų dydis, tūris ir išsidėstymas lemia susidariusio ledo kiekį vandeniui užšalant. Paprastai, esant tam tikram temperatūrų intervalui, didesnis užšalusių porų skaičius paveikia didesnę hidraulinę slėgį. Betono irimas dėl šalčio poveikio – dažnas betoninių konstrukcijų destrukcijos atvejis. Cikliška šaldomas ir šildomas vandens prisotintas betonas gali suirti. Pagrindinė irimo, trūkinėjimo priežastis ta, kad gaminio porose užšalancio vandens, virtusio ledu, tūris užima 9 % didesnę tūrį nei vanduo. Todėl ledo kristalai slekia medžiagos porų ir kapiliarų sienutes, plečia visą gaminį ir gali jį suardyti (Zuber, Marchand 2000; Cai, Liu 1998; Micah Hale *et al.* 2009). S. Chatterji (2003) iš atliktų tyrimų rezultatų sprendė, kad ledas yra labai stipri medžiaga ir jo sukibtis su hidrofilinėmis medžiagomis, kaip kad cementas ir betonas, yra didelė. W. Micah Hale kartu su kitais mokslininkais nustatė, kad vanduo, esantis kapiliarinėse porose, ne visuomet užšąla 0 °C temperatūroje. Šią užšalimo temperatūrą lemia porų dydis ir sudėtis. Kai poros mažėja, temperatūra, reikalinga vandeniui užšalti, taip pat mažėja. Pavyzdžiui, porose, kurių skersmuo 10 nm, vanduo neužšals iki -5 °C, o porose, kurių skersmuo – 3,5 nm, vanduo neužšals iki -20 °C (Shang *et al.* 2009; Coussy, Monteiro 2008; Mehta, Monteiro 2006).

Betono poringumas turi lemiamą įtaką jo stiprumui ir kitoms mechaninėms savybėms. Stiprumas – svarbiausia betono savybė, todėl jo priklausomybė nuo poringumo tyrinėta daugelio mokslininkų (Vodak *et al.* 2004; Shang, Song 2008). Stiprumui turi įtakos bū-

tent tam tikras porų skaičius, dydis ir tipas. Manoma, kad kapiliarinės poros, didesnės nei 50 μm, vadinamos makroporomis, yra žalingos stiprumui ir nelaidumui, o poros, mažesnės kaip 50 μm, vadinamos mikroporomis, labiau susijusios su džiūvimo ir susitraukimo valkšnumu (Song, Kwon 2007).

Vandens įgertį mažinantys priedai gali būti sudaryti iš silanų/siloksanų. Nepaisant to, kad yra nemažai paviršiaus dengimo medžiagų, tokių kaip aliejai, epoksidai, uretanai ir kt., cemento pagrindu pagaminti produktai, silanai ir siloksainai laikomi geriausiais produktais. Remiantis J. Pfeifer teorija, silanai ir siloksanai, prasiskverbę į betoną, reaguoja su hidratavusiu cementu ir šios reakcijos metu produktai padaro porų sienelės hidrofobines ir užtveria kelią vandeniui patekti į jas. Priedų prasiskverbimas ir efektyvumas priklauso nuo poringumo, porų dydžio, porų tęstinumo ir kai kuriais atvejais nuo elektrocheminės porų sienelių sudėties ir tirpalo, esancio porose, sudėties. Taigi šie priedai mažina kapiliarinę medžiagos įgertį, neuždarydami porų ir kapiliarų. Jie pasižymi geru skvarbumu, dideliu atsparumu šarmams, sulauko vandens skverbimąsi į betoną bei sumažina betono irimą dėl šalčio ir druskų poveikio.

Priedai silanų/siloksanų pagrindu visiškai neuždaro porų ir kapiliarų, todėl betoninė čerpė gali sugerti ir išgarinti iš namo kylantį drėgną ir šiltą orą, neleisdama ant savo paviršiaus kauptis kondensatui ir susidaryti vandens lašams.

Tyrimo tikslas – ištirti vandens įgertį mažinančių priedų, pagamintų silanų/siloksanų pagrindu, įtaką smulkiagrūdžių betonų technologinėms, fizikinėms ir mechaninėms savybėms bei poringumui, įmaišant šiuos priedus į ruošiamą mišinį.

2. Tyrimams naudotos medžiagos ir tyrimo metodika

Atliekant tyrimus buvo naudotas portlandcementis CEM II/A-LL 42,5 R (MA) (A), pagamintas AB „Akmenės cementas“ gamykloje. Cemento savitasis paviršius – 360 m²/kg, normalaus tirštumo tešla – 26,4 %, rišimosi pradžia – 190 min., gniuždymo stipris (aktyvumas) po dviejų parų kietėjimo – 29,8 MPa, o po 28 parų – 52,6 MPa.

Tyrimams naudotas Kvesų karjero 0/2 frakcijos smėlis, kurio piltinis tankis – 1670 kg/m³, piltinis tankis sutankintos būklės – 1940 kg/m³. 0/2 frakcijos smėlio granulimetrinė sudėtis pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Smėlio granuliuotinė sudėtis

Table 1. A granulometry composition of fine aggregate sand

Sieto akelių dydis, mm	Išbira, %
4,0	99,7
2,0	92,2
1,0	64,3
0,710	46,5
0,500	39,1
0,25	9,1
0,125	2,4
0,090	0,8
0,063	0,3
0	0

Cheminiu priedu tyrimams naudotas firmos „Reimei GmbH&Co.KG“ (Vokietija) cemento kiekį sumažinantis plastiklis, kurio fizikinės ir cheminės savybės bei dozavimas pateikti 2 lentelėje. Priedas REBAmix 750 (BV) naudojamas betono mišiniuose, iš kurių formuojami grindinio, kelių ir aplinkos tvarkymo elementai: vamzdžiai, mūro blokėliai, presuoti apdailos dirbiniai ir pan. REBAmix 750 (BV) yra universalus priedas ir įprastiniam spalvotam dekoratyviajam betonui.

2 lentelė. Plastiklio REBAmix 750 (BV) techniniai duomenys

Table 2. Technical information on REBAmix 750 (BV) plasticizer

Priedas	Fizikinės ir cheminės savybės	Dozavimas, % cemento masės
REBAmix 750 (BV)	Rudos spalvos skystis; sausųjų medžiagų kiekis sudaro 31,5 %; tirpalo tankis – 1,13 kg/l	0,2–1,0

Tyrimams taip pat buvo naudoti firmos „BASF“ (Vokietija) įvairių spalvų pigmentai miltelių pavidalu betonui Bayferrox 920C (geltoni), Bayferrox 330C (juodi), Bayferrox 130 (raudoni) ir Bayferrox 110 (raudoni).

Betono vandens įgertį mažinančiu cheminiu priedu buvo naudoti „Wacker-Chemie GmbH“ pagaminti cheminiai priedai silanų/siloksanų pagrindu: WACKER BS 1001, SILRES BS 3003, WACKER BS SMK 2101, WACKER BS 1701 ir SILRES BS 290, kurių fizikinės ir cheminės savybės bei dozavimas pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Wacker Silicone cheminių priedų techniniai duomenys

Table 3. Technical information on Wacker Silicone chemical admixtures

Priedas	Fizikinės ir cheminės savybės	Dozavimas, % nuo mišinio masės
WACKER BS 1001	Baltos spalvos skystis; silanų/siloksanų kiekis priede ~50 %; tirpalo tankis ~0,95 kg/l; tirpalo dinaminė klampa – 12 mPa·s; pH – 8	0,1–0,2
SILRES BS 3003	Baltos spalvos skystis; silanų/siloksanų kiekis priede ~60 %; tirpalo tankis ~0,95 kg/l; tirpalo dinaminė klampa – 12 mPa·s; pH – 8	0,4
WACKER BS SMK 2101	Gelsvos spalvos skystis; silanų/siloksanų kiekis priede ~100 %; tirpalo tankis ~0,90 kg/l; tirpalo dinaminė klampa – 4 mPa·s; užsiliepsnojimo temperatūra – 25 °C	0,05–0,1
WACKER BS 1701	Bespalvis skystis; silanų kiekis priede ~99 %; molekulinė masė – 276 g/mol; tirpalo tankis ~0,90 kg/l; tirpalo dinaminė klampa – 1,9 mPa·s; užsiliepsnojimo temperatūra – 70 °C; virimo temperatūra, esant 14 hPa, 112 °C	0,2
SILRES BS 290	Bespalvis skystis; silanų/siloksanų kiekis priede ~100 %; tirpalo tankis ~1,05 kg/l; tirpalo dinaminė klampa – 15–19 mPa·s; užsiliepsnojimo temperatūra – 42 °C	0,2

3. Tyrimų metodika

Betono mišiniai buvo maišomi laboratorinėje priverstinio maišymo maišyklėje apie 3 min. Cementas, smulkusis užpildas ir pigmentas buvo dozuojami pagal masę, o vanduo ir cheminiai priedai – pagal tūrį. Betono mišiniams paruošti buvo naudojamas sausasis smulkusis užpildas. Tirpalo pavidalu plastiklis buvo įmaišomas į mišinius kartu su vandeniu, naudojamu mišiniams paruošti. Plastiklio į betono mišinį dėta 1,0 % cemento masės. Cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu dėta 0,1–0,4 % nuo mišinio masės. Šie priedai tirpalo pavidalu buvo dozuojami kartu su reikiamu vandens kiekiu betono mišiniui paruošti. Pigmento miltelių pavidalu buvo dėta 4 % cemento masės. Prieš maišant betono maišyklėje pigmentas buvo permaišomas kartu su cementu. Į sudrėkintą be-

tono maišyklę supilamas cementas kartu su pigmentu, smulkusis užpildas ir vanduo (kartu su cheminiais priedais).

Betono bandiniai $250 \times 250 \times 30$ mm (betoninių čerpių imitacija) buvo formuojami metalinėse formose tankinant betono mišinius ant laboratorinės vibracinės aikštelės kartu su 30 kg masės priekrova. Betono bandiniai $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm buvo formuojami metalinėse formose tankinant betono mišinius ant laboratorinės vibracinės aikštelės kartu su 12 kg masės priekrova. Bandiniai buvo kietinami 28 paras režimo kameroje standartinėmis sąlygomis: temperatūra – 20 ± 2 °C, santykinis oro drėgnis – daugiau kaip 90 %.

Betono mišinio konsistencija buvo nustatyta matuojant Vebe trukmę pagal standarto LST EN 12350-3 keliamus reikalavimus, o betono mišinio tankis – pagal LST EN 12350-6.

Betono bandinių $250 \times 250 \times 30$ mm matmenų vandens nepralaidumas nustatytas pagal standarto LST EN 491+AC (Betoninės čerpės. Bandymo metodai) keliamus reikalavimus. Bandomi bandiniai iki bandymo išlaikomi mažiausiai 20 val. aplinkoje, kurios temperatūra – nuo 15 °C iki 30 °C ir santykinis oro drėgnis – ne mažesnis kaip 40 %. Hermetiškas rėmas (šiuo atveju žiedas) uždedamas ant bandomo bandinio ir užsandarinamas naudojant silikoninį hermetiką (1 pav.). Bandinys laikomas taip, kad jis nuo horizontalios padėties nenukryptų daugiau kaip 10°. Vanduo pilamas ant bandinio taip, kad jo sluoksnis virš paviršiaus būtų 15 mm. Bandinys padedamas ant tam tikrų atramų (1 pav.), kad būtų pastebimi krintantys lašai, ir laikomas 20 val. patalpoje, kurios temperatūra – nuo 15 °C iki 30 °C, santykinis oro drėgnis – ne mažesnis kaip 40 %.

Betono tankis nustatytas pagal LST EN 12390-7 standarto reikalavimus, gniuždymo stipris – pagal LST EN 12390-3, lenkimo stipris – pagal LST EN 12390-5, skėlimo stipris – naudojant pasigamintą rėmelį. Betono atsparumas šalčiui nustatytas pagal standartą LST L 1428.17.



1 pav. Betono bandinių vandens nepralaidumo bandymas
Fig. 1. A test on concrete waterproofing properties

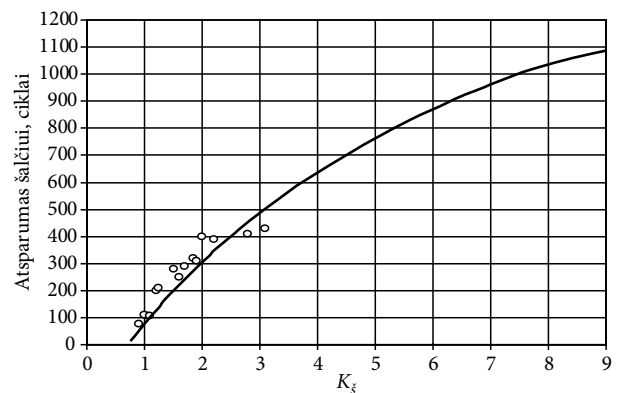
Betono poringumo parametrai nustatyti matuojant vandens įgerties kinetiką pagal GOST 12730.4. Pagal šią metodiką nustatomas atviras (kapiliarinis) poringumas, bendras poringumas ir uždaras cementinio akmens poringumas (įtrauktas oras betone). Taip pat nustatyti porų dydį apibūdinantys santykiniai rodikliai: λ – vidutinio porų dydžio rodiklis ir α – porų vienodumo rodiklis.

Remiantis Sheikin ir Dobshic (1989) bei Tumosa su bendraautoriais (2010), žinant minėtus poringumo parametrus galima prognozuoti betono atsparumą šalčiui pagal atsparumo šalčiui kriterijų:

$$K_s = \frac{P_u}{0,09 \cdot P_a}, \quad (1)$$

čia K_s – atsparumo šalčiui kriterijus; P_u – uždaras betono poringumas (oro kiekis), %; P_a – atviras (kapiliarinis) betono poringumas, %.

Žinant betono atsparumo šalčiui kriterijų K_s , galima prognozuoti užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičių, kurį atlaikys betonas pagal empirinę priklausomybę (Skripkiūnas et al. 2008), pateiktą 2 pav.



2 pav. Betono atsparumo šalčiui priklausomybė nuo atsparumo šalčiui kriterijaus

Fig. 2. Dependence of concrete resistance to frost on the criterion of resistance to frost

4. Tyrimų rezultatai

Tyrimams naudotų betono mišinių sudėtys pateiktos 4 lentelėje. Betono mišinio konsistencijos matavimo rezultatai pateikti 3 pav. Iš šio paveikslo matyti, kad didžiausia betono mišinio Vebe trukmė gauta kontrolinio mišinio (B1 sudėtis), t. y. be cheminių priedų silanų pagrindu, bei naudojant priedą WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis). Betono mišinio su priedu WACKER BS 1001, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis) ir

4 lentelė. Betono mišinių sudėtys

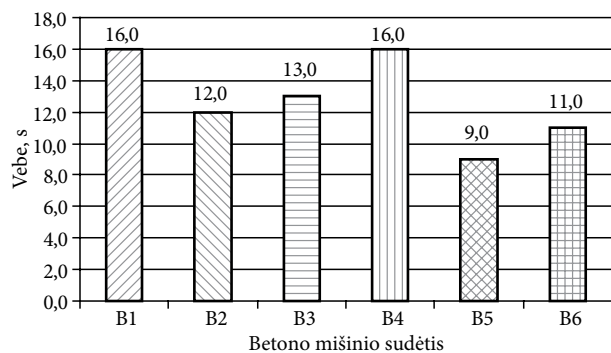
Table 4. Compositions of concrete mixtures

Medžiaga	Medžiagų kiekis 1 m ³ mišinio, kg					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Cementas CEM II/A-LL 42,5 R (MA)	403	403	403	403	403	403
Vanduo	162	162	162	162	162	162
V/C	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Smėlis 0/2 frakcija	1874	1874	1874	1874	1874	1874
Rebamix 750 (BV) (1,0 %)	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03
Bayerferrox 920C (4 %)	0	0	0	0	0	0
Bayerferrox 330C (4 %)	0	16,1	0	0	0	0
Bayerferrox 130 (4 %)	0	0	16,1	0	0	0
Bayerferrox 110 (4 %)	0	0	0	16,1	0	0
Bayerferrox 110+320C (4 %)	0	0	0	0	16,1	0
Bayerferrox 130+920C (4 %)	0	0	0	0	0	16,1
Cheminiai priedai silanų pagrindu	0	0	0	0	0	0
WACKER BS 1001 (0,1 %)	0	2,5	0	0	0	0
SILRES BS 3003 (0,4 %)	0	0	9,8	0	0	0
WACKER BS SMK 2101 (0,1 %)	0	0	0	2,5	0	0
WACKER BS 1701 (0,2 %)	0	0	0	0	4,9	0
SILRES BS 290 (0,2 %)	0	0	0	0	0	4,9

priedu SILRES BS 3003, kurio dėta 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), Vebe trukmė sumažėja apie 1,23 karto, lyginant su kontroliniu mišiniu. Betono mišinio su priedu SILRES BS 290, kurio dėta 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), Vebe trukmė sumažėja apie 1,45 karto, lyginant su kontroliniu mišiniu. Mažiausia Vebe trukmė gauta betono mišinio su priedu WACKER BS 1701, kurio dėta 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis), t. y. Vebe trukmė sumažėja apie 1,78 karto, palyginti su kontroliniu mišiniu (B1 sudėtis). Betono mišinių B1, B2, B3, B4 ir B6 Vebe trukmės atitinka V2 konsis-

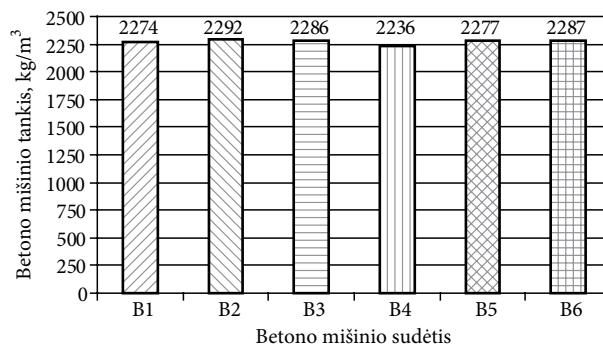
tencijos klasę (pagal LST EN 12350-3), betono mišinio B5 – V3 konsistencijos klasę. Cheminiams priedams WACKER BS 1701 (0,2 %) ir SILRES BS 290 (0,2 %) įterpti į betono mišinį buvo naudojamas spiritas, t. y. šių priedų tirpalai buvo skiedžiami etilo alkoholio vandeniniu tirpalu santykiu 1:7. Betono mišinių Vebe trukmės su minėtais priedais buvo gautos mažiausios.

Betono mišinio tankio kitimas, atsižvelgiant į mišinio sudėtį, pateiktas 4 pav. Iš šio paveikslo matyti, kad betono mišinio tankis be cheminių priedų silanų pagrindu gautas 2274 kg/m³ (B1 sudėtis). Dedant



3 pav. Betono mišinio Vebe trukmės kitimas

Fig. 3. Changes in the Vebe time-span of the concrete mixture



4 pav. Betono mišinio tankio kitimas

Fig. 4. Changes in the density of the concrete mixture

priedo WACKER BS 1001 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis), betono mišinio tankis, palyginti su kontroliniu mišiniu, padidėja apie 0,78 %; dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), padidėja apie 0,52 %; dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis), padidėja apie 0,13 %; dedant priedo SILRES BS 290 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), padidėja apie 0,57 %. Mažiausias betono mišinio tankis gautas dedant priedo WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis), t. y. mišinio tankis, palyginti su kontroliniu mišiniu, sumažėja apie 1,67 %.

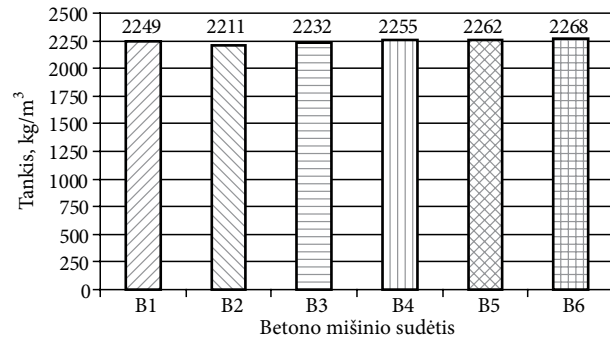
Betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm matmenų tankio kitimas, atsižvelgiant į mišinio sudėtį, pavaizduotas 5 pav. Iš šio paveikslėlio matyti, kad kontrolinių betono bandinių tankis gautas 2249 kg/m^3 (B1 sudėtis). Mažiausias betono bandinių tankis (2211 kg/m^3) gautas dedant priedo WACKER BS 1001 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis), t. y. betono bandinių tankis, palyginti su kontroliniu bandinių tankiu, sumažėja apie 1,69 %. Didžiausias betono bandinių tankis (2268 kg/m^3) gautas dedant priedo SILRES BS 290 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), betono tankis padidėja apie 0,84 %. Dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), betono bandinių tankis, palyginti su kontroliniu bandinių tankiu, sumažėja apie 0,76 %; dedant priedo WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis), padidėja apie 0,27 %; dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis), padidėja apie 0,58 %.

Betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm matmenų po 28 parų kietėjimo gniuždymo stiprio kitimas, atsižvelgiant į betono mišinio sudėtį, pavaizduotas 6 pav.

Iš šio paveikslėlio matyti, kad kontrolinių betono bandinių gniuždymo stipris gautas 43,1 MPa (B1 sudėtis). Mažiausias betono bandinių gniuždymo stipris (29,6 MPa) gautas dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis), t. y. betono gniuždymo stipris, lyginant su kontroliniu, sumažėja apie 31,3 %. Didžiausias betono gniuždymo stipris (44,1 MPa) gautas dedant priedo WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis), betono gniuždymo stipris, palyginti su kontroliniu stipriu, padidėja apie 2,32 %. Dedant priedo WACKER BS 1001 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis), betono bandinių gniuždymo stipris, palyginti su kontroliniu stipriu, sumažėja apie 19,0 %; dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), sumažėja apie 17,6 %; dedant priedo SILRES BS 290 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), sumažėja apie 19,3 %.

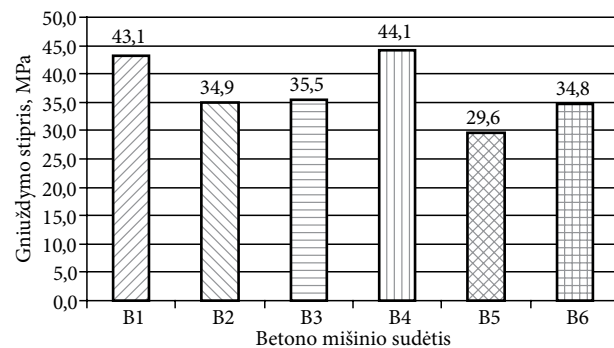
Betono su priedais WACKER BS 1701 (dėta 0,2 % nuo mišinio masės) ir SILRES BS 290 (dėta 0,2 % nuo mišinio masės) gniuždymo stipris gaunamas mažiau – atitinkamai 29,6 MPa ir 34,8 MPa. Minėtų priedų tirpalai buvo skiedžiami etilo alkoholio vandeniniu tirpalu santykiu 1:7.

Betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm matmenų skėlimo stiprio kitimas, atsižvelgiant į betono mišinio sudėtį, pavaizduotas 7 pav.



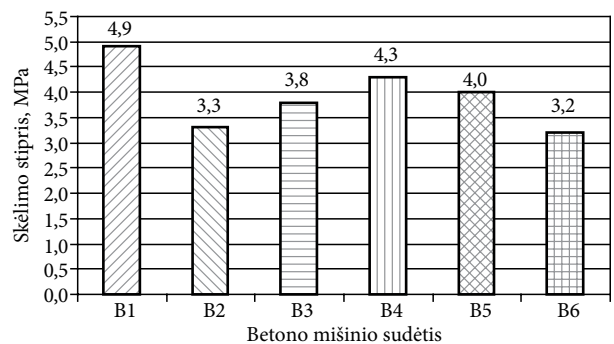
5 pav. Betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm tankio kitimas

Fig. 5. Changes in the density of concrete specimens $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm



6 pav. Betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm gniuždymo stiprio kitimas po 28 parų

Fig. 6. Changes in the compression strength of concrete specimens $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm following 28 days



7 pav. Betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm skėlimo stiprio kitimas po 28 parų

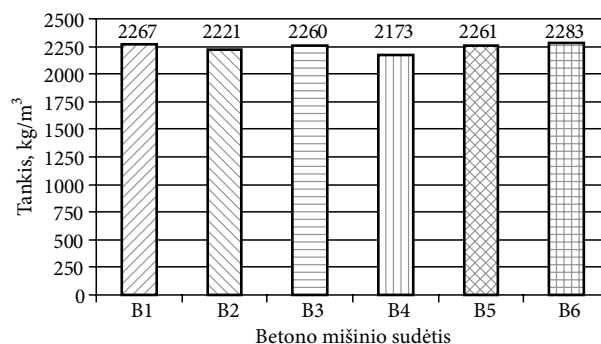
Fig. 7. Changes in the split strength of concrete specimens $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm following 28 days

Iš 7 pav. pateikto grafiko matyti, kad didžiausias skėlimo stipris (4,9 MPa) gautas kontrolinių betono bandinių (B1 sudėtis). Mažiausias skėlimo stipris (3,2 MPa) gautas betono bandinių su priedu SILRES BS 290, kurio dėta 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), t. y. skėlimo stipris, palyginti su kontroliniu, sumažėja apie 34,7 %. Dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), betono bandinių skėlimo stipris, palyginti su kontroliniu stipriu, sumažėja apie 22,4 %; dedant priedo WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis), sumažėja apie 12,2 %; dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis), sumažėja apie 18,4 %.

Betono bandinių 250 × 250 × 30 mm matmenų tankio kitimas, atsižvelgiant į mišinio sudėtį, pavaizduotas 8 pav. Betono bandiniai iš standaus betono mišinio buvo formuojami metalinėse formose tankinant betono mišinius ant laboratorinės vibracinės aikštelės kartu su 30 kg masės priekrova.

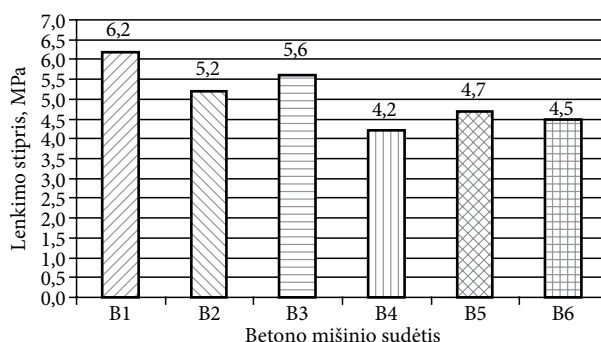
Iš 8 pav. matyti, kad kontrolinių betono bandinių tankis gautas 2267 kg/m³ (B1 sudėtis). Mažiausias betono bandinių tankis (2173 kg/m³) gautas dedant priedo WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis), t. y. betono bandinių tankis, palyginti su kontroliniu bandinių tankiu, sumažėja apie 4,15 %. Betono mišinys su minėtu priedu yra standesnis (Vebe trukmė – 16 sekundžių), toks mišinys sunkiau tankinasi, formuojant gaminius formose (3 pav.). Didžiausias betono bandinių tankis gautas dedant priedo SILRES BS 290 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), betono tankis padidėja apie 0,71 %. Dedant priedo WACKER BS 1001 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis), betono bandinių tankis, palyginti su kontroliniu bandinių tankiu, sumažėja apie 2,03 %; dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), sumažėja apie 0,31 %; dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis), sumažėja apie 0,26 %.

Betono bandinių 250 × 250 × 30 mm matmenų lenkimo stiprio kitimas, atsižvelgiant į mišinio sudėtį, pavaizduotas 9 pav. Iš šiame paveiksle pateikto grafiko matyti, kad didžiausias lenkimo stipris (6,2 MPa) gautas kontrolinių betono bandinių (B1 sudėtis). Mažiausias betono bandinių lenkimo stipris (4,3 MPa) gautas dedant priedo WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis), t. y. betono bandinių lenkimo stipris, palyginti su kontroliniu bandinių stipriu, sumažėja apie 30,6 %. Betono mišinys su minėtu priedu



8 pav. Betono bandinių 250 × 250 × 30 mm matmenų tankio kitimas

Fig. 8. Changing in the density of concrete specimens 250 × 250 × 30 mm



9 pav. Betono bandinių 250 × 250 × 30 mm matmenų lenkimo stiprio kitimas

Fig. 9. Changing in the bending strength of concrete specimens 250 × 250 × 30 mm

yra standesnis (3 pav.), toks mišinys sunkiau tankinasi formuojant gaminius formose. Betono bandinių su priedu WACKER BS SMK 2101 (0,1 %) mažas tankis gali rodyti, kad šių bandinių betono struktūra susiformavo ne iki galo sutankinus mišinį ant vibracinės aikštelės bandinių tankinimo metu metalinėse formose. O tai galėjo turėti įtakos mažiausiam betono bandinių 250 × 250 × 30 mm matmenų lenkimo stipriui.

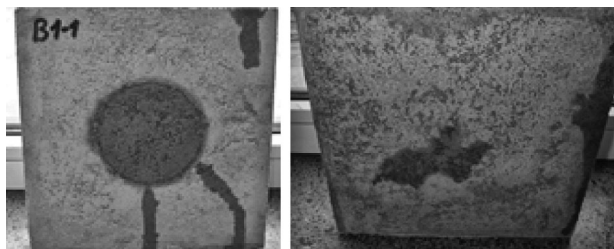
Dedant priedo WACKER BS 1001 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis), betono bandinių lenkimo stipris, palyginti su kontroliniu bandinių stipriu, sumažėja apie 14,5 %; dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), sumažėja apie 9,7 %; dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis) – sumažėja apie 24,2 %; dedant priedo SILRES BS 290 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), sumažėja apie 27,4 %. Betono bandinių su priedais WACKER BS 1701 (0,2 %) ir SILRES BS 290 (0,2 %) lenkimo stipris gautas taip pat mažas, atitinkamai 4,7 MPa ir 4,5 MPa, nors šių bandinių tankis (atitinkami 2261 kg/m³ ir 2283 kg/m³) gautas artimas kontrolinių bandinių tankiui.

10 ir 11 pav. pavaizduoti keli betono bandiniai po vandens nelaidumo bandymo pagal standarto LST EN 491+AC (Betoninės čerpės. Bandymo metodai) keliamus reikalavimus.

Atlikus betono bandinių $250 \times 250 \times 30$ mm matmenų vandens nepralaidumo bandymus buvo nustatyta, kad tik vienas iš trijų kontrolinių betono bandinių (be priedų silanų pagrindu) praleido vandenį. Kitoje šio bandinio pusėje po 20 val. bandymo pasirodė vandens lašai ir atsirado vandens dėmė.

Remiantis J. Pfeifer teorija (2005), silanai ir siloksanai, prasiskverbę į betoną, reaguoja su hidratavusiu cementu ir šios reakcijos metu produktai padaro porų sienelės hidrofobines ir užtveria kelia vandeniui patekti į jas. Priedų prasiskverbimas ir efektyvumas priklauso nuo poringumo, porų dydžio, porų tęstinumo. Taigi šie priedai sumažina medžiagos kapiliarinę įgertį neuždarydami porų ir kapiliarų. Visi B2–B6 betono mišinio sudėties betono bandiniai su chemiais priedais silanų pagrindu vandens nepraleido (11 pav.).

Betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm matmenų poringumo parametrai, nustatyti pagal vandens įgerties kinetiką, pateikti 5 lentelėje. Betono bandiniai $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm matmenų iš standaus betono mišinio buvo formuojami metalinėse formose tankinant



10 pav. Kontrolinis bandinys B1-1 po vandens nepralaidumo bandymo

Fig. 10. Control specimen B1-1 following an experiment on water penetration



11 pav. Bandinys B2-2 su priedu WACKER BS 1001 (0,1 %) po vandens nepralaidumo bandymo

Fig. 11. Specimen B2-2 with admixture WACKER BS 1001 (0,1%) following an experiment on water penetration

5 lentelė. Betono poringumo parametrai ($70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm matmenų bandiniai)

Table 5. Porosity parameters of concrete (specimens $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm)

Betono mišinio sudėtis	Vandens įgertis, %	Poringumas, %			Poringumo rodikliai	
		bendras	atviras	uždaras	λ	α
B1	2,61	14,60	5,83	8,77	0,80	0,37
B2	3,71	18,22	7,92	10,30	1,25	0,23
B3	2,44	16,87	5,30	11,57	0,12	0,26
B4	1,49	13,95	3,34	10,60	0,01	0,25
B5	2,24	13,99	5,04	8,95	0,09	0,29
B6	2,32	13,93	5,23	8,70	0,21	0,33

Pastaba: λ – vidutinio porų dydžio rodiklis; α – porų viendumo rodiklis

betono mišinius ant laboratorinės vibracinės aikštelės kartu su 12 kg svorio priekrova. Iš šios lentelės matyti, kad betono be cheminių priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) vandens įgertis gauta 2,61 %. Betono bandinių su priedais silanų pagrindu vandens įgertis kinta nuo 1,49 % iki 3,71 % (žr. 6 lentelę). Mažiausia vandens įgertis (1,49 %) gauta betono su priedu WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis).

Betono be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) atviras (kapiliarinis) poringumas – 5,83 %, o uždaras poringumas (oro kiekis cementiniame akmenyje) – 8,77 %. Betono su priedais silanų pagrindu atviras (kapiliarinis) poringumas svyruoja nuo 3,34 % iki 7,92 %, o uždaras poringumas (oro kiekis cementiniame akmenyje) – nuo 8,70 % iki 11,57 %. Mažiausias atviras poringumas (3,34 %) yra betono su priedu WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis). Didžiausias uždaras poringumas (11,57 %) yra betono su priedu SILRES BS 3003, kurio dėta 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis).

Vidutinio porų dydžio rodiklis λ rodo, kad betono be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) poros yra palyginti smulkios ($\lambda = 0,80$). Stambiausiomis poromis ($\lambda = 1,25$) pasižymi betonas su priedu WACKER BS 1001, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis). Itin smulkiomis poromis ($\lambda = 0,01$) pasižymi betonas su WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis). Betono su likusiais priedais silanų pagrindu vidutinio porų dydžio rodiklis λ kinta nuo 0,09 iki 0,21.

Porų vienodumo rodiklis α rodo, kad porų pasiskirstymas pagal dydį betone be priedų silanų pagrindu ir su jais yra panašus ir kinta nuo 0,23 iki 0,37, t. y. šiuose betonuose poros yra panašaus dydžio. Betonas be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) ir betonas su priedu SILRES BS 290, kurio dėta 0,2 % nuo mišinio masės (B6 sudėtis), pasižymi didesniu porų pasiskirstymu pagal dydį, t. y. jų porų vienodumo rodiklis α yra atitinkamai 0,37 ir 0,33.

Pagal 1 formulę suskaičiuotas atsparumo šalčiui kriterijus ir iš 2 pav. pateiktos priklausomybės surastas prognozuojamas betono atsparumas šalčiui pateikti 6 lentelėje.

Iš šios lentelės matyti, kad suskaičiuotas pagal (1) formulę atsparumo šalčiui kriterijus yra gerokai didesnis už empirinėje priklausomybėje pateiktus atsparu-

6 lentelė. Betono atsparumo šalčiui kriterijus ir prognozuojamas atsparumas šalčiui (70,7 × 70,7 × 70,7 mm matmenų bandiniai)

Table 6. A criterion of resistance to frost. Cycles of resistance to frost (specimens 70,7 × 70,7 × 70,7 mm)

Betono mišinio sudėtis	K_f	Prognozuojamas atsparumas šalčiui, ciklai
B1	16,73	>200
B2	14,46	>200
B3	24,25	>200
B4	35,22	>200
B5	19,73	>200
B6	18,49	>200

mo šalčiui kriterijus. Didžiausias betono atsparumo šalčiui kriterijus (35,22) gautas su priedu WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1% nuo mišinio masės (B4 sudėtis). Šio betono poros yra itin smulkios ($\lambda = 0,01$) ir vandens įgertis (1,49 %) yra mažiausia. Betonų su priedu WACKER BS SMK 2101 (0,1 %) prognozuojamas atsparumas šalčiui ciklais bus didžiausias. Mažiausias betono atsparumo šalčiui kriterijus (14,46) gautas su priedu WACKER BS 1001, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis). Šis betonas pasižymi stambiausiomis poromis ($\lambda = 1,25$) ir didžiausia vandens įgertimi (3,71 %). Betonų be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) atsparumo šalčiui kriterijus yra 16,73. Likusių betonų su priedais silanų pagrindu atsparumo šalčiui kriterijus kinta nuo 18,49 iki 24,25.

Betono atsparumas šalčiui nustatytas remiantis standartu LST L 1428.17. Šiame tyrime buvo pasirinktas pagreitintas bandymas, t. y. bandiniai, šaldyti kameroje, buvo atšildomi ne +20±2 °C temperatūros vandenyje, o +20±2 °C temperatūros 5 % NaCl vandeniame tirpale. Tuomet F100 atsparumo šalčiui markę atitinka 20 ciklų, po kurių bandomi bandiniai, skaičius. Jeigu po reikiamo šaldymo ir šildymo ciklų skaičiaus bandinių gniuždymo stipris sumažėjo daugiau negu 5 % (palyginti su kontroliniu), tai bandiniai neišlaikė atsparumo šalčiui bandymo. Betono atsparumo šalčiui bandymo rezultatai pateikti 7 lentelėje.

250 × 250 × 30 mm matmenų betono bandiniai iš standaus betono mišinio buvo formuojami metalinėse formose, tankinant betono mišinius ant laboratorinės vibracinės aikštelės kartu su 30 kg masės priekrova.

7 lentelė. Betono bandinių atsparumo šalčiui bandymo rezultatai

Table 7. Test results of concrete specimens of resistance to frost

Betono mišinio sudėtis	Ciklų skaičius	Gniuždomojo stiprio pokytis po šaldymo		Masės pokytis po šaldymo, %	Bandinių išvaizda
		MPa	%		
B1	Prieš šaldant	–	–	–	–
	100	+5,09	+13,73	+0,71	Nėra atsiradusių plyšių
B2	Prieš šaldant	–	–	–	–
	100	–1,53	–4,37	+0,89	Nėra atsiradusių plyšių
B3	Prieš šaldant	–	–	–	–
	100	–1,17	–3,97	+2,18	Nėra atsiradusių plyšių
B4	Prieš šaldant	–	–	–	–
	100	+3,47	+9,44	+1,02	Nėra atsiradusių plyšių
B5	Prieš šaldant	–	–	–	–
	100	+0,77	+2,59	+0,47	Nėra atsiradusių plyšių
B6	Prieš šaldant	–	–	–	–
	100	+0,10	+0,30	+0,33	Nėra atsiradusių plyšių

8 lentelėje pateikti šių betono bandinių poringumo parametrai.

Iš 8 lentelės matyti, kad betono be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) vandens įgertis gauta 4,09 %. Betono bandinių su priedais silanų pagrindu vandens įgertis kinta nuo 2,03 % iki 4,14 %. Mažiausia vandens įgertis (2,03 %) gauta betono su priedu SILRES BS 3003, kurio dėta 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis). Didžiausia vandens įgertis (4,14 %) gauta betono su priedu WACKER BS 1001, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B2 sudėtis). Betono bandinių $250 \times 250 \times 30$ mm matmenų be ir su priedais silanų pagrindu vandens įgertis gauta didesnė nuo 11,6 % iki 109,4 % nei betono bandinių $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm matmenų (5 lentelė), išskyrus betono vandens įgertį su priedu SILRES BS 3003 (0,4 %), kuris sumažėja apie 16,8 %. Skirtingai betono vandens įgerčiai įtakos turėjo skirtinga priekrovos masė tankinant betono mišinį metalinėse formose. Dėl skirtingos priekrovos masės į mišinio paviršių ir tankinimo intensyvumo formuojant bandinius gaunami skirtingo tankio betono bandiniai, kurių kietėjančią betono struktūrą dar veikia cheminiai priedai silanų pagrindu.

Betono be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) atviras poringumas yra 9,11 %, o uždaras poringumas gautas mažiausias (5,73 %). Betono su priedais silanų pagrindu atviras poringumas svyruoja nuo 4,50 % iki 8,88 %, o uždaras poringumas – nuo 7,30 % iki 11,92 %. Didžiausias uždaras poringumas (11,92 %) yra betono su priedu WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (B4 sudėtis).

8 lentelė. Betono poringumo parametrai ($250 \times 250 \times 30$ mm matmenų bandiniai)

Table 8. Porosity parameters of concrete (specimens $250 \times 250 \times 30$ mm)

Betono mišinio sudėtis	Vandens įgertis, %	Poringumas, %			Poringumo rodikliai	
		bendras	atviras	uždaras	λ	α
B1	4,09	14,85	9,11	5,73	0,76	0,56
B2	4,14	17,83	8,88	8,95	0,27	0,35
B3	2,03	15,20	4,50	10,70	0,01	0,18
B4	3,12	18,57	6,65	11,92	0,08	0,25
B5	2,95	14,82	6,58	8,24	0,03	0,29
B6	3,32	14,70	7,40	7,30	0,15	0,44

Pastaba: λ – vidutinio porų dydžio rodiklis; α – porų vienodumo rodiklis

Vidutinio porų dydžio rodiklis λ rodo, kad betono be cheminių priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis) poros yra palyginti smulkios ($\lambda = 0,76$). Itin smulkios poros yra betono su priedu SILRES BS 3003, kurio dėta 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis), bei betonas su priedu WACKER BS 1701, kurio dėta 0,2 % nuo mišinio masės (B5 sudėtis), atitinkamai $\lambda = 0,01$ ir $\lambda = 0,03$. Betono su likusiais priedais silanų pagrindu vidutinio porų dydžio rodiklis λ kinta nuo 0,08 iki 0,27.

Porų vienodumo rodiklis α rodo, kad didžiausias porų pasiskirstymas pagal dydį ($\alpha = 0,56$) būdingas betonui be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis). Panašiu porų išsibarstymu pagal dydį pasižymi betonas su priedu WACKER BS 1001 (0,1 %) ir su priedu SILRES BS 290 (0,2 %), atitinkamai $\alpha = 0,56$ ir $\alpha = 0,56$. Likusių betonų su priedais rodiklis α yra kinta nuo 0,18 iki 0,29.

Pagal (1) formulę suskaičiuotas atsparumo šalčiui kriterijus ir iš 2 pav. pateiktos priklausomybės surastas prognozuojamas betono atsparumas šalčiui pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Betono atsparumo šalčiui kriterijus ir prognozuojamas atsparumas šalčiui ($250 \times 250 \times 30$ mm matmenų bandiniai)

Table 9. A criterion of resistance to frost. Cycles of resistance to frost (specimens $250 \times 250 \times 30$ mm)

Betono mišinio sudėtis	K_f	Prognozuojamas atsparumas šalčiui, ciklai
B1	6,99	>200
B2	11,19	>200
B3	26,40	>200
B4	19,91	>200
B5	13,92	>200
B6	10,97	>200

Iš šios lentelės matyti, kad remiantis suskaičiuotu atsparumo šalčiui kriterijumi prognozuotas betono atsparumas šalčiui pagal šaldymo ir šildymo ciklų skaičių gerokai viršija 200 ciklų skaičių. Didžiausias betono atsparumo šalčiui kriterijus (26,40) gautas su priedu SILRES BS 3003, kurio dėta 0,4 % nuo mišinio masės (B3 sudėtis). Šio betono poros yra itin smulkios ($\lambda = 0,01$) ir mažiausia vandens įgertis (2,03 %). Betono su priedu SILRES BS 3003 (0,4 %) prognozuojamas atsparumas šalčiui ciklas bus didžiausias. Mažiausias atsparumo šalčiui kriterijus (6,99) gautas betono be priedų silanų pagrindu (B1 sudėtis). Šio betono poros

ne tokios smulkios ($\lambda = 0,76$). Likusių betonų su priedais silanų pagrindu atsparumo šalčiui kriterijus kinta nuo 10,97 iki 19,91.

Betonų be ir su priedais silanų pagrindu prognozuojamas atsparumas šalčiui viršija 200 užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičių, o šis reikalavimas keliamas aplinkos tvarkymo elementams.

5. Išvados

1. Didėjant silanų/siloksanų koncentracijai priede nuo 50 % iki 100 %, dedant jų 0,1–0,4 % nuo mišinio masės, betono mišinio tankis mažėja, tačiau yra didesnis nei mišinio be priedo silanų pagrindu.
2. Priedų silanų pagrindu koncentracija didesnės įtakos bandinių tankiui neturi. Betono bandinių tankiui įtakos turi skirtinga priekrovos masė į mišinio paviršių ir tankinimo intensyvumas formuojant bandinius.
3. 70,7 × 70,7 × 70,7 mm matmenų betono bandinių didžiausi gniuždymo ir skėlimo stipriai, atitinkamai 44,1 MPa ir 4,3 MPa, gauti dedant priedo WACKER BS SMK 2101 (~100 % silanų koncentracija) 0,1 % nuo mišinio masės.
4. 250 × 250 × 30 mm matmenų betono bandinių lenkimo stipris mažėja didėjant silanų/siloksanų koncentracijai priede nuo 50 % iki 100 %, dedant jų 0,1–0,4 % nuo mišinio masės.
5. Priedai silanų/siloksanų pagrindu paveikia betono kapiliarinį vandens įgertį. Betono bandiniai 250 × 250 × 30 mm matmenų su priedais silanų pagrindu nepraleidžia vandens bandant juos pagal standarto LST EN 491+AC reikalavimus.
6. 70,7 × 70,7 × 70,7 mm matmenų betono bandinių be priedų ir su jais po 100 šaldymo ir šildymo ciklų skaičiaus gniuždymo stipris, palyginti su kontroliniu, nesumažėjo daugiau negu 5 %. Tai atitinka F100 atsparumo šalčiui markę.

Padėka

Autoriai dėkoja UAB „IMCD Baltics“ už galimybę išbandyti firmos „Wacker-Chemie GmbH“ priedus.

Literatūra

Betonwerk + Fertigteile-technik = Concrete Plant + Precast Technology. 2003, *Journal of the International Precast Concrete Industry*, vol. 7.

Cai, H.; Liu, X. 1998. Freeze – thaw durability of concrete: ice formation process in pores, *Cement and Concrete Research* 28(9): 1281–1287. doi:10.1016/S0008-8846(98)00103-3

Chatterji, S. 2003. Freezing of air – entrained cement – based materials and specific actions of air – entraining agents, *Cement and Concrete Composites* 25(7): 759–765. doi:10.1016/S0958-9465(02)00099-9

Coussy, O.; Monteiro, P. J. M. 2008. Poroelastic model for concrete exposed to freezing temperatures, *Cement and Concrete Research* 38: 40–48. doi:10.1016/j.cemconres.2007.06.006

Micah Hale, W.; Freyne, F. S.; Russell, W. B. 2009. Examining the frost resistance of high performance concrete, *Construction and Building Materials* 23: 878–888. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.04.006

Naujokaitis, A. P. 2007. *Statybinės medžiagos. Betonai*. Vilnius. 355 p.

Pfeifer, J. 2005. *Alpha Silanes – New Building Blocks for High – Performance Coatings*. Presentation at the European coatings show. Germany.

Safiuddin, Md.; Hearn, N. 2005. Comparison of ASTM saturation techniques for measuring the permeable porosity of concrete, *Cement and Concrete Research* 35(5): 1008–1013. doi:10.1016/j.cemconres.2004.09.017

Shang, H.; Song, Y. 2008. Behavior of air – entrained concrete under the compression with constant confined stress after freeze – thaw cycles, *Cement and Concrete Research* 30: 854–860.

Shang, H.; Song, Y.; Ou, J. 2009. Behavior of air – entrained concrete after freeze thaw cycles, *Acta Mechanica Solida Sinica* 22(3): 261–266.

Sheikin, A. E.; Dobshic, L. M. 1989. *Resistance to Frost of Cement Based Concrete*. Leningrad: Stroizad. 128 p. (in Russian).

Skripkiūnas, G. 2007. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės*. Kaunas: Vitae Litera.

Skripkiūnas, G.; Vaitkevičius, V.; Daukšys, M.; Grinys, A. 2008. Prediction of concrete freezing-thawing resistance, in *Concrete Durability: Achievement and Enhancement: proceedings of the International Conference held at the University of Dundee*. Scotland, UK, 317–324.

Song, H. W.; Kwon, S. J. 2007. Permeability characteristics of carbonated concrete considering capillary pore structure, *Cement and Concrete Research* 37(6): 909–915. doi:10.1016/j.cemconres.2007.03.011

Stroeven, P.; Hu, J.; Koleva, D. A. 2010. Concrete porosimetry: aspects of feasibility, reliability and economy, *Cement and Concrete Composites* 32(4): 291–299. doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.01.007

Tumosa, M.; Daukšys, M.; Ivanauskas, E. 2010. Granito atsijų įtaka apdailinių skelto paviršiaus betono plytų savybėms, *Mokslas – Lietuvos ateitis [Science – Future of Lithuania]* 2(6): 43–49.

Vektaris, B.; Vilkas, V. 2006. *Betono tvarumas: monografija*. Kaunas. 162 p.

Vodak, F.; Trtic, K.; Kapikova, O.; Hokova, D. P. 2004. The effect of temperature on strength – porosity relationship for concrete, *Construction Andbuilding Materials* 18(7): 529–534. doi:10.1016/j.conbuildmat.2004.04.009

Zuber, B.; Marchand, J. 2000. Modeling the deterioration of hydrated cement systems exposed to frost action. Part 1: description of the mathematical model, *Cement and Concrete Research* 30: 1929–1939. doi:10.1016/S0008-8846(00)00405-1

THE INFLUENCE OF SILANE BASED CHEMICAL ADMIXTURES ON THE PROPERTIES OF CEMENT STONE

I. Ragaišytė, M. Daukšys, A. Klovas

Abstract. The article accurately describes the influence of water repellent and silane based concrete admixtures on the technological, physical, mechanical and porosity properties of fine - concrete specimens. To obtain the expected results by changing the amount and type of the silane based chemical admixture, six compositions of concrete slurries were designed using six cube shaped (70,7×70,7×70,7 mm) and six plate shaped (250×250×30 mm) specimens. In order to get technological, physical and mechanical properties of concrete (concrete slurry), tests on the rigidity of concrete slurries, compression, bending and splitting strength were performed. In addition, experiments on porosity, frost resistance and water penetration were conducted. On the basis of the obtained results and using different amounts and types of silane based chemical admixtures, the rigidity of concrete (Vebe test) decreased up to 1.78 times in respect to the control specimen. On the other hand, when applying the above introduced silane based chemical admixtures, the results show that the density of concrete specimens (70,7×70,7×70,7 mm and 250×250×30 mm) varies accordingly (in respect to control specimen) from -1.69% (using WACKER BS 1001 0.1% in respect to the amount of cement used) to 0.84% (using SILRES BS 290 0.2%) and from -2.03% (using WACKER BS 1001 0.1%) to 0.71% (using SILRES BS 290 0.2%). Bending strength (testing plate shaped specimens) has decreased by 27.4% (using SILRES BS 209 0.2%), compression strength (testing cube shaped specimens) - by 34.6% (using WACKER BS 1701 0.2%) and finally, splitting strength - by 34.7% (by using SILRES BS 290 0.2%) in respect to the control specimen.

Water absorption of concrete specimens (cube and plate shaped) without chemical silane based admixtures makes accordingly 2.61% and 4.09%. On the other hand, water absorption of concrete specimens (cube and plate shaped) with chemical silane based admixtures varies from 1.49% (using WACKER BS SMK 2101 0.1%) to 3.71% (using WACKER BS 1001 0.1%) and from 2.03% (using SILRES BS 3003 0.4%) to 4.14% (using WACKER BS 1001 0.1%) in respect to control specimens. The results achieved when conducting the water penetration test show that only the specimens without chemical silane based admixtures have failed the experiment. The results obtained following 100 cycles of freezing-thaw show that all specimens have passed the test and their surfaces do not contain any cracks.

Keywords: chemical admixtures, silane based concrete admixtures, concrete mixture, concrete, physical-mechanical properties, porosity, frost resistance.

Ieva RAGAIŠYTĖ. A researcher at UAB "Betonika" Research interests: concrete aggregates and admixtures, concrete water repellent technologies.

Mindaugas DAUKŠYS. Assoc. Prof., the Head of the Department of Civil Engineering Technologies at Kaunas University of Technology (KTU). Research interests: new concrete placing technologies, research on concrete aggregates and admixtures, parameters for concrete surface quality.

Albertas KLOVAS. PhD student at the Department of Civil Engineering Technologies, Kaunas University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture. Research interests: concrete surface, concrete admixtures and aggregates, building materials.