



CHEMINIŲ PRIEDŲ SILANŲ PAGRINDŲ ĮTAKA CEMENTINIO AKMENS 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 (corresponding author);

³albertas.klovas@gmail.com

Įteikta 2011 10 19; priimta 2012 02 29

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu įtaka cementinio akmens fizikinėms ir mechaninėms savybėms bei poringumui. Tyrimams buvo paruoštos šešios cemento tešlos, naudojant skirtingos koncentracijos silanų/siloksanų pagrindu pagamintus cheminius priedus. Tyrimo metu nustatytas cemento tešlos sklidumas, cementinio akmens tankis, lenkimo ir gniuždymo stipriai, poringumo parametrai bei atsparumas šalčiui. Nustatyta, kad naudojant skirtingos koncentracijos silanų/siloksanų pagrindu pagamintus cheminius priedus, cemento tešlos sklidumas padidėjo iki 46,3 %, lyginant su kontroline tešla. Cementinio akmens tankis sumažėjo iki 2,4 %, lenkimo stipris – iki 21,0 %, gniuždymo stipris – iki 34,6 %, lyginant su kontroliniu bandiniu be silanų/siloksanų pagrindu pagamintų priedų. Cementinio akmens be cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu vandens įgėris (12,16 %), atviras ir uždaras poringumai yra panašūs kaip ir cementinio akmens su cheminiais priedais silanų/siloksanų pagrindu. Cementinio akmens bandiniai išlaikė 100 užšaldymo ir atšildymo ciklų atsparumo šalčiui bandymą.

Reikšminiai žodžiai: silanai/siloksanai, cemento tešla, cementinis akmuo, fizikinės ir mechaninės savybės, poringumas.

1. Įvadas

Siekiant modifikuoti cementinio akmens kaip poringo kūno savybes naudojami įvairios paskirties ir sudėties cheminiai priedai. Kietėjančio cementinio akmens struktūrai keisti galima būtų naudoti cheminius priedus, pagamintus silanų/siloksanų pagrindu.

Cementinis akmuo – tai poringas kūnas, kuriame didžiąją dalį kietosios fazės sudaro koloidinio dispersiškumo mikrokristalai, galintys surišti gana didelį kiekį vandens. Mechaninės cementinio akmens savybės priklauso ne tiek nuo hidratavusio cemento cheminės sudėties, kiek nuo hidratacijos produktų struktūros (Skripiūnas 2007). Cemento akmuo sudarytas iš:

- įvairių hidrosilikatų, hidroaluminatų, hidroferitų, kurie laikomi geliais;
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristalų;
- ne visiškai hidratavusių cemento dalelių;
- kalcio hidrosulfoaluminato kristalų;

- kapiliarinių porų, kurios užpildytos vandeniu arba oru, jų skersmuo – 0,1–10 μm ;
- oro porų, kurios yra sferinės formos, jų skersmuo – nuo 50–100 μm .

Cementinio akmens struktūra kinta laikui bėgant ir vykstant cemento hidratacijai.

Hidratacijos proceso pradžioje, kai vanduo sudrėkina cemento daleles, gaunama plastiška tešla, kurioje cemento dalelės yra nepakitusios. Šiame pradiniam periode tirpalas prisotina Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , OH^- , SO_4^{2-} jonų. Jų tarpusavio reakcijų metu susidarę hidratatai padengia cemento daleles. Iš persotinto tirpalo kristaliniasi portlanditas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ir prasideda SO_4^{2-} jonų sąveika su C_3A bei susidaro etringito adatinių kristalų plėvelė.

Ši plėvelė lėtina greitą C_3A koaguliacinės struktūros susidarymą ir sudaro prielaidas cementui rišti reikiamu greičiu (≥ 60 min) (Eisinas, Baltakys 2009).

Visiškai hidratavęs cementinis akmuo – tai poringoji medžiaga, kurios kietąją matricą sudaro tiek kristalinių, tiek amorfinių hidratacijos produktų mišinys.

Kapiliarinių porų skaičius priklauso nuo vandens kiekio arba nuo V/C santykio ir hidratacijos laipsnio. Cemento tešlai susirišus, jos tūris kinta labai mažai, išlieka beveik lygus cemento ir vandens tūrių sumai.

Cementiniame akmenyje yra labai įvairaus dydžio porų, kurių dydis skiriasi tūkstančius kartų. Poros būna: kapiliarinės, gelio ir oro.

Kapiliarinės poros sukietėjusiam cementiniame akmenyje atsiranda išgaravus vandens pertekliui. Gelio poros yra tuštumos tobermoritiniame gelyje tarp šio gelio dispersinės fazės dalelių. Jos yra daug smulkesnės už kapiliarines poras. Oro poros cementiniame akmenyje yra stambiausios ir gali siekti iki kelių milimetrų dydžio. Jos yra uždarnos, jų forma artima sferai. Oro poros susidaro maišant mišinius. Cementinio akmens irimas veikiant cheminiams ir fizikiniams veiksniams dažnai vadinamas cementinio akmens korozija (Miyazaki 1990). Cheminę koroziją sukelia hidratuoto portlandcemenčio junginių ir vandenyje ar ore esančių cheminių junginių cheminės reakcijos. Yra šeši cheminės korozijos atvejai: korozija, kai iš cementinio akmens išplaunamos tirpios medžiagos; karbonatinė; rūgštinė; sulfatinė; magnezinė; silikatinė.

Remiantis kai kuriais darbais (Beall, Jaffe 2003; Nawy 2008), silanai yra monomerų, organinių silikonų junginiai su vienu nehidrolizuojančiu silikono – anglies junginiu, kuris su silicio mineralais formuoja cheminę jungtį, suteikiančią medžiagai hidroizoliacinių savybių, atstumdamą vandenį. Silanai – tai penetruojančios medžiagos, įsiskverbiančios į medžiagos paviršių.

Tyrimo tikslas – ištirti vandens įgertį mažinančių cheminių priedų, pagamintų silanų/siloksanų pagrindu, įtaką cementinio akmens fizikinėms ir mechaninėms savybėms ir poringumui, įmaišant priedą tešlos ruošimo metu.

2. Tyrimams naudotos medžiagos ir tyrimo metodika

Tyrimuose buvo naudotas portlandcementis CEM II/A-LL 42,5 R (MA) (A), pagamintas AB „Akmenės cementas“ gamykloje. Naudoto cemento savitasis paviršius – 360 m²/kg, normalaus tirštumo tešla – 26,4 %, rišimosi pradžia – 190 min, gniuždymo stipris (aktyvumas) po 2 parų – 29,8 MPa, po 28 parų 52,6 MPa.

Cheminiu priedu tyrimams naudotas firmos „Reimei GmbH&Co.KG“ (Vokietija) cemento kiekį sumažinantis plastiklis, kurio fizikinės ir cheminės savybės bei dozavimas pateikti 1 lentelėje. Priedas REBAmix 750 (BV) naudojamas betono mišiniuose, iš kurių

1 lentelė. Plastiklio REBAmix 750 (BV) techniniai duomenys

Table 1. Technical information on REBAmix 750 (BV) plasticizer

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

2 lentelė. Wacker Silicone cheminių priedų techniniai duomenys

Table 2. 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

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.

Cementinio akmens vandens įgertį mažinančiu cheminiu priedu buvo naudoti „Wacker-Chemie GmbH“ (Vokietija) 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 2 lentelėje. Cheminiai priedai skiriasi silanų/siloksanų koncentracija priedo tirpale, kuri kinta nuo 50 % iki 100 %.

Taip pat tyrimams buvo naudoti firmos „BASF“ (Vokietija) spalvoti miltelių pavidalu pigmentai betonui Bayferrox 920C (geltoni), Bayferrox 330C (juodi), Bayferrox 130 (raudoni) ir Bayferrox 110 (raudoni).

3. Tyrimų metodika

Cemento tešlos buvo maišomos priverstinio maišymo maišyklėje „Automix“. Cementas ir pigmentas buvo dozuojami pagal masę, o vanduo ir cheminiai priedai – pagal tūrį. Tyrimo metu cemento tešlos vandens ir cemento santykis buvo pastovus – 0,40. Pigmento miltelių pavidalu buvo dėta 4,0 % cemento masės. Prieš maišant priverstinio maišymo maišyklėje pigmentas buvo permaišomas kartu su reikiamu cemento kiekiu tešlai paruošti. Plastiklio kiekis viso tyrimo metu buvo pastovus – 1,0 % cemento masės. Cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu dėta 0,1–0,4 % nuo viso mišinio masės. Cheminiai priedai tirpalo pavidalu buvo dozuojami kartu su reikiamu vandens kiekiu cemento tešlai paruošti.

Cementinio akmens bandiniai 160×40×40 mm buvo formuojami metalinėse formose. Formose bandiniai buvo laikomi 20 val. 20±2 °C aplinkos oro temperatūroje. Išimti iš formų cemento bandiniai buvo kietinami 28 paras vandenyje, kurio temperatūra 20±2 °C.

Cemento tešlos konsistencija – sklidumas nustatytas naudojant Suttardo viskozimetą. Sudrėkintas cilindras (Suttardo viskozimetras) padedamas ant sudrėkinto stiklo plokštelės ir pripildomas kava tik paruoštos cemento tešlos. Cilindras nukeliamas ir statmenomis kryptimis pamatuojamas pasklidusios cemento tešlos paplotėlio skersmuisi milimetrais (1 pav.).

Cementinio akmens lenkimo ir gniuždymo stipriai nustatyti remiantis standarte LST EN 196-1 keliamais reikalavimais (2 ir 3 pav.).



1 pav. Cemento tešlos sklidumo bandymas naudojant Suttardo viskozimetą

Fig. 1. A test on the characteristics of cement-slurry-flow



2 pav. Lenkimo stiprio bandymas

Fig. 2. A test on bending strength



3 pav. Gniuždymo stiprio bandymas

Fig. 3. A test on compressing strength

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

Cementinio akmens atsparumas šalčiui nustatytas remiantis standarto LST L 1428.17 keliamais reikalavimais, pagal kuriuos nustatomas betono atsparumas šalčiui arba ilgaamžiškumas. Cementinio akmens

bandiniai 2,5 valandos išlaikomi $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje šaldymo kameroje ir 2,5 valandos mirkomi vonioje $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje 5 % NaCl vandeniniame tirpale. Toks vienas užšaldymas ir atšildymas sudaro vieną atsparumo šalčiui ciklą. Šiame tyrime buvo pasirinktas pagreitintas bandymas, t. y. bandiniai po šaldymo kameroje buvo atšildomi ne $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandenyje, o $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros 5 % NaCl vandeniniame tirpale. Tuomet F100 atsparumo šalčiui markę atitinka 20 ciklų, po kurių bandomi bandiniai, skaičius. Jeigu po reikiamo užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičiaus bandinių gniuždymo stipris sumažėjo daugiau negu 5 % (lyginant su kontroliniu), tai bandiniai neišlaikė atsparumo šalčiui bandymo.

4. Tyrimų rezultatai

Tyrimuose naudotų cemento tešlų sudėtys $\text{kg } 1\text{ m}^3$ mišinio pateiktos 3 lentelėje. 4 pav. pavaizduotas cemento tešlos sklidumo kitimas, atsižvelgiant į cemento tešlos sudėtį.

Xu, Chung (1999) bei Ohama ir kiti autoriai (1992) nustatė, kad cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu naudojimas didina cemento tešlos (betono mišinio) slankumą bei sklidumą. Iš 4 pav. matyti, kad didžiausias cemento tešlos sklidumas, lyginant su kontroline tešla (C1 sudėtis), gautas C5 ir C6 cemento teš-

lų. Mažiausias cemento tešlos sklidumas, lyginant su kontroline tešla (C1 sudėtis), gautas naudojant priedą WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1 % nuo viso mišinio masės (C4 sudėtis).

C5 ir C6 sudėtyse naudotiems silanų/siloksanų priedams įterpti į cemento tešlą reikėjo naudoti spirytą, t. y. šių priedų tirpalai buvo skiedžiami etilo alkoholio vandeniniu tirpalu santykiu 1:7. Papildomas vandens kiekis, esantis etilo alkoholyje, galėjo daryti įtaką didesniai šių cemento tešlų sklidumui, nes padidėja skystosios fazės kiekis tešloje. Cemento tešlos su priedu WACKER BS 1701 sklidumas padidėja maždaug 1,31 karto, lyginant su cemento tešla be priedo, o tešlos su priedu SILRES BS 290 sklidumas padidėja maždaug 1,47 karto.

Cementinio akmens bandinių ($40\times 40\times 160\text{ mm}$) tankio kitimas, atsižvelgiant į cemento tešlos sudėtį, pateiktas 5 pav.

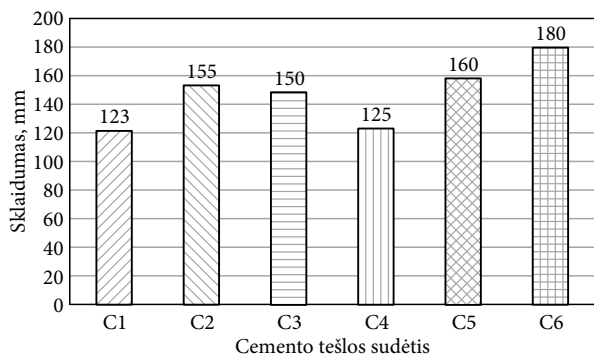
Iš 5 pav. matyti, kad didžiausias cementinio akmens tankis (1975 kg/m^3) gautas kontrolinės sudėties (C1 sudėtis), t. y. be cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu. Dedant priedo WACKER BS 1001 0,1 % nuo viso mišinio masės (C2 sudėtis), cementinio akmens tankis sumažėja labai nedaug – apie 0,1 %; dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (C3 sudėtis), tankis sumažėja apie 2,2 %; dedant prie-

3 lentelė. Cemento tešlų sudėtys
Table 3. Composition of cement slurries

Medžiaga	Medžiagų kiekis 1 m^3 mišinio, kg					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Cementas CEM II/A-LL 42,5 R (MA)	1384	1384	1384	1384	1384	1384
Vanduo	554	554	554	554	554	554
V/C	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Rebamix 750 (BV) (1,0 %)	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8
Bayerferrox 920C (4,0 %)	55,4	–	–	–	–	–
Bayerferrox 330C (4,0 %)	–	55,4	–	–	–	–
Bayerferrox 130 (4,0 %)	–	–	55,4	–	–	–
Bayerferrox 110 (4,0 %)	–	–	–	55,4	–	–
Bayerferrox 110 + 320C (4,0 %)	–	–	–	–	55,4	–
Bayerferrox 130 + 920C (4,0 %)	–	–	–	–	–	55,4
Cheminiai priedai silanų/siloksanų pagrindu	–	–	–	–	–	–
WACKER BS 1001 (0,1 %)	–	2,0	–	–	–	–
SILRES BS 3003 (0,4 %)	–	–	8,0	–	–	–
WACKER BS SMK 2101 (0,1 %)	–	–	–	2,0	–	–
WACKER BS 1701 (0,2 %)	–	–	–	–	4,0	–
SILRES BS 290 (0,2 %)	–	–	–	–	–	4,0

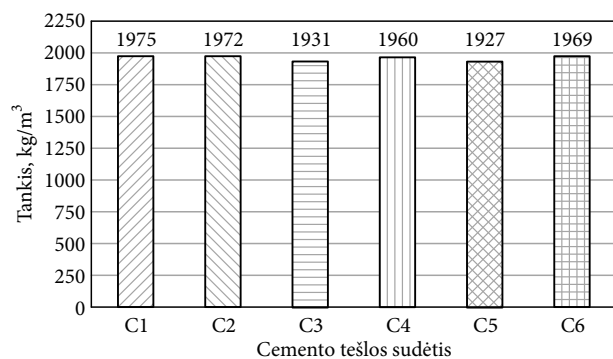
do WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (C4 sudėtis), tankis sumažėja apie 0,8 %; dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (C5 sudėtis), tankis sumažėja apie 2,4 % ir gaunamas mažiausias cementinio akmens tankis (1927 kg/m³); dedant priedo SILRES BS 290 0,2 % nuo mišinio masės (C6 sudėtis), tankis sumažėja apie 0,3 %.

Cementinio akmens lenkimo stiprio kitimas, atsižvelgiant į cemento tešlos sudėtį, pavaizduotas 6 pav.



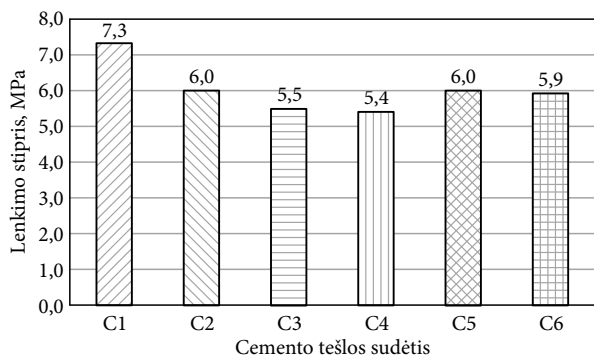
4 pav. Cemento tešlos sklaidumo kitimas

Fig. 4. Changes in the flow of cement slurries



5 pav. Cementinio akmens tankio kitimas

Fig. 5. Changes in the density of hardened cement paste



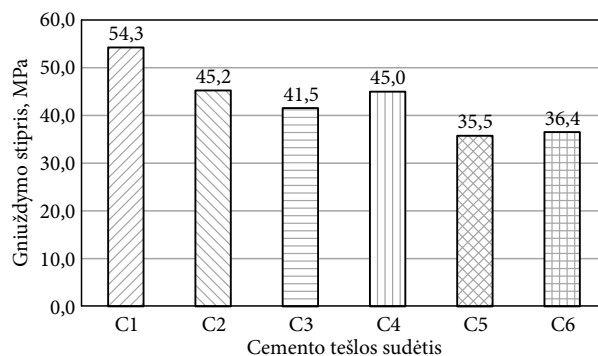
6 pav. Cementinio akmens lenkimo stiprio kitimas

Fig. 6. Changes in the bending strength of hardened cement paste

Iš 6 pav. matyti, kad didžiausias cementinio akmens lenkiamasis stipris (7,3 MPa) gautas kontrolinės sudėties (C1 sudėtis), t. y. be cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu. Dedant skirtingus cheminius priedus silanų/siloksanų pagrindu 0,1–0,4 % nuo mišinio masės, cementinio akmens lenkimo stipris sumažėja, lyginant su kontroline sudėtimi ir svyruoja nuo 5,4 MPa iki 6,0 MPa. Didėjant silanų/siloksanų koncentracijai priede nuo 50 iki 100 %, dedant jų 0,1–0,4 % nuo mišinio masės, cementinio akmens bandinių lenkimo stipris kinta nedaug, tačiau sumažėja apie 21 %, lyginant su kontroliniu bandiniu.

Cementinio akmens gniuždymo stiprio kitimas, atsižvelgiant į cemento tešlos sudėtį, pavaizduotas 7 pav.

Iš 7 pav. matyti, kad didžiausias cementinio akmens gniuždymo stipris (54,3 MPa) gautas kontrolinės sudėties (C1 sudėtis), t. y. be cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu. Dedant priedo WACKER BS 1001 0,1 % nuo mišinio masės (C2 sudėtis), cementinio akmens gniuždymo stipris sumažėja apie 16,8 %; dedant priedo SILRES BS 3003 0,4 % nuo mišinio masės (C3 sudėtis), sumažėja apie 23,6 %; dedant priedo WACKER BS SMK 2101 0,1 % nuo mišinio masės (C4 sudėtis), sumažėja apie 17,1 %; dedant priedo WACKER BS 1701 0,2 % nuo mišinio masės (C5 sudėtis), sumažėja apie 34,6 %; dedant priedo SILRES BS 290 0,2 % nuo mišinio masės (C6 sudėtis, sumažėja apie 33,0 %. Cementinio akmens su priedais WACKER BS 1701 (dėta 0,2 % nuo mišinio masės) ir SILRES BS 290 (dėta 0,2 % nuo mišinio masės) gniuždymo stipris gaunamas mažiausias – atitinkamai 35,5 MPa ir 36,4 MPa. WACKER BS 1701 ir SILRES BS 290 priedų tirpalai buvo skiedžiami etilo alkoholio vandeniniu tirpalu santykiu 1:7. Papildomas vandens kiekis, esantis etilo



7 pav. Cementinio akmens gniuždymo stiprio kitimas

Fig. 7. Changes in the compressing strength of hardened cement paste

alkoholyje, darė įtaką didesniai vandens ir cemento santykiui (V/C), o tai nulėmė mažesnę cementinio akmens bandinių gniuždymo stiprį.

Cementinio akmens poringumo parametrai, nustatyti pagal vandens įgėrio kinetiką, pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Cementinio akmens poringumo parametrai
Table 4. Porosity parameters of hardened cement paste

Sudėtis	Vandens įgėris, %	Poringumas, %			Poringumo rodikliai	
		bendras	atviras	uždaras	λ	α
C1	12,16	32,66	21,38	11,28	7,92	0,31
C2	11,90	32,00	21,12	10,88	3,66	0,31
C3	10,60	34,04	18,22	15,81	0,94	0,39
C4	11,38	32,72	19,98	12,74	1,77	0,28
C5	12,24	34,66	20,89	13,77	0,72	0,38
C6	12,13	32,56	21,35	11,21	10,3	0,23

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

Cementinio akmens su cheminiais priedais silanų/siloksanų pagrindu atviras (kapiliarinis) poringumas svyruoja nuo 18,22 % iki 21,35 %, o uždaras poringumas – nuo 10,88 % iki 15,81 %. Mažiausiu atviru poringumu (18,22 %) ir didžiausiu uždaru poringumu (15,81 %) pasižymi cementinis akmuo su priedu SILRES BS 3003, kurio dėta 0,4 % nuo mišinio masės (C3 sudėtis).

Cementinio akmens be cheminių priedų (C1 sudėtis) vandens įgėris (12,16 %) yra panašus kaip ir cementinio akmens su cheminiais priedais silanų/siloksanų pagrindu, kuris kinta nuo 10,60 % iki 12,24 % (5 lentelė). Mažiausias vandens įgėris (10,60 %) gautas

cementinio akmens su priedu SILRES BS 3003, kurio dėta 0,4 % nuo mišinio masės (C3 sudėtis).

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

Cementinio akmens be cheminių priedų silanų pagrindu (C1 sudėtis) atviras (kapiliarinis) poringumas yra 21,38 %, o uždaras poringumas (oro kiekis cementiniame akmenyje) yra 11,28 %. Remiantis J. Pfeifer teorija (2005), silanai/siloksanai, prisiskverbę į betoną, reaguoja su hidratavusiu cementu ir šios reakcijos metu produktai padaro porų sienelės hidrofobines ir užtveria kelia vandeniui patekti į jas. Priedų prisiskverbimas ir efektyvumas priklauso nuo poringumo, porų dydžio, porų tęstinumo. Taigi šie priedai sumažina medžiagos kapiliarinę įgertį neuždarydami porų ir kapiliarų.

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. Betono bandinių 250×250×30 mm matmenų lenkimo stipris mažėja didėjant silanų/siloksanų koncentracijai priede nuo 50 % iki 100 %, dedant jų 0,1–0,4 % nuo mišinio masės (Ragaišytė et al. 2011).

Cementinio akmens atsparumo šalčiui bandymo rezultatai pateikti 5 lentelėje. Iš šios lentelės matyti, kad cementinio akmens bandinių be ir su cheminiais priedais po 100 užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičiaus gniuždymo stipris, lyginant su kontroliniu, nesumažėjo daugiau negu 5 %, o padidėjo nuo 35,60 % iki 54,05 %. Cementinio akmens bandiniai išlaikė 100 ci-

5 lentelė. Cementinio akmens atsparumo šalčiui bandymo rezultatai
Table 5. Testing the results of the resistance of hardened cement paste to frost

Cemento tešlos sudėtis	Ciklų skaičius	Gniuždymo stiprio pokytis		Masės pokytis, %	Bandinių išvaizda
		MPa	%		
C1	100	+17,33	+35,77	+0,37	Nėra atsiradusių plyšių
C2	100	+23,43	+54,05	+0,88	Nėra atsiradusių plyšių
C3	100	+14,60	+36,78	+2,27	Nėra atsiradusių plyšių
C4	100	+19,03	+43,39	+1,42	Nėra atsiradusių plyšių
C5	100	+17,84	+50,46	+1,97	Nėra atsiradusių plyšių
C6	100	+13,17	+35,30	+1,04	Nėra atsiradusių plyšių

klų atsparumo šalčiui bandymą. Gniuždymo stiprio pokytis MPa po 100 užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičiaus daugiausia padidėjo cementinio akmens su priedu WACKER BS 1001, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (C2 sudėtis); mažiau su priedu WACKER BS SMK 2101, kurio dėta 0,1 % nuo mišinio masės (C4 sudėtis), ir dar mažiau su priedu WACKER BS 1701, kurio dėta 0,2 % nuo mišinio masės (C5 sudėtis).

Atvirų porų dydis, tūris ir išsidėstymas lemia susidariusio ledo kiekį vandeniui užšalant. Paprastai esant tam tikram temperatūrų intervalui, didesnis užšalusių porų skaičius paveikia didesnę hidraulinių slėgį. Betono irimas dėl šalčio poveikio – dažnas betoninių konstrukcijų destrukcijos atvejis.

Cikliškai 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 slėgia medžiagos porų ir kapiliarų sienutes, plečia visą gaminį ir gali jį suardyti (Cai, Liu 1998). Iš atliktų tyrimų rezultatų sprendė, kad ledas yra labai stipri medžiaga ir jo sukibimas su hidrofilinėmis medžiagomis, kaip kad cementinis akmuo ar betonas, yra didelė (Chatterji 2003).

Po ilgaamžiškumo bandymo cementinio akmens bandiniuose (bandiniai: perlenktos pusiau prizmių 40×40×160 mm matmenų puselės) be ir su chemiais priedais silanų/siloksanų pagrindu atsiradusių plyšių nepastebėta.

5. Išvados

1. Didžiausias cemento tešlos sklidumas dėl padidėjusios skystosios fazės kiekio tešloje gautas naudojant cheminius priedus silanų/siloksanų pagrindu, kuriuos įtrepiant į cemento tešlą reikėjo skiesti etilo alkoholio vandeniniu tirpalu.
2. Pridėjus cheminių priedų silanų/siloksanų pagrindu, cementinio akmens bandinių tankis sumažėja iki 2,4 %, lyginant su kontroliniu bandiniu.
3. Didėjant silanų/siloksanų koncentracijai priede nuo 50 iki 100 %, dedant jų 0,1–0,4 % nuo mišinio masės, cementinio akmens bandinių lenkimo stipris kinta nedaug, tačiau sumažėja apie 21 %, lyginant su kontroliniu bandiniu.
4. Cementinio akmens bandinių su chemiais priedais silanų/siloksanų pagrindu, kurie buvo skiedžiami etilo alkoholio vandeniniu tirpalu dėl didesnio vandens ir cemento santykio, gniuždymo stipris sumažėja iki 34,6 %.
5. Cementinio akmens su chemiais priedais silanų/siloksanų pagrindu vandens įgėris kinta nuo 10,60 % iki 12,24 %, atviras poringumas – nuo 18,22 % iki 21,35 %, uždaras poringumas – nuo 10,88 % iki 15,81 %.
6. Cementinio akmens bandinių be ir su chemiais priedais silanų/siloksanų po 100 užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičiaus gniuždymo stipris nesumažėjo daugiau negu 5 %, lyginant su kontroliniu.

Padėka

Autoriai dėkoja UAB „IMCD Baltics“ už galimybę išbandyti firmos „Wacker-Chemie GmbH“ pagamintus priedus silanų/siloksanų pagrindu.

Literatūra

- Beall, C.; Jaffe, R. 2003. *Concrete and Masonry Databook*. McGraw-Hill. ISBN 0-07-136154-5.
- Cai, H.; Liu, X. 1998. Freeze – thaw durability of concrete: ice formation process in pores, *Cement and Concrete Research* 28(9): 1281–1287.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00103-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00103-3)
- Chatterji, S. 2003. Freezing of air – entrained cement – based materials and specific actions of air, *Cement and Concrete Composites* 25: 759–765.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00099-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00099-9)
- Eisinas, A.; Baltakys, K. 2009. Portlandito kiekio hidratuotame portlandcemente nustatymas vienlaikės terminės analizės metodu, *Cheminė technologija* 1.
- Miyazaki, Y. 1990. Properties of super-durable mortars with admixtures, *Admixtures of concrete improvement of properties. Proceedings of the international RILEM Symposium, Proceedings* 5: 347–358.
- Nawy, G. 2008. *Concrete Construction Engineering Handbook*. Second edition. ISBN 978-0-8493-7492-0.
- Ohama, Y.; Demura, K.; Tachibana, K.; Endo, T.; Sato, Y. 1992. Development of durability – improving admixtures for concrete, in *9th International Congress on the Chemistry of Cement* 5: 641–646.
- Pfeifer, J. 2005. *Alpha Silanes – New Building Blocks for High – Performance Coatings*. Presentation at the European coatings show. Germany.
- Ragaišytė, I.; Daukšys, M.; Klovas, A. 2011. Vandens įgertį mažinančių cheminių priedų įtaka smulkiagrūdžių betonų savybėms, *Statybinės konstrukcijos ir technologijos* [Engineering Structures and Technologies] 3(4): 157–168.
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.017>
- Skripkiūnas, G. 2007. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės*. Kaunas: Vitae Litera.
- Xu, Y.; Chung, L. 1999. Improving the workability and strength of silica fume concrete by using silane-treated silica fume, *Cement and Concrete Research* 29: 451–453.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00228-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00228-2)

PROPERTIES OF HARDENED CEMENT PASTE DEPENDING ON SILANE BASED CHEMICAL ADMIXTURES

I. Ragaišytė, M. Daukšys, A. Klovas

Abstract. The article focuses on the influence of water repellent, silane based concrete admixtures on the physical, mechanical and porosity properties of hardened cement paste. To obtain the expected results, six compositions of cement slurries were designed changing the amount and type of the silane based chemical admixture. In order to obtain technological, physical and mechanical properties of cement (slurry) stone, the following experiments, including a test on the flow characteristics of cement slurries, a test on compression and bending strength as well as the analysis of porosity and resistance to frost were accomplished. On the basis of the achieved results and using a different amount and type of silane based chemical admixtures, the flow characteristics of cement slurry has increased up to 1,47 times in respect to the control specimen. On the other hand, when using the above introduced silane based chemical admixtures, the obtained results show a decrease in the density and strength of compression and bending. By adding chemical admixture “WACKER BS 1701” 0,2% and taking into account the amount of cement, a decrease in density goes up to 2,4%. The most noticeable decrease in bending strength (26%) is obtained by using WACKER BS SMK 2101 (0,1% in respect to the amount of cement). In addition, the biggest decrease in compression strength (34,6%), considering the control specimen, can be noticed when using SILRES BS 290 (0,2%) as a silane based chemical admixture. Water absorption of the control specimen with no silane based chemical admixtures is very similar to those containing them (vary around 1). The properties of porosity (opened and closed) are also very close and vary around 2% at the maximum. The indicator of medium pore size - λ shows that the control specimen include large pores ($\lambda = 7,92$). In most cases, by using the silane based chemical admixture, minor pores are obtained ($\lambda = 0,94 - 3,66$). The results received following 100 cycles of freezing-thaw show that all specimens have passed the test. Their surfaces did not contain any cracking.

Keywords: silane based concrete admixtures, chemical admixtures, cement slurry, hardened cement paste, compressive strength, porosity water repellent.

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, Kaunas University of Technology (KTU), Lithuania. Research interests: new concrete placing technologies, research on concrete aggregates and admixtures, quality parameters of concrete surface.

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