

CEMENTINIO AKMENS SU SKIRTINGOS PASKIRTIES CHEMINIAIS PRIEDAIS
PORINGUMO RODIKLIAILukas Venčkauskas¹, Mindaugas Daukšys²

Kauno technologijos universitetas

El. pastas: ¹l.venckauskas@gmail.com; ²mindaugas.dauksys@ktu.lt

Santrauka. Tyrimo metu nustatyta kompleksinė bei atskirų skirtingos paskirties cheminių priedų įtaka cementinio akmens poringumo rodikliams – atvirajam ir uždaramajam poringumui, vidutinio porų dydžio ir porų vienodumo rodikliams. Tyrimuose naudoti cheminiai priedai: plastifikuojantis, klampą modifikuojantis ir mišinyje susiformavusias oro poras suardantis priedas. Nustatyta, kad cemento tešloje (V/C – 0,45) esant pastoviam plastifikuojančio priedo kiekiui – 1,0 % cemento masės, klampą modifikuojančio priedo kiekiui kintant nuo 0,1 iki 0,6 %, o mišinyje susiformavusias oro poras suardančio priedo kiekiui kintant nuo 0,05 iki 0,3 %, cementinio akmens atvirasis poringumas svyruoja nuo 30,21 iki 31,06 %, o uždarasis – nuo 5,39 iki 6,22 %. Cemento tešloje viršijus plastifikuojančio priedo 1,1 % cemento masės, cementinio akmens atvirasis poringumas padidėja apie 1,4 karto, o uždarasis poringumas sumažėja apie 2,5 karto. Pridėjus į tešlą 0,1 % cemento masės klampą modifikuojančio priedo, cementinio akmens atvirasis poringumas padidėja apie 1,5 karto, uždarasis poringumas sumažėja apie 2,4 karto. Oro poras suardančio priedo kiekis 0,05 % cemento masės cementinio akmens atvirąjį poringumą padidina apie 1,5 karto, uždarąjį poringumą sumažina apie 3,5 karto.

Reikšminiai žodžiai: portlandcementis, cheminis priedas, plastifikuojantis priedas, klampą modifikuojantis priedas, susiformavusias oro poras mišinyje suardantis priedas, cementinis akmuo, vandens įgėris, poringumas.

Įvadas

Betono mišinio technologinių bei sukietėjusio betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms reguliuoti ruošiant mišinį naudojami įvairios paskirties cheminiai priedai. Siekiant efektyviai panaudoti tam tikros paskirties cheminius priedus ir pasiekti reikiamas sukietėjusio betono savybes, svarbu iširti ir šių priedų poveikį cementinio akmens fizikinėms ir mechaninėms savybėms.

Lietuvoje betono irimas dėl šalčio poveikio yra aktuali problema, tam įtakos turi vyraujančių šaltų ir permainingų orų klimatas. Nuo cementiniame akmenyje susiformavusios atvirų ir uždarų kapiliarų struktūros priklauso ir pačio betono atsparumas užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičiaus poveikiui. Daugelio mokslininkų darbuose aprašytas teigiamas orą įtraukiančių cheminių priedų poveikis cementinio akmens poringumo rodikliams. Svarbu nustatyti kartu naudojamų kelių priedų kompleksinę bei atskirų skirtingos paskirties cheminių priedų įtaką cementinio akmens poringumo rodikliams. Kadangi betono atsparumo šalčiui nustatymas reikalauja nemažai lėšų ir laiko, tyrimo metu buvo remiamasi greitesniu betono atsparumo šalčiui nustatymo metodu – atsparumo šalčiui prognozavimu pagal užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičių.

Autoriai (Skripkiūnas 2007; Eisinas, Baltakys 2009) teigia, kad cementinis akmuo yra poringas kūnas, kuriame

didžiąją dalį kietosios fazės sudaro koloidinio dispersiškumo mikrokristalai, galintys surišti gana didelį kiekį vandens. Kapiliarinių porų kiekis cementiniame akmenyje priklauso nuo vandens kiekio arba nuo V/C santykio ir hidratacijos laipsnio. Cementiniame akmenyje esančios kapiliarinės poros būna užpildytos vandeniu arba oru, o jų skersmuo siekia nuo 0,1 iki 10 μm; oro poros dažniausiai būna sferinės formos, o jų skersmuo siekia – nuo 50 iki 100 μm.

Šiuo metu naudojami įvairios cheminės sudėties plastikliai ir superplastikliai, kurie keičia cemento tešlos ir betono mišinio reologines savybes (Hanehara, Yamada 1999). Šių priedų efektyvumas priklauso nuo jų cheminės sudėties bei adsorbcijos mechanizmo dalelių paviršiuje (Sakai *et al.* 2003). Superplastikliai polikarboksilaninių ir polisulfonatinų polimerų pagrindu pasižymi didele įtaka betono mišinio ir betono savybėms (Flatt, Houst 2001). Orą įtraukiantys cheminiai priedai naudojami didinant betono atsparumą šalčiui (Attiogbe 1996). Klampą modifikuojantys cheminiai priedai mažina betono mišinių sluoksniavimąsi bei vandens atsiskyrimą, turi įtakos mišinių tiksotropijai (Khayat, Guizani 1997; Khayat *et al.* 2002). Cheminiai priedai silanų ir siloksanų pagrindu hidrofobizuoja cementinio akmens porų sienelės ir sumažina kapiliarinę įgertį neuždarydami porų ir kapiliarų (Pfeifer 2005). Betono cheminių priedų

gamintojas (<http://www.basf-cc.lt/lt>) teigia, kad mišinyje susiformavusias oro poras suardantys cheminiai priedai naudojami siekiant išgauti lygų ir beporų betono gaminių bei betono monolitinių konstrukcijų paviršių.

Vandens prisotintas betonas pradeda irti veikiant cikliškam užšaldymui ir atšildymui – betono porose užšalantis vanduo virsta ledu, kurio tūris 9 % didesnis nei vandens užimamas tūris. Todėl ledo kristalai slekia medžiagos porų ir kapiliarų sienelės, plečia visą gaminį ir gali jį suardyti (Cai, Liu 1998; Chatterji 2003).

Autorių (Шейкин, Добшиц 1989) pasiūlytas metodas leidžia prognozuoti betono atsparumą šalčiui pagal atsparumo šalčiui kriterijų, kai yra žinomi betono poringumo rodikliai. Autorius (Attiogbe 1996) savo tyrimuose betono ilgalaikiškumui prognozuoti taip pat naudoja panašią metodiką. Autoriai (Гочаков *et al.* 1976; Gurskis 1996) betono atsparumą šalčiui sieja su jo atviruoju poringumu, tai yra masiniu vandens įgeriu, tačiau ir pabrėžia, kad vien šio rodiklio nepakanka.

Šiame darbe nagrinėjama plastifikuojančių, klampą modifikuojančių ir mišinyje susiformavusias oro poras suardančių priedų kompleksinė bei atskirų cheminių priedų įtaka cementinio akmens poringumo rodikliams.

Tyrimo metodai ir medžiagos

Tyrimams buvo naudotas AB „Akmenės cementas“ portlandcementis CEM II/A-LL 42,5 R (MA) (A). Cemento dalelių savitasis paviršius 360 m²/kg, dalelių tankis 3110 kg/m³, normalaus tirštumo tešlos vandens sąnaudos 23,8 %, rišimosi pradžia 185 min, gniuždymo stipris po 28 parų kietėjimo 44,1 MPa.

Tyrimams naudoti įmonės BASF *Construction Chemicals Italia Spa* pagaminti cheminiai priedai. Kaip plastifikuojantis priedas naudotas superplastiklis polikarboksilato eterių polimerų pagrindu *Glenium SKY 628* (žymuo PL) – gelsvas skystis; tirpalo tankis – 1,06 g/cm³; maksimalus chloridų kiekis – 0,10 %; maksimalus ekvivalentinis šarmų kiekis – 2,5 %. Rekomenduojama dozė 0,6–1,4 % cemento masės. Kaip klampą modifikuojantis priedas naudotas didelės molekulinės masės rudas skystis sintetinių kopolimerų pagrindu *RheoMATRIX 100* (žymuo KM); tirpalo tankis – 1,01 g/cm³; vandenilio jonų koncentracija, pH – 6–9; maksimalus chloridų kiekis – <0,1 %. Rekomenduojama dozė 0,1–1,5 % nuo smulkesnio už 0,1 mm užpildo kiekio masės. Kaip suardantis mišinyje susiformavusias oro poras naudotas cheminis priedas *Rheomix 880* (žymuo ON) – geltonai rusvas skystis; tirpalo tankis – 0,96 g/cm³; nelakiųjų medžiagų kiekis – 95±4,8 %. Rekomenduojama dozė 0,1–1,3 % cemento masės.

Cemento tešlos buvo maišomos priverstinio maišymo maišyklėje „Automix“. Cementas buvo dozuojamas pagal masę, o vanduo ir cheminiai priedai – pagal tūrį. Tyrimo metu cemento tešlų vandens ir cemento santykis buvo pastovus – 0,45. Nagrinėjant kompleksinių priedų įtaką cementinio akmens poringumo rodikliams, į cemento tešlą dėtas pastovus PL priedo kiekis – 1,0 % cemento masės, KM priedo – nuo 0,1 iki 0,6 %, ON priedo – nuo 0,05 iki 0,3 %. Nagrinėjant atskirų cheminių priedų įtaką cementinio akmens poringumo rodikliams, į cemento tešlą PL priedo dėta nuo 0,2 iki 2,0 % cemento masės, KM priedo – nuo 0,1 iki 0,6 %, ON priedo – nuo 0,05 iki 0,3 %.

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

Cementinio akmens atsparumo šalčiui prognozavimas atliktas tokia seka. Cementinio akmens bandinys – 160×40×40 mm dydžio prizmė – perskeliamas į dvi dalis, kurios džiovinamos džiovinimo spintoje 90 °C temperatūroje parą laiko. Paskui nustatoma šių bandinių vandens įgeriamumo kinetika pagal standarto GOST 12730.4 reikalavimus. Nustačius vandens įgeriamumo kinetiką, apskaičiuojamas cementinio akmens bendras, atviras ir uždaras poringumas. Bendras cementinio akmens poringumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_b = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_s} \right), \% \quad (1)$$

čia: P_b – bendrasis cementinio akmens poringumas, %; ρ_c – cementinio akmens tankis, kg/m³; ρ_s – cementinio akmens savitasis tankis, kg/m³.

Cementinio akmens atvirasis (kapiliarinis) poringumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_a = W_p \cdot \frac{\rho_c}{1000}, \% \quad (2)$$

čia: P_a – atvirasis cementinio akmens poringumas, %; W_p – pilnasis cementinio akmens bandinių vandens įgeriamumas, %.

Cementinio akmens uždasis (įtrauktas oras cementiniame akmenyje) poringumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_u = P_b - P_a, \% \quad (3)$$

čia P_u – uždasis cementinio akmens poringumas, %.

Iš standarte GOST 12730.4 pateiktos nomogramos tirtam cementiniam akmeniui parenkami porų dydį apibūdinantys santykiniai rodikliai: λ – vidutinio porų dydžio rodiklis ir α – porų vienodumo rodiklis.

Tyrimų rezultatai

Kompleksinių cheminių priedų įtaka cementinio akmens poringumo rodikliams. Tiriant kompleksinių priedų įtaką cementinio akmens poringumo rodikliams, į cemento tešlą ($V/C = 0,45$) dėtas pastovus PL priedo kiekis – 1,0 % cemento masės, KM priedo – nuo 0,1 iki 0,6 % ir ON priedo – nuo 0,05 iki 0,3 % (sudėties žymuo CK1–CK6). Rezultatams palyginti kontrolinė cemento tešlos sudėtis buvo ruošiamą tik su 1,0 % cemento masės PL priedu (sudėties žymuo CK0). Nustatyti cementinio akmens CK0–CK6 sudėčių tankis ir poringumo rodikliai pateikti 1 lentelėje. Iš šioje lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad esant pastoviam PL priedo kiekiui 1,0 % cemento masės, KM priedo kiekiui kintant nuo 0,1 iki 0,6 %, o ON priedo kiekiui kintant nuo 0,05 iki 0,3 %, cementinio akmens tankis sumažėja nuo 1727 iki 1673 kg/m^3 (sumažėja apie 1,03 karto), o cementinio akmens vandens įgėris padidėja nuo 14,18 iki 18,32 % (padidėja apie 1,3 karto). PL priedo kombinacija su KM ir ON priedais veikia cementinio akmens tankio mažėjimą bei vandens įgėrio didėjimą. Cemento hidratacijos metu pasišalinant pertekliniam vandens kiekiui cementiniame akmenyje formuojasi didesnis kiekis atvirų porų bei kapiliarų.

1 lentelė. Cementinio akmens CK0–CK6 tankis ir poringumo parametrai

Table 1. Density and porosity parameters of hardened cement paste CK0–CK6

Sudėties žymuo	Tankis, kg/m^3	W_p , %	P_b , %	P_a , %	P_u , %	Poringumo rodikliai	
						1	a
1	2	3	4	5	6	7	8
CK0	1727	14,2	34,8	24,5	10,4	8,11	0,47
CK1	1684	18,5	36,5	31,1	5,4	3,53	0,66
CK2	1701	17,7	35,8	30,2	5,6	3,35	0,67
CK3	1672	18,5	36,9	30,9	5,9	2,71	0,63
CK4	1673	18,6	36,9	31,2	5,7	2,54	0,62
CK5	1672	18,7	36,9	31,3	5,6	2,69	0,69
CK6	1673	18,3	36,9	30,6	6,2	2,62	0,66

Pagal cementinio akmens atvirojo (kapiliarinio) ir uždarojo (oro kiekio cementiniame akmenyje) poringumų kitimą priklausomai nuo kompleksinių priedų kiekio matyti, kad esant pastoviam PL priedo kiekiui 1,0 % cemento masės, KM priedo kiekiui kintant nuo 0,1 iki 0,6 %, o ON priedo kiekiui kintant nuo 0,05 iki 0,3 %, cementinio akmens atvirasis poringumas svyruoja nuo 30,2 iki 31,1 %, o uždarojis – nuo 5,4 iki 6,2 %. Išsiskiria CK0 sudėties cementinio akmens atvirasis ir uždarojis poringumai. Į kontrolinės sudėties cemento tešlą jau pridėjus KM priedo 0,1 % ir ON priedo 0,05 % cemento

masės, cementinio akmens atvirasis poringumas padidėja nuo 24,5 iki 31,1 %, o uždarojis poringumas sumažėja nuo 10,4 iki 5,4 %. Toliau didinant KM ir ON priedų kiekius, tiek atvirasis, tiek uždarojis cementinio akmens poringumai kinta nežymiai. Atviros poros ir kapiliarai cementiniame akmenyje formuojasi pasišalinant laisvajam vandeniui, o susidariusių porų skaičius ir dydis priklauso nuo vandens ir cemento santykio. Uždaros poros cementiniame akmenyje formuojasi iš aplinkos įtraukiant orą į mišinį ir dėl kietėjančio cementinio akmens kontrakcijos (Safiuddin, Hearn 2005).

Cementinio akmens poringumo rodiklių α ir λ dydžių kitimas rodo, kad esant pastoviam PL priedo kiekiui 1,0 % cemento masės, KM priedo kiekiui kintant nuo 0,1 iki 0,6 % ir ON priedo kiekiui kintant nuo 0,05 iki 0,3 %, cementinio akmens porų vienodumo rodiklis α kinta nuo 0,62 iki 0,69, o vidutinio porų dydžio rodiklis λ kinta nuo 2,54 iki 3,53. Rodiklis α rodo, kad porų pasiskirstymas pagal dydį cementiniame akmenyje yra labai panašus. Vidutinio porų dydžio rodiklis λ rodo, kad cementiniame akmenyje susiformavusios poros yra smulkios.

Plastifikuojančio priedo (PL) įtaka cementinio akmens poringumo rodikliams. Tiriant PL priedo įtaką cementinio akmens poringumui, į cemento tešlą ($V/C = 0,45$) minėto priedo dėta nuo 0,2 iki 2,0 % cemento masės (sudėties žymuo PL0.2–PL2.0). Rezultatams palyginti kontrolinė cemento tešlos sudėtis buvo ruošiamą be cheminių priedų (sudėties žymuo C0). Nustatyti cementinio akmens PL0.2–PL2.0 sudėčių tankis ir poringumo rodikliai pateikti 2 lentelėje. Iš šioje lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad didinant PL priedo kiekį nuo 0,2 iki 2,0 % cemento masės, cementinio akmens tankis kinta nuo 1641 iki 1733 kg/m^3 , o cementinio akmens vandens įgėris pamažu didėja. Lyginant su kontroline sudėtimi didžiausias cementinio akmens vandens įgėris (padidėja apie 1,5 karto) bei mažiausias tankis (sumažėja apie 1,1 karto) gautas pridėjus PL priedo 1,2 % cemento masės (PL1.2 sudėtis).

Pagal cementinio akmens PL0.2–PL2.0 sudėčių atvirojo ir uždarojo poringumų kitimą, priklausomai nuo PL priedo kiekio, matyti, kad didinant PL priedo kiekį iki 1,0 % cemento masės tiek atvirasis, tiek uždarojis cementinio akmens poringumai kinta nežymiai. Atvirasis cementinio akmens poringumas svyruoja nuo 23,4 iki 25,0 %, uždarojis – nuo 10,4 iki 11,3 %. Tačiau didinant PL priedo kiekį iki 1,2 % cemento masės (PL1.2 sudėtis), vyksta atvirojo poringumo padidėjimas bei atitinkamai uždarojo poringumo sumažėjimas. Lyginant su kontroliniu cementinio akmens (C0 sudėtis) poringumu, atvirasis poringumas padidėja apie 1,4 karto, o uždarojis poringumas sumažėja apie 2,5. Toliau didinant PL priedo kiekį nuo 1,4 iki 2,0 % cemento masės,

2 lentelė. Cementinio akmens PL0.2–PL2.0 tankis ir poringumo rodikliai

Table 2. Density and porosity parameters of hardened cement paste PL0.2–PL2.0

Sudėties žymuo	Tankis, kg/m ³	W_p , %	P_b , %	P_a , %	P_w , %	Poringumo rodikliai	
						1	a
1	2	3	4	5	6	7	8
C0	1726	13,7	34,9	23,7	11,2	11,35	0,45
PL0.2	1715	14,5	35,3	24,8	10,5	14,21	0,35
PL0.4	1730	13,6	34,7	23,4	11,3	10,95	0,38
PL0.6	1702	14,7	35,7	25,0	10,7	10,94	0,36
PL0.8	1705	14,4	35,7	24,5	11,1	10,97	0,41
PL1.0	1727	14,2	34,8	24,5	10,4	9,63	0,47
PL1.2	1641	20,5	38,1	33,7	4,5	7,99	0,53
PL1.4	1683	19,3	36,5	32,4	4,0	7,99	0,51
PL1.6	1682	19,0	36,5	31,9	4,6	7,37	0,58
PL1.8	1710	18,5	35,5	31,6	3,9	6,85	0,62
PL2.0	1733	18,0	34,6	31,1	3,5	5,52	0,65

ties atvirasis, ties uždarys poringumai kinta nežymiai. Atvirasis poringumas svyruoja nuo 31,1 iki 32,4 %, uždarys poringumas – nuo 3,5 iki 4,6 %.

Didinant PL priedo kiekį iki 1,2 % cemento masės, vyksta vandens įgėrio bei atvirojo poringumo padidėjimas, uždarojo poringumo sumažėjimas. Manome, kad šiam procesui darė įtaką vandens atsiskyrimas iš cemento tešlos, jis buvo stebimas formuojant bandinius. Esant cemento tešlos vandens ir cemento santykiui 0,45 ir viršijus PL priedo kiekį daugiau kaip 1,1 % cemento masės, gaunama netechnologiška cemento tešla. Cemento hidratacijos metu pasišalinant pertekliniam vandens kiekiui cementiniame akmenyje formuojasi didesnis kiekis atvirų porų bei kapiliarų, dėl to ir padidėja cementinio akmens vandens įgėris bei atvirasis poringumas, sumažėja uždarys poringumas.

Cementinio akmens poringumo rodiklių α ir λ reikšmės rodo, kad didinant PL priedo kiekį nuo 0,2 iki 2,0 % cemento masės cementinio akmens rodiklis α kinta nuo 0,35 iki 0,65, o rodiklis λ – nuo 5,52 iki 14,21. Rodiklis α rodo, kad cementiniame akmenyje susiformavusios poros yra palyginti panašaus dydžio. Rodiklis λ rodo, kad cementinio akmens PL0.2–PL1.0 sudėčių poros yra gana stambios (λ kinta nuo 9,63 iki 14,21), o cementinio akmens PL0.1–PL2.0 sudėtyse pasižymi smulkesnėmis poromis (λ kinta nuo 5,52 iki 7,99). Didesnio stambumo poros paprastai formuojasi cementiniame akmenyje, nenaudojant orą įtraukiančio priedo.

Pasišalinant pertekliniam vandens kiekiui cementiniame akmenyje formuojasi didesnis kiekis atvirų porų bei kapiliarų, todėl į cementinio akmens struktūrą patenka didesnis vandens kiekis, nuo kurio priklauso sukeliamas ardomasis poveikis užšalant.

Klampa modifikuojančio priedo (KM) įtaka cementinio akmens poringumo rodikliams. Tiriant KM priedo įtaką cementinio akmens poringumui, į cemento tešlą ($V/C = 0,45$) minėto priedo dėta nuo 0,1 iki 0,6 % (žymuo KM0.1–KM0.6). Nustatyti cementinio akmens KM0.1–KM0.6 sudėčių tankis ir poringumo rodikliai pateikti 3 lentelėje. Šioje lentelėje matyti, kad didinant KM priedo kiekį iki 0,1 % cemento masės, cementinio akmens tankis sumažėja apie 1,1 karto, o vandens įgėris padidėja apie 1,6 karto, lyginat su kontroline sudėtimi (C0). Toliau didinant KM priedo kiekį iki 0,6 % cemento masės, tiek cementinio akmens tankis, tiek vandens įgėris svyruoja mažai.

3 lentelė. Cementinio akmens KM0.1–KM0.6 tankis ir poringumo rodikliai

Table 3. Density and porosity parameters of hardened cement paste KM0.1–KM0.6

Sudėties žymuo	Tankis, kg/m ³	W_p , %	P_b , %	P_a , %	P_w , %	Poringumo rodikliai	
						1	a
1	2	3	4	5	6	7	8
C0	1726	13,7	34,9	23,6	11,2	11,35	0,45
KM0.1	1599	21,8	39,7	34,9	4,7	6,87	0,69
KM0.2	1578	23,2	40,5	36,6	3,9	5,11	0,74
KM0.3	1589	22,8	40,0	36,3	3,7	8,67	0,56
KM0.4	1561	24,6	41,1	38,3	2,8	5,26	0,74
KM0.5	1573	23,4	40,7	36,7	3,9	4,49	0,86
KM0.6	1570	23,1	40,8	36,2	4,5	4,69	0,88

Didinant KM priedo kiekį iki 0,1 % cemento masės (KM0.1 sudėtis), cementinio akmens atvirasis poringumas (kapiliarinis) padidėja apie 1,5 karto, uždarys poringumas (oro kiekis cementiniame akmenyje) sumažėja apie 2,4 karto, lyginat su kontroline sudėtimi (C0). Toliau didinant KM priedo kiekį iki 0,6 % cemento masės, tiek atvirasis cementinio akmens poringumas (nuo 34,9 iki 36,7 %), tiek uždarys poringumas (nuo 2,8 iki 4,7 %) kinta gana nežymiai.

Cementinio akmens KM0.1–KM0.6 sudėčių poringumo rodikliai α ir λ rodo, kad didinant KM priedo kiekį nuo 0,1 iki 0,6 % cemento masės, cementinio akmens rodiklis α didėja nuo 0,69 iki 0,88, o rodiklis λ mažėja nuo 6,87 iki 4,69. Rodiklis α rodo, kad cementiniame akmenyje susiformavusios poros yra panašaus dydžio. Rodiklis λ rodo, kad cementinio akmens (sudėtis KM0.1–KM0.6) poros yra vidutinio stambumo ir smulkesnės nei kontrolinio bandinio.

Dėl cementiniame akmenyje susiformavusių atvirų porų bei kapiliarų į cementinio akmens struktūrą patenka vanduo, kuris užšaldamas didina savo tūrį apie 9 % ir sukelia ardančią poveikį kapiliarų sienelėms (Cai, Liu 1998). Pagal atvirojo ir uždarojo poringumų rodiklius matyti, kad KM priedas turi neigiamą įtaką cementinio akmens atsparumui šalčiui.

Mišinyje susiformavusias oro poras suardančio priedo (ON) įtaka cementinio akmens poringumui, į cemento tešlą (V/C – 0,45) minėto priedo dėta nuo 0,05 iki 0,3 % (žymuo ON0.05–ON0.3). Nustatyti cementinio akmens sudėčių ON0.05–ON0.3 tankis ir poringumo rodikliai pateikti 4 lentelėje. Iš šios lentelės matyti, kad didinant ON priedo kiekį iki 0,05 % cemento masės, cementinio akmens tankis sumažėja apie 1,1 karto, o vandens įgėris padidėja apie 1,6 karto, lyginant su kontroline sudėtimi. Toliau didinant ON priedo kiekį iki 0,3 % cemento masės, tiek cementinio akmens tankis, tiek vandens įgėris kinta mažai. Cementinio akmens ON0.05–ON0.3 sudėčių poringumo rodiklių α ir λ reikšmės rodo, kad didinant ON priedo kiekį nuo 0,05 iki 0,3 % cemento masės, cementinio akmens rodiklis α kinta nuo 0,83 iki 0,87, o rodiklis λ sumažėja nuo 3,81 iki 2,40. Rodiklis α rodo, kad cementiniame akmenyje susiformavusios poros yra panašaus dydžio. Rodiklis λ rodo, kad cementinio akmens ON0.05–ON0.3 sudėčių poros yra gerokai smulkesnės nei kontrolinio bandinio.

Cementinio akmens sudėčių ON0.05–ON0.3 atvirojo ir uždarojo poringumų kitimas rodo, kad jau pridėjus ON priedo 0,05 % cemento masės (ON0.05 sudėtis), cementinio akmens atvirasis poringumas padidėja apie 1,5 karto, o uždarojo poringumas sumažėja apie 3,5 karto, lyginant su kontroline sudėtimi. Toliau didinant ON priedo kiekį iki 0,3 % cemento masės, tiek atvirasis cementinio akmens poringumas (nuo 36,2 iki 37,2 %), tiek uždarojo poringumas (nuo 3,2 iki 3,8 %) kinta mažai.

4 lentelė. Cementinio akmens ON0.05–ON0.3 tankis ir poringumo rodikliai

Table 4. Density and porosity parameters of hardened cement paste ON0.05–ON0.3

Sudėties žymuo	Tankis, kg/m ³	W_p , %	P_b , %	P_a , %	P_u , %	Poringumo rodikliai	
						l	a
1	2	3	4	5	6	7	8
C0	1726	13,7	34,9	23,7	11,2	11,35	0,45
ON0.05	1603	22,6	39,5	36,3	3,2	3,81	0,83
ON0.1	1600	22,6	39,6	36,2	3,5	3,47	0,86
ON0.15	1604	22,4	39,5	35,8	3,6	3,22	0,88
ON0.2	1594	22,9	39,8	36,5	3,4	2,90	0,86
ON0.25	1580	23,2	40,4	36,6	3,7	1,80	0,84
ON0.3	1564	23,7	41,0	37,2	3,8	2,40	0,87

Klampą modifikuojantis ir mišinyje susiformavusias oro poras suardantis priedai naudojami tiek atskirai, tiek kompleksiskai su kitais cheminiais priedais, mažina cementinio akmens uždarojo poringumą bei didina atvirąjį poringumą. Tai turi neigiamos įtakos cementinio akmens atsparumui šalčiui. Naudojant monolitiniams konstrukci-

joms betonuoti betono mišinius su klampą modifikuojančiu priedu ar su mišinyje susiformavusias oro poras suardančiu priedu, priklausomai nuo konstrukcijos paskirties, reikėtų įvertinti šių priedų įtaką betono monolitinės konstrukcijos ilgaamžiškumui.

Išvados

1. Palyginti su kontroline sudėtimi, panaudojus kelių cheminių priedų – plastifikuojančio, klampą modifikuojančio ir mišinyje susiformavusias oro poras suardančio – kompleksą, apie 1,3 karto padidėja cementinio akmens atvirasis poringumas, apie 1,9 karto sumažėja uždarojo poringumas, nors atviros poros tampa smulkesnės ir pagal dydį yra panašios.
2. Viršijus plastifikuojančio priedo polikarboksilato eterių polimerų pagrindu kiekį daugiau kaip 1,1 % cemento masės ir esant V/C – 0,45, vyksta vandens atsiskyrimas iš cemento tešlos. Šis procesas paveikė cementinio akmens atvirojo poringumo padidėjimą, uždarojo poringumo sumažėjimą bei susiformavusių panašaus dydžio porų stambėjimą.
3. Klampą modifikuojančio priedo didelės molekulinės masės sintetinių kopolimerų pagrindu kiekis 0,1 % cemento masės, jis apie 1,5 karto padidina cementinio akmens (V/C – 0,45) atvirąjį poringumą ir apie 2,4 karto sumažina uždarojo poringumą. Didesni šio priedo kiekiai cementinio akmens poringumo rodikliams žymesnės įtakos neturi.
4. Oro poras suardančio priedo kiekis 0,05 % cemento masės, jis apie 1,5 karto padidina cementinio akmens (V/C – 0,45) atvirąjį poringumą ir net apie 3,5 karto sumažina uždarojo poringumą. Didinant šio priedo kiekį cementinio akmens poringumo rodikliai keičiasi nežymiai.
5. Pagal poringumo rodiklius klampą modifikuojantis ir mišinyje susiformavusias oro poras suardantis priedai mažina cementinio akmens atsparumą šalčiui.

Literatūra

- Attiogbe, E. K. 1996. Predicting freeze–thaw durability of concrete – A new approach, *ACI Materials Journal* 93(5): 457–464.
- 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 portlancemyje nustatymas viena laikės terminės analizės metodu, *Cheminė technologija* 1: 1392–1231.
- Flatt, R. J.; Houst, Y. F. 2001. A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers, *Cement and Concrete Research* 31: 1169–1176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00534-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00534-8)
- Gurskis, V. 1996. Ryšiai tarp betono atsparumo šalčiui ir struktūros rodiklių, iš *Hidroinžinerija ir žemėtvarka. Tarptautinės mokslinės konferencijos medžiaga*. Kaunas, 54–57.
- Hanehara, Sh.; Yamada, K. 1999. Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behaviour of admixture, and paste rheology, *Cement and Concrete Research* 29: 1159–1165. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00004-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00004-6)
- Khayat, K. H.; Guizani, Z. 1997. Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete, *ACI Materials Journal* 94(4): 332–340.
- Khayat, K. H.; Saric-Coric, M.; Liotta, F. 2002. Influence of thixotropy on stability characteristics of cement grout and concrete, *ACI Materials Journal* 99(3): 234–241.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.017>
- Sakai, E.; Yamada, K.; Ohta, A. 2003. Molecular structure and dispersion-adsorption mechanisms of comb-type superplasticizers used in Japan, *Journal of Advanced Concrete Technology* 1(1): 16–25. <http://dx.doi.org/10.3151/jact.1.16>
- Skripkiūnas, G. 2007. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės*. Kaunas: Vitae Litera, 105–115.
- Гочаков, Г. И.; Орентлихер, Л. П.; Савин, И. И.; Воронин, В. В.; Алимов, Л. А.; Новикова, И. П. 1976. *Состав, структура и свойства цементных бетонов* [Gočakov, G. I. ir kiti. Cementinių betonų sudėtis, struktūra ir savybės]. Москва, Стройиздат. 156 c.
- Шейкин, А. Е.; Добшиц, Л. М. 1989. *Цементные бетоны высокой морозостойкости* [Šeikin, A. E.; Dobšic, L. M. Didelio ilgaamžiškumo cementiniai betonai]. Ленинград: Стройиздат. 128 c.

ing and antifoaming admixtures. It has been found that, when the amount of plasticizing admixture in cement paste (W/C=0.45) is constant and makes 1.1% of the cement mass, and the amount of viscosity modifying and antifoaming the admixture increases from 0.1 to 0.6% and from 0.05 to 0.3% respectively, the open porosity of hardened cement paste varies between 30.21% and 31.06%, while closed porosity varies between 5.39% and 6.22%. When the amount of the plasticizing admixture in cement paste (W/C=0.45) exceeds 1.1% of the cement mass, the open porosity of hardened cement paste increases by 1.4 times and closed porosity decreases by 2.5 times. While adding 0.1% of the viscosity modifying admixture to cement paste, the open porosity of hardened cement paste is increased by 1.5 times and closed porosity decreases by 2.4 times. The amount of 0.05% of the cement mass of the antifoaming admixture results in the increased open porosity of hardened cement paste by 1.5 times and reduced closed porosity by 3.5 times.

Keywords: Portland cement, chemical admixture, plasticizing admixture, viscosity modifying admixture, antifoaming admixture, hardened cement paste, water absorption, porosity parameter.

POROSITY PARAMETERS OF CEMENT STONE CONTAINING CHEMICAL ADMIXTURES OF DIFFERENT PURPOSE

L. Venčkauskas, M. Daukšys

Abstract

The conducted research has established a complex influence and the impact of separate chemical admixtures of different purpose on the parameters of the porosity of hardened cement paste such as open and closed porosity, the average size of pores and the rates of pore inequality. According to the parameters of the porosity of hardened cement paste, on the basis of A. E. Sheikin's methodology, the number of freezing-thawing cycles was predicted. This research used plasticizing, viscosity modify-