

Portlandcementinio skiedinio ilgaamžiškumo tyrimo paspartinimas

B. Vektaris

Kauno technologijos universiteto Architektūros ir statybos institutas,

Tunelio g. 60, LT-44405 Kaunas, Lietuva

El. paštas broniusv@poliplastas.lt

crossref <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ct.59.1.1525>

Gauta 2011 m. gruodžio 28 d.; priimta 2012 m. sausio 30 d.

Straipsnyje aprašomi cementinių skiedinių bandinių mišraus atsparumo šalčiui ir sulfatinei korozijai tyrimo paspartinimo rezultatai. Nustatyta, kad 5 % Na_2SO_4 tirpale įmirkytus skiedinio bandinius cikliškai šaldant ir po to juos tirpale atšildant galima apie du ar tris kartus paspartinti jų irimo pradžią. Parengtas cementinių gaminių ilgaamžiškumo paspartinto nustatymo metodas. Bandymui rekomenduojama gaminti $40 \times 40 \times 160$ mm bandinius iš cemento ir standartinio smėlio, imant jų masių santykį $C/S = 1 : 4$ ir vandens bei cemento santykį $V/C = 0,6$. Šaldymą atlikti per 7 ± 1 h esant -18 ± 2 °C temperatūrai ir po to 15 ± 1 h laikyti kambario temperatūros 5 % Na_2SO_4 tirpale. Vieno ciklo trukmė 24 h. Viso bandymo trukmė priklauso nuo C_3A kiekio bei hidraulinių priedų (opokos) ir gali užtrukti nuo 3 iki 6 mėnesių.

Įvadas

Cementinis skiedinys yra plačiai naudojama statybinė medžiaga. Jis yra ir betono sudedamoji dalis. Nuo cementinio skiedinio bei portlandcemenčio savybių labai priklauso eksploatuojamų betono ir gelžbetonio konstrukcijų ilgaamžiškumas. Realiomis eksploatacijos sąlygomis didžiausi ardanys poveikiai pasireiškia dėl temperatūros, drėgmės bei mineralinių – dažniausiai sulfatinių bei chloridinių – vandenių poveikio. Šie klausimai plačiai nagrinėjami mokslinėje literatūroje. Įvairių žalingų poveikių cementiniam betonui tyrimų apžvalga pateikta 2007 m. Kanadoje įvykusiame 12-tame pasauliniame cemento chemijos kongrese [1]. Šioje apžvalgoje nuosekliai išnagrinėti daugelio autorių paskelbti chloridinių ir sulfatinių vandenių, temperatūros poveikio bei druskų jonų difuzijos tyrimų rezultatai, cementinio akmens ir betono ardymo procesai. Taip pat pabrėžtas tolesnių šios problemos tyrimų aktualumas.

Atsparumo šalčiui nustatymui Lietuvoje galioja standartas LST 1428.17, pagal kurį standartinio dydžio 28 paras kietėję skiedinio arba betono bandiniai cikliškai šaldomi ($\geq 2,5$ h, esant -18 ± 2 °C) ir po to atšildomi ($\geq 2,5$ h, esant 18 ± 5 °C) vandenyje. Tokių ciklų gali būti atlikta iki 1000. Jų skaičius nurodomas statinio arba konstrukcijos projekte. Norint šį nustatymą paspartinti standarte aprašytas ir paspartintas bandymo metodas, pagal kurį užšaldyti bandiniai atšildomi ne vandenyje, bet 5 % NaCl tirpale. Šis metodas pirmiausia taikomas kelių ir aikštinių dangų betonui, bet gali būti taikomas ir įprastiniams betonams bei skiediniams. Taikant šį paspartintą metodą bandymas sutrumpėja nuo 6,25 karto (mažo atsparumo atveju) iki 2,3 karto – kai betonas pasižymi dideliu atsparumu šalčiui.

Betoninių grindinio trinkelėlių bandymui taikomas Europos standartas LST EN 1338+AC. Pagal jį šaldomų bandinių paviršius užpilamas 3 % NaCl tirpalo sluoksniu. Po bandinio atšildymo atskilusi nuo paviršiaus medžiaga surenkama ir pasverama. Atliekama 28 šaldymo

(-20 ± 2 °C) ir atšildymo ciklai. Rezultatas išreiškiamas atskilusios medžiagos kg/m^2 .

Panašus metodas parengtas ir kitiems betono tipams – LST CEN/TS 12390-9, pagal kurį atliekama 56 šaldymo ciklai. Šis metodas geriausiai tinka tokiems gaminiams, kuriuos veikia ne tik šaltis ir drėgmė, bet ir druska (NaCl), kuri pilama ant kelių nuo apledėjimo.

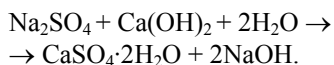
Yra siūlymų nustatyti betono atsparumą šalčiui skaičiavimo būdu, pagal atitinkamus betono struktūros parametrus bei betono sudėtį [2]. Tačiau betono atsparumą šalčiui vis dėlto reikia patikrinti eksperimentiškai.

Kai betonas naudojamas užtvankų, krantinių, nutekamųjų vandenių bei valymo įrenginių statybai, jį gali veikti sulfatiniai vandenys. Tokiais atvejais tenka naudoti specialius, sulfatams atsparius cementus. Tokiuose cementuose turi būti maži C_3A (dažniausiai ≤ 5 %) bei sumažinti C_3S (iki 50 %) kiekiai. Taip pat gali būti naudojami sulfatams atsparūs pucolaniniai arba šlakiniai cementai. Tačiau jų atsparumą sulfatams taip pat reikia nustatyti.

Yra įvairių atsparumo sulfatams nustatymo metodų. Pvz., pagal JAV standartą ASTM C 1012-95a $25 \times 25 \times 285$ mm arba $25 \times 25 \times 160$ mm cementinio skiedinio bandiniai įmerkiama į 5 % Na_2SO_4 ir jame laikomi periodiškai išmatuojant jų ilgio kitimą. Vokietijoje taikomi penki metodai [3]. Tam tikslui gaminami skiedinio bandiniai: $10 \times 40 \times 160$ mm; $20 \times 20 \times 160$ mm; $40 \times 40 \times 160$ mm arba $10 \times 10 \times 60$ mm prizmės, kurios po sukietėjimo (po 28 parų išlaikymo) laikomos tam tikros koncentracijos (pvz., 14400–35100 mg/l SO_4^{2-}) tirpale. Apie atsparumą sulfatams sprendžiama iš prizmių ilgio padidėjimo ($< 0,5$ mm/m) ir lenkiamojo arba tempiamojo stiprio sumažėjimo (ne daugiau kaip 30 %). Bandymas, nepaisant pasirinkto metodo, gali užtrukti nuo 56 iki 90 parų arba net iki 52 savaičių. Tačiau visi šie metodai nenumato bandinių bandymo iki suirimo.

Sulfatinių tirpalų poveikis cemento akmeniui priklauso nuo cemento cheminės sudėties ir sulfato jonų koncentracijos [3].

Na₂SO₄ tirpalas cementinio skiedinio ar betono porose maždaug dvigubai padidina Ca(OH)₂ tirpumą ir tiek pat sumažina CaSO₄ tirpumą. Į betono poras patekę SO₄²⁻ jonai pakeičia ten esančių jonų pusiausvyrą ir gali vykti mainų reakcija, susidarant gipsui:



Susidarant gipsui betono porose kietosios fazės tūris padidėja 2,34 karto [4] ir ardo betoną. Gipsas susidaro, kai tirpale sulfato jonų koncentracija yra 3000 mg/l arba didesnė.

Esant įvairioms sulfato jonų koncentracijoms jie gali reaguoti su trikalciu aliuminio hidratu ir sudaryti etringitą. Dėl to tūris padidėja 4,8 karto [4] ir jis sukelia betone didelius įtempimus. Be to, esant neaukštai vandens temperatūrai (apie 4 °C) ir CO₂ jonams gali susidaryti taumazitas. Šis junginys gali susidaryti iš CSH, SO₄²⁻, CO₃²⁻ ir vandens arba iš etringito, su kuriuo jis sudaro kietus tirpalus.

Šalia taumazito susidarymo gali susidaryti ir brustas (Mg(OH)₂), ir antrinis gipsas, dėl kurio suyra C-S-H ir hidratuoto cemento struktūra [5].

Sulfatų ir chloridų turintys vandenys yra agresyvūs gelžbetoninėms konstrukcijoms. Tačiau chlorido jonai sušvelnina sulfatų agresyvųjį veikimą [6]. Šis reiškinys nėra pakankamai ištirtas, tačiau manoma, kad NaCl padidina aukštabazių hidroaluminatų tirpumą, nepakeičiant jų baziskumo. Todėl sulfoaluminatai kristalinasi iš skystosios fazės, reakcija vyksta be plėtros reiškinų. Esant didelei NaCl tirpalo koncentracijai, hidroaluminatai persikristalina į chloraluminatus ir dėl to sulfoaluminatų kiekis sumažėja.

Pagal Liafumo teoriją [7], kai netirpus junginys iš tirpalo prisijungia kitą junginį, sukietėjusiame cemente visada vyksta plėtra. Bet jei ištirpsta ir reaguoja tirpale ir po to nusėda kietosios dalelės, plėtros nevyksta.

Į betoną įsiskverbę chloridai skatina plieninės armatūros koroziją. Kai betoną veikia ne tik chloridai, bet ir temperatūros (ypač neigiamos) kaita bei drėgmės migracija, chloridai betonui tampa labai kenksmingi. Pvz., vandeniui iš betono išgaravus arba jam sušalus, porose išsikristalina druskos hidratai. Naudojant NaCl ir esant -0,3 °C temperatūrai išsikristalina NaCl·2H₂O, o esant -20 °C – NaCl·3H₂O. Jų tūris padidėja apie 130 %, sukelia vidinius įtempimus ir ardo betoną.

Chloridų sąveika su kietėjančio cemento tešla arba sukietėjusiu cemento akmeniu aprašyta [1]. Nurodoma, kad chloridai reaguoja su hidratuotos cemento tešlos aliuminatine faze ir sudaro Frydelio druską 3CaOAl₂O₃·CaCl₂·10H₂O, kuri yra stabili plačiose chloridų koncentracijų ribose. Taip pat aptinkama mažiau stabili Kuzelio druska, kurios sudėtis 3CaOAl₂O₃·1/2CaCl₂·1/2CaSO₄·10H₂O.

Esant didelei chlorido tirpalo koncentracijai (apie 9 mol/l) susidaro įvairios sudėties oksichloridai, kurių bendroji išraiška yra xCa(OH)₂·yCaCl₂·7H₂O.

Kyla klausimas – kuris – NaCl ar Na₂SO₄ tirpalas yra cementiniam akmeniui agresyvesnis? Šis klausimas buvo nagrinėjamas ir aprašytas [8]. Buvo nustatyta, kad

šaldomi cementinio skiedinio bandiniai ir atšildomi 5 % NaCl tirpale susilpnėdavo greičiau, negu 5 % Na₂SO₄ tirpale. Pagal [8] druskos tirpalo agresyvumas susijęs su tirpalo užšalimo temperatūros pažemėjimu. 5 % NaCl tirpalo užšalimo temperatūra pažemėja iki -3,3 °C, o 5 % Na₂SO₄ tirpalo – iki -2 °C. Tačiau straipsnyje nenurodyta naudoto cemento cheminė ar mineralinė sudėtis. Galima manyti, kad naudotas portlandcementis buvo pakankamai atsparus sulfatų poveikiui, t. y. portlandcementis galėjo turėti nedaug C₃A (≤ 5 %) ir C₃S (≤ 50 %), nes tokią cementą sulfatai ardo mažiau. Gatvių ir kelių barstymui nuo apledėjimo naudojamas NaCl. Todėl ir atsparumo šalčiui bandymui pagreitinti yra naudojamas 5 % arba 3 % NaCl tirpalas.

Nors betonas yra daugiakomponentė medžiaga ir jo bei gelžbetonio konstrukcijų ilgaamžiškumas priklauso nuo daugelio veiksnių [9], tačiau kai tokias konstrukcijas veikia šaltis, drėgmė ir druskos, ypač sulfatai, reikia tirti ar naudojamas pagrindinis betono komponentas – cementas ir iš jo sudaromas skiedinys yra pakankamai atsparus tokiems poveikiams. Šie tyrimai ilgai užtrunka, ir ne visada būna galimybė iki cemento panaudojimo sulaukti tyrimų rezultatų.

Atsižvelgiant į neblogai pasiteisusią LST 1428.7 pagreitintą atsparumo šalčiui nustatymo metodą ir ankstesnius kompleksinius bandymus, nustatant kartu atsparumą šalčiui ir atsparumą sulfatams [5, 10, 11], tyrimai šia kryptimi buvo tęsiami toliau.

Šio darbo tikslas – nustatyti pagreitintam bandymui tinkamas skiedinio sudėtis, kurios užtikrintų kiek galima greitesnį bandinių suirimą, kai juos kartu veikia šaltis ir sulfatiniai vandenys.

Naudotos medžiagos ir darbo metodika

MEDŽIAGOS. Buvo naudojamas AB „Akmenės cementas“ ir Brocenės „Cemex“ Ltd portlandcemenčiai CEM I 42,5R, šie cementai su Stonišio opokos priedu ir smėliai: standartinis EN 196-1 ir įprastinis statybinis smėlis. Medžiagų cheminė sudėtis bei kitos savybės pateiktos 1 ir 2 lentelėse.

1 lentelė. Cemento ir opokos cheminė sudėtis

| Junginys | CEM I 42,5R AB „Akmenės cementas“ | CEM I 42,5R „Cemex“ Ltd | Opokos milteliai |
|---------------------------------|---|----------------------------|---------------------|
| SiO ₂ | 20,8 | 18,9 | 41,0 |
| Al ₂ O ₃ | 5,7 | 4,4 | 2,6 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,4 | 3,2 | 1,5 |
| CaO | 61,9 | 61,5 | 30,0 |
| MgO | 1,0 | 3,8 | 2,0 |
| Na ₂ O _{ek} | 0,9 | 1,0 | – |
| SO ₃ | 2,5 | 3,0 | 0,5 |
| Kaitm. | 0,4 | 2,6 | 24,0 |
| C ₃ S | 51,2 | 54,0 | – |
| C ₂ S | 18,3 | 16,2 | – |
| C ₄ A | 8,8 | 7,1 | – |
| C ₄ AF | 14,0 | 9,1 | – |

2 lentelė. Smėlio granuliuotinė sudėtis

| Pavadinimas | Daliniai likučiai ant sietų, % | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|----|-----|-----|-----|-------|
| | 1,6 | 1 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | < 0,1 |
| Standartinis EN 196-1 smėlis | 8 | 27 | 35 | – | 20 | 10 |
| Statybinis smėlis | 2 | 2 | 10 | 33 | 45 | 10 |

Taip pat buvo naudojami kiti iš „Akmenės cemento“ gauti portlandcemenčiai, kurių sudėtyje buvo $C_3A = 4,2\%$ ir $3,8\%$ bei C_3S atitinkamai $63,3\%$ ir $63,5\%$.

Metodika

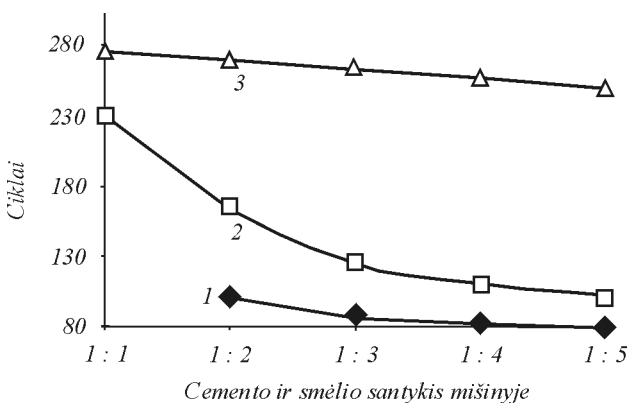
Iš cementinio skiedinio buvo gaminamos $4 \times 4 \times 16$ cm plastinės konsistencijos prizmės. Cemento ir smėlio santykis buvo keičiamas nuo $C/S = 1:1$ iki $1:5$, o V/C nuo $0,45$ iki $0,7$.

Prizmės 28 paras buvo laikomos drėgnoje aplinkoje. Po to jos buvo pamerktos į atitinkamus tirpalus: 5% Na_2SO_4 bei 5% $NaCl$ ir laikomos juose 4 paras. Po to prizmės išimamos, sveriamos ir dedamos į šaldymo kamerą, kurioje buvo palaikoma -18 ± 2 °C temperatūra. Šaldymo kameroje prizmės laikomos 7 ± 1 h (darbo dieną). Po to jos dedamos į kambario temperatūros ($\sim 16-18$ °C) 5% Na_2SO_4 arba 5% $NaCl$ tirpalus ir laikomos juose 15 ± 1 h (per naktį).

Tirpalai buvo keičiami kas mėnesį. Apie bandinių atsparumą buvo sprendžiama stebint kada (po kiek ciklų) atsiranda pirmieji aiškūs bandinių struktūros pažeidimai (sutrūkinėjimai, atskilinėjimai).

Darbo rezultatai

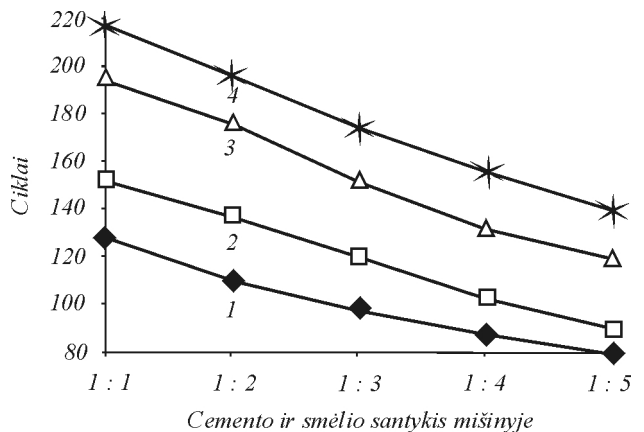
Portlandcemenčio, kurio sudėtyje buvo $8,8\%$ C_3A ir 51% C_3S , skiedinių atsparumo šalčiui ir druskų tirpalams bandymo duomenys parodyti 1 paveiksle.



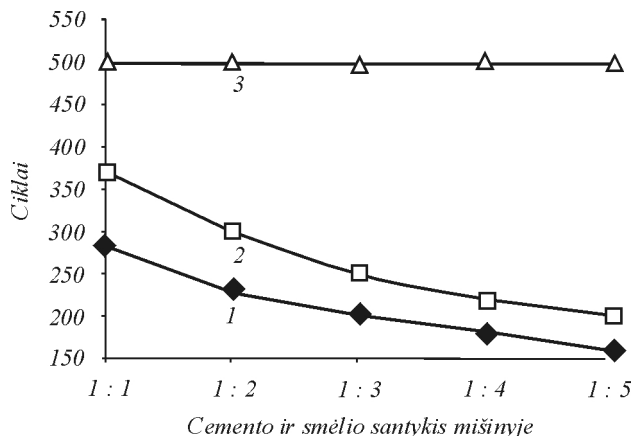
1 pav. Portlandcemenčio skiedinio atsparumo šalčiui ir agresyvių tirpalų poveikiui priklausomumas nuo cemento ir smėlio santykio C/S, smėlio atmainos ir mirkymo tirpalo: 1 – standartinis smėlis, bandiniai mirkyti 5% Na_2SO_4 tirpale; 2 – statybinis smėlis, bandiniai mirkyti 5% Na_2SO_4 tirpale; 3 – statybinis smėlis, bandiniai mirkyti 5% $NaCl$ tirpale

Matyti, kad šis atsparumas priklauso nuo smėlio granuliuotinės sudėties, cemento ir smėlio masių santykio ir nuo druskos atmainos. Mažiausiu atsparumu šalčiui ir sulfatų poveikiui pasižymėjo skiedinio bandiniai, kurie buvo pagaminti su standartiniu smėliu. Jie išlaikė apie 80–100 šaldymo–mirkymo ciklų. Kai buvo naudojamas paprastas statybinis smėlis, atsparumas labai priklausė nuo C/S santykio. Kai šis santykis buvo $1:4$ – $1:5$ atsparumas buvo 105–108 ciklai. Santykiui kintant iki $1:1$ atsparumas gerokai didėjo ir pasiekė 220 ciklų. Daugiausiai ciklų bandiniai išlaikė, kai jų gamybai buvo naudojamas paprastas smėlis, o jų mirkymui 5% $NaCl$ tirpalas. Todėl tokio cemento skiedinio pagreitinam atsparumo bandymui reikėtų naudoti standartinį smėlį ir jų mirkymui 5% Na_2SO_4 tirpalą. Tinkama skiedinio sudėtis $C/S = 1:4$, nes šios sudėties bandiniai mažiau išlaiko šaldymo ciklų, ir yra artima naudojamai praktikoje.

Panašūs bandymai buvo atlikti naudojant skirtingos mineralinės sudėties portlandcemenčius ir standartinį smėlį. Rezultatai parodyti 2 ir 3 paveiksluose.



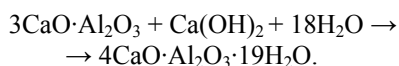
2 pav. Įvairios mineraloginės sudėties cementų CEM I 42,5 skiedinių atsparumas šalčiui ir 5% Na_2SO_4 tirpalo cikliškam poveikiui: 1 – su $8,8\%$ C_3A , 2 – su $7,1\%$ C_3A , 3 – su $4,2\%$ C_3A , 4 – su $3,8\%$ C_3A



3 pav. Įvairios mineralinės sudėties cementų skiedinių atsparumas šalčiui ir 5% $NaCl$ tirpalo cikliškam veiksmui: 1 – su $8,8\%$, 2 – su $7,1\%$ C_3A . Skiediniai su $4,2$; $3,8\%$ C_3A bei su opokos priedu nesuiro iki 500 šaldymo ciklų (3 kr.)

2 paveiksle matyti, kad kuo daugiau portlandcemenyje yra C_3A , tuo mažiau bandymo ciklų išlaiko bandiniai. Tai bendrai žinomas reiškinys, kuris paaiškinamas ankstyvesniu atitinkamo kiekio plėtriųjų junginių skiedinio porose susidarymu. Kreivių pobūdis 2 paveiksle yra panašus kaip ir 1 paveiksle, skiriasi tik ardančiu šaldymo–mirkymo ciklų skaičiumi. Greičiau suardomi $C/S = 1 : 4$ ir $1 : 5$ sudėties bandiniai, kuriems pagaminti reikalingas V/C santykis 0,6 ir 0,7. Bandymams tinkama sudėtis ir šiuo atveju yra $C/S = 1 : 4$ ir $V/C = 0,6$.

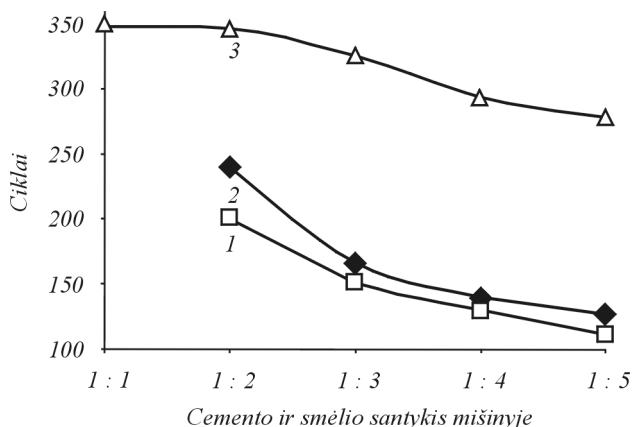
3 paveiksle matyti, kad naudojant cementą su didesniu C_3A kiekiu (7,1 % ir 8,8 %) sumažėja bandinių atsparumas šalčiui, kai jie šaldomi ir mirkomi 5 % NaCl tirpale. Kai C_3A kiekis sumažėja iki 4 % ar dar mažiau, bandinių atsparumas šaldymui–mirkymui NaCl tirpale padidėja ir pasiekia 500 ciklų ir daugiau. Reiškiny, kai didesnis negu 7 % C_4A cimente mažina jo atsparumą šalčiui, yra žinomas ir vadinamas cementinio akmens senėjimo efektu [12]. Jis siejamas su reakcija:



Ši reakcija gali vykti esant padidintam C_3A kiekiui, kai susidarantis etringitas sueikvoja gipsą. Susidarę kalčio hidroaluminatai yra gelio pavidalo su didesniu laisvo vandens kiekiu. Todėl didėja cementinio akmens mikroporingumas, o kalčio hidroaluminatai dėl laisvų kalkių sumažėjimo tampa nestabilūs. Tokiu būdu, cementinis akmuo senėja ir mažėja jo atsparumas šalčiui.

Siekiant padidinti cemento su padidintais C_3A ir C_3S kiekiais atsparumą aplinkai į jį pridedama hidraulinių ar kitų turinčių aktyvaus SiO_2 priedų. Lietuvos sąlygomis toks priedas yra opoka [5]. Cemento su opoka skiediniai buvo išbandyti pagal tą pačią metodiką.

Portlandcemenčių su 8,8 ir 7,1 % C_3A bei 25 % opokos priedu bandymų duomenys parodyti 4 paveiksle.



4 pav. Portlandcemenčių, kuriuose $C_3A = 8,8 \%$ (1 ir 3 kr.) ir $C_3A = 7,1 \%$ (2 kr.) su opoka (25 %), skiedinio atsparumo šalčiui ir 5 % Na_2SO_4 tirpalu poveikio priklausomumas nuo cemento ir smėlio santykio C/S ir smėlio atmainų: 1 ir 2 su standartiniu smėliu, 3 – su paprastu smėliu

Stoniškio opokoje, kaip žinoma, yra opalinio SiO_2 ir kalcito. Aktyvus opalinis SiO_2 kietėjant cementui reagu-

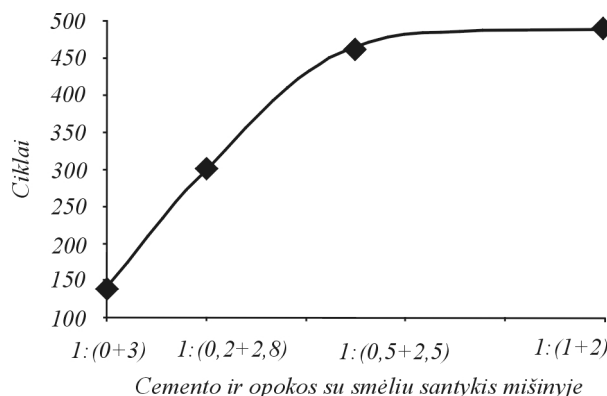
ja su susidarančiu $Ca(OH)_2$, sumažina cementinio akmens baziškumą ir taip pašalina galimybę sulfatinėje terpėje susidaryti gipso pertekliui. Tinkamas opokos kiekis opokiniame cimente yra 20–30 % [5]. Šiam darbui buvo paruoštas cementas su 25 % opokos bendroje rišamosios medžiagos masėje.

Skiediniai su opokiniu cementu pasižymi didesniu atsparumu kompleksiniam veikimui. 4 paveiksle matyti, kad smėlio atmaina ir C/S santykis turi panašią įtaką skiedinio atsparumui kaip ir įprastinio portlandcemenčio atveju, bet atsparumo bandymo ciklų skaičius yra didesnis naudojant opokinį cementą.

Naudojant standartinį smėlį ir kai santykis C/S kito nuo 1 : 2 iki 1 : 5 bandinių atsparumas, kai cimente buvo $C_3A = 8,8 \%$, kito nuo 112 iki 200, o kai $C_3A = 7,1 \%$ – nuo 126 iki 240 ciklų. Esant $C/S = 1 : 4$ ir $V/C = 0,6$ atsparumas kito nuo 140 iki 130 ciklų. Naudojant cementą su $C_3A = 8,8 \%$ ir paprastą statybinį smėlį ir C/S santykiui kintant nuo 1 : 1 iki 1 : 5 atsparumas siekė 260–350 ciklų. Santykiui mažėjant, atsparumas taip pat mažėja.

Tinkamas C/S santykis ir šiuo atveju taip pat yra 1 : 4.

Naudojant ne opokinį cementą, kuris dar negaminamas, bet siekiant pagerinti betono kokybę, opokos maltą priedą galima pridėti tiesiog į betonmaišę [5], pakeičiant dalį smėlio opokos milteliais. Tokio skiedinio atsparumo duomenys parodyti 5 paveiksle.



5 pav. Opokos kiekio įtaka, kai opoka keitė dalį smėlio, esant cemento ir opokos + smėlio santykiui $C : (Op + S) = 1 : 3$. Bandiniai po šaldymo buvo mirkinti 5 % Na_2SO_4 tirpale. Naudotas cementas su $C_3A = 8,8 \%$

Iš 5 paveiksle parodytų duomenų matyti, kad opokos galima pridėti tiek, kiek dedama cemento. Opokos kiekiui skiedinyje $C/S = 1 : 3$ dvi dalis smėlio pakeitus malta opoka atsparumas šalčio ir sulfatų veikimui gerokai didėja. Šis rezultatas yra reikšmingas betono gamybai. Į jį taip pat tenka atsižvelgti ir vykdant bandinių atsparumo kompleksiniam poveikiui tyrimą.

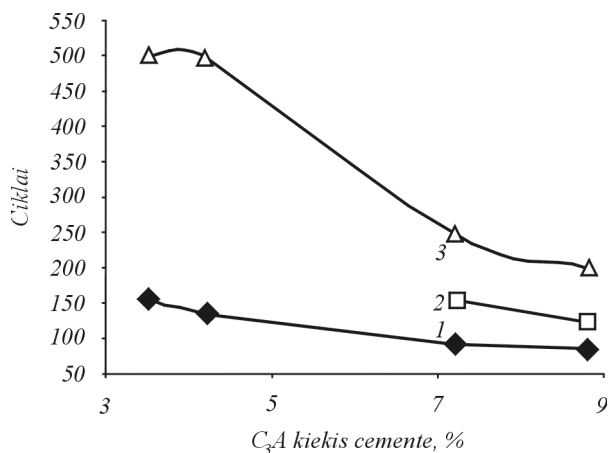
Rezultatų aptarimas

Iš atliktų eksperimentinių tyrimų matyti, kad 5 % Na_2SO_4 tirpale cikliškai mirkomi ir šaldomi portlandcemenčio bandiniai apie 2–3 kartus greičiau suiro negu šaldomi ir mirkomi 5 % NaCl tirpale. 6 paveiksle ir

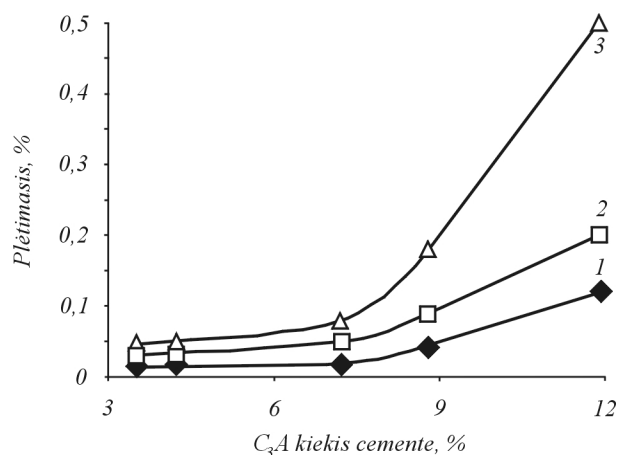
3 lentelėje pavaizduota skiedinių $C/S = 1 : 4$ ir $V/C = 0,6$ bandinių atsparumo šaldymo–mirkymo priklausomybė nuo C_3A kiekio portlandcemente. Matyti, kad esant $C/S = 1 : 4$ ir $V/C = 0,6$ bandiniai su įprastiniu portlandcemenčiu išlaikė nuo 90 iki 100 bandymo ciklų. Bandiniai su mažesniu C_3A kiekiu (3,8 ir 4,2 %) bei su 25 % opokos išlaikė apie 130–150 ciklų. Vadinasi, bandymas gali užtrukti nuo 3 iki 6 mėn., o tai kur kas trumpiau negu vykdant pagreintą atsparumo šalčiui bandymą, mirkant bandinius $NaCl$ tirpale. 7 paveiksle taip pat matyti literatūros [1] duomenys, kurie rodo bandinių plėtrą, %, laikant juos Na_2SO_4 tirpale (be šaldymo). Iš jų matyti aiškų bandinių plėtros priklausomumą nuo C_3A kiekio cemente. Kai kuriuose standartuose [3] nurodoma, kad bandinių plėtra Na_2SO_4 tirpale neturi būti didesnė kaip 0,5 mm/m (0,05 %). Jeigu plėtra didesnė – laikoma, kad cementas sulfatams neatsparus.

3 lentelė. Įvairios mineralinės sudėties portlandcemenčių skiedinių šaldymo–mirkymo bandinių rezultatai, kai $C/S = 1 : 4$ ir $V/C = 0,6$. Bandinių tankis 2100–2180 kg/m³

| CEM I 42,5R cementas | Stipris iki šaldymo gn./lenk., MPa | Pradėjo irti po bandymo ciklų | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| | | 5 % Na_2SO_4 tirpale | 5 % Na_2Cl tirpale |
| $C_3A = 8,8\%$ $C_3S = 63\%$ | 24,6 / 5,4 | 90 | 200 |
| $C_3A = 7,1\%$ $C_3S = 57,7\%$ | 26,8 / 6,1 | 102 | 240 |
| $C_3A = 4,2\%$ $C_3S = 63,3\%$ | 30,3 / 6,4 | 135 | > 500 |
| $C_3A = 3,8\%$ $C_3S = 63,5\%$ | 27,7 / 6,3 | 154 | > 500 |
| $C_3A = 8,8\%$ Opoka – 25 % | 20,9 / 4,4 | 134 | > 500 |
| $C_3A = 7,1\%$ Opoka – 25 % | 22,2 / 4,6 | 144 | > 500 |



6 pav. Cementinių skiedinių ($C/S = 1 : 4$; $V/C = 0,6$) atsparumo šaldymui ir mirkymui 5 % Na_2SO_4 tirpale priklausomumas nuo C_3A kiekio cemente: 1 ir 2 – su 25 % opokos priedu, 3 – 5 % $NaCl$ tirpale (1 ir 3 – $C_3A = 8.8\%$, 2 – $C_3A = 7.1\%$)



7 pav. Cementinių skiedinių ($C/S = 1 : 4$; $V/C = 0,6$) plėtra, %, po 3 (1), 4 (2) ir 6 (3) mėn. laikymo 5 % Na_2SO_4 tirpale [1]

Kritinis plėtros dydis išryškėja po 3–4 mėn. (7 pav.). Tačiau šaldymo–mirkymo bandymas yra akivaizdesnis ir patogesnis. Be to, šaldymo–mirkymo procesą automatizavus, ciklo trukmę būtų galima gerokai sutrumpinti ir per parą atlikti 2 ar 3 ciklus. Apie tai galima spręsti pagal betono bandymo standarto LST 1428.17 pagreintą bandymo metodą. Tokiu būdu, bandymo trukmę galima sutrumpinti iki 1–3 mėn. Parengtas metodas gali būti naudingas pasirenkant konkrečiam naudojimui cemento tipą bei anksčiau žinoti projektavimui reikalingus duomenis. Sukaupus daugiau laboratorinės patirties šį metodą būtų galima įteisinti kaip standartinį metodą.

Šalia šio bandymo – bandinių šaldymo ir mirkymo 5 % Na_2SO_4 tirpale naudinga lygiagrečiai vykdyti pagreintą atsparumo šalčiui bandymą pagal LST 1428.17 (bandinius šaldant ir mirkant 5 % Na_2Cl tirpale). Turint kompleksinio bandymo rezultatus lengviau įvertinti tiriamą cemento bei skiedinio ilgaamžiškumą.

Išvados

Parengtas ir ištirtas cementinio skiedinio bandinių cikliško šaldymo ir mirkymo 5 % Na_2SO_4 tirpale metodas bent du ar net tris kartus pagreitina cementinio skiedinio bandinių irimą. Jis gali būti naudojamas orientaciniam cementinio skiedinio pagreintam ilgaamžiškumo vertinimui.

Šiam bandymui rekomenduojama naudoti $4 \times 4 \times 16$ cm skiedinio prizmes, o jų gamybai naudoti standartinį smėlį, imant cemento ir smėlio santykį $C/S = 1 : 4$, vandens ir cemento santykį $V/C = 0,6$.

Literatūra

1. **Glasser F., Marchand J., Samson E.** Durability of concrete – Degradation phenomena involving detrimental chemical reaction // Cement and Concrete Research. Vol. 38, Issue 2, 2008. P. 226–246.
2. **Сизов В. К.** // К вопросу прогнозирования морозостойкости бетона. 1994. № 4. С. 26–28 и 1992. № 6. С. 25–27.

3. **Bellmann F., Stark J.** New findings when testing the sulphate resistance of mortars // ZKG International. 2006. Vol. 59, N 6. P. 68–76.
4. **Алексеев С. Иванов Ф., Модры С., Шиссель П.** Долговечность бетона в агрессивных средах. Москва, 1990.
5. **Vektaris B., Vilkas V.** Betono tvarumas. Kaunas: Technologija, 2006.
6. **Кинд В.** К вопросу о влиянии хлоридов на скорость сульфатной коррозии портландцемента // Цемент. 1956. № 1. С. 3–6.
7. **Ли Ф. М.** Химия цемента и бетона. Москва, 1961.
8. **Печкин О. Я., Минас А. Ч.** Исследование напряжений, развивающихся в цементном камне при одновременном воздействии водяного раствора соли и мороза // Известия ВУЗ, Строительства и архитектура. Новосибирск, 1981. № 12. С. 65–69.
9. **Гордон С.** Прогноз долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 1992. № 6. С. 42–44.
10. **Лешинский М. Ю.** Испытание бетона. Стройиздат, 1980. С. 318–327.
11. **Changwen Miao, Ru Mu, Qian Tian, Wei Sun.** Effect of sulfate solution on the frost resistance of Concrete with and with out Steel fiber reinforcement // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32, Issue 1. P. 31–34.
12. **Добшин Л. М., Соломатов В. И.** Влияние свойств цемента на морозостойкость бетонов // Бетон и железобетон. 1999. № 3. С.19–21.

B. Vektaris

ACCELERATION OF THE PORTLANDCEMENT MORTAR DURABILITY TEST

Summary

The paper offers a discussion of results obtained during a joint test of the resistance of cement mortar samples to frost and sulphate corrosion. It has been found that with the cyclic freezing of mortar samples saturated in the 5% Na₂SO₄ solution and their subsequent thawing in the solution it is possible to accelerate twice the beginning of their deterioration. A new method of accelerated determination of the cement product durability has been worked out. The following recommendations should be considered: 40 × 40 × 160 mm samples should be made of cement and standard CEN sand with their mass ratio C / S = 1 : 4 and water and cement ratio W / C = 0.6. Freezing should be performed during 7 ± 1 h at -18 ± 2 °C, and the samples should be kept soaked in the 5% Na₂SO₄ solution at room temperature. The duration of one cycle is 24 h, and the duration of the whole test depends on the type of cement and may take 3 to 6 months.