



LIETUVOS KARJERŲ UŽPILDŲ POVEIKIO BETONO ŠARMINEI KOROZIJAI TYRIMAI

Aurimas RUTKAUSKAS¹, Giedrius GIRSKAS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva
El. paštas: ¹aurimas.rutkauskas@vgtu.lt; ²giedrius.girskas@vgtu.lt

Santrauka. Užpildų šarminė korozija betone vyksta reaguojant cemente esantiems natrio ir kalio hidroksidams (šarmams) su aktyviu SiO₂, esančiu kai kuriuose užpilduose. Vykstant šiai reakcijai betone susidaro didelių vidinių įtempių, kurie sukelia betono deformacijas, pleišėjimą ir suirimą. Reakcija vyksta lėtai, betono irimo požymių atsiranda tik po kelių mėnesių ar metų. Tyrimams buvo naudojami dviejų skirtingų karjerų užpildai. Atlikus tyrimus nustatyta, kad Lietuvos žvyro karjerai užteršti reaktyviomis dalelėmis, turinčiomis amorfinio silicio dioksido, reaguojančio su cemente esančiais natrio ir kalio šarmais, ir sukeliančiomis betono šarminę koroziją. Nustatyta, kad pagal AAR 2 stambieji užpildai priskiriami II grupei – galimai reaktyviems užpildams, nes jų plėtra po 14 parų viršija 0,1 %.

Reikšminiai žodžiai: betono šarminė korozija, užpildai, reaktyvumas, šarmai, higroskopinis gelis, plėtra.

Įvadas

Betonas yra bene plačiausiai naudojama statybinė medžiaga pasaulyje ir vis didėjant pasaulio populiacijai betono naudojimas iš esmės tik didės (Berry *et al.* 2011). Per ilgą laiką buvo pastebėta, kad kai kurie užpildai, naudojami betono gamybai, sukuria reakcijas, kurios kenkia ir ardo betono struktūrą (Esteves *et al.* 2012; Leemann *et al.* 2011). Cheminės reakcijos tarp stambiųjų bei smulkiųjų užpildų bei rišamųjų medžiagų yra labai sudėtingos. Daugelis natūralių užpildų turi amorfinio silicio ir karbonatų, todėl jie gali reaguoti su šarmais (Na, K), kurių gausu cemente (cementinėse medžiagose). Šiai sąveikai apibūdinti vartojamas terminas *šarminė korozija* (angl. *the alkali-aggregate reaction AAR*) (Shahidul, Akhtar 2013; Hagelia, Fernandes 2012).

Šarmų ir silicio reakcija (angl. *Alkali silica reaction ASR*) yra viena iš cheminių reakcijų, kurios turi didelę įtaką betono ilgaamžiškumui. Vykstant šarmų ir silicio reakcijai tam tikros silicio formos, esančios betono užpilduose, reaguoja su dideliu šarmų kiekiu, taip betono mikroporose susidaro higroskopinis gelis, kuris, esant drėgnai aplinkai, plečiasi ir lėtai, bet stipriai ardo betonines konstrukcijas (Comi *et al.* 2012; Martin *et al.* 2012; Pacheco-Torgal *et al.* 2011).

Šarmų ir silicio reakcija gali užtrukti nuo 3 iki net daugiau nei 25 metų ir stipriai pažeisti betonines konstrukcijas priklausomai nuo pagrindinių veiksnių, tokių kaip

naudojamų natūralių užpildų reaktyvumo lygis, drėgmės ir temperatūros sąlygos bei šarmų kiekis betone (Fournier *et al.* 2010).

Suomijos mokslininkai nustatė, jog tam, kad vyktų šarmų ir silicio reakcija, be minėtų sąlygų, tuo pačiu metu užpilduose turi būti reaktyvaus silicio dioksido, aukštas šarmų pH ir pakankamas kiekis drėgmės (Holt, Ferrera 2014).

Kita svarbi informacija, kaip prognozuoti betono šarmų ir silicio reakciją (Fournier *et al.* 2010):

- Konstrukcijos tipas, vieta bei tikėtinos reakcijos sąlygos, kurios priklauso nuo geografinės padėties.
- Konstrukcijos amžius, duomenys ir datos apie konstrukcijų modifikacijas ar remontus.
- Išsami informacija apie naudotų betono mišinių sudėtį: visų pirma mišinių proporcijos, cemento ir užpildų kilmė (tiekejamas, gamintojas) bei išsamūs duomenys apie atliktų konkrečių medžiagų tyrimus arba bandymus.
- Ankstesnių tikrinimų ir bandymų ataskaitos, ypač datos, kada pirmą kartą buvo pastebėtas konstrukcijos pažeidimas ar savybių pablogėjimas.
- Informacija apie toje pačioje srityje esančias kitas konstrukcijas, kurios gali būti pagamintos iš panašių medžiagų, ypač jei šių konstrukcijų pažeidimų požymiai atitinka tipiškus ASR požymius.

Tyrimai parodė, kad šarmų ir silicio reakcija yra daugiapakopis procesas. Pirmuoju etapu hidroksilo jonai atakuoja silanolio grupes (Si-OH) ir siloksano ryšius (Si-O-Si); antruoju etapu formuojasi išsiplėtimo produktai. Priklausomai nuo gelio formavimosi, vidinis slėgis yra sukuriamas cemento matricoje, sukeliama makroskopinė plėtra ir vėlesnė betono matricos degradacija (Kupwade-Patil, Allouche 2013; Lesnicki *et al.* 2011). Vykstant reakcijai tarp reaktyviojo silicio ir porose esančio šarmų tirpalo gaminamas higroskopinis gelis, kuris dažnai vadinamas ASR geliu (Latifee *et al.* 2015).

Gelio tūris, suformuotas per cheminę reakciją, gali būti naudojamas kaip pradiniai įvesties duomenys modeliuojant struktūrą. Vienas iš pagrindinių sunkumų yra įvertinti šio gelio tūrį. Mikroskopiniai modeliai gali būti vienas iš būdų tai padaryti. Tokie modeliai turėtų padėti prognozuoti plėtros skirtumus esant visų pagrindinių parametru (užpildo dydis, silicio kiekis, šarmų kiekis ir t. t.) variacijoms. Gauti modeliavimo prognoziniai rezultatai turėtų būti palyginti su eksperimentiniais rezultatais (Multon *et al.* 2010).

Šarmų ir silicio reakcija (ASR) vyksta tada, kai reaguojami šarminiai porų skysčiai ir kai kuriuose užpilduose esantys silicio mineralai suformuoja higroskopinį gelį. Šis gelis betonui pavojingas tuo, kad sugeria vandenį, taip didina savo tūrį ir sukelia vidinius įtempius, kurie gali pažeisti betoną (Alaejos, Lanza 2012).

Vien ASR gelio susidarymas nesukelia konstrukcijų pažeidimų, tačiau geliui sugeriant vandenį atsiranda didelis potencialas, tad gelis gali pradėti plėstis. Atsiradusi plėtra dažnai sukelia slėgius, didesnius nei betonas gali atlaikyti, o tai savo ruožtu lemia betono įtrūkius. Reakcijos procesas gali būti aprašomas dviem etapais (Latifee *et al.* 2015).

1 etapas

Silicis + Šarmai = Šarmai – Silicis – ASR gelis



(2 KOH gali pakeisti 2 NaOH).

2 etapas

ASR gelis (reakcijos produktas) + vanduo = plėtra.

Tačiau šio efekto mechanizmas iki šiol dar yra mažai ištirtas ir suprantamas. Šarminė korozija gali vykti (yra įmanoma) ir be plėtriųjų reakcijos produktų, tai veda prie to, kad būtina atskirti šarminės korozijos formas į ardomąją ir neardomąją. Ardomoji ASR atsiranda, kai vidinis slėgis generuojamas plečiantis higroskopiniam geliui. Šie įtempiai viršija betono atsparumą tempiant ir lemia įtrūkių atsiradimą. Neardomoji ASR reiškia, kad gelio susidarymas nekelia pavojaus betono patikimumui ir neturi sukelti įtrūkių (Lesnicki *et al.* 2013).

Bendruoju požiūriu vanduo atlieka iš esmės labai svarbų vaidmenį šarminėje korozijoje dėl šių priežasčių

(Comi *et al.* 2012): tai sudaro pernašos terpę hidroksilo ir šarminių jonų difuzijai per poras; vanduo sudaro palankias sąlygas nutraukti siloksano ryšiams, taigi kartu ir geliui formuotis; gelio plėtimosi procesas yra reglamentuojamas atsižvelgiant į vandens absorbciją ir vandens judėjimą porėta betono struktūra (makrodifuzija).

Pirmausia, atsižvelgiant į potencialiai reaktyvias uolienas, turėtų būti taikoma petrografinė analizė (Lindgård *et al.* 2012).

Kaip pagrindas apskaičiuojant bendrą „reaktyvių“ ar galimai reaktyvių uolienu tipų procentą nuo viso užpildo, kiekvienas iš aptiktų uolienu tipų turėtų būti priskirtas prie vienos iš trijų „reaktyvumo klasių“, remiantis petrografine patirtimi. Užpildus pagal reaktyvumą siūloma suskirstyti į šiuos pogrupius (Lindgård *et al.* 2010; Jensen 2012): labai mažai tikėtinas reaktyvumas; neaiškus reaktyvumas; labai tikėtinas reaktyvumas.

Visos uolienos yra skirtingai reaktyvios, nes kiekvienoje šalyje uolienu formavimosi pobūdis ir istorija yra kitokia.

Išanalizavus laboratorinių tyrimų rezultatus, užpildai gali būti klasifikuojami pagal šarmų reaktyvumą: nuo „greito“ iki „normalaus“ reaktyvumo (nuo 5 iki 20 metų); „lėtas“ reaktyvumas (nuo 15 iki 20 metų); „nereaktyvus“ (Lindgard *et al.* 2010).

Medžiagos ir tyrimų metodika

Tyrimams buvo naudojama dvejų karjerų 4/16 mm stambumo žvirgždo skalda pagal LST EN 13139+AC.

Reikiamo plastiškumo skiediniui pagaminti buvo naudojamas plastiklis polikarboksilato pagrindu.

Tyrimams buvo naudojamas portlandcementis CEM I 52,5 R, kurio charakteristikos pateiktos 1 ir 2 lentelėse.

1 lentelė. Portlandcemenčio CEM I 52,5 R mechaninės ir fizikinės savybės

Table 1. Portland cement CEM I 52.5 R mechanical and physical properties

| Smulkumas | Gniuždymo stipris, MPa | | Tankiai, kg/m ³ | |
|--------------------------------------|------------------------|----------|----------------------------|----------|
| Portlandcementis CEM I 52,5 R | | | | |
| Blaino prietaisu, m ² /kg | 7 paros | 28 paros | savitasis | piltinis |
| 520 | 52 | 64 | 3125 | 1250 |

Tyrimai buvo atliekami pagal RILEM RECOMMENDED TEST METHOD: AAR-2 (ypač greitas skiedinio metodas). Tai metodas, įvertinantis užpildų reaktyvumo lygį. AAR-2 metodo esmė – sukietinti 80 °C vandenyje skiedinio bandiniai (40×40×160 mm) 14 parų laikomi 1 M NaOH tirpale,

2 lentelė. Portlandcemenčio CEM I 52,5 R cheminės charakteristikos

Table 2. Portland cement CEM I 52.5 R-chemical characteristics

| Kaitmenys, % | Netirpmenys, % | MgO, % | SO ₃ , % | Cl, % |
|-------------------------------|----------------|---------|---------------------|-----------|
| Portlandcementis CEM I 52,5 R | | | | |
| 0,7–1,7 | 0–0,5 | 2,3–2,5 | 3,1–3,8 | 0,02–0,07 |

esant 80 °C, ir matuojama jų plėtra. Kai užpilduose yra lėtai reaguojančių reaktyviųjų uolienu, laikymo trukmė turėtų būti ilgesnė (21 ar 28 paros).

Užpildų klasifikacija: I klasė – nereaktyvūs (plėtra pagal AAR-2 < 0,10 %); II klasė – galimai reaktyvūs (plėtra pagal AAR-2 nuo 0,10 % iki 0,20 %); III klasė – reaktyvūs (plėtra pagal AAR-2 > 0,20 %).

Greitą AAR-2 bandymą galima taikyti ir užpildų mišiniams, tik skiedinio gamybai naudojamo užpildo dalelės turi būti ≤4 mm, bet didesnės už >125 mm. Ruošiant natūralų užpildą turi būti pašalinamos smulkiosios dalelės. Smulkusis užpildas buvo išplaunamas. Stambusis užpildas buvo išplaunamas ir susmulkinamas pagal reikalavimus, pateiktus 3 lentelėje.

3 lentelė. Užpildo siojimo reikalavimai

Table 3. Aggregate sifting requirements

| Sieto akučių dydis | | Masės dalis, % |
|---|---|----------------|
| Sieto akučių dydis, kuriam esant prasisijoya užpildo frakcija | Sieto akučių dydis, kuriam esant ant sieto lieka užpildo frakcija | |
| 4 mm | 2 mm | 10 |
| 2 mm | 1 mm | 25 |
| 1 mm | 500 μm | 25 |
| 500 μm | 250 μm | 25 |
| 250 μm | 125 μm | 15 |

Išplauti bandiniai buvo džiovinami 16 val. 100–110 °C temperatūroje. Paskui palaipsniui atšaldomi iki kambario temperatūros.

Gaminant skiedinį buvo imama 1 dalis cemento su 2,25 dalimis užpildo. Tokioms trims prizmėms (40×40×160 mm) reikia naudoti 600 g cemento ir 1350 g sauso užpildo. Buvo gaminamos 6 prizmės su kiekvienu užpildu. Vandens cemento santykis imamas 0,47. Skiedinio pasklidimo skersmuo turi būti nuo 205 iki 220 mm. Reikiamam skiedinio pasklidimui gauti buvo naudojamas superplastiklis polikarboksilato pagrindu. Skiediniui su smėliu buvo naudota 0,1 % superplastiklio ir pasiektas pasklidimas 220 mm. Skiediniams su abiejų karjerų žvirgždais buvo naudota 0,25 % superplastiklio ir pasiektas pasklidimas 205 mm.

Skiedinys buvo ruošiamas pagal cemento klasės nustatymo reikalavimus EN 196-1.

Tyrimams su kiekvienu užpildu buvo atrinkta po keturias prizmes.

Pagamintos prizmės yra išmatuojamos ir dedamos į 80 °C vandenį. Po 24 valandų yra išmatuojamas prizmių ilgis (nulinis rodmuo). Vėliau bandiniai padedami į indus, kuriuose yra 80 C 1 M NaOH šarmo tirpalų. Indai su bandiniais sudedami į klimatinę kamerą, kurioje palaikoma 80 °C temperatūra. Bandinių ilgis yra matuojamas periodiškai tuo pačiu paros metu.

Tyrimų rezultatai

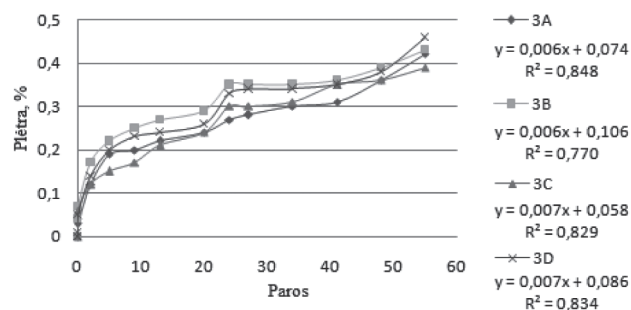
Skiedinių tankio ir stiprumo savybių rezultatai pateikiami 4 lentelėje. Atlikus tyrimus nustatyta, kad naudojant mažesnės klasės cementą gaunamos mažesnės bandinių lenkimo ir gniuždymo stiprio vertės. Vertinant smulkųjį ir stambesnį užpildus pastebėta, kad gniuždymo stiprio vertės gautos didesnės esant smulkesniam užpildui. Šiuo atveju stambusis buvo susmulkintas iki smulkiojo užpildo dydžio. Stambiojo užpildo atveju buvo naudota 0,25 % superplastiklio.

4 lentelė. Bandinių fizikinės ir mechaninės savybės po 28 parų kietėjimo

Table 4. Physical and mechanical properties of samples after 28 days of curing

| Bandinio pavadinimas | Bandinio tankis, kg/m ³ | Bandinio lenkimo stipris, MPa | Bandinio gniuždymo stipris, MPa |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| B(Ž) | 2221 | 4,39 | 58,50 |
| S(Ž) | 2283 | 4,30 | 56,00 |

Pirmosios skaldos rezultatai pateikti 1 paveiksle ir 5 lentelėje. Matomas bandinių plėtros didėjimas. Išlaikius 14 parų 1 M NaOH tirpale didėja prizmių plėtra. Po 14 parų visų keturių prizmių plėtra viršija 0,1 %, bet neviršija 0,2 %. Tokiu atveju ši skalda priskiriama galimai reakty-



1 pav. Skiedinio prizmių su Smilgių karjero žvirgždo skalda plėtra (iki 55 paros)

Fig. 1. Expansion of mortar prisms with Smilgiai quarry gravel rubble (to 55 day)

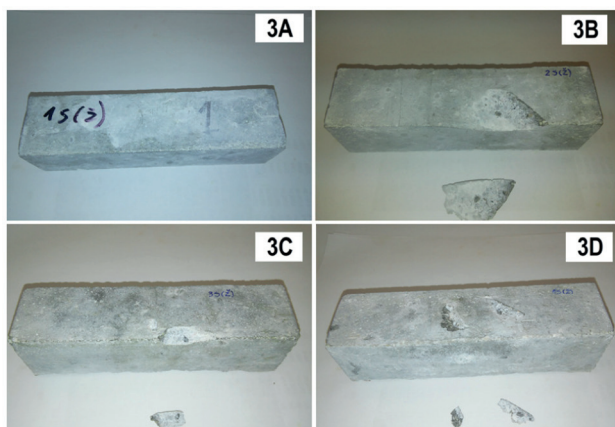
viems užpildams. Atlikus tolesnius tyrimus matyti tolesnis bandinių plėtimasis. Praėjus 157 paroms prizmių plėtra siekia nuo 0,56 iki 0,65 %.

Bandinių po 28 parų išlaikymo 1 M NaOH tirpale nuotraukos (3A, 3B, 3C ir 3D bandiniai) pateiktos 2 paveiksle.

5 lentelė. Skiedinio prizmių su Smilgių karjero žvirgždo skalda plėtra nuo 55 paros iki 157 paros

Table 5. Expansion of mortar prisms with Smilgiai quarry gravel rubble (from 55 to 157 day)

| Bandinio Nr. | Bandinio pailgėjimas (mm) po <i>n</i> parų | | | | | |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 55 | 65 | 87 | 93 | 107 | 157 |
| 3A | 159,79 | 159,79 | 159,81 | 159,82 | 159,84 | 159,93 |
| | 0,42 | 0,42 | 0,44 | 0,45 | 0,47 | 0,56 |
| 3B | 160,26 | 160,29 | 160,33 | 160,33 | 160,34 | 160,44 |
| | 0,43 | 0,46 | 0,50 | 0,50 | 0,51 | 0,61 |
| 3C | 160,33 | 160,36 | 160,39 | 160,40 | 160,42 | 160,50 |
| | 0,39 | 0,42 | 0,45 | 0,46 | 0,48 | 0,56 |
| 3D | 159,60 | 159,60 | 159,63 | 159,64 | 159,64 | 159,79 |
| | 0,46 | 0,46 | 0,49 | 0,50 | 0,50 | 0,65 |



2 pav. Bandinių po 28 parų išlaikymo 1 M NaOH tirpale nuotraukos (3A, 3B, 3C ir 3D bandiniai)

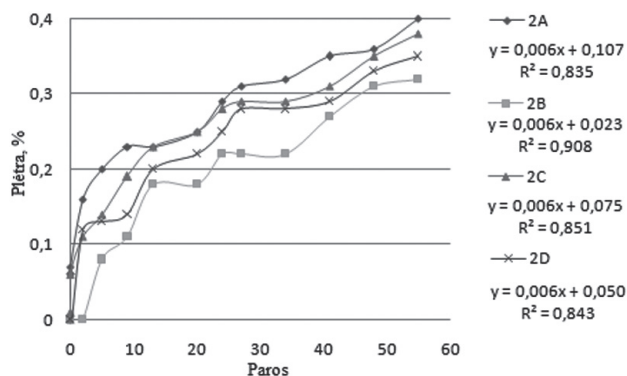
Fig. 2. Pictures of the samples after 28 days of maintenance in 1 M NaOH solution (3A, 3B, 3C and 3D samples)

Prizmėse sukeliama skiedinio plėtimosi deformacijos ir atsiranda vidinių poveikio jėgų, dėl kurių atsiranda pleišėjimas ir skiedinio pažeidimų. Irimo priežastis yra ta, kad susiformuoja šarminis silicio gelis, kuris sukelia plėtrą. Tokiu atveju ir matyti santykinis pailgėjimas. Skiedinyje irsta dalelių tarpusavio sąveika, o tai yra vietinio ištrupėjimo priežastis. Paviršiuje atskyla skiedininė dalis. Tai aki-vaizdžiai matyti 2 paveiksle.

Skiedinių prizmių su Beržutės karjero žvirgždo skalda tyrimų rezultatai pateikti 3 paveiksle ir 6 lentelėje. Matyti bandinių plėtros didėjimas. Po 14 parų išlaikymo 1 M NaOH tirpale didėja bandinių plėtra. Po 14 parų visų ketu-

rių bandinių plėtra viršija 0,1 %. Tačiau šių bandinių plėtra neviršija 0,2 %. Tokiu atveju Beržutės karjero žvirgždo skalda priskiriama galimai reaktyviems užpildams.

Tyrimai buvo atliekami toliau ir maksimali plėtra siekia nuo 0,47 iki 0,57 %.



3 pav. Skiedinio prizmių su Beržutės karjero žvirgždo skalda plėtra (iki 55 paros)

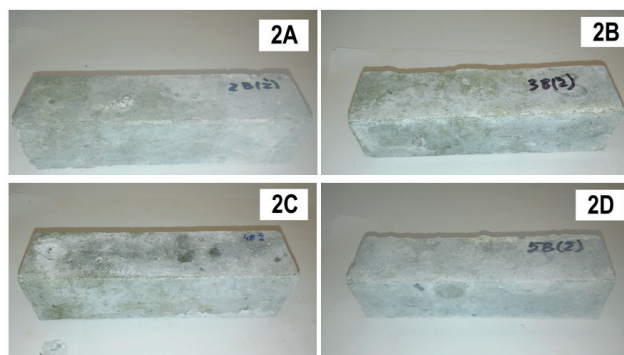
Fig. 3. Expansion of mortar prisms with Berzute quarry gravel rubble (to 55 day)

6 lentelė. Skiedinio prizmių su Beržutės karjero žvirgždo skalda plėtra nuo 55 paros iki 157 paros

Table 6. Expansion of mortar prisms with Beržutė quarry gravel rubble (from 55 to 157 day)

| Bandinio Nr. | Bandinio pailgėjimas (mm) po <i>n</i> parų | | | | | |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 55 | 65 | 87 | 93 | 107 | 157 |
| 2A | 160,04 | 160,09 | 160,11 | 160,12 | 160,13 | 160,21 |
| | 0,40 | 0,45 | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,57 |
| 2B | 160,63 | 160,67 | 160,68 | 160,69 | 160,71 | 160,78 |
| | 0,32 | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,47 |
| 2C | 159,97 | 160,01 | 160,02 | 160,03 | 160,04 | 160,12 |
| | 0,38 | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,45 | 0,53 |
| 2D | 160,90 | 160,94 | 160,96 | 160,98 | 160,99 | 161,07 |
| | 0,35 | 0,39 | 0,41 | 0,43 | 0,44 | 0,52 |

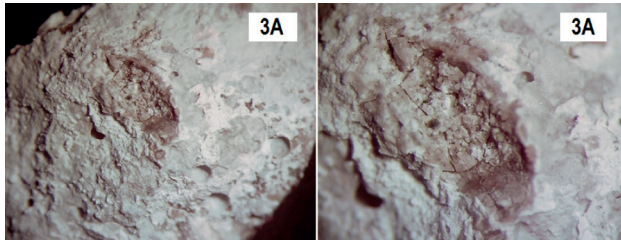
Bandinių po 28 parų išlaikymo 1 M NaOH tirpale nuotraukos (2A, 2B, 2C ir 2D bandiniai) pateiktos 4 paveiksle.



4 pav. Bandinių po 28 parų išlaikymo 1 M NaOH tirpale nuotraukos (2A, 2B, 2C ir 2D bandiniai)

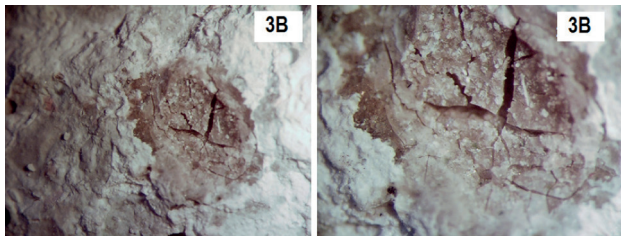
Fig. 4. Pictures of the samples after 28 days of maintenance in 1 M NaOH solution (2A, 2B, 2C and 2D samples)

Bandinius tiriant optiniu mikroskopu, buvo pastebėtos cementinio akmens ir sutrūkinėjusio užpildo kontaktinės zonos. Kiti tirtų bandinių sluoksniai išliko vientisi. Bandinių zonas, kuriose pasireiškė šarminė korozija, stebint pro mikroskopą, išsiskyrė gruoblėtas ir sutrūkinėjęs paviršius, kuriame matosi sureagavusios dalelės (5–9 pav.). Bandinių nuotraukose taip pat matomi balti reakcijos produktai.



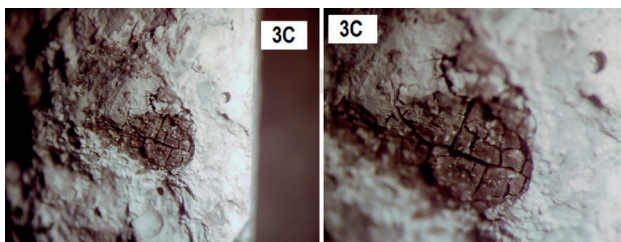
5 pav. 3A bandinio fragmente užpildo ir cementinio akmens kontakto zona yra supleišėjusi (mikroskopinės analizės vaizdas padidintas $\times 12$ ir $\times 25$ kartus)

Fig. 5. Fragment of the sample 3A. Contact zone of cement stone and aggregate is cracked (image of microscopic analysis increased $\times 12$ and $\times 25$)



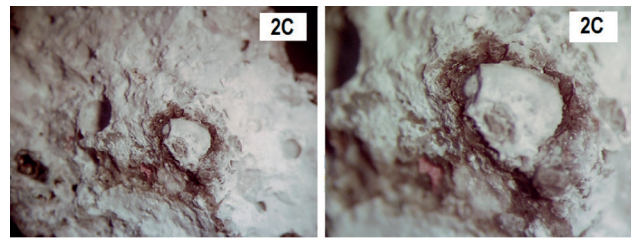
6 pav. 3B bandinio fragmente užpildo ir cementinio akmens kontakto zona yra supleišėjusi (mikroskopinės analizės vaizdas padidintas $\times 12$ ir $\times 25$ kartus)

Fig. 6. Fragment of the sample 3B. Contact zone of cement stone and aggregate is cracked (image of microscopic analysis increased $\times 12$ and $\times 25$)



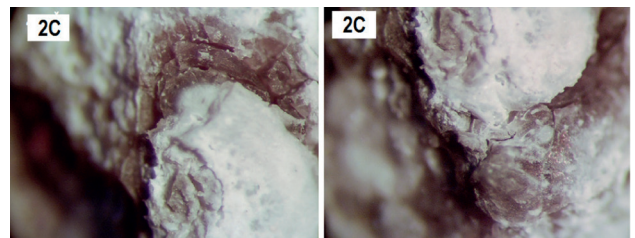
7 pav. 3C bandinio fragmente užpildo ir cementinio akmens kontakto zona yra supleišėjusi (mikroskopinės analizės vaizdas padidintas $\times 12$ ir $\times 25$ kartus)

Fig. 7. Fragment of the sample 3C. Contact zone of cement stone and aggregate is cracked (image of microscopic analysis increased $\times 12$ and $\times 25$)



8 pav. 2C bandinio fragmente užpildo ir cementinio akmens kontakto zona yra supleišėjusi (mikroskopinės analizės vaizdas padidintas $\times 12$ ir $\times 25$ kartus)

Fig. 8. Fragment of the sample 2C. Contact zone of cement stone and aggregate is cracked (image of microscopic analysis increased $\times 12$ and $\times 25$)



9 pav. Pažeisto 2C bandinio fragmento užpildo struktūra yra supleišėjusi (mikroskopinės analizės vaizdas padidintas $\times 50$ kartų)

Fig. 9. Fragment of the damaged sample 2C. Aggregate structure is cracked (image of microscopic analysis increased $\times 50$)

Išvados

Užpildų šarminė korozija betone vyksta reaguojant cemente esantiems natrio ir kalio hidroksidams (šarmams) su aktyviu SiO_2 , esančiu kai kuriuose užpilduose. Vykstant šiai reakcijai betone susidaro didelių vidinių įtempių, sukeliančių betono deformacijas, pleišėjimą ir suirimą.

Nustatyta, kad Lietuvos žvyro karjerai užteršti reaktyviomis dalelėmis, turinčiomis amorfinio silicio dioksido, reaguojančio su cimente esančiais natrio ir kalio šarmais, ir sukeliančiomis betono šarminę koroziją.

Vykstant betono šarminei korozijai, nustatyti pažeidimo atvejai, pasireiškiantys atskilinėjant skiedininei daliai nuo skiedinio paviršiaus ir susidarant orientuotiems įtrūkiams, kurie įvairiai išsidėstę visomis paviršiaus kryptimis.

Nustatyta, kad taikant AAR 2 metodiką stambieji Lietuvos karjerų užpildai priskiriami II grupei – reaktyviems užpildams. Jų plėtra po 14 parų viršija 0,1 %.

Literatūra

Alaejos, P.; Lanza, V. 2012. Influence of equivalent reactive quartz content on expansion due to alkali silica reaction, *Cement and Concrete Research* 42: 99–104.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.08.006>

- Berry, M.; Stephens, J.; Cross, D. 2011. Performance of 100 % fly ash concrete with recycled glass aggregate, *ACI Materials Journal* 108 (4): 378–384.
- Comi, C.; Kirchmayr, B.; Pignatelli, R. 2012. Two-phase damage modeling of concrete affected by alkali–silica reaction under variable temperature and humidity conditions, *International Journal of Solids and Structures* 49: 3367–3380. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsostr.2012.07.015>
- Esteves, T. C.; Rajamma, R.; Soares, D.; Silva, A. S.; Ferreira, V. M.; Labrincha, J. A. 2012. Use of biomass fly ash for mitigation of alkali-silica reaction of cement mortars, *Construction and Building Materials* 26: 687–693. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.075>
- Fournier, B.; Bérubé, M. A.; Folliard, K. J.; Thomas, M. 2010. *Report on the diagnosis, prognosis, and mitigation of Alkali-Silica Reaction (ASR) in transportation structures*. U.S. Department of Transportation.
- Hagelia, P.; Fernandes, I. 2012. On the aar susceptibility of granitic and quartzitic aggregates in view of petrographic characteristics and accelerated testing, in *14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete*, 20–25 May 2012, Austin, Texas, USA.
- Holt, E.; Ferrera, M. 2014. Addressing in concrete construction in Finland, in *Workshop proceeding from a Nordic- Baltic Mini-seminar „Alkali aggregate reaktions (AAR) in concrete“*, 21–22 November 2013, Riga, Latvia.
- Jensen, V. 2012. Reclassification of alkali aggregate reaction, in *14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete*, 20–25 May 2012, Austin, Texas, USA.
- Kupwade-Patil, K.; Allouche, E. N. 2013. Impact of alkali silica reaction on fly ash-based geopolymer concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* 25(1): 131–139. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000579](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000579)
- Latifee, E. R.; Akther, S.; Hasnat, K. A. 2015. Critical review of the test methods for evaluating the ASR potential of aggregates, in *Proceedings of 10th Global Engineering, Science and Technology Conference*, 2–3 January 2015, BIAM Foundation, Dhaka, Bangladesh. ISBN: 978-1-922069-69-6
- Leemann, A.; Le Saout, G.; Winnefeld, F.; Rentsch, D.; Lothenbach, B. 2011. Alkali-silica reaction – the influence of calcium on silica dissolution and the formation of reaction products, *Journal of the American Ceramic Society* 94: 1243–1249. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1551-2916.2010.04202.x>
- Lesnicki, K. J.; Jin-Yeon, K.; Kurtis, K. E.; Jacobs, L. J. 2011. Characterization of ASR damage in concrete using nonlinear impact resonance acoustic spectroscopy technique, *NDT & E International* 44: 721–727. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2011.07.010>
- Lesnicki, K. J.; Jin-Yeon, K.; Kurtis, K. E.; Jacobs, L. J. 2013. Assessment of alkali–silica reaction damage through quantification of concrete nonlinearity, *Materials and Structures* 46: 497–509. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-012-9942-y>
- Lindgård, J.; Nixon, P. J.; Borchers, I.; Schouenborg, B.; Wigum, B. J.; Haugen, M.; Åkesson, U. 2010. The EU “PARTNER” Project – European standard tests to prevent alkali reactions in aggregates: Final results and recommendations, *Cement and Concrete Research* 40: 611–635. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.09.004>
- Lindgård, J.; Andiç-Çakir, Ö.; Fernandes, I.; Rønning, T. F.; Thomas, M. D. A. 2012. Alkali-silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing, *Cement and Concrete Research* 42: 223–243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.004>
- Martin, R. P.; Bazin, C.; Toutlemonde, F. 2012. Alkali aggregate reaction and delayed ettringite formation: common features and differences, in *14th International conference on alkali aggregate reaction ICAAR14*, 24–27 May 2012, France.
- Multon, S.; Cyr, M.; Sellier, A.; Diederich, P.; Petit, L. 2010. Effects of aggregate size and alkali content on ASR expansion, *Cement and Concrete Research* 40: 508–516.
- Pacheco-Torgal, F.; Abdollahnejad, Z.; Camões, A. F.; Jamshidi, M.; Ding, Y. 2012. Durability of alkali-activated binders: A clear advantage over Portland cement or an unproven issue?, *Construction and Building Materials* 30: 400–405. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.017>
- Shahidul, M. I.; Akhtar, S. 2013. A critical assessment to the performance of alkali-silica reaction (ASR) in concrete, *Canadian Chemical Transactions* 1: 253–266.

LITHUANIAN QUARRY AGGREGATES CONCRETE EFFECTS OF ALKALINE CORROSION TESTS

A. Rutkauskas, G. Girskas

Abstract

Aggregate alkaline corrosion of cement in concrete is going to respond in sodium and potassium hydroxide (lye) with active SiO₂ found in some aggregates. During this reaction, the concrete has resulted in significant internal stresses which cause deformation of the concrete, cracking and disintegration. The reaction is slow and concrete signs of decomposition appear only after a few months or years. The study used two different aggregates quarries. Studies show that Lithuania gravel contaminated with reactive particles having amorphous silicon dioxide reacting with cement in sodium and potassium hydroxide and the resulting alkaline concrete corrosion. It was found that, according to AAR 2 large aggregates include Group II – potentially reactive because of their expansion after 14 days, higher than 0.1%.

Keywords: alkali-aggregate reaction, aggregates, reactivity, alkalis, hygroscopic gel, expansion.