

Civil engineering
Statybos inžinerijaBETONO SU KRISTALIZUOJANČIAJA ĮMAIŠA FIZIKINIŲ IR
MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAIEdvinas POCIUS *, Audrius ČEPULIS*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2021 m. gegužės 13 d.; priimta 2021 m. lapkričio 30 d.

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama, kokį poveikį turi kristalizuojančiosios įmaišos kiekis betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms bei traukumui, norint atrasti efektyvią betono įmaišą, kuri mažintų plyšių atsiradimą konstrukcijose. Atlikti betono savybių tyrimai su įvairiais kristalizuojančiosios įmaišos kiekiais. Buvo sumaišyti 9 betono mišiniai su skirtingais kiekiais kristalizuojančiosios įmaišos. Įmaišos į betono mišinius buvo dedama nuo 0,6 % iki 1,4 % nuo cemento masės, žingsniu kas 0,1 %. Tyrimų metu nustatyta kristalizuojančiosios įmaišos kiekio įtaka sukietėjusio betono tankiui, lenkimo stipriui, gniuždymo stipriui bei traukumui. Įvertinus betono fizikines ir mechanines savybes bei traukumą nustatyta, kad optimalus kristalizuojančiosios įmaišos kiekis mišinyje yra 1 % nuo cemento masės. Taigi, galima teigti, kad kristalizuojančiosios įmaišos naudojimas duoda teigiamą efektą, t. y. mažina betono traukumą, dėl to būtų galima išvengti atsirandančių įtrūkių betono konstrukcijose.

Reikšminiai žodžiai: betonas, kristalizuojančioji įmaiša, traukumas, gniuždymo stipris, ultragarso impulso sklidimo greitis, tankis.

Įvadas

Šiais laikais gaminamas betonas pasižymi įvairiomis savybėmis dėl plačiai naudojamų cheminių įmaišų ir kitose pramonės srityse gaunamų atliekų, sumažinant sunaudojamų tradicinių žaliavų kiekius ir sumažinant poveikį aplinkai. Betono savybės ir ilgaamžiškumas didėja, kad atitiktų šiomis dienomis statomų konstrukcijų reikalavimus. Vienas iš tokių priedų yra kristalizuojančioji įmaiša, kuri gerina sukietėjusio betono savybes. Tačiau modernus betonas susiduria su traukumo problema ir atsirandančiais trūkiais dėl betono susitraukimų. Susitraukimo įtrūkiai tampa vis didesne problema šiomis dienomis dėl statomų konstrukcijų su dideliais tarpatramiais, didelių tūrių, didelių suvaržymų ir agresyviose aplinkose eksploatuojamų konstrukcijų.

Mokslininkai nustatė, kad 80 % įtrūkių konstrukcijose yra dėl susitraukimų (Wang, 2007). Betono nepralaidumas ir atsparumas cheminiam poveikiui labai žymiai sumažėja, jeigu atsiranda įtrūkių (Wang et al., 1997). Pro atsiradusius įtrūkius patenkančios medžiagos gali stipriai paspartinti betono savybių blogėjimą bei armatūros koroziją (Mehta, 1994). Dėl įtrūkių konstrukcijų ilgaamžiškumas gali gerokai sumažėti, ypač jei konstrukcijos yra

veikiamos agresyvios aplinkos. Tam, kad būtų padidintas betono konstrukcijų ilgaamžiškumas, turi būti sprendžiama, kaip būtų galima išvengti betono įtrūkių, atsirandančių dėl susitraukimų. Kristalizuojančiosios įmaišos gali būti naudojamos tiek betono ilgaamžiškumui didinti, tiek susitraukimų įtrūkių prevencijai.

Džiūvimo susitraukimą galima apibūdinti kaip betono tūrio kitimą dėl drėgmės nuostolių sukietėjusiam betone. Drėgmė betone juda kapiliarais, o kapiliarinė jėga bando išstumti drėgmės perteklių, norėdama suvienodinti drėgmės kiekį su aplinka. Sparčiausiai šie vandens nuostoliai vyksta plonuose ir didelio ploto gaminiuose (Gribniak et al., 2013).

Mokslininkai nagrinėjo veiksnius, turinčius įtakos džiūstančio betono susitraukimui (De Larrard & Sedran, 1994). Šie veiksniai – naudojami užpildai (žvyras, skalda, smėlis), vandens ir cemento santykis (V/C), santykinis drėgnumas ir gaminio dydis. Tyrime teigiama, kad didesnė betono užpildų frakcija turi mažesnę susitraukimo įtaką betono traukumui. Taip pat užpildai su didesniu tamprumo moduliu ar nelygiu paviršiumi yra atsparesni sutraukimui. Kuo didesnis vandens ir cemento masės santykis, tuo didesnis ir susitraukimas. Kartu mažėja ir

*Autorius susirašinėti. El. paštas edvinas.pocius@vilniustech.lt

betono stipris bei standumas. Gaminio matmenys irgi turi įtakos susitraukimui: kuo gaminys yra didesnis, tuo susitraukimo efektas yra mažesnis.

Vienas iš būdų, kaip sumažinti betono susitraukimą, yra specialiųjų priedų naudojimas. Atlikti tyrimai patvirtino, kad priedai gali būti efektyvūs kovojant su betono savaiminiu susitraukimu (Meddah et al., 2011).

Mokslininkai tyrinėjo susitraukimą mažinančius priedus juos naudojant ir baltame savaimine susitankinančiame betone. Tyrime į betono mišinius buvo dedami plėtriejai priedai ir susitraukimą mažinantys priedai bei hidrofobinės įmaišos. Buvo nustatyta, kad mažiausi susitraukimai ir pats efektyviausias rezultatas buvo gautas vienu metu naudojant plėtriuosius priedus ir susitraukimus mažinančias įmaišas (Corinaldesi, 2012).

Kiti mokslininkai tyrinėjo plėtrijų priedų ir susitraukimus mažinančios įmaišos poveikį betono susitraukimams. Jų gauti rezultatai parodė, kad savaiminis betono traukimas naudojant priedus gali būti labai nežymus. Taip pat buvo pastebėta sinergija tarp susitraukimus mažinančios įmaišos ir plėtrijų priedų. Susitraukimus mažinanti įmaiša lėtina betono mišinio rišimąsi (Oliveira et al., 2014).

Pagal atliktus tyrimus susitraukimą mažinantys priedai gali būti naudojami tokiose situacijose, kai betono susitraukimas gali sukelti ilgaamžiškumo problemas, nepageidaujamas dėl ekonominių ar techninių priežasčių. Susitraukimą mažinančių priemonių sudėtyje dažniausiai būna etileno, glikolio dariniai. Šie priedai užkemša betone esančias poras ir neleidžia išgaruoti vandeniui, taip sumažindami betono susitraukimą. Tačiau šie priedai gali sumažinti betono stiprį. Atlikti tyrimai rodo, kad didžiausias stiprio sumažėjimas per 28 kietėjimo paras gali būti 12–15 % (Dransfield, 2003).

Mokslininkai taip pat tyrė susitraukimus mažinančių įmaišų poveikį savaimine susitankinančio betono savybėms. Buvo nustatyta, kad susitraukimus mažinančios įmaišos įtakos savaiminiam susitankinimui neturi. Kuo į mišinius buvo dedama daugiau cheminės įmaišos, tuo buvo gaunami mažesni susitraukimai, bet betono stipriai buvo gaunami mažesni (Maia et al., 2012).

Mokslininkai atliko tyrimus su skirtingų tipų glikolio pagrindu pagamintų betono susitraukimą mažinančiais priedais. Nustatyta, kad ilgalaikis susitraukimas sumažėjo apie 50–56 % lyginant su kontroliniais bandiniais. Pana-

1 lentelė. Cemento fizikinės savybės
Table 1. Cement physical properties

| Žymėjimas | Piltinis tankis, kg/m ³ | Savitasis tankis, kg/m ³ |
|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| CEM II/A-LL 42,5 N | 1100 | 3100 |

2 lentelė. Užpildų fizikinės savybės
Table 2. Aggregate physical properties

| Savybės | Smėlis | Granitinė skalda |
|------------------------------------|--------|------------------|
| Užpildo frakcija | 0/4 | 2/5 |
| Dalelių tankis, kg/m ³ | 2620 | 2670 |
| Piltinis tankis, kg/m ³ | 1650 | 1460 |
| Vandens įgeriamumas, % | ≤1,0 | ≤2,0 |

šūs tyrimai buvo atlikti naudojant vaško pagrindu pagamintą susitraukimą mažinantį priedą, tačiau šiuo atveju susitraukimo sumažėjimas buvo nustatytas tik apie 13 % (Gettu et al., 2000).

Darbo tikslas – ištirti kristalizuojančiosios įmaišos kiekio poveikį betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms.

1. Naudotos žaliavos ir taikyti metodai

Betono bandiniams suformuoti buvo naudojama rišamoji medžiaga cementas CEM II/A-LL 42,5 N, kristalizuojančioji įmaiša (tankis – 980 kg/m³), 0/4 frakcijos smėlis ir 2/5 frakcijos granito skalda. Cemento savybės yra pateiktos 1 lentelėje, o užpildų savybės pateiktos 2 lentelėje.

Betono bandiniai buvo ruošiami pagal LST EN 12390-2 standarto reikalavimus. Betono mišinių sudėtys yra pateiktos 3 lentelėje. Bandiniai formuojami didinant mišinyje kristalizuojančiosios įmaišos kiekį nuo 0,6 % iki 1,4 % nuo cemento masės. Mišiniai buvo maišomi laboratorijoje mechaniniu būdu, formuojami 40×40×160 mm bandiniai plieninėse formose. Betono mišinys sijelių formose buvo sutankintas naudojant vibracinę aikštelę. Po 24 valandų bandiniai buvo išimti iš formų ir laikomi 20 °C temperatūros vandenyje 27 paras. Vandens ir cemento santykis visuose bandiniuose yra vienodas 0,52.

Kristalizuojančiosios įmaišos fazinė analizė atlikta naudojant rentgeno spindulių difraktometrą SmartLab

3 lentelė. Betono sudėtys, 1 m³
Table 3. The composition of concrete, 1 m³

| Partijos Nr. | I | II | III | IV | V | VI | VII | VII | VIII | IX |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cementas, kg | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 |
| Smėlis 0/4, kg | 656 | 656 | 656 | 656 | 656 | 656 | 656 | 656 | 656 | 656 |
| Granito skalda 2/5, kg | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 |
| Vanduo, kg | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Kristalizuojančioji įmaiša, % | 0 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 |
| Kristalizuojančioji įmaiša, kg | 0,00 | 2,31 | 2,70 | 3,08 | 3,47 | 3,85 | 4,24 | 4,62 | 5,01 | 5,39 |
| V/C | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 |

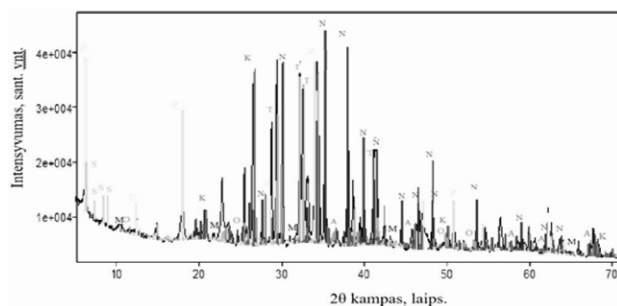
(Rigaku) su 9 kW besisukančio Cu anodo rentgeno spindulių vamzdžiu. Rentgenogramos užrašytos 2θ kampų 5–75° intervale, matavimų žingsnis – 0,02 laipsnio, detektoriaus judėjimo greitis – 1 laipsnis per minutę. Analizei naudota PDF – 4+ (2016 m.) kristalinių junginių duomenų bazė.

Sukietėjusio betono tankis buvo nustatytas pagal LST EN 12390-7:2019 reikalavimus, ultragarso impulso sklidimo greitis (UV) pagal standartą EN 12504-4:2004, gniuždymo stipris pagal LST EN 12390-3:2019 reikalavimus, lenkimo stipris pagal LST EN 12390-5:2019 reikalavimus ir traukumas buvo matuojamas taikant LST EN 12390-16:2019 standartą.

2. Tyrimų rezultatai ir analizė

Atliekant rentgeno spinduliuotės difrakcinę analizę buvo nustatyta kristalizuojančiosios įmaišos mineralinė struktūra. Kristalizuojančiosios įmaišos rentgenostruktūrinės analizės tyrimų rezultatai pateikiami 1 paveiksle. Kaip matoma iš rentgenogramos, labiausiai dominuojantis mineralas yra natrio karbonatas (Na_2CO_3) N, kurio yra 48,5 %. Antrasis mineralas pagal kiekį (34 %) kristalizuojančiojoje įmaišoje yra trikalčio silikatas (Ca_3SiO_5) T. Trečiasis mineralas pagal kiekį (7 %) yra portlanditas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) P. Ketvirtasis mineralas pagal kiekį (5 %) yra kvarcas (SiO_2) K. Taip pat randami aliuminio silikatas (Al_2SiO_5) A, kalcio aliuminio hidroksidas ($\text{CaAl}_2(\text{OH})_8 (\text{H}_2\text{O})_{3,84}$) C, kalcio silikatas (CaSiO_3) O, kurių atitinkamai kristalizuojančiojoje įmaišoje yra 2,6 %, 1,53 % ir 0,7 %.

Atlikus betono tankio tyrimus (2 pav.) nustatyta, kad didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį iki 1,4 % betono tankis mažėja, lyginant su kontroliniu bandiniu, betono su kristalizuojančiąja įmaiša tankis sumažėja 1,4 %. Su mažiausiu tyrimams naudotu įmaišos kiekiu (0,6 %)

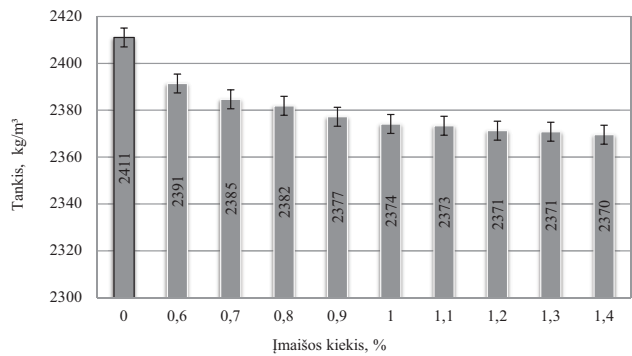


1 paveikslas. Kristalizuojančiosios įmaišos rentgenograma:

N – natrio karbonatas (Na_2CO_3), T – trikalčio silikatas ($\text{Ca}_3\text{SiO}_5(3\text{CaOSiO}_2)$), K – kvarcas (SiO_2), A – aliuminio silikatas (Al_2SiO_5), O – kalcio silikatas (CaSiO_3), P – portlanditas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), C – kalcio aliuminio hidroksidas ($\text{CaAl}_2(\text{OH})_8 (\text{H}_2\text{O})_{3,84}$), M – meta-aluminatas $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH})_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, S – $\text{Si}_7\text{O}_{144}(\text{OH})_4$

Figure 1. X-ray of crystallization admixture:

N – sodium carbonate (Na_2CO_3), T – tricalcium silicate ($\text{Ca}_3\text{SiO}_5(3\text{CaOSiO}_2)$), K – quartz (SiO_2), A – aluminum silicate (Al_2SiO_5), O – calcium silicate (CaSiO_3), P – portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), C – calcium aluminum hydroxide ($\text{CaAl}_2(\text{OH})_8 (\text{H}_2\text{O})_{3,84}$), M – meta-aluminate $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH})_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, S – $\text{Si}_7\text{O}_{144}(\text{OH})_4$



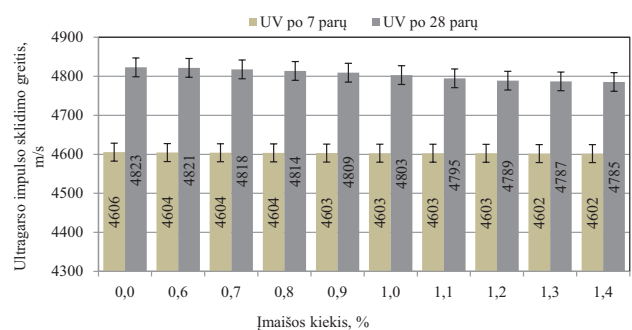
2 paveikslas. Tankio priklausomybė nuo kristalizuojančiosios įmaišos kiekio

Figure 2. Density dependence on the amount of crystallizing admixture

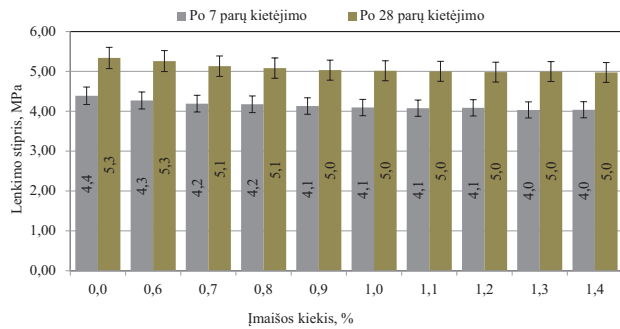
tankis sumažėja 0,8 %, o su didžiausiu tyrimams naudotu įmaišos kiekiu (1,4 %) tankis sumažėja 1,7 %. Nustatyta, kad kristalizuojančiosios įmaišos poveikis betono tankiui yra labai nežymus.

Atlikus betono ultragarso impulso sklidimo greičio tyrimus (3 pav.) nustatyta, kad, didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį iki 1,4 %, betono mišinio ultragarso impulso sklidimo greitis (UV) mažėja. Lyginant su kontroliniu betono bandiniu su 0,6 % ir 0,7 % įmaišos kiekiu, ultragarso impulso sklidimo greitis po 28 parų kietėjimo sumažėjo atitinkamai 0,02 % ir 0,04 % – labai nežymiai. Toliau didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį, ultragarso impulso sklidimo greitis proporcingai mažėjo. Su didžiausiu įmaišos kiekiu ultragarso impulso sklidimo greitis po 28 kietėjimo parų sumažėjo 1,3 %, lyginant su kontroliniu bandiniu.

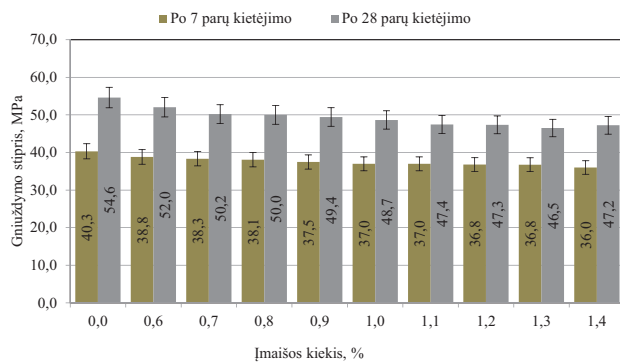
Sukietėjusių betono bandinių lenkimo stipris po 7 ir 28 parų kietėjimo pateiktas 4 paveiksle. Išanalizavus gautus tyrimų rezultatus galima daryti išvadą, kad, didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį, bandinių lenkimo stipris mažėja po 7 ir 28 parų kietėjimo. Lyginant su kontroliniu bandiniu, vidutinis mišinio su kristalizuojančiąja įmaiša lenkimo stipris sumažėja 5,25 %. Taigi nustatyta, kad, projektuojant betonines konstrukcijas su kristalizuojančiąja įmaiša, reikia atsižvelgti į lenkimo stiprio sumažėjimą.



3 paveikslas. Ultragarso impulso sklidimo greičio priklausomybė nuo kristalizuojančiosios įmaišos kiekio
Figure 3. Dependence of ultrasonic pulse velocity on the amount of crystallization admixture



4 paveikslas. Lenkimo stiprio po 7 ir 28 parų kietėjimo priklausomybė nuo kristalizuojančiosios įmaišos kiekio
Figure 4. Dependence of flexural strength after 7 and 28 days of hardening on the amount of crystallizing admixture



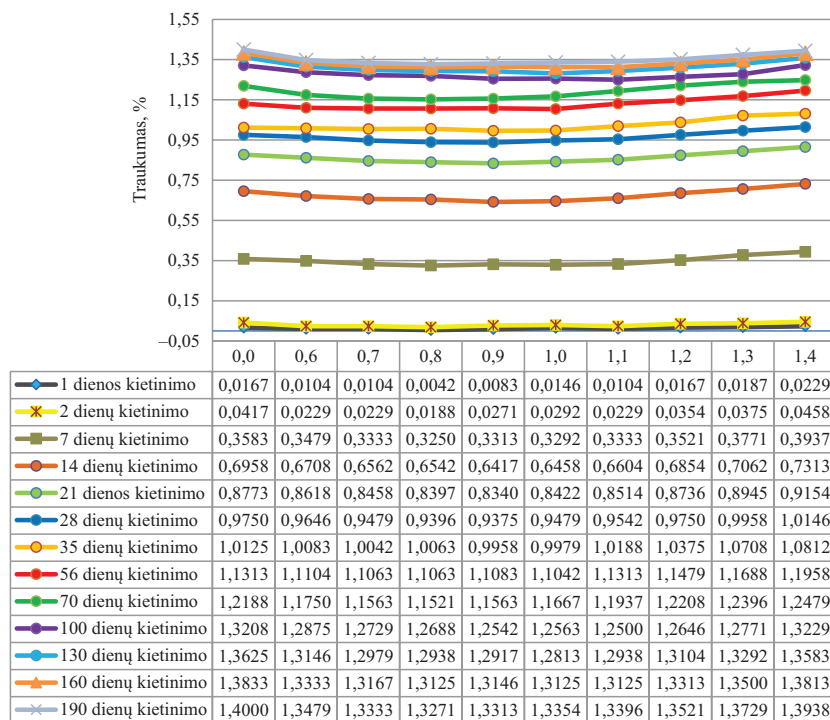
5 paveikslas. Gniuždymo stiprio po 7 ir 28 parų kietėjimo priklausomybė nuo kristalizuojančiosios įmaišos kiekio
Figure 5. Dependence of compressive strength after 7 and 28 days hardening on the amount of crystallizing admixture

Betono bandinių gniuždymo stipris po 7 ir 28 parų kietėjimo didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį mažėja (5 pav.). Kontrolinių bandinių, kuriuose nebuvo įmaišos, vidutinis gniuždymo stipris po 7 kietėjimo parų yra 40,3 MPa, o į betono mišinį įdėjus 1,4 % kristalizuojančiosios įmaišos nuo cemento kiekio gniuždymo stipris sumažėja iki 36,0 MPa.

Betono kontrolinių bandinių, kuriuose nebuvo įmaišos, vidutinis gniuždymo stipris po 28 parų kietėjimo yra 54,6 MPa, o į betono mišinį įdėjus 1,4 % kristalizuojančiosios įmaišos nuo cemento kiekio gniuždymo stipris sumažėja iki 47,2 MPa. Atlikus tyrimus nustatyta, kad didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį gniuždymo stipriai po 7 ir 28 parų kietėjimo nežymiai mažėja.

Atlikus traukimo bandymus, buvo pastebėta, kad traukumas mažėja didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį (6 pav.), lyginant su kontroliniu bandiniu. Didžiausias traukumo mažėjimo efektas betone nustatytas, kai kristalizuojančiosios įmaišos kiekis yra 1,0 % nuo cemento masės. Čia traukumas sumažėjo apie 1,8 % lyginant su kontroliniu bandiniu. Betono gamybai naudojant 1,2 % ir daugiau kristalizuojančiosios įmaišos kiekius nuo cemento masės pastebėtas didesnis džiūstamasis traukumas nei kontroliniame bandinyje.

Išanalizavus betono mišinio traukumo priklausomybę nuo laiko, matyti, kad ankstyvasis traukumas vyksta gerokai sparčiau nei vėlyvasis / ilgalaikis. Toks traukumo stebėjimo rezultatas siejamas su greitesniu laisvojo vandens netekimu. Vėlesniuose betono kietėjimo etapuose pastebimas lėtesnis traukumo augimas, kai vyksta atitinkamai kiti cemento hidratacijos etapai.



6 paveikslas. Traukumo priklausomybė nuo kristalizuojančiosios įmaišos kiekio
Figure 6. Dependence of shrinkage on the amount of crystallizing admixture

Išvados

1. Nustatyta, kad, didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį, betono tankis mažėja, lyginant su kontrolinių bandinių, vidutinis betono su kristalizuojančiąja įmaiša tankis sumažėja 1,4 %. Su mažiausiu tyrimams naudotu įmaišos kiekiu (0,6 %) tankis sumažėja 0,8 %, o su didžiausiu tyrimams naudotu kristalizuojančiosios įmaišos kiekiu (1,4 %) tankis sumažėja 1,7 %. Taigi kristalizuojančiosios įmaišos poveikis betono tankiui yra labai nežymus.
2. Didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį, betono ultragarso impulso sklidimo greitis mažėja, lyginant su kontroliniu bandiniu. Betono su 0,6 % įmaišos kiekiu nuo cemento masės ultragarso impulso sklidimo greitis sumažėjo labai nežymiai. Nustatyta, kad, didinant įmaišos kiekį iki 1,4 %, ultragarso impulso sklidimo greitis proporcingai mažėja, su didžiausiu įmaišos kiekiu (1,4 %) ultragarso impulso sklidimo greitis sumažėjo 0,8 %, tai yra labai nežymiai.
3. Nustatyta, kad lenkimo ir gniuždymo stipriai po 7 ir 28 parų kietėjimo mažėja, kai naudojamas didesnis kristalizuojančiosios įmaišos kiekis. Didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį betone bandinių lenkimo stipris mažėja nežymiai, lyginant su kontroliniu bandiniu. Vidutinis betono su kristalizuojančiąja įmaiša lenkimo stiprio sumažėjimas yra 5,4 %. Betono gniuždymo stipris mažėja didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį iki 1,4 %, lyginant su kontroliniu bandiniu. Didžiausias gniuždymo stipris po 28 kietėjimo parų nustatytas kontrolinių bandinių (54,6 MPa), o mažiausias betono bandinių (47,2 MPa), kai panaudotas įmaišos kiekis yra didžiausias.
4. Atlikus traukumo bandymus, nustatyta, kad traukumas mažėja didinant kristalizuojančiosios įmaišos kiekį, lyginant su kontroliniu bandiniu, didžiausias traukumo mažėjimo efektas betone nustatytas, kai kristalizuojančiosios įmaišos kiekis yra 1,0 % nuo cemento masės. Traukumas sumažėjo apie 1,8 % lyginant su kontroliniu bandiniu. Betonų gamybai naudojant 1,2 % ir daugiau kristalizuojančiosios įmaišos pastebėtas didesnis džiūtamasis traukumas nei kontroliniame bandinyje.
5. Įvertinus tyrimų rezultatus rekomenduojamas kristalizuojančiosios įmaišos kiekis nuo cemento masės yra 1,0 %. Atsižvelgiant į darbo aktualumą, kai problema yra plyšių atsiradimas įvairiose betono konstrukcijose, ir įvertinus atliktų tyrimų rezultatus, galima teigti, kad kristalizuojančiosios įmaišos naudojimas duoda teigiamą efektą, t. y. mažina betono traukumą, dėl to galima išvengti atsirandančių įtrūkių betono konstrukcijose.

Literatūra

Corinaldesi, V. (2012). Combined effect of expansive, shrinkage reducing and hydrophobic admixtures for durable self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 36, 758–764. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.129>

- De Larrard, F., & Sedran, T. (1994). Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model. *Cement and Concrete Research*, 24, 997–1009. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90022-1)
- Dransfield, J. (2003). Admixtures for concrete, mortar and grout. *Advanced Concrete Technology*, 3, 3–36. <https://doi.org/10.1016/B978-075065686-3/50280-9>
- Gettu, R., Roncero, J., & Martin, M. A. (2002). Study of the behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures subjected to long-term drying. *ACI – Symposium Publication*, 206, 157–166.
- Gribniak, V., Kaklauskas, G., Torres, L., Daniunas, A., Timinskas, E., & Gudonis, E. (2013). Comparative analysis of deformations and tension-stiffening in concrete beams reinforced with GFRP or steel bars and fibers. *Composites Part B: Engineering*, 50, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.02.003>
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2004). *Betono bandymas. 4 dalis. Ultragarso impulso greičio nustatymas* (LST EN 12504-4:2004). Vilnius.
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019a). *Sukietėjusio betono bandymai. 5 dalis. Bandinių lenkimo stipris* (LST EN 12390-5:2019). Vilnius.
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019b). *Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis* (LST EN 12390-7:2019). Vilnius.
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019c). *Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris* (LST EN 12390-3:2019). Vilnius.
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019d). *Sukietėjusio betono bandymai. 16 dalis. Betono susitraukimo nustatymas* (LST EN 12390-16:2019). Vilnius.
- Maia, L., Figueiras, F., Nunes, S., Azenha, M., & Figueiras, F. (2012). Influence of shrinkage reducing admixtures on distinct SCC mix compositions. *Construction and Building Materials*, 35, 304–312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.033>
- Meddah, M. S., Suzuki, M., & Sato, R. (2011). Influence of a combination of expansive and shrinkage-reducing admixture on autogenous deformation and self-stress of silica fume high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, 25(1), 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.033>
- Mehta, P. K. (1994). Concrete technology at the crossroads—problems and opportunities. *ACI – Symposium Publication*, 144, 1–30.
- Oliveira, J. M., Ribeiro, A. B., & White, F. G. (2014). Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to control autogenous shrinkage in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.033>
- Wang, K., Jansen, D., Shah, S. P., & Karr, A. (1997). Permeability study of cracked concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(3), 381–393. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00031-8)
- Wang, T. M. (2007). *Control of cracking in engineering structure*. China Architecture & Building Press.

**INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL
PROPERTIES OF CONCRETE WITH CRYSTALLIZATION
ADDITIVE**

E. Pocius, A. Čepulis

Abstract

The article analyses what effect crystallization additive usage has on concrete physical and mechanical properties and shrinkage to find most effective concrete additive. Investigations of concrete properties with various amounts of crystallization admixture were performed. 9 concrete mixtures with different amounts of crystallizing admixtures were formed and admixtures were added to the concrete mixes from 0.6% to 1.4% of the cement mass, in increments of 0.1%. During the research, the influence of the amount of crystallization admixture the density of hardened concrete, flexural strength, compressive strength, and shrinkage was determined. After evaluating the physical, mechanical properties and shrinkage of the concrete, it was determined that the optimal amount of crystallizing admixture in the concrete mixture is 1% of the cement mass. Thus, it can be argued that the use of a crystallizing admixture has a positive effect i.e., reduces the shrinkage of concrete, because of which cracks in concrete structures can be avoided.

Keywords: concrete, crystallization admixture, shrinkage, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, density.