

Utjecaj kristalnih hidrofilnih dodataka na trajnost betona

Effect of crystalline hydrophilic admixtures on the durability of concrete

Anita Gojević^a, Ivanka Netinger Grubeša^b, Sandra Juradin^c, Aleksej Aniskin^b

^a Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ulica Vladimira Preloga 3, 31000 Osijek, Republika Hrvatska | Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of civil engineering and architecture Osijek, Vladimir Prelog Street 3, 31000 Osijek, Republic of Croatia

^b Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo, 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Republika Hrvatska | University North, Department of Construction, 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Republic of Croatia

^c Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, 21000 Split, Republika Hrvatska | University of Split, Faculty of civil engineering, architecture and geodesy, Matice hrvatske 15, 21000 Split, Republic of Croatia

corresponding author: agojevic@gfos.hr

INFORMACIJE O ČLANKU

Kategorija:
Znanstveni članak

Ključne riječi:
aerant
kristalni hidrofilni dodaci
ciklusi smrzavanja i
odmrzavanja
tlačna čvrstoća
vodonepropusnost betona

Licenca: CC BY-NC-SA 4.0.

SAŽETAK

Jedan od uzroka propadanja betonskih građevina su ciklusi smrzavanja i odmrzavanja kojima su izložene. Naime, voda prisutna u betonu prilikom smrzavanja prelazi u led koji ima veći volumen od vode iz koje je nastao, a led potom stvara pritisak na stijene betona. Uslijed ponavljanih ciklusa smrzavanja i odmrzavanja dolazi do oštećenja betona u obliku površinskog ljuštenja ili u obliku unutarnjeg raspucavanja. Kristalni hidrofilni dodaci su praškaste komponente koje se u betonsku mješavinu dodaju u cilju smanjenja vodonepropusnosti betona. Hipoteza ovog rada je da bi kristalni hidrofilni dodaci kao tvari koje smanjuju prodor vode u beton mogli poboljšati trajnost betona. Izrađene su tri mješavine betona; referentna mješavina, mješavina s aerantom (dodatak koji se uobičajeno koristi za poboljšanje otpornosti betona na cikluse smrzavanja i odmrzavanja) te mješavina s kristalnim hidrofilnim dodatkom. Na očvrslim uzorcima betona su ispitane tlačna čvrstoća i vodonepropusnost prije i nakon izlaganja uzoraka ciklusima smrzavanja i odmrzavanja u komori, a otpornost betona na cikluse smrzavanja i odmrzavanja je izražena kroz omjere tih svojstava nakon i prije ciklusa smrzavanja i odmrzavanja. Rezultati potvrđuju mogućnost uporabe kristalnog hidrofilnog dodatka u svrhu unaprijeđenja trajnosti betona.

ARTICLE INFORMATION

Category:
Scientific paper

Keywords:
air entraining agent
crystalline hydrophilic
additives
freeze and thaw cycles
compressive strength
waterproofing of concrete

License: CC BY-NC-SA 4.0.



ABSTRACT

One of the causes of the deterioration of concrete buildings are the freezing and thawing cycles to which they are exposed. Namely, the water present in concrete turns into ice when freezing which is of a larger volume than the water from which it was formed and therefore creates pressure on the pore walls. As a result of repeated cycles of freezing and thawing, concrete damage occurs in the form of surface scaling or in the form of internal cracking. Crystalline hydrophilic admixtures are powder components added to the concrete mix to reduce the waterproofing of the concrete. The hypothesis of this paper is that crystalline hydrophilic admixtures as substances that reduce the penetration of water into concrete could improve the durability of concrete. Three concrete mixes were prepared; reference mix, mix with air entraining agent (additive commonly used to improve concrete's resistance to freezing and thawing cycles), and mix with crystalline hydrophilic admixture. The compressive strength and waterproofing of the hardened concrete samples were tested before and after exposure to freezing and thawing cycles in the chamber. The resistance of concrete to freezing and thawing cycles was expressed through the ratios of these properties after and before the freezing and thawing cycles. The results confirm the possibility of using a crystalline hydrophilic admixture for the purpose of improving the durability of concrete.

1. Uvod

Trajnost građevina je jedan od temeljnih zahtjeva koji se postavlja na građevne materijale. Jedan od glavnih čimbenika umanjivanja trajnosti materijala su ciklusi smrzavanja i odmrzavanja [1]. Voda prisutna u materijalu prilikom pada temperature ispod ništice

se smrzava i prelazi u led koji ima veći volumen od same vode iz koje je nastao, a tako formiran led stvara naprezanja na stijene materijala [2] što uslijed ponavljanih ciklusa smrzavanja i odmrzavanja dovodi do oštećenja materijala, a samim time i smanjenja trajnosti materijala.

Takva se oštećenja kod cementnih kompozita javljaju ili u obliku površinskog ljuštenja ili u obliku unutarnjeg raspucavanja/oštećenja [3].

Prema Europskom zakonodavstvu, otpornost betona na cikluse smrzavanja/odmrzavanja ispituje se postupcima propisanim u normama HRS CEN/TS 12390-9 [4] i HRN CEN/TR 15177 [5]. U postupku opisanom u HRS CEN/TS 12390-9 [4] uzorci betona zasićeni vodom ili 3%-tnom otopinom NaCl izlažu se ciklusima smrzavanja/odmrzavanja (56 ciklusa) te se mjeri površinsko ljuštenje betona tijekom tih ciklusa, prati se gubitak mase tijekom tih ciklusa, dok se za praćenje oštećenja unutarnje strukture može se koristiti postupak opisan u HRN CEN/TR 15177 [5].

Otpornost betona na cikluse smrzavanja/odmrzavanja uobičajeno se poboljšava dodavanjem aeranta u betonsku mješavinu [6], a moguće ju je poboljšati i još nekim dodacima betonu kao što su zgura [7], leteći pepeo [8] i silikatna prašina [9].

Kristalni dodaci (engl. crystalline admixtures - CA) su uglavnom komercijalno dostupni proizvodi različitih proizvođača (Xypex, Kryton, Penetron, Harbin) s dvostrukim učinkom: smanjuju propusnost betona i zacjeljuju pukotine a preporučuje ih se stavljati u beton u količinama 0.3-2 % na masu cementa [10]. Europska norma HRN EN 934-2 [11] klasificira CA kao dodatke za smanjenje vodopropusnosti betona. Zhang i dr. [12] ispitivali su učinak CA na mehanička i transportna svojstva te sposobnost samocijeljenja cementnog kompozita. CA je u ovoj studiji korišten u udjelima 0, 1,5 %, 3 % i 4,5 % zamjene mase cementa. Zaključeno je da dodatak CA poboljšava mehanička svojstva te je veći udio CA imao pozitivniji utjecaj na mehanička svojstva. Također, upijanje vode (transportno svojstvo) smanjivalo se u ovom istraživanju s povećanjem udjela CA u mješavinama. Gojević i dr. [13] u svom radu istražuju učinkovitost CA na tlačnu čvrstoću, vodonepropusnost i sposobnost cijeljenja betona s vodocementnim omjerom 0,45 i 0,55. Napravljene su dvije mješavine u ovom istraživanju za svaki vodocementni omjer, s i bez dodatka CA. Količina CA u mješavinama je bila 1% na masu cementa. Dodatak CA nije imao utjecaja na tlačnu čvrstoću obiju mješavina, ali je smanjio dubinu prodora vode. Dodatak CA je bio učinkovitiji po pitanju smanjenja dubine prodora vode kod mješavine s manjim vodocementnim omjerom.

Hipoteza ovog rada je da kristalni hidrofilni dodaci kroz smanjenje vodopropusnosti mogu poboljšati otpornost betona na cikluse smrzavanja i odmrzavanja. U ovom radu uspoređuje se učinkovitost kristalnih hidrofilnih dodataka i aeranta (uobičajeno korišteni dodatak betonu za poboljšanje otpornosti na cikluse smrzavanja/odmrzavanja) u pogledu otpornosti betona na cikluse smrzavanja i odmrzavanja.

2. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada zamiješane su 3 mješavine betona; referentna mješavina betona (M1), mješavina betona s aerantom (M2) i mješavina betona s kristalastim hidrofilnim dodatkom (M3).

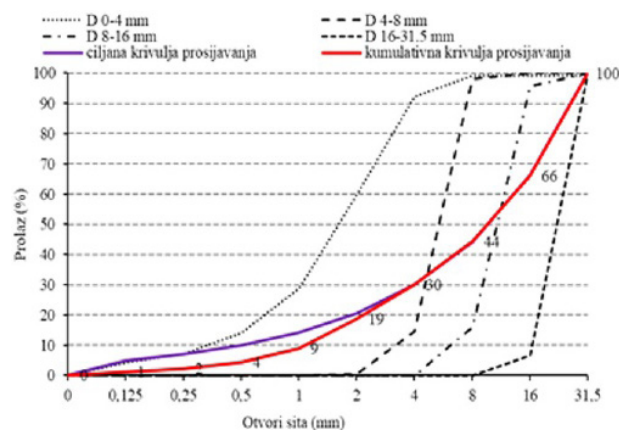
2.1. Svojstva agregata, veziva i dodataka betonu



Slika 1. Izgled agregata i cementa korištenog u istraživanju

Figure 1 Appearance of aggregates and cement used in the research

Gustoća dolomita određena prema normi HRN EN 1097-6 [14] iznosila je 2780 kg/m³. Gustoća punila određena prema normi HRN EN 1097-6 [14] iznosila je 2780 kg/m³. Krivulje prosijavanja dolomitnih frakcija prikazane su, zajedno s ciljanom i stvarnom kumulativnom krivuljom agregata, Slikom 2., pri čemu treba napomenuti da je 5 % frakcije 0-4 mm zamijenjeno punilom.



Slika 2. Krivulje prosijavanja frakcija, ciljana i kumulativna krivulja agregata [22]

Figure 2 Fraction sieving curves, target and cumulative aggregate curve [22]

Cement korišten za izradu betonskih mješavina bio je CEM I 52,5 N gustoće u iznosu 2960 kg/m³ određene prema HRN EN 196-6 [15].

U svim mješavinama korišten je superplastifikator ViscoCrete 5380 prikazan na slici 3., u iznosu 1 % na masu cementa čija gustoća iznosi 1,08 g/cm³. U mješavini M2 je korišten aerant LPS A 94 proizvođača Sika u iznosu 0,2 % na masu cementa.

Gustoća aeranta iznosi 1,0 g/cm³. U mješavini M3 korišten je kristalni hidrofilni dodatak Penetron Admix tvrtke Penetra prikazan na slici 3 u iznosu 3 % mase cementa čija gustoća određena prema normi HRN EN 1097-6 [14] je iznosila je 2910 kg/m³.



Slika 3. Superplastifikator (lijevo) i kristalni hidrofilni dodatak (desno)

Figure 3 Superplattizer (left) and crystalline hydrophilic additive (right)

2.2. Sastav betonskih mješavina

Sastav svih betonskih mješavina prikazan je tablicom 1.

Tablica 1. Sastav betonskih mješavina za 1 m³ betona

Table 1 Composition of concrete mixes for 1 m³ of concrete

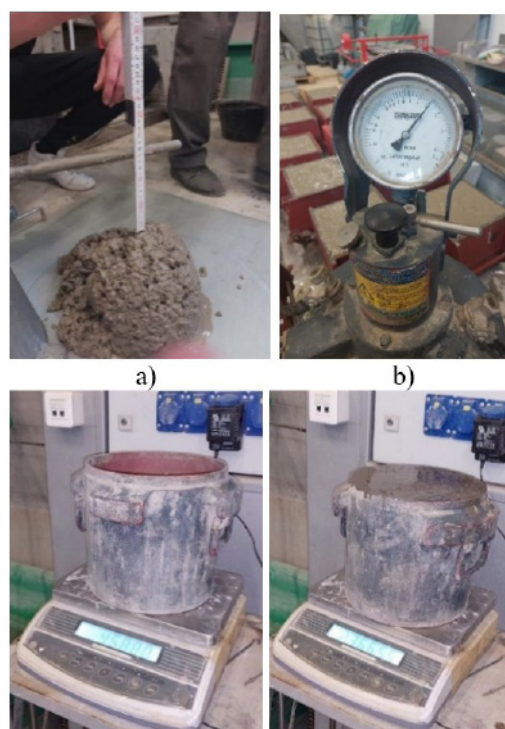
Mješavina/Komponente	M1	M2	M3
Cement (kg)	400	400	388
Voda (kg)	140	140	140
v/c	0,35	0,35	0,35
Superplastifikator (kg)	4	4	4
Aerant (kg)	-	0,8	-
Kristalni hidrofilni dodatak (kg)	-	-	12
Agregat	1957,2	1957,2	1957,2
Dolomit 0-4 mm (kg)	576,6	576,6	576,6
Dolomit 4-8 mm (kg)	195,6	195,6	195,6
Dolomit 8-16 mm (kg)	469,8	469,8	469,8
Dolomit 16-31.5 mm (kg)	685	685	685
Punilo (kg)	30,2	30,2	30,2

2.3. Svojstva svježeg i očvrslog betona

Konzistencija betona određena je prema HRN EN 12350-2 [16], gustoća svježeg betona prema HRN EN 12350-6 [17], a udio pora prema normi HRN EN 12350-7 [18]. Slikom 5. prikazano je određivanje konzistencije (a), udjela pora (b) i gustoće (c). Dobiveni rezultati prikazani su tablicom 2.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja svježeg betona
Table 2 Results of fresh concrete testing

Mješavina	M1	M2	M3
Konzistencija (cm)	12	14	11
Gustoća (kg/m ³)	2504	2439	2489
Udio pora (%)	1,5	5,0	1,6



Slika 4. Određivanje konzistencije-a), udjela pora-b) i gustoće svježeg betona-c)

Figure 4 Determination of consistency-a), proportion of pores-b) and density of fresh concrete-c)

U nastavku su izrađene kocke (12 kocaka od svake mješavine) izmjera 15x15x15 cm za ispitivanje tlačne čvrstoće i za određivanje dubine prodora vode pod tlakom, oba svojstva prije i nakon izlaganja kocaka ciklusima smrzavanja i odmrzavanja. Kocke su njegovane 28. dana u vodi a nakon toga izvađene iz nje te je 6 njih ostavljeno u laboratoriju a 6 njih izloženo djelovanju 56 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja prema proceduri opisanoj u točki 7. norme HRN CEN/TR 15177 [5]. Na po tri kocke prije i na po tri kocke nakon ciklusa smrzavanja i odmrzavanja je određena tlačna čvrstoća (slika 5.) za svaku mješavinu i to prema normi HRN EN 12390-3 [19].



Slika 5. Ispitivanje tlačne čvrstoće betona
Figure 5 Test of compressive strength of concrete

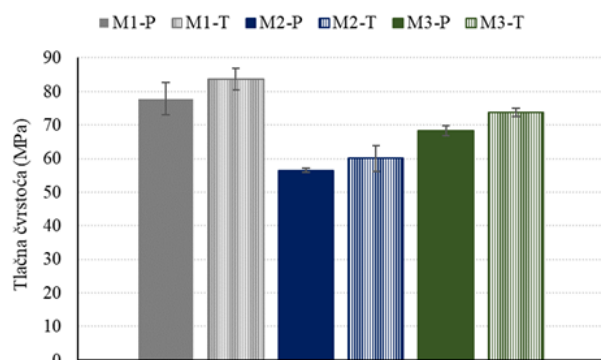
Na po tri kocke prije i na po tri kocke nakon ciklusa smrzavanja i odmrzavanja je određena dubina prodora vode pod tlakom (slika 6.) za svaku mješavinu i to prema normi HRN EN 12390-8 [20].



Slika 6. Ispitivanje dubine prodora vode pod tlakom
Figure 6 Test of water penetration depth under pressure

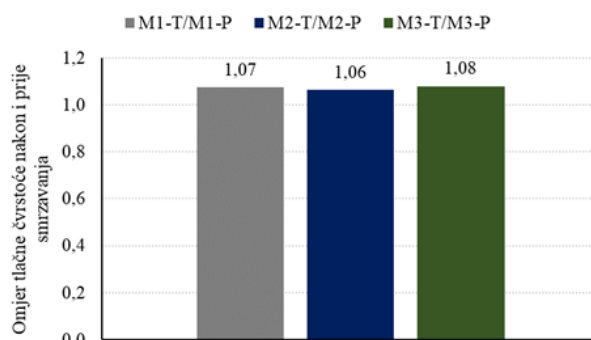
3. Rezultati ispitivanja i diskusija

Kao što je vidljivo u tablici 2. rezultati ispitivanja svojstava betona u svježem stanju za sve mješavine ostvaruju konzistenciju 12-14 cm prema metodi slijeganja, što ih svrstava u razred konzistencije S3 sukladno normi HRN EN 206 [21]. Uvidom u istu tablicu je vidljivo da betoni ostvaruju gustoće 2439-2504 kg/m³, a takav se beton prema normi HRN EN 206 [21] svrstava u betone normalne gustoće. U istoj tablici je vidljivo da mješavina M2 ima veći udio pora (5 %) što je i očekivano s obzirom na dodatka aeranta. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće prije i nakon smrzavanja prikazani su grafički na slici 7. Oznake mješavina M1 P, M2 P i M3 P su mješavine prije smrzavanja, dok su mješavine s oznakama M1 T, M2 T i M3 T, tretirane mješavine, tj. mješavine koje su bile podvrgnute 56 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja.

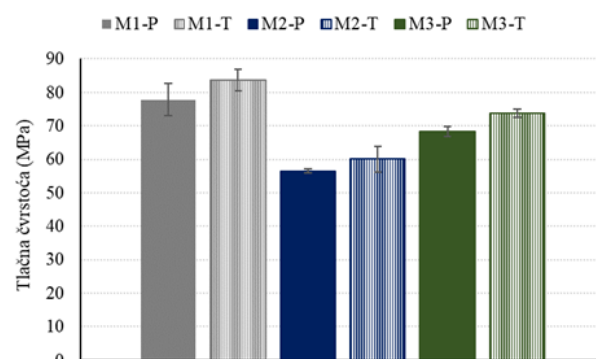


Slika 7. Tlačna čvrstoća za mješavine M1, M2 i M3 prije i nakon smrzavanja
Figure 7 Compressive strength of mixes M1, M2, and M3 before and after freezing

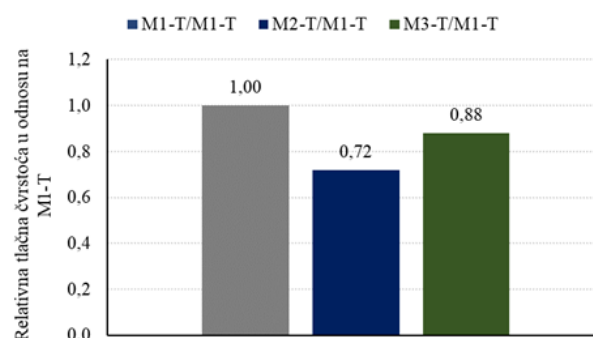
Iz slike 7. vidljivo je da najbolju tlačnu čvrstoću prije smrzavanja ostvaruje mješavina M1, a najlošiju mješavina M2 što je i očekivano s obzirom na udio pora unesenih zbog sadržaja aeranta.



Slika 8. Omjer tlačne čvrstoće za mješavine M1, M2 i M3 nakon i prije smrzavanja
Figure 8 Compressive strength ratio for mixes M1, M2, and M3 after and before freezing



Slika 9. Relativna tlačna čvrstoća za sve tri nesmrazavane mješavine u odnosu na M1-P
Figure 9 Relative compressive strength of all three non-frozen mixes compared to M1-P

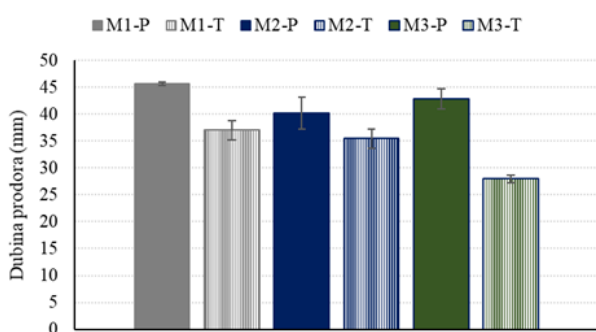


Slika 10. Relativna tlačna čvrstoća za sve tri smrzavane mješavine u odnosu na M1-T
Figure 10 Relative compressive strength of all three frozen mixes compared to M1-T

Na slici 8. grafički je prikazan omjer tlačne čvrstoće nakon i prije smrzavanja za sve tri mješavine i vidljivo je povećanje tlačne čvrstoće kod sve tri mješavine (za 6-8%), a najviše kod mješavine s kristalnim hidrofilnim dodatkom. Ovo znači da su ciklusi smrzavanja i odmrzavanja uz prisutnost vode više pogodovali razvoju čvrstoće nego narušili unutarnju strukturu uzoraka.

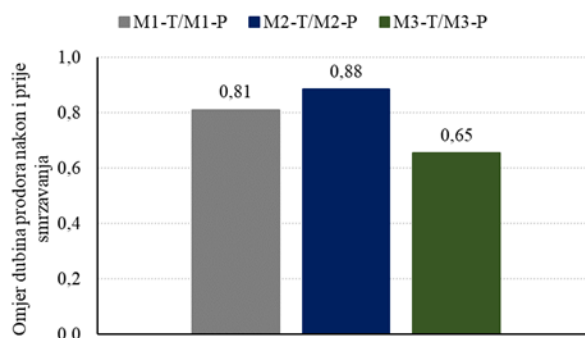
Ovakvi rezultati su u skladu da rezultatima prikazanim u [12]. Na slikama 9. i 10. prikazane su relativne tlačne čvrstoće za sve tri mješavine, za nesmrzavane uzorke u odnosu referentnu mješavinu M1-P (Slika 9.), a za smrzavane uzorke u odnosu na referentnu mješavinu M1-T (Slika 10.). Iz Slika 9. i 10. možemo vidjeti da kristalni hidrofilni dodatak smanjuje tlačnu čvrstoću prije i nakon smrzavanja za 12 % u odnosu na tlačnu čvrstoću referentne mješavine dok aerant smanjuje tlačnu čvrstoću betona za 27 % prije i 28 % nakon smrzavanja i odmrzavanja u odnosu na tlačnu čvrstoću referentne mješavine.

Na slici 11. grafički su prikazani rezultati dubine prodora vode prije i nakon smrzavanja. U navedenom grafu vidljivo je da kristalni hidrofilni dodatak smanjuje dubinu prodora vode pod tlakom kao i aerant. Smanjenje prodora vode dodatkom kristalnog hidrofilnog dodatka je u skladu s [13]. Kako sve tri mješavine imaju smanjenje prodora vode pod tlakom kod tretiranih mješavina to opet znači da su ciklusi smrzavanja i odmrzavanja uz prisutnost vode više pogodovali unutarnjoj strukturi nego li je narušili. Na slici 12. iz omjera dubine prodora vode pod tlakom nakon i prije smrzavanja, za sve tri mješavine, možemo vidjeti kako su rezultati ispitivanja prosječne dubine prodora vode pod tlakom nakon 56 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja za mješavinu M1 manji za 19 % u odnosu na rezultate ispitivanja prosječne dubine prodora vode pod tlakom uzoraka bez ciklusa smrzavanja i odmrzavanja, kod mješavine M2 iz prikazanog omjera vidljivo je kako je vodopropusnost tretiranih uzoraka manja za 12 % u odnosu na netretirane uzorke i kod mješavine M3 iz prikazanog omjera vidljivo je najveće smanjenje vodopropusnosti tretiranih uzoraka za 35 % u odnosu na netretirane uzorke.

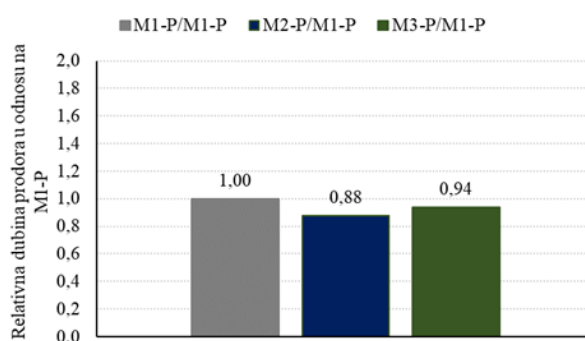


Slika 11. Dubina prodora vode pod tlakom za mješavine M1, M2 i M3 prije i nakon smrzavanja
Figure 11 Depth of water penetration under pressure for mixes M1, M2, and M3 before and after freezing

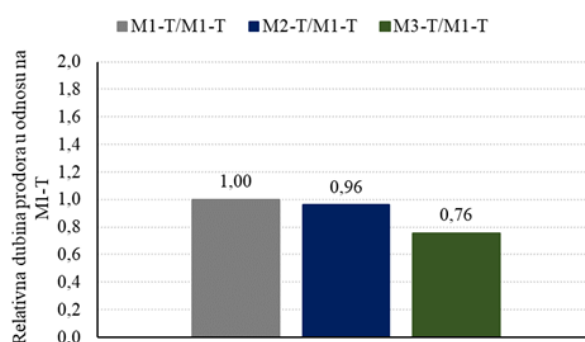
Na slici 13. vidljivo je da kristalni hidrofilni dodatak smanjuje prodor vode za 6% a aerant za 12% u odnosu na referentnu netretiranu mješavinu. Na slici 14. vidljivo je da kristalni hidrofilni dodatak drastično smanjuje prodor vode (za 24%), a aerant za 4% u odnosu na referentnu mješavinu tretiranu ciklusima smrzavanja i odmrzavanja. Iako kod uzoraka prije izlaganja ciklusima smrzavanja i odmrzavanja je aerant učinkovitiji od kristalnog hidrofilnog dodatka, nakon izlaganja ciklusima smrzavanja i odmrzavanja kristalni hidrofilni dodatak ima izraženiji učinak po pitanju smanjenja prodora vode od aeranta.



Slika 12. Omjer dubine prodora vode pod tlakom za mješavine M1, M2 i M3 nakon i prije smrzavanja
Figure 12 Ratio of water penetration depth under pressure for mixtures M1, M2 and M3 after and before freezing



Slika 13. Relativna dubina prodora vode pod tlakom za sve tri nesmrzavane mješavine u odnosu na M1-P
Figure 13 Relative depth of water penetration under pressure for all three non-frozen mixtures in relation to M1-P



Slika 14. Relativna dubina prodora vode pod tlakom za sve tri smrzavane mješavine u odnosu na M1-T
Figure 14 Relative depth of water penetration under pressure for all three frozen mixtures in relation to M1-T

4. Zaključak

U eksperimentalnom dijelu rada zamiješane su tri mješavina betona; referentna mješavina betona (M1), mješavina betona s aerantom (M2) i mješavina betona s kristalastim hidrofilnim dodatkom (M3) u iznosu 3% mase cementa. Na očvrslim uzorcima

betona su ispitane tlačna čvrstoća i vodonepropusnost prije i nakon izlaganja uzoraka ciklusima smrzavanja i odmrzavanja u komori, a otpornost betona na cikluse smrzavanja i odmrzavanja je izražena kroz omjere tih svojstava nakon i prije ciklusa smrzavanja i odmrzavanja. Rezultati pokazuju da kristalni hidrofilni dodatak povećava tlačnu čvrstoću betona i drastično smanjuje prodor vode pod tlakom kod uzoraka koji su bili izloženi ciklusima smrzavanja i odmrzavanja u komori što upućuje na zaključak da smanjuje unutarnja oštećenja te povećava otpornost betona na cikluse smrzavanja i odmrzavanja kao jedno od trajnosnih svojstava betona.

Zahvala

Autori zahvaljuju na financijskoj potpori u istraživanju Sveučilištu Sjever i Osječko-baranjskoj županiji na financijskoj potpori iz sredstava Proračuna Osječko-baranjske županije, Program javnih potreba u školstvu u okviru programa - Poticanje izvrsnosti.. Prikazana istraživanja su djelomično podržana projektom KK.01.1.1.02.0027 - projekt sufinanciran iz Državnog proračuna Republike Hrvatske i od strane Europske unije iz Europskog fonda za regionalni razvoj unutar Operativnog programa "Konkurentnost i kohezija".

Literatura

- [1] Surej K. R., (1997), Evaluation and Improvement of Frost Durability of Clay Bricks - A Thesis in The Centre for Building Studies, Ottawa, Canada.
- [2] Pilehvar S., Szczotok M. A., Rodríguez J. F., Valentini L., sLanzón M., Pamies R., Kjøniksen A.-L., (2019), Effect of freeze-thaw cycles on the mechanical behavior of geopolymer concrete and Portland cement concrete containing micro-encapsulated phase change materials, *Construction and Building Materials*, Vol. 200, p 94-103.
- [3] Richardson G. M., (2002), *Fundamentals of Durable Reinforced Concrete*, First Edition, Spon Press, p 51, 77, 101, 133, 160-179, 194.
- [4] HRS CEN/TS 12390-9:2016, (2016), Ispitivanje očvrsloga betona - 9. dio: Otpornost na smrzavanje i odmrzavanje – Ljuštenje, CEN: Brussels, Belgija.
- [5] HRN CEN/TR 15177:2006, (2006), Ispitivanje otpornosti betona na smrzavanje i odmrzavanje – Oštećenje unutarnje strukture, CEN: Brussels, Belgija.
- [6] Qiu Y., Peng H., Zhao H., (2020), Study on New Type of Concrete Air-Entraining Agent, International Conference on Artificial Intelligence and Electromechanical Automation (AIEA), Tianjin, China.
- [7] Nicula L. M., Corbu O., Iliescu M., (2020), Influence of Blast Furnace Slag on the Durability Characteristic of Road Concrete Such as Freeze-Thaw Resistance, *Procedia Manufacturing*, Volume 46, p 194-201.
- [8] Islam Md. M., Alam M. T., Islam Md. S., (2018), Effect of fly ash on freeze–thaw durability of concrete in marine environment, *Australian Journal of Structural Engineering*, Vol. 19(2), p 1-16.
- [9] Zang P., Li Q.-F., (2013), Freezing–thawing durability of fly ash concrete composites containing silica fume and polypropylene fiber, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*.
- [10] García Calvo J. L., Sánchez Moreno M., Carballosa P., Pedrosa F., Tavares F., (2019), Improvement of the Concrete Permeability by Using Hydrophilic Blended Additive, *Materials*, Vol. 12, 2384
- [11] HRN EN 934-2:2012, (2012), Dodaci betonu, mortu i smjesi za injektiranje -- 2. dio: Dodaci betonu -- Definicije, zahtjevi, sukladnost, označivanje i obilježavanje (EN 934-2:2009+A1:2012).
- [12] Zhang C., Lu R., Li R., Guan X., (2021), Effect of crystalline admixtures on mechanical, self-healing and transport properties of engineered cementitious composite, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 124, 104256.
- [13] Gojević A., Ducman V., Netinger Grubeša I., Baričević A., Banjad Pečur I., (2021), The Effect of Crystalline Waterproofing Admixtures on the Self-Healing and Permeability of Concrete, *Materials*, Vol. 14, 1860.
- [14] HRN EN 1097-6:2013, (2013), Ispitivanja mehaničkih i fizikalnih svojstava agregata -- 6. dio: Određivanje gustoće i upijanja vode.
- [15] HRN EN 196-6:2019, (2019), Metode ispitivanja cementa -- 6. dio: Određivanje finoće.
- [16] HRN EN 12350-2:2019, (2019), Ispitivanje svježega betona -- 2. dio: Ispitivanje slijeganjem.
- [17] HRN EN 12350-6:2019, (2019), Ispitivanje svježega betona -- 6. dio: Gustoća.
- [18] HRN EN 12350-7:2019, (2019), Ispitivanje svježega betona -- 7. dio: Sadržaj pora -- Tlačne metode.
- [19] HRN EN 12390-3:2019, (2019), Ispitivanje očvrsluloga betona -- 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka.
- [20] EN 12390-8:2019, (2019), Testing hardened concrete Depth of penetration of water under pressure, CEN: Brussels, Belgium.
- [21] HRN EN 206:2021, (2021), Beton - Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost.