



*Ana Hranilović Trubić<sup>1</sup>, Srđan Uzelac<sup>2</sup>, Dalibor Sekulić<sup>3</sup>*

## **ISPITIVANJE OTPORNOSTI BETONA NA SMRZAVANJE**

### **Rezime**

U članku je opisano ispitivanje otpornosti betona na djelovanje mraza i soli za odmrzavanje. Ispitivanje je provedeno prema dvjema metodama; analizom zračnih pora u svježem betonu (AVA metoda) i ispitivanjem očvrnulog betona prema normi HRN CEN/TS 12390-9:2006. Prezentirane su prednosti i nedostaci metoda.

### **Ključne riječi**

faktor razmaka, odmrzavanje, smrzavanje

## **TESTING OF CONCRETE RESISTANCE TO FREEZING**

### **Summary**

In this paper testing of concrete resistance to freezing and deicing salts is presented. The following two methods for concrete resistance to the impact of frost and deicing salts have been used; Air void analysis of fresh concrete (AVA) and testing of the hardened concrete in accordance with HRN CEN/TS 12390-9:2006. Advantages and deficiencies of two methods have been discussed.

### **Key words**

spacing factor, thawing, freezing

---

<sup>1</sup> Mr, dipl.ing. građ, Institut građevinarstva Hrvatske, J. Rakuše 1, 10000 Zagreb, ana.hranilovic@igh.hr

<sup>2</sup> Dipl.ing. građ, Institut građevinarstva Hrvatske, J. Rakuše 1, 10000 Zagreb, srdjan.uzelac@igh.hr

<sup>3</sup> Dipl.ing.fiz, Institut građevinarstva Hrvatske, J. Rakuše 1, 10000 Zagreb, dalibor.sekulic@igh.hr

## 1. UVOD

Trajnost betona je sposobnost betona da se suprostavi promjenama njegovih svojstva. Betonske konstrukcije treba projektirati i izvesti tako da pod očekivanim utjecajima okoliša, njihova sigurnost i uporabljivost ostane tijekom uporabnog vijeka građevine s što manjim troškovima održavanja i popravaka. Trajnost betonskih konstrukcija ostvaruje se pravilnim projektiranjem odabirom materijala te pravilnim izvođenjem i održavanjem konstrukcija. Trajan beton mora biti otporan prema razaranju u uvjetima kada je izložen agresivnom okolišu, kao što je između ostaloga djelovanje smrzavanja u prisutstvu soli za odmrzavanje.

Razaranje betona djelovanjem niskih temperatura vrlo je složena pojava, a ovisi ponajviše o veličini i rasporedu pora. U krupnijim kapilarama voda se počinje smrzavati kod 0°C, ali u manjim porama temperatura će biti znatno niža i prije nego što voda prijeđe u led. Prijelazom vode u led volumen se povećava za oko 9% pa preostala voda dolazi pod tlak. Pri tome se led ne može širiti u smjeru okomito na stijenku pore, zbog otpora krute tvari, već samo u smjeru osi pore, prema mjestu ispunjenom zrakom. Smrzavanje betona počinje od površine betona i u dubinu napreduje sve sporije. Zbog toga su oštećenja površine najjače izražena.

Soli za odmrzavanje kojima se posipaju prometnice, kao NaCl i CaCl<sub>2</sub> i druge, otapaju se u vodi koja prodire u pore. Za vrijeme smrzavanja, smrzava se samo voda, a soli ostaju u nesmrznutoj vodi, gdje se njihova koncentracija povećava. Kada se koncentracija soli u otopini toliko poveća da otopina postane zasićena, počinje kristalizacija soli u porama. Kristalizacijski tlak soli na stjenke pora istog je reda veličine kao tlak leda. Zbog ovih efekata beton izložen djelovanju soli za odmrzavanje brže se oštećuje i razara.

Unutarnji tlakovi koji se javljaju u betonu kako voda mijenja stanje, mogu se ipak smanjiti. To se obično postiže stvaranjem zračnih pora u cementnoj pasti koristeći dodatke koji uvlače zrak sa sobom.

Vrijeme za provedbu testiranja od 100 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja dosada je bio oko 30 dana za uzorke stare 28 dana. Ukupno vrijeme potrebno za testiranje trajnosti betona na smrzavanje, od vremena očvršćavanja betona u kalupu do analize zračnih pora je oko 7-10 dana prema normi HRN EN 480-11:2004.

Analiza zračnih pora na način određivanja u HRN EN 480-11:2004 ne može dati pravodobnu informaciju za vrijeme procesa proizvodnje betona. Pravodobna informacija je važna budući da je praksa pokazala da se struktura pora dobivenih aerantima može lako promijeniti za vrijeme postupka proizvodnje betona, doziranjem plastifikatora i superplastifikatora i njihovim utjecajem tlaka u betonskim pumpama ili vibracijom. Ustanovljeno da je učinkovitost sustava uvučenih zračnih pora, određena brojem vrlo malih blizu smještenih zračnih pora, a ne volumenom pora. Uobičajeno se dosada tijekom probnih ispitivanja metodom porometra utvrđivala ukupna količina zraka u svježem betonu što nije dostatan parametar već jedan od uvjeta u sustavu zračnih pora koji mora zadovoljavati i specifičnu površinu i faktor razmaka pora.

Cilj ovoga rada bila je analiza parametara zračnih pora u svježem betonu te dokazivanje otpornosti betona na djelovanje smrzavanja i odmrzavanja s solima za odmrzavanje već na svježem betonu. Rezultati otpornosti betona dobiveni na svježem betonu uspoređeni su s rezultatima dobivenim na očvrslom betonu ispitanih klasičnom metodom ciklusima smrzavanja i odmrzavanja u frižideru.

## 2. PLAN ISPITIVANJA

Planom ispitivanja bila je određena izrada mješavina aeriranog i referentnog (bez dodatka) betona. U mješavinama se varirala vrsta cementa, v/c faktor i količina dodatka. Napravljene su tri mješavine s cementom CEM II/A-S 42,5R te tri mješavine s cementom CEM III/B 32,5N-SR/LH ali bez dodatka i ti su betoni služili kao referentni. Nakon toga napravilo se za svaku vrstu cementa po tri mješavine s različitim v/c faktorom, a za svaki v/c faktor napravljene su po tri mješavine s različitim količinom dodatka.

*Tabela 1. Sastavi betona*

| Oznaka mješa-vine | Vrsta cementa         | Količina cementa (kg/m <sup>3</sup> ) | Vrsta agre-gata | Frakcija (mm)  | v/c  | Aerant | Količina aeranta (%) |
|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------|------|--------|----------------------|
| A1                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,50 | -      | -                    |
| A2                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | -      | -                    |
| A3                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,54 | -      | -                    |
| C1                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,50 | -      | -                    |
| C2                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | -      | -                    |
| C3                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,54 | -      | -                    |
| A4                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,50 | +      | 0,15                 |
| A5                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,50 | +      | 0,20                 |
| A6                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | +      | 0,15                 |
| A7                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | +      | 0,20                 |
| A8                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | +      | 0,30                 |
| A9                | CEM II/A-S 42,5R      | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,54 | +      | 0,15                 |
| C4                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,50 | +      | 0,15                 |
| C5                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,50 | +      | 0,20                 |
| C6                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | +      | 0,15                 |
| C7                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | +      | 0,20                 |
| C8                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,52 | +      | 0,30                 |
| C9                | CEM III/B 32,5N-SR/LH | 300                                   | Tounj           | 0-4;8-16;16-32 | 0,54 | +      | 0,15                 |

Aerant : Cementol ETA S

## 3. METODE ISPITIVANJA

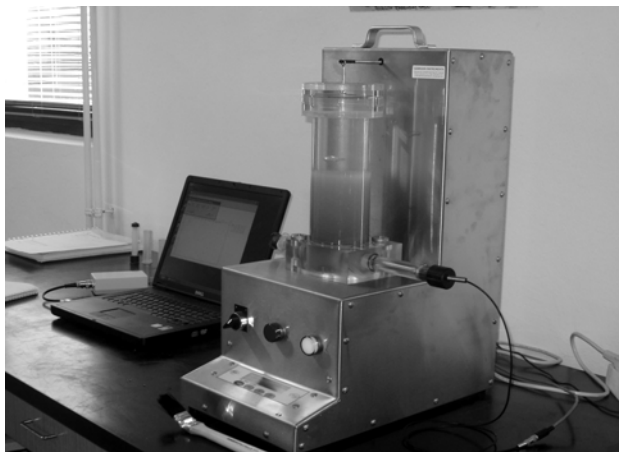
### 3.1. ODREĐIVANJE OTPORNOSTI BETONA NA DJELOVANJE MRAZA I SOLI NA SVJEŽEM BETONU (“AVA METODA”)

Uređaju za mjerenje zračnih pora potrebno je oko 30 minuta da izmjeri strukturu zračnih pora u svježem betonu. Na taj način karakteristike zračnih pora mogu se kontrolirati već tijekom spravljanja betona (Slika 1).

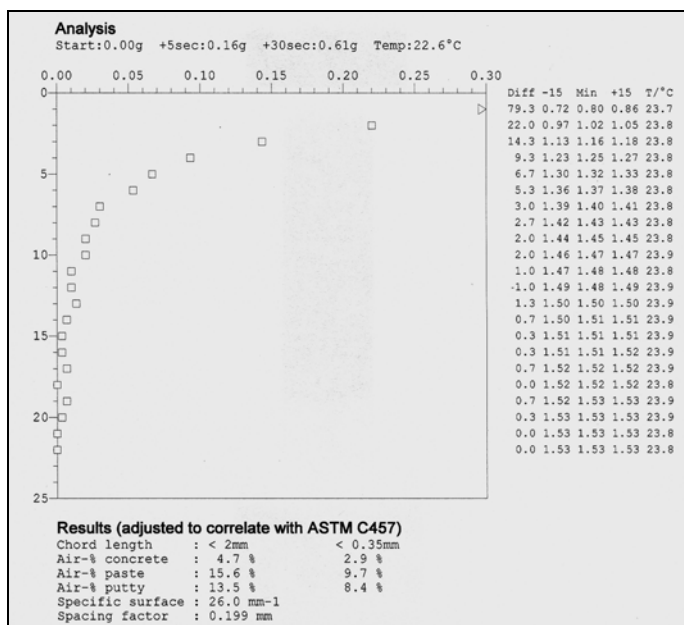
AVA komercijalni softver koristi algoritam za određivanje specifične površine, faktora razmaka i sadržaja uvučenog zraka. Kompjuterski algoritam koristi promjenu težine i vrijeme za izračunavanje raspodjele veličine mjehurića, ukupnog volumena zraka, faktora razmaka i specifične površine (Slika 2.).

Veličina zračnih pora u betonu može se izravno mjeriti ili izraziti preko specifične površine. Specifična površina je odnos površine zračnih pora i njihova volumena. Manji mjehurići imaju veću specifičnu površinu. Specifična površina je važan čimbenik u određivanju otpornosti na smrzavanje i odmrzavanje.

Broj i raspodjela veličine zračnih pora u betonu mjeri se pomoću parametara faktora razmaka. Faktor razmaka je mjera koja se odnosi na udaljenost između periferija zračnih pora u cementnoj pasti. Faktor razmaka je najznačajniji parametar zračnih pora za trajnost matriksa cementne paste kod smrzavanja i odmrzavanja. Obično se zahtjeva faktor razmaka manji od 0,20 mm [1].



Slika 1. Uređaj za analizu zračnih pora u svježem betonu



Slika 2. Prikaz rezultata ispitivanja dobivenih softverom iz „AVA uređaja“

### 3.2. ODREĐIVANJE OTPORNOSTI BETONA NA DJELOVANJE MRAZA I SOLI NA OČVRSNULOM BETONU (CIKLUSI SMRZAVANJA I ODMRZAVANJA)

U radu je korištena metoda ploče. Ova metoda se koristi za određivanje otpornosti betona prema djelovanju ciklusa smrzavanja i odmrzavanja u kontaktu s vodom ili 3% otopinom soli (NaCl). Ispituju se četiri ispitna tijela, ispiljena iz četiri različita uzorka betonskih kocki.

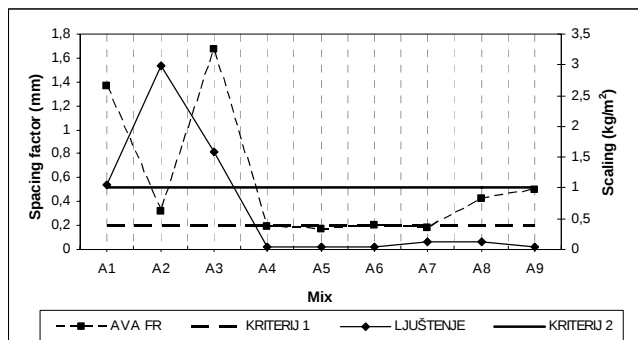
Uzorak se izlaže naizmjeničnom djelovanju smrzavanja i odmrzavanja. Jedan ciklus zahtjeva 24 sata. U svakom ciklusu temperatura će biti iznad 0°C u trajanju od najmanje 7 sati, ali ne više od 9 sati. Temperatura zraka u hladnjaku nikad ne smije pasti ispod -27°C. Nakon svakog (7±1), (14±1), (28±1). i (42±1). ciklusa treba izvaditi ispitna tijela iz hladnjaka (tijekom perioda kada je smrzavajući medij otopljen) te sa površine ispitnih tijela zasebno skupiti oljušteni materijal, osušiti do konstantne mase na (110±10)°C i izmjeriti masu oljuštenog materijala [g] na najbližih 0,1g, doliti novu 3% NaCl otopinu i vratiti ispitna tijela natrag u hladnjak.

Nakon završetka 56-tog ciklusa, ispitna tijela treba izvaditi iz hladnjaka te svakom ispitnom tijelu zasebno prikupiti oljušteni materijal, osušiti do konstantne mase na (110±10)°C i izmjeriti masu oljuštenog materijala [g].

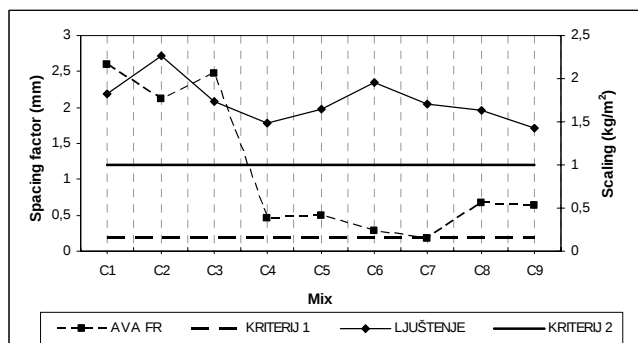
## 4. REZULTATI ISPITIVANJA

Tabela 2. Rezultati ispitivanja betona

| Oznaka<br>mješavine | AVA metoda  |                        | prCEN/TS 12390-9:2005<br><br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------------------|
|                     | Pore<br>(%) | Faktor razmaka<br>(mm) |                                                   |
| A1                  | 0,6         | 1,370                  | 1,06                                              |
| A2                  | 4,1         | 0,316                  | 2,99                                              |
| A3                  | 0,7         | 1,668                  | 1,59                                              |
| A4                  | 8,0         | 0,192                  | 0,05                                              |
| A5                  | 9,0         | 0,172                  | 0,04                                              |
| A6                  | 8,5         | 0,198                  | 0,04                                              |
| A7                  | 7,9         | 0,185                  | 0,13                                              |
| A8                  | 4,5         | 0,426                  | 0,12                                              |
| A9                  | 3,5         | 0,992                  | 0,04                                              |
| C1                  | 0,5         | 2,595                  | 1,83                                              |
| C2                  | 0,7         | 2,118                  | 2,26                                              |
| C3                  | 0,3         | 2,476                  | 1,74                                              |
| C4                  | 3,6         | 0,451                  | 1,48                                              |
| C5                  | 4,5         | 0,494                  | 1,65                                              |
| C6                  | 5,5         | 0,276                  | 1,95                                              |
| C7                  | 5,1         | 0,185                  | 1,70                                              |
| C8                  | 5,6         | 0,675                  | 1,63                                              |
| C9                  | 5,7         | 0,628                  | 1,42                                              |



Slika 3. Usporedba rezultata ispitivanja (CEM II/A-S 42,5R)



Slika 4. Usporedba rezultata ispitivanja (CEM III/B 32,5N-SR/LH)

## 5. ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja otpornosti betona na smrzavanje i odmrzavanje uspoređeni su dvjema metodama: određivanjem karakteristika na svježem betonu «AVA-metoda», te direktnom metodom ciklusima smrzavanja i domrzavanja (prCEN/TS 12390-9:2005).

Iz rada je vidljivo da betoni koji nisu aerirani (referentni betoni) nisu zadovoljili uvjete otpornosti na smrzavanje sa solima u 28 ciklusa prema prCEN/TS 12390-9 niti «AVA-metodom». Optimalno aerirani betoni (s faktorom razmaka  $<0,2$  mm) spravljeni s cementom tipa CEM II/A-S 42,5R pokazali su se otpornima što su potvrdila i oba načina određivanja otpornosti. Betoni napravljeni s cementom CEM III/B 32,5N-SR/LH sa ili bez aeriranja nisu bili otporni na djelovanje smrzavanja i odmrzavanja.

Upotrebom analizatora zračnih pora moguće je izvršiti potrebne korekcije sastava betona u fazi spravljanja te izbjeći naknadne troškove sanacijskih radova.

## LITERATURA

- [1] [www.ctre.iastate.edu](http://www.ctre.iastate.edu); Using the Air Void Analyzer for Real-Time Quality Control Adjustments in the Field
- [2] prCEN/TS 12390-9:2005: Testing hardened concrete-Part 9: Freeze-thaw resistance-Scaling
- [3] HRN EN 206-1:2002 Beton-1. dio: Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost