

# PRIMENA HEMIJSKOG DODATKA ZA SPREČAVANJE ZALEĐIVANJA VODE U SVEŽEM BETONU PRI BETONIRANJU U ZIMSKIM USLOVIMA

Dejan VASOVIĆ  
Radomir FOLIĆ  
Tomislav VASOVIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD  
UDK: 666.972.16.035 = 861

## 1 UVOD

U našim klimatskim uslovima, betoniranje u zimskim uslovima (spoljna temperatura na gradilištu ispod 0 °C) može predstavljati ozbiljnu poteškoću za izvođenje konstrukcija betoniranjem na licu mesta. Sveža betonska smesa, usled hidratacije cementa, prilikom očvršćavanja razvija određenu količinu toplote. Ukoliko je ta toplota dovoljna da spreči formiranje leda u svežem betonu, očvršćavanje će biti usporeno, ali nema opasnosti od oštećenja očvrstlog cementnog kamena. Iako je, na primer u Beogradu, prosečna temperatura u januaru mesecu iznad nule (+2 °C), nažalost spoljna temperatura nije konstantna i značajno se menja tokom dana i noći. Stoga je moguće da kratki periodi niskih temperatura (tokom noći, ili tokom kratkih perioda od par dana mraza) dovedu do zaleđivanja vode u svežem betonu i stvaranja leda koji trajno oštećuje strukturu tek formiranog cementnog kamena. Ova oštećenja izazivaju prsline u unutrašnjoj strukturi očvrstlog betona i u pojedinim slučajevima mogu biti neprimetne. Ovi defekti u unutrašnjoj strukturi teško se primećuju, ali značajno utiču na karakteristike očvrstlog betona, pre svega na čvrstoću i trajnost.

Jedan od efikasnih načina betoniranja u zimskim uslovima predstavlja betoniranje uz korišćenje hemijskih dodataka za modifikovanje osobina svežeg betona. U ovom radu je prikazano ispitivanje uticaja novog hemijskog dodatka za sprečavanje formiranja leda pri izuzetno niskim temperaturama (do -25 °C) na svežem i

očvrstlom betonu. Namena dodatka je da omogući prevazilaženje problema koje izaziva iznenađan pad spoljne temperature ispod nule, tokom ugradnje i očvršćavanja svežeg betona. Sprečavanjem zaleđivanja vode i formiranja kristala leda u svežem betonu sprečava se oštećenje još sasvim neočvrstle strukture cementnog kamena i omogućava da se proces očvršćavanja nastavi čim to porast spoljne temperature dozvoli.

## 2 MEHANIZAM DEJSTVA DODATAKA ZA SPREČAVANJE ZALEĐIVANJA VODE U SVEŽEM BETONU

Prilikom hidratacije cementa i tokom očvršćavanja betona dolazi do oslobađanja toplote. Ova toplota omogućava da se reakcija hidratacije cementa odvija i na spoljnim temperaturama bliskim ili neposredno ispod 0 °C. Prirast čvrstoće u zavisnosti od temperature svežeg betona dat je u literaturi kao procenat od prirasta čvrstoće na sobnoj temperaturi (20 °C). Kao što se vidi iz jednačine (1) procenat zavisi od odnosa temperature svežeg betona i etalona negovanog na temperaturi od 20 °C.

$$M = \sum_1^n (T - (-10^{\circ}C)) \times \Delta t_i \quad (1)$$

gde su:

$M$  – funkcija zrelosti betona, mera za poređenje sa etalonom,

$T$  – temperatura na kojoj očvršćava beton u vremenskom intervalu  $\Delta t_i$ ,

-10 °C – temperatura na kojoj prestaje očvršćavanje betona,

$\Delta t_i$  – vremenski interval u kome deluje temperatura  $T$ .

Oplata betonskih elemenata utiče na temperaturu svežeg betona u izvesnoj meri, tako što povećava termičku inerciju tj. usporava prenošenje promena

---

Adresa autora:

Dejan Vasović, Univerzitet u Beogradu Arhitektonski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Beograd, e-mail: [dejanvasovic@passivearchitecture.com](mailto:dejanvasovic@passivearchitecture.com)  
Prof. Dr Radomir Folić, Profesor Emeritus, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad.  
Tomislav Vasović, Omladinskih brigada 48/7, Beograd.

spoljne temperature na svež beton. Ovaj uticaj nije od velikog značaja ukoliko se svež beton dodatno ne zagreva, tj. ako temperatura svežeg betona, a time i očvršćavanje, zavisi samo od promena spoljne temperature.

Prema tome, u situacijama kada se očekuju kraći periodi niskih temperatura koje sprečavaju očvršćavanje svežeg betona, dovoljno je modifikovati svež beton tako da se spreči formiranje leda u smesi, dok će se očvršćavanje nastaviti sa porastom temperature. Pomoću navedene jednačine (1) može se odrediti ekvivalentna čvrstoća u posmatranom trenutku uzimajući u obzir temperaturna kolebanja. Ovakav način zaštite svežeg betona od štetnog dejstva niskih temperatura može se primeniti i tokom dužih perioda sa niskim temperaturama, ali će prirast čvrstoće biti neznatan, dakle beton će se ponašati kao gusta, neočvrsla smesa. Tokom celog perioda niskih temperatura beton mora biti tretiran kao da je svež, tj. u oplati i zaštićen od površinskih oštećenja. Čim spoljna temperatura dozvoli, doći će do nastavka očvršćavanja.

Hemijski dodaci koji sprečavaju zaleđivanje vode u svežem betonu zapravo snižavaju temperaturu na kojoj se voda pretvara u led. Ovo svojstvo ne sme da ima negativan uticaj na svojstva očvrstlog betona, tj. dejstvo mora biti takvo da ne usporava očvršćavanje u odnosu na etalon, da ne smanjuje konačne vrednosti čvrstoće na pritisak i zatezanje očvrstlog betona, kao i da ne utiče na trajnost očvrstlog betona. Takođe, važno je odrediti temperaturu ispod nule do koje dodatak deluje, kako bi se izbegla opasnost da ipak dođe do formiranja leda u svežem betonu.

### 3 LABORATORIJSKA ISPITIVANJA DODATKA ZA SPREČAVANJE ZALEĐIVANJA VODE U SVEŽEM BETONU

Ovim ispitivanjima obuhvaćeno je utvrđivanje dejstva hemijskog dodatka na svojstva svežeg i očvrstlog betona, sa i bez uticaja niskih temperatura.

Tabela 1. Sastav betonskih mešavina

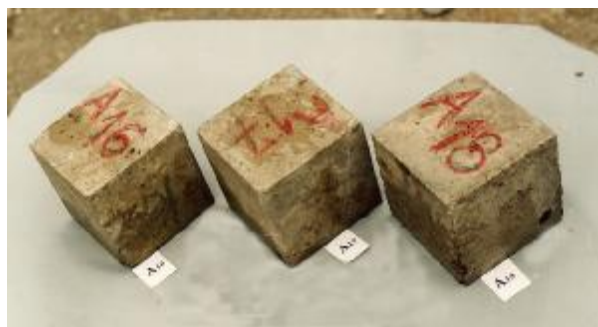
Dozaža za 1m <sup>3</sup> betona	bez dodatka 0%	sa dodatkom 4%	sa dodatkom 8%
Cement: CEM I 42,5 R	417 kg	411 kg	408 kg
Agregat: (drobljeni)	1916 kg	1891 kg	1877 kg
Frakcija 0 - 2 mm	30% 574 kg	567 kg	563 kg
Frakcija 2 - 4 mm	10% 192 kg	189 kg	188 kg
Frakcija 4 - 8 mm	10% 192 kg	189 kg	188 kg
Frakcija 8 -11 mm	20% 383 kg	378 kg	375 kg
Frakcija 11 -16 mm	30% 575 kg	568 kg	563 kg
Dodatak	-	16,4 kg	32,6 kg
Voda	167 kg	148 kg	139 kg
W/C	0,40	0,36	0,34
Sleganje	0,0	0,0	0,0
Zapreminska masa	kg/m <sup>3</sup> 2500	2467	2456

### 3.1 Ispitivanje dejstva dodatka na svojstva svežeg i očvrstlog betona

Radi utvrđivanja uticaja dodatka na svež beton napravljene su tri recepture, bez dodatka, sa 4% i sa 8% dodatka. Betoni su spravljani prema recepturama datim u tabeli 1. Za spravljanje betona korišćeni su sledeći materijali:

- cement: CEM I 42,5 R, Beočinska fabrika cementa, Beočin,
- agregat: drobljeni, Kamenolom „Šumnik“, Raška,
- dodatak: „REOBET ANTILED T-25 °C“<sup>1</sup>, HI Prvi maj, Čačak.

Beton je spravljn u laboratorijskoj protivstrujnoj mešalici. Dužina mešanja iznosila je 3 minuta za sve mešavine. Beton je ugrađivan u metalne kalupe za izradu opitnih tela oblika kocke ivice 10 cm (slika1). Ugrađivanje je vršeno na vibro stolu do potpunog zbijanja.



Slika 1. Opitna tela pre ispitivanja

Posle 24 sata etalonski uzorci su izvađeni iz kalupa i do trenutka ispitivanja negovani pod istim uslovima, u vodi temperature 20 °C.

Čvrstoće na pritisak su ispitivane na 3, 7 i 28 dana. Rezultati su prikazani u tabeli 2.

<sup>1</sup> Patent br. 49946. HI Prvi maj ovaj dodatak proizvodi na osnovu licencnog prava.

Tabela 2. Zapreminske mase i čvrstoće na pritisak

R.b.	Vreme ispitivanja (dana)	Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> ) dodatak 0%		Čvrstoća na pritisak (MPa) dodatak 0%		Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> ) dodatak 4%		Čvrstoća na pritisak (MPa) dodatak 4%		Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> ) dodatak 8%		Čvrstoća na pritisak (MPa) dodatak 8%	
		pojed.	sred.	pojed.	sred.	pojed.	sred.	pojed.	sred.	pojed.	sred.	pojed.	sred.
1	3	2470	2463	52.0	51.7	2405	2438	57.5	56.7	2490	2483	61.0	62.7
2		2460		52.0		2420		58.0		2480		62.0	
3		2460		51.0		2490		54.5		2480		65.0	
4	7	2470	2500	77.4	74.4	2470	2457	54.5	68.2	2420	2440	66.2	66.2
5		2580		73.8		2450		78.0		2460		64.0	
6		2450		72.0		2450		72.0		2440		68.5	
7	28	2460	2457	88.5	80.0	2450	2457	93.0	89.0	2470	2457	83.7	87.3
8		2470		70.6		2470		84.0		2470		96.5	
9		2440		81.0		2450		90.0		2430		81.6	

### 3.2 Ispitivanje dejstva dodatka na svojstva svežeg i očvrstlog betona izloženih različitim temperaturnim režimima tokom očvršćavanja (-5 °C do -25 °C)

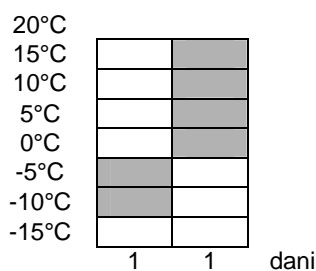
Ovim ispitivanjima pokušano je da se u laboratoriji simuliraju različiti temperaturni režimi na mestu ugradnje svežeg betona sa dodatkom (4% i 8%) u konstrukciju. Opitna betonska tela spravljena su na isti način kao i u prethodnom ispitivanju (poglavlje 3.1.). Temperatura mešavina prilikom ugradnje bila je 20 °C. Odmah po ugradnji metalni kalupi sa svežim betonom stavljeni su u klima komoru na -10 °C, i izloženi dejstvu tri različita temperaturna režima, prikazana slici 1, 2 i 3. Nakon svakog temperaturnog režima do trenutka ispitivanja opitna tela su negovana pod istim uslovima, u vodi temperature 20 °C. Ispitivanjem čvrstoća na pritisak i

upoređenjem sa etalonom negovanim na 20 °C procenjuvan je prirast čvrstoće betona na niskim temperaturama.

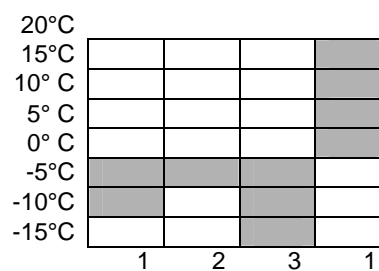
Prvi temperaturni režim prikazan na slici 2. simulira kratkotrajni jednodnevni mraz. Opitna tela su izložena temperaturi od -10 °C u trajanju od jednog dana.

Drugi temperaturni režim prikazan na slici 3. simulira nekoliko mraznih dana. Opitna tela su izložena temperaturi od -10 °C tokom prvog dana, laganom otopljenju od -5 °C tokom drugog dana, naglom zahlađenju od -15 °C tokom trećeg dana.

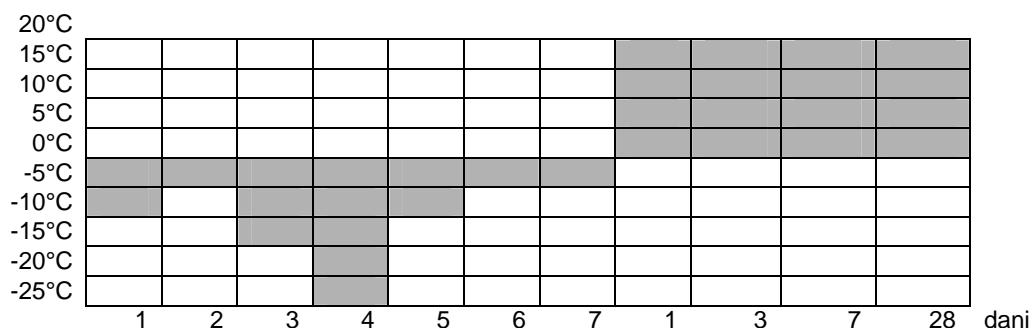
Treći temperaturni režim prikazan na slici 4. simulira dug sedmodnevni period mraza, tokom koga se temperatura spušta i do -25 °C, a nikada ne prelazi -5 °C. Od osmog do dvadesetosmog dana opitna tela negovana su u vodi na temperaturi od 20 °C.



Slika 2. Režim 1.



Slika 3. Režim 2.



Slika 4. Režim 3.

U tabelama 3. i 4. prikazane su zapreminske mase i čvrstoće na pritisak očvrsljivog betona raznih starosti podvrgnutih navedenim temperaturnim režimima. Na osnovu rezultata jasno se vidi da je primena dodatka sprečila značajnija oštećenja strukture svežeg betona.

U tabeli 5. prikazano je dejstvo zaleđivanja vode u svežem betonu bez hemijskih dodataka, date su odgovarajuće zapreminske mase i čvrstoće na pritisak očvrsljivog betona bez dodataka. Na osnovu rezultata jasno se vidi da je došlo do oštećenja strukture svežeg

betona koje je kao rezultat dovelo do oštećenja očvrsljivog betona, što se prikazuje kroz pad čvrstoća na pritisak očvrsljivog betona.

Na opitnim telima sa i bez dodatka negovanih po režimu 3. (slika 3) izvršena su ispitivanja kapilarnog upijanja i otpuštanja vode. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 4. Očigledno je da beton sa dodatkom znatno manje upija vodu, što dokazuje očuvanu strukturu očvrsljivog betona.

Tabela 3. Zapreminske mase i čvrstoće na pritisak betona sa 4% dodatka

Oznaka	Režim smrzavanja	Vreme (u danima)		Beton sa 4% dodatka			
				Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> )		Čvrstoća na pritisak (MPa)	
				na mrazu	na 20°C	pojedinačna	srednja
1	1.	1	1	2440	2445	25.8	25.9
2				2450		26.0	
3	2.	3	1	2470	2460	15.2	15.6
4				2450		16.1	
5	3.	7	1	2440	2445	26.0	25.2
6				2450		24.3	
7	3.	7	3	2380	2390	31.0	31.5
8				2380		31.5	
9				2410		32.0	
10	3.	7	7	2370	2390	45.0	43.1
11				2410		39.5	
12				2390		44.8	
13	3.	7	28	2440	2453	50.7	53.6
14				2460		53.8	
15				2460		56.4	

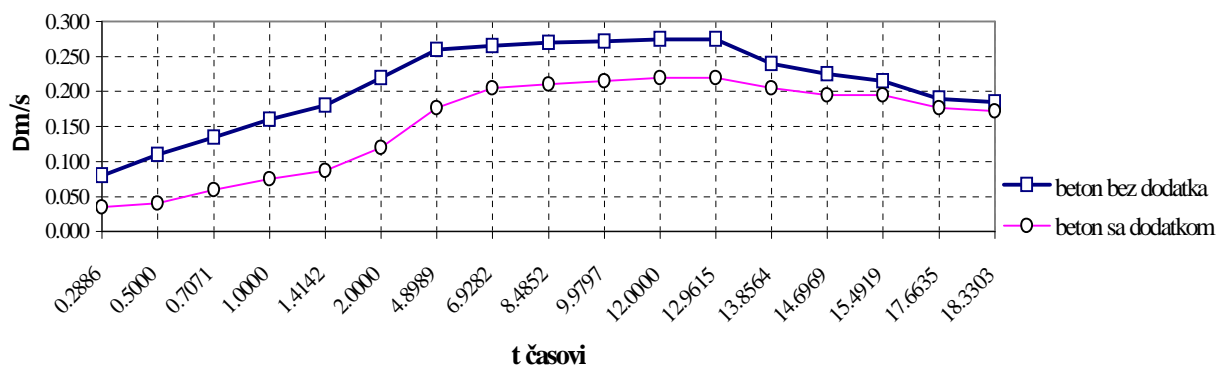
Tabela 4. Zapreminske mase i čvrstoće na pritisak betona sa 8% dodatka

Oznaka	Režim smrzavanja	Vreme (u danima)		Beton sa 8% dodatka			
				Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> )		Čvrstoća na pritisak (MPa)	
				na mrazu	na 20°C	pojedinačna	srednja
1	1.	1	1	2440	2440	17.0	17.6
2				2440		18.1	
3	2.	3	1	2430	2445	24.0	23.8
4				2460		23.7	
5	3.	7	1	2430	2435	38.7	39.4
6				2440		40.2	
7	3.	7	3	2410	2402	41.0	40.5
8				2385		40.0	
9				2410		40.5	
10	3.	7	7	2410	2403	46.3	47.9
11				2420		46.5	
12				2380		51.0	
13	3.	7	28	2430	2443	56.1	61.0
14				2450		69.4	
15				2450		57.4	

Tabela 5. Zapreminske mase i čvrstoće na pritisak betona bez dodatka

Oznaka	Režim smrzavanja	Vreme (u danima)		Beton bez dodatka			
				Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> )		Čvrstoća na pritisak (MPa)	
		na mrazu	na 20°C	pojedinačna	srednja	pojedinačna	srednja
1	1.	1	1	2455	2478	7.9	8.2
2				2500		8.5	
3				2.	3	1	
4	2410	10.4					
5	3.	7	1	2410	2400	11.8	12.1
6				2390		12.4	
7	3.	7	3	2355	2425	16.7	17.6
8				2530		19.0	
9				2390		17.1	
10	3.	7	7	2390	2397	21.0	21.5
11				2410		21.8	
12				2390		21.8	
13	3.	7	28	2525	2440	31.0	29.3
14				2410		28.0	
15				2385		29.0	

### Upijanje vode



Slika 4. Dijagram kapilarnog upijanja i otpuštanja vode betona bez i sa 8% dodatka.

## 4 ZAKLJUČAK

Prilikom izvođenja betonskih konstrukcija na licu mesta u zimskom periodu, nisu retki slučajevi kada se može očekivati kratkotrajno zahlađenje od nekoliko dana sa temperaturama ispod nule. Rezultati ispitivanja prikazani u ovom radu pokazuju da je u takvim situacija opravdana upotreba hemijskih dodataka koji sprečavaju zaleđivanje vode u svežem betonu.

Karakteristike očvrstlog betona praćene su kroz vrednosti čvrstoće na pritisak. Prikazani rezultati na uzorcima koji su negovani u vodi temperature 20 °C pokazuju da ispitivani dodatak ne samo da ne utiče negativno, već i povećava čvrstoću na pritisak očvrstlog betona u odnosu na etalon i za više od 10%.

Sa ciljem da se ispita dejstvo dodatka u slučaju iznenadnih niskih temperatura simulirane su tri potencijalno realne situacije niskih temperatura. Radi utvrđivanja granica dejstva dodatka svež beton je, kroz ove simulacije, izlagan temperaturama i do -25 °C. U sva

tri slučaja beton sa dodacima pokazao je znatno bolje ponašanje i postigao je znatno veće čvrstoće (za preko 100%, a za pojedine režime i za preko 200%).

Opitna tela koja su prošla najteži termički režim (3. režim) ispitana su i na upijanje i otpuštanje vode, da bi se utvrdila mera oštećenja strukture usled dejstva mraza i niskih temperatura u periodu očvršćavanja svežeg betona. I ovde su uzorci sa dodatkom prikazali u kojoj meri ispitivani dodatak štiti strukturu očvrstlog betona.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da prikazani postupak testiranja predstavlja ozbiljan test za kvalitet betona izloženog niskim temperaturama tokom očvršćavanja. Takođe, ispitivani dodatak je postigao odlične rezultate u sprečavanju nastanka oštećenja na svežem betonu i na temperaturama čak do -25 °C.

**Napomena:** Ovaj rad je rezultat dela istraživanja na projektu 16018 koji finansira Ministarstvo za nauku Republike Srbije.

## 5 LITERATURA

- [1] Neville, A.M. "Properties of Concrete"; Pearson Education Ltd., London, 1995, 844 pp.
- [2] Skalny, J.N. ed., "Materials Science of Concrete", American Ceramic Society, Westerville, 1989, 322 pp.
- [3] Aitzin, P.-C., "High – Performance Concrete", E&FN Spon, London, 1998, 591 pp.
- [4] Beslač, J. „Zimsko betoniranje“, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1974., 108 str.
- [5] Bučar, G. „Građevinska proizvodnja u zimskim uslovima“, Građevinska knjiga, Beograd, 1988., 107 str.
- [6] Muravljov, M. „Osnovi teorije i tehnologije betona“, Građevinska knjiga, Beograd, 2005., 435 str.

### REZIME

#### PRIMENA HEMIJSKOG DODATKA ZA SPREČAVANJE ZALEĐIVANJA VODE U SVEŽEM BETONU PRI BETONIRANJU U ZIMSKIM USLOVIMA

Dejan VASOVIĆ  
Radomir FOLIĆ  
Tomislav VASOVIĆ

Prilikom izvođenja betonskih konstrukcija na licu mesta u zimskom periodu, nisu retki slučajevi kada se može očekivati kratkotrajno zahlađenje od nekoliko dana sa temperaturama ispod nule koje mogu dovesti do zaleđivanja vode u svežem betonu i stvaranja leda koji trajno oštećuje strukturu tek formiranog cementnog kamena.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja uticaja novog hemijskog dodatka koji sprečava formiranja leda pri izuzetno niskim temperaturama (do -25 °C) u svežem betonu i omogućuje da se proces očvršćavanja nastavi čim to porast spoljne temperature dozvoli.

Ispitivano je dejstvo dodatka na svež i očvršli beton, bez i sa uticajem niskih temperatura.

Prikazani rezultati na uzorcima koji su negovani u vodi temperature 20 °C pokazuju da ispitivani dodatak čak povećava čvrstoću na pritisak očvrstlog betona u odnosu na etalon i za više od 10%.

Sa ciljem da se ispita dejstvo dodatka u slučaju iznenadnih niskih temperatura simulirane su tri potencijalno realne situacije niskih temperatura. Radi utvrđivanja granica dejstva dodatka svež beton je, kroz ove simulacije, izlagan temperaturama i do -25 °C. U sva tri slučaja beton sa dodacima pokazao je znatno bolje ponašanje i postigao je znatno veće čvrstoće (za preko 100%, a za pojedine režime i za preko 200%).

Opitna tela koja su prošla najteži termički režim (3. režim) ispitana su i na upijanje i otpuštanje vode, da bi se utvrdila mera oštećenja strukture usled dejstva mraza i niskih temperatura u periodu očvršćavanja svežeg betona. I ovde su uzorci sa dodatkom pokazali znatno manje upijanje vode, tj. očuvanu strukturu očvrstlog betona.

**Ključne reči:** dodaci betonu, otpornost na zaleđivanje/odleđivanje

### SUMMARY

#### ANTIFREEZE WATER ADDITIVES APPLIED TO FRESH CONCRETE IN WINTER CONDITIONS

Dejan VASOVIĆ  
Radomir FOLIĆ  
Tomislav VASOVIĆ

During the winter time construction of the concrete structures, it is not uncommon to expect occasional short periods of the cold weather with temperatures below 0°C, which can last for few days, when freezing of the water in the fresh concrete might permanently destruct the newly formed cement matrix.

This paper presents the results of an investigation of new type of chemical admixture which protect fresh concrete from the frost during very low temperatures (up to – 50°C) and enables continuation of the concrete hardening process when outside temperature becomes favourable.

The testing included the admixture's influence on fresh concrete mixture and on the hardened concrete, with and without low temperatures influence.

The concrete specimens were cured in the water at the 20°C temperature, and the results showed that the tested admixture caused the increase of the compression strenght of more than 10% comparing to one of the reference specimen.

In order to test the admixture influence, three cases of the potential low temperatures were examined. In these simulations, in order to establish the limits of the admixture's influence, fresh concrete mixture was exposed to the temperatures, where the lowest was -25°C. All three cases showed better behaviour of the fresh concrete mixture, and also displayed much higher compression strenght (for more than 100% higher, and for some regimes, for 200% higher).

The specimens exposed to the extreme regime (the third one) were also tested for the water absorption and release, in order to establish the degree of destruction caused by frost and low temperatures during concrete hardening. These tests also showed that the specimens with the admixtures had lower water absorption, i.e. preserved structure of the concrete.

**Keywords:** concrete admixtures, freezing/thawing resistance