



**PROJEKT:** **USPOSTAVNI ISTRAŽIVAČKI PROJEKT**  
**REUSE OF SEWAGE SLUDGE IN CONCRETE INDUSTRY – FROM MICROSTRUCTURE TO INNOVATIVE CONSTRUCTION PRODUCTS (RESCUE)**

**BROJ PROJEKTA:** **7927**

**PROJEKT FINANCIRA:** **HRVATSKA ZAKLADA ZA ZNANOST**

**ELABORAT:** **IZVJEŠTAJ BR.14 –**  
**REZULTATI ISPITIVANJA NA BETONU**

**VRSTA ELABORATA:** **TEHNIČKI IZVJEŠTAJ**

**UGOVOR:** 120-050/14

**GODINA ISTRAŽIVANJA:** 3 (01.09.2016. – 31.08.2017.)

**DATUM:** Svibanj, 2017.

**IZRAĐIVAČ:** **GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**AUTORI:** Dražen Vouk, doc. dr. sc.  
Domagoj Nakić, mag. ing. aedif.  
Nina Štirmer, prof. dr. sc.  
Marijana Serdar, doc. dr. sc.  
Ana Baričević, doc. dr. sc.

DEKAN GRAĐEVINSKOG FAKULTETA  
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ.



### **Napomena:**

Ovaj Izvještaj direktno se nastavlja na Izvještaj br. 11 „ Rezultati ispitivanja na betonu“ iz kolovoza 2016. godine. Sve metode korištene prilikom provedenih analiza i ispitivanja na različitim uzorcima betona s ugrađenim pepelom iz muljeva s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda opisane su u prethodno navedenom Izvještaju (i Izvještaju br. 5 iz 2015. godine), a u nastavku će se dati prikaz rezultata dobivenih istim laboratorijskim ispitivanjima cjelokupnih obrađenih uzoraka betona tijekom treće godine istraživanja provedenih u sklopu projekta „RESCUE“ i to za preostale dvije eksperimentalne mješavine betona s ugrađenim pepelom iz mulja s UPOV-a Karlovac.



## Rezultati ispitivanja na betonu

### 1. Uvod

Beton je kompozitni građevinski materijal dobiven miješanjem agregata (obično šljunka i pijeska), cementa i vode. S ciljem poboljšanja određenih svojstava betona mogu se dodavati i drugi materijali, a u sklopu ovog istraživanja razmatran je utjecaj dodavanja pepela dobivenog spaljivanjem mulja s UPOV kao zamjene za određeni udio cementa.

Provedenim istraživanjem analizirana je povezanost svojstava betona s različitim udjelom pepela kao zamjenom za dio cementa. Time se ujedno pridonosi smanjenju ekološkog i ekonomskog tereta industrijske proizvodnje cementa i betona. U cilju dokazivanja navedenog, provedena su potrebna ispitivanja svojstva betona, uz dodatak pepela kao zamjene za dio cementa i to u svježem stanju (konzistencija, udio pora, gustoća i temperatura) i očvrslom stanju (čvrstoća na savijanje, čvrstoća na tlak, vodonepropusnost i skupljanje), sukladno hrvatskim i europskim normama.

Uz ispitivanje utjecaja temperature spaljivanja mulja na kvalitetu dobivenog pepela, odnosno svojstva betona, s obzirom na prethodno dobivene rezultate tijekom prve godine istraživanja, odabran je jedinstveni vovovezivni omjer od 0,50.

Treba naglasiti da je ograničena količina dostupnog pepela bila značajan faktor pri projektiranju eksperimenata.

Glavni smjer istraživanja, prilikom projektiranja eksperimenta, bio je usmjeren na pronalaženje optimalne temperature spaljivanja mulja i optimalne količine pepela ugrađene u beton, kao zamjene za dio cementa. Kao kontrolna mjera i za usporedbu rezultata izradile su se i referentne mješavine.

Temperatura spaljivanja mulja je varirana jer utječe na karakteristike dobivenog pepela i stoga može imati utjecaja na njegova pucolanska svojstva.

Dakle, varirali su se sljedeći parametri:

- temperatura spaljivanja (800 °C, 900 °C),
- maseni udio pepela (10 – 20 %) kao zamjena za cement.

U ovoj fazi (2. godina) istraživanja provedenih na betonu pripremljene su ukupno **22 različite mješavine** (2 referentne i 20 mješavina s korištenjem pepela ili mulja bez spaljivanja u slučaju UPOV-a Koprivnica).

Za potrebe ispitivanja različitih utjecajnih parametara, predviđeno je da su potrebne količine betona (u litrama) za ispitivanje u svježem i očvrslom stanju jedne mješavine oko 75,0 l.



## 2. Materijal i postupak miješanja i ugradnje betona

Za potrebe ovog istraživanja korišten je drobljeni dolomit granulacije 0 – 4 mm (50%), 4 – 8 mm (20%) i 8 – 16 mm (30%) iz kamenoloma Očura proizvođača Holcim Hrvatska d.o.o.

Cement je hidrauličko vezivo, odnosno fino mljeveni anorganski materijal koji, pomiješan s vodom, kroz hidratacijske reakcije formira pastu i očvršćava, a nakon očvršćavanja zadržava svoju čvrstoću i stabilnost, na zraku i pod vodom.

Korišten je miješani portlandski cement, CEM II/B-M (S-V) 42,5N, trgovačkog naziva Holcim Ekspert® cement (HRN EN 197-1).

Udio sastojaka u CEM II/B-M (S-V) 42,5N (HRN EN 197-1:2012) je kako slijedi:

- 65 – 79 % – klinker
- 21 – 35 % – zgura i silicijski leteći pepeo
- 0 – 5% – drugi spojevi.

Normirana 28-dnevna tlačna čvrstoća iznosi 42,5 – 62,5 MPa, uz normalni razvoj rane čvrstoće (EN 196-1).

Kao rezultat, ovaj cement karakterizira umjeren zahtjev za vodom, mali gubitak optimalne konzistencije, umjeren vezanje cementa, umjeren razvoj čvrstoće; vrlo umjeren razvoj topline hidratacije, dobra otpornost na umjeren agresivne utjecaje i posebno prilagođen za nosive betonske konstrukcije i betonske radove više završne čvrstoće.

Zbog navedenih karakteristika CEM II/B-M (S-V) 42,5N ima veliku upotrebu u građevinarstvu, stoga je baš ovaj cement odabran za upotrebu pri projektiranju mješavina betona, kako bi se dokazana svojstva odnosila na proizvod široke primjene na tržištu.

Ujedno, zamjenom dijela cementa dodatcima smanjuje se količina ekološki neprihvatljivog klinkera.

Prilikom miješanja betona korištena je voda iz vodovoda.

Izvagana je masa sastojaka unaprijed određena sastavom betona za svaku mješavinu. Sastojci su dakle: pepeo (osim za referentne mješavine), cement, agregat i voda.

Beton je miješan uobičajenim postupkom laboratorija Zavoda za materijale na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, prilagođenim potrebama miješanja betona s pepelom. Budući da je konzistencija projektiranih betona bila izrazito loša i ugradnja praktički nemoguća, mješavinama se dodavalo određenu količinu superplastifikatora, čija se maksimalna dopuštena količina zadržala unutar granica propisanih tehničkim listom.



Po završetku miješanja, dio betona je odvojen za ispitivanje pora i konzistencije. Dio betona od ispitivanja konzistencije i dio betona od ispitivanja poroznosti su korišteni i nakon ispitivanja za ugradnju u kalupe.

Ostatak betona je ugrađivan u kalupe, koji su po tipu i broju odabrani prema unaprijed određenim vrstama ispitivanja u očvrslom stanju. Korišteni su kalupi oblika kocke dimenzija 15x15x15 cm i prizme dimenzija 10x10x50 cm i 10x10x40 cm.

Beton je ugrađivan u kalupe uz vibriranje na vibro-stolu te uz zaglađivanje površine zidarskom žlicom. Vibriranje se provodilo s ciljem zbijanja betona i izbacivanja viška zahvaćenog zraka, a duljina je ovisila o iskustvu ispitivača i mješavini, uz pažnju da ne dođe do segregacije.

Nakon  $24 \pm 2$  sata od miješanja, uzorci su raskalupljeni, a kalupi su očišćeni i nauljeni, kako bi bili spremni za ponovnu upotrebu. Uzorci na kojima su se ispitivale 1-dnevne čvrstoće potom su izdvojeni za ispitivanje, a oni na kojima su se ispitivale 7-dnevne i 28-dnevne čvrstoće te vodonepropusnost stavljeni su u vlažnu komoru. Prizme na kojima se ispitivalo skupljanje opremljene su posebnim instrumentima kojima se mjere deformacije.



### **3. Ispitivanja na betonu u svježem stanju**

#### **3.1 Gustoća**

Gustoća svježeg betona određena je kvocijentom njegove mase i volumena koji zauzima kad je ugrađen na predviđeni način prema normi HRN EN 1230-6:2009.

#### **3.2 Temperatura**

Temperatura mješavina betona određena je kao i za cementni mort prema normi HRN U.M1.032:1981 korištenjem digitalnog ubodnog termometra. U svježe izmiješan beton unesena je igla termometra, pazeći da mjeri temperaturu sredine mješavine i da ne dodiruje posudu. Nakon stacioniranja pokazivača temperature, izvršeno je očitavanje u [°C].

#### **3.3 Konzistencija**

Konzistencija slijeganjem prema normi HRN EN 12350-2 se ispitivala na način da se metalni kalup u obliku krnjeg stošca puni betonom u 3 nivoa (na svakom nivou se beton zbija čeličnom šipkom 25 puta do dubine prethodnog sloja). Tijekom punjenja kalup se čvrsto drži i fiksira da ne bi došlo do izlivanja betona pri dnu. Nakon zbijanja zadnjeg sloja, višak betona iznad vrha kalupa i na podložnoj ploči se odstranjuju. Slijedi odizanje kalupa u 2 do 5 sekundi ravno prema gore bez pomicanja u stranu. Odmah nakon odizanja mjeri se i zapisuje slijeganje određeno razlikom visine kalupa i najviše točke slegnutog uzorka.

#### **3.4 Pore**

Za ispitivanje sadržaja pora prema normi HRN EN 12350-7 koristio se porometar koji sadržaj pora mjeri na principu Boyle – Marriottovog zakona. Dobiveni rezultat ispitivanja je postotak pora (udio zraka) u svježem betonu.



## 4. Ispitivanja na betonu u očvrslom stanju

### 4.1 Mehaničke karakteristike

Za ispitivanje tlačne čvrstoće prema normi HRN EN 12390-3 koristila se preša u kojoj se stavljaju uzorci u obliku kocke dimenzija 15x15x15 cm koji zadovoljavaju zahtjeve prema normama HRN EN 12350-1, HRN EN 12390-1 i HRN EN 12390-2. Uzorak se centrira i postavlja tako da je smjer nanošenja opterećenja okomit na smjer ugradnje uzorka. Nakon što se podatci o dimenzijama unesu u softver, slijedi opterećivanje uzorka konstantnom brzinom od 0,5 MPa/s do loma nakon čega se zabilježe najveća sila i tlačna čvrstoća. Tlačna čvrstoća se može i izračunati pomoću formule

$$f_c = \frac{F}{A_c},$$

gdje je F maksimalna sila pri lomu, a  $A_c$  površina uzorka na koju djeluje sila.

Ispitivanje čvrstoće na savijanje provodi se prema normi HRN EN 12390-5:2009 na uzorcima oblika prizme dimenzija 10x10x50 cm koji se izrađuju i njeguju u skladu s normom HRN EN 12390-2. Postavljanju uzorka u prešu prethodi postavljanje ležajeva na propisanu udaljenost (300 mm). Uzorci se u prešu postavljaju tako da ih se centrira na ležajeve okomito na smjer ugradnje kako bi opterećenje koje se nanosi brzinom između 0,04 i 0,06 Mpa/s bilo ujednačeno. Uzorak se, dakle, opterećuje jednom koncentriranom silom.

### 4.2 Vodonepropusnost

Ispitivanje vodonepropusnosti, odnosno dubine prodora vode pod tlakom provodilo se prema normi HRN EN 12390-8 na uzorcima u obliku kocke dimenzija 15x15x15 cm njegovanim pod vodom u skladu s normom HRN EN 12390-2. Ispitivanje se vršilo na uzorcima starim najmanje 28 dana. Koristi se stroj za utiskivanje vode pod tlakom od  $500 \pm 50$  kPa na  $72 \pm 2$  sata.

Ispitivanjem se određuje dubina prodora vode pod tlakom. Voda se utiskuje s donje strane, a nepropusnost se osigurava gumenim brtvilom. Stroj osigurava ispitnu površinu približno jednaku polovici dijagonale uzorka. Tijekom ispitivanja vodilo se računa da ne dođe do popuštanja brtvila i curenja vode. Nakon pomicanja uzorka višak vode s površine uzorka na koju se djelovalo se obrisao. Zatim se uzorak cijepao na pola u preši okomito na površinu na koju se djelovalo. Nakon cijepanja uzorka markerom se bilježio trag vode i mjerio maksimalan prodor vode u milimetrima. Od tri



ispitana uzorka iz svake mješavine, mjerodavna je najveća vrijednost prodora vode. Za svaku mješavinu betona propisuje se razred vodonepropusnosti prema sljedećoj tablici.

**Tablica 1 Razredi vodonepropusnosti**

<b>Razred vodonepropusnosti</b>	<b>Dopušteni najveći prodor vode [mm]</b>
VDP 1	50
VDP 2	30
VDP 3	15

### 4.3 Skupljanje

Ispitivanje skupljanja provodilo se 3., 7., 14. dan te svaki sljedeći sedmi dan u vremenu od 90 dana starosti betona. Pomoću posebnog instrumenta mjerile su se deformacije u mm/m u odnosu na prvo mjerenje nakon  $72 \pm 0,5$  sata.

Za ispitivanje skupljanja betona iz svake mješavine napravljeno je po tri uzorka oblika prizme, dimenzija  $100 \times 100 \times 400$  mm. 24 sata nakon miješanja, uzorci se raskalupe i obilježe. Zbog nedostatka prostora uzorci se nisu mogli njegovati prva 3 dana, stoga je nulto mjerenje obavljeno odmah prvi dan nakon miješanja. Prije samog mjerenja postavljaju se reperi na sredinu uzorka na udaljenosti od 20 cm, koji će služiti za mjerenje skupljanja. Uzorci se odlažu u prostoriji pri temperaturi od  $20 \pm 4$  °C i relativnoj vlažnosti zraka od  $40 \pm 5\%$ , postavljeni tako da se tijekom ispitivanja mogu potpuno slobodno deformirati. Mjerenje se vršilo s A i B strane prizme, te se kao konačna vrijednost za pojedini uzorak uzimala srednja vrijednost. Konačni rezultat ispitivanja predstavlja srednju vrijednost svih pojedinačnih rezultata koji odgovaraju određenom vremenu, zaokruženo na 0,01 mm/m.



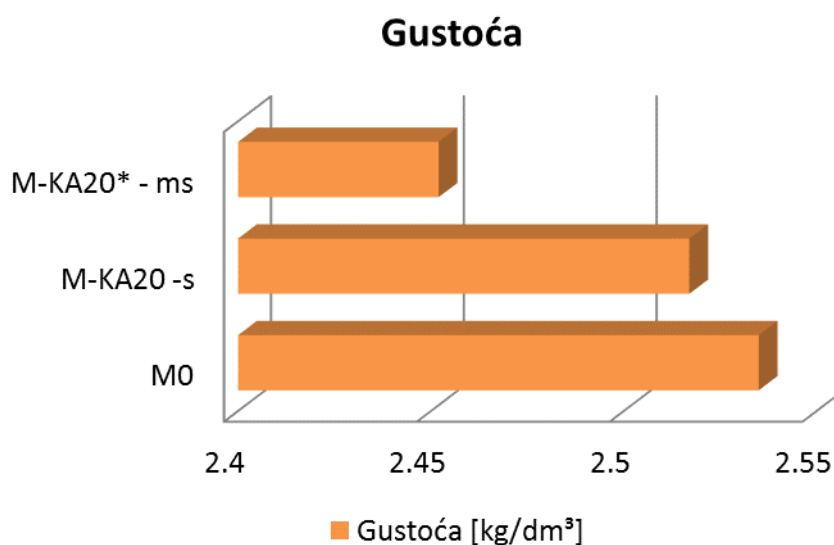


## 5. Rezultati ispitivanja na betonu s ugrađenim pepelom iz mulja s UPOV-a Karlovac

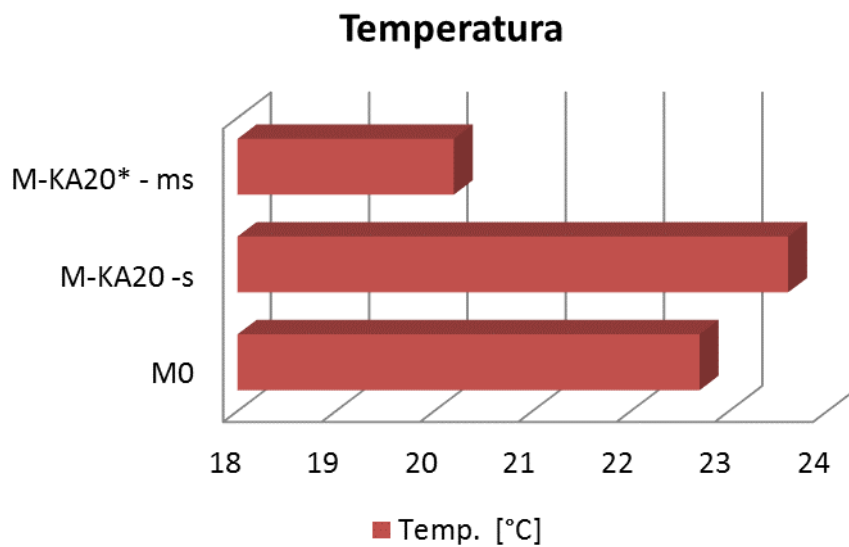
### 5.1 Rezultati ispitivanja na betonu u svježem stanju

Tablica 2 Rezultati ispitivanja na betonu u svježem stanju

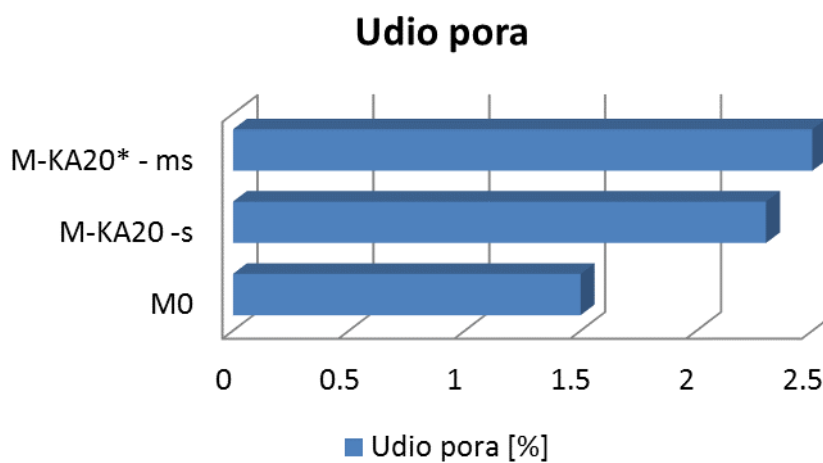
Oznaka mješavine	Gustoća (kg/dm <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	Udio pora (%)	Konzistencija (slijeganje) (cm)
M0	2.535	22.7	1.5	11
M-KA20- s	2.517	23.6	2.3	4
M-KA20*-ms	2.452	20.2	2.5	7



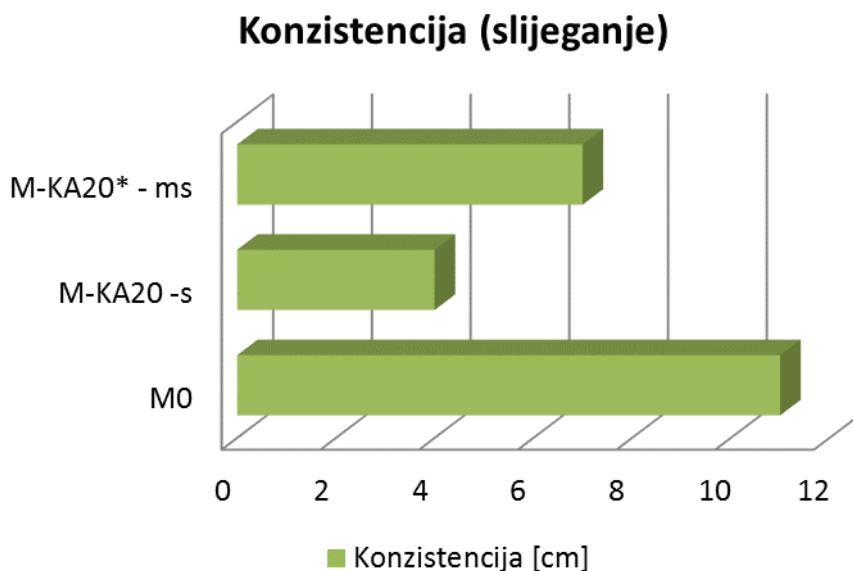
Slika 1 Gustoća svježeg betona s ugrađenim pepelom



Slika 2 Temperatura svježeg betona s ugrađenim pepelom



Slika 3 Udio pora u svježem betonu s ugrađenim pepelom



Slika 4 Konzistencija (slijeganje) svježeg betona s ugrađenim pepelom

## 5.2 Analiza rezultata ispitivanja na betonu u svježem stanju

Analizom dobivenih vrijednosti gustoća betona (u svježem stanju) s dodatkom pepela dobivene su minimalne razlike u odnosu na gustoću referentnog betona (odstupanja manja od 5%).

U mješavinama s dodanim pepelom generalno su se razvile nešto veće temperature u odnosu na referentnu mješavinu (bez dodanog pepela), međutim, kada je u betonu korišten i metakaolin taj porast temperature nije zabilježen.

Rezultati dobiveni na betonu s ugrađenim pepelom potvrđuju generalni trend izraženog povećanja poroznosti u svježem stanju u odnosu na referentnu mješavinu. Ovdje treba naglasiti kako su korišteni i različiti udjeli superplastifikatora u različitim mješavinama (sastavi mješavina i udjeli superplastifikatora dani su u Prilogu 1) kao nužna aktivnost da bi ugradnja betona bila moguća i kako bi se poboljšala obradivost čime se svakako djelovalo i na udio pora u tim mješavinama.

Potvrđeni su i povećani zahtjevi za vodom te smanjena obradivost betona s dodatkom pepela. Prikazane je rezultate ipak potrebno uzeti s rezervom budući da količina dodanog superplastifikatora nije ista u svim mješavinama. Superplastifikator je doziran s ciljem postizanja vrijednosti slijeganja što



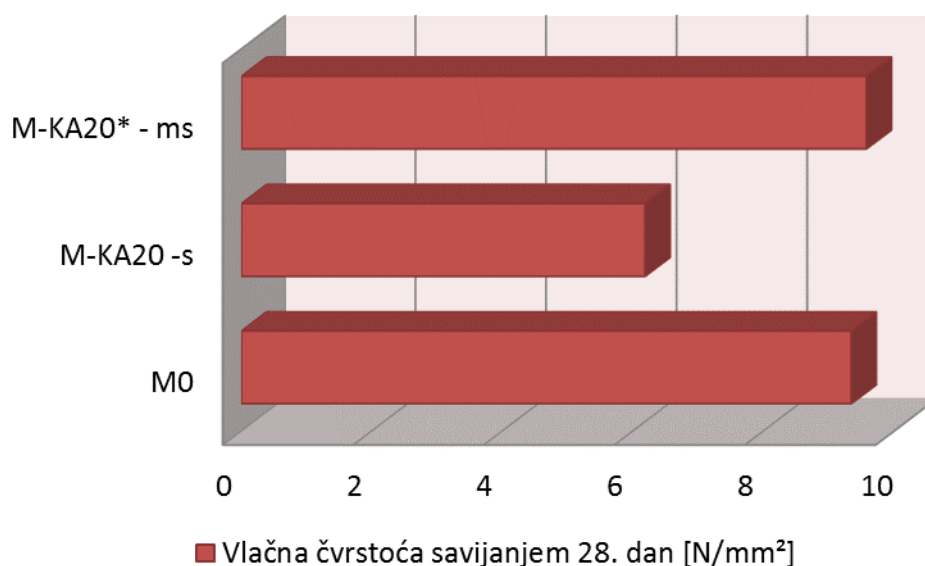
bližih vrijednostima dobivenim na referentnoj mješavini ili pak zadovoljenja minimalne potrebne obradivosti za neometanu ugradnju u kalupe.

## 5.3 Rezultati ispitivanja na betonu u očvrslom stanju

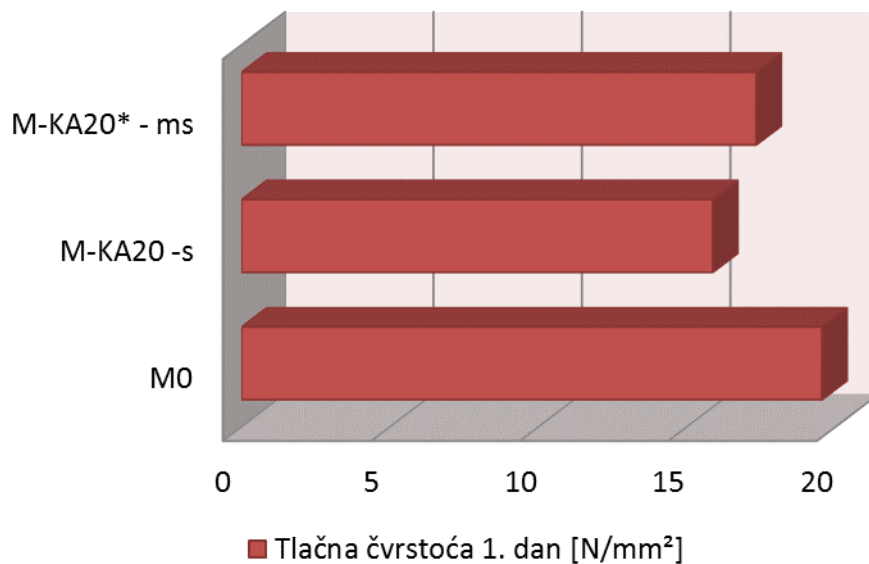
### 5.3.1 Mehaničke karakteristike

Tablica 3 Rezultati ispitivanja mehaničkih karakteristika na betonu u očvrslom stanju s ugrađenim pepelom/muljem

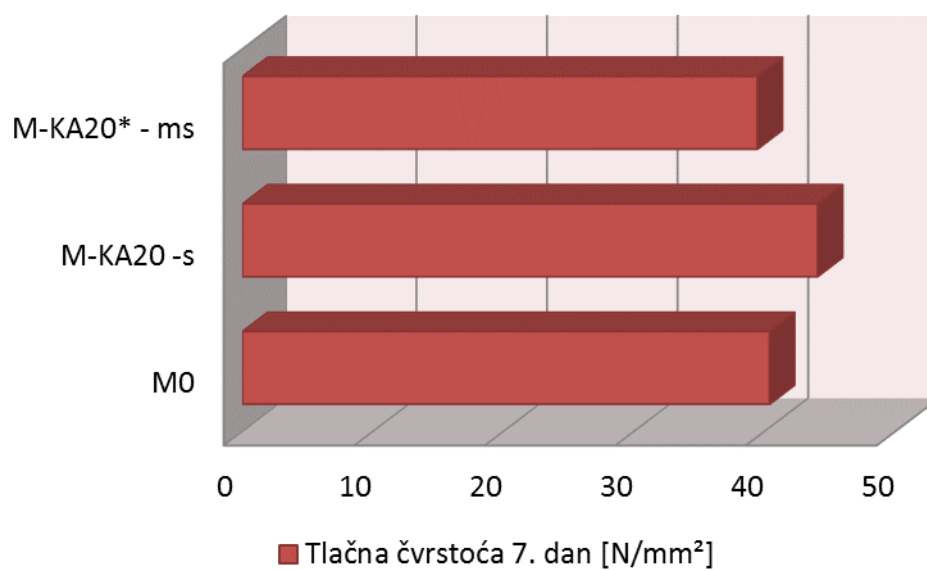
Oznaka mješavine	Čvrstoća na savijanje (MPa)	Tlačna čvrstoća (MPa)		
		1 d	7 d	28 d
M0	9.342	19.55	40.38	50.14
M-KA20- s	6.183	15.87	44.05	58.94
M-KA20*-ms	9.573	17.33	39.44	55.51



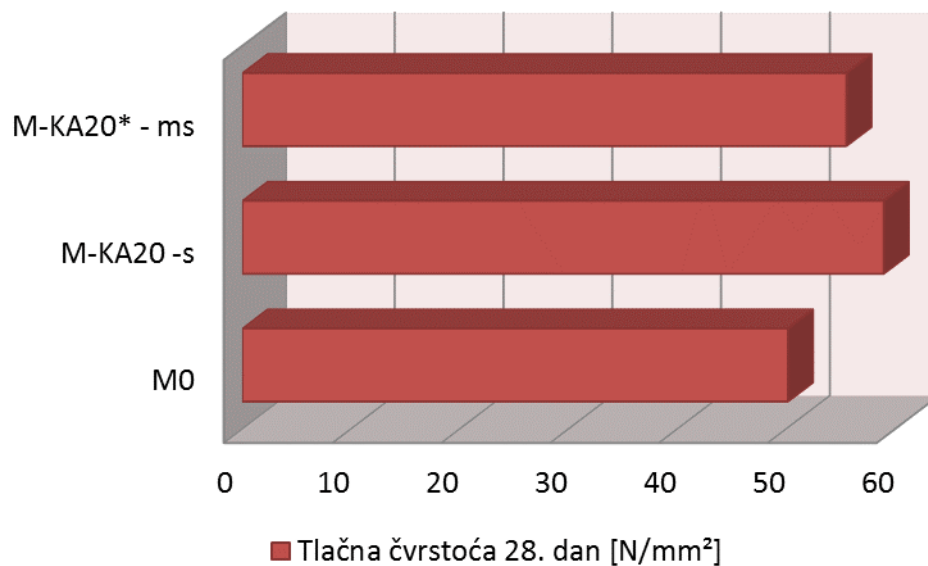
Slika 5 28-dnevna čvrstoća na savijanje uzoraka betona s ugrađenim pepelom



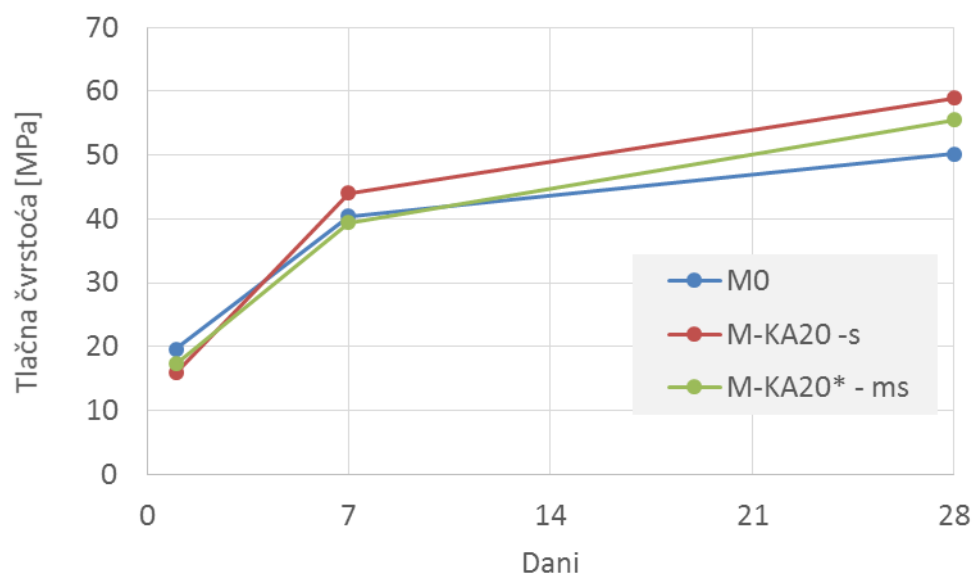
Slika 6 1-dnevna tlačna čvrstoća uzoraka betona s ugrađenim pepelom



Slika 7 7-dnevna tlačna čvrstoća uzoraka betona s ugrađenim pepelom



Slika 8 28-dnevna tlačna čvrstoća uzoraka betona s ugrađenim pepelom



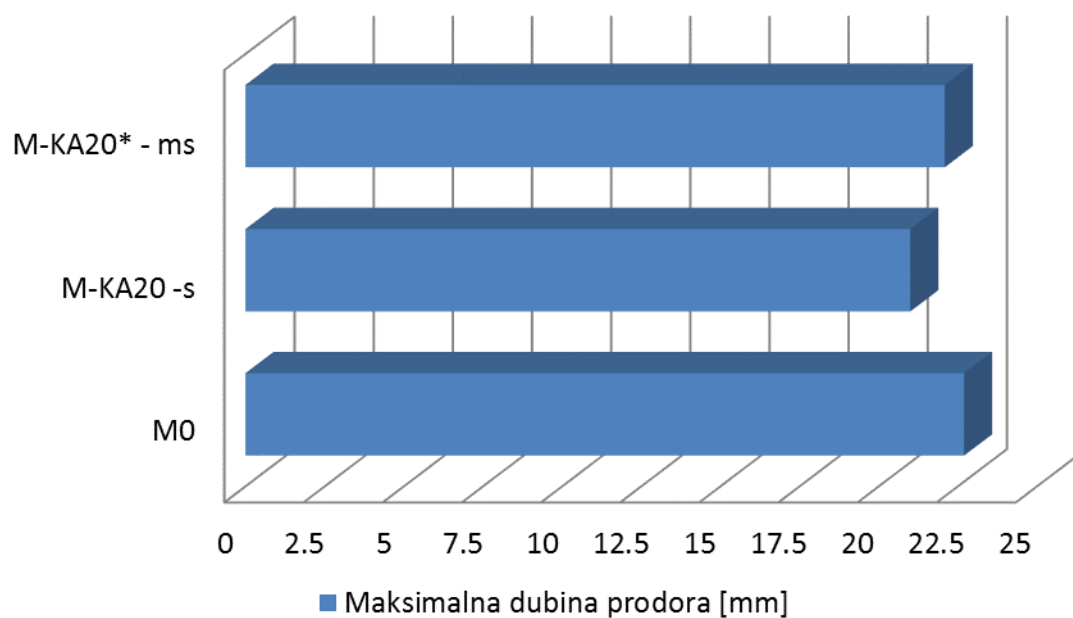
Slika 9 Razvoj tlačne čvrstoće uzoraka betona s ugrađenim pepelom



## 5.4 Vodonepropusnost

Tablica 4 Rezultati ispitivanja dubine prodora vode pod tlakom

Oznaka uzorka	Dubina prodora vode (mm)
M0	22.70
M-KA20 - s	21.00
M-KA20* - ms	22.09



Slika 10 Rezultati ispitivanja dubine prodora vode pod tlakom

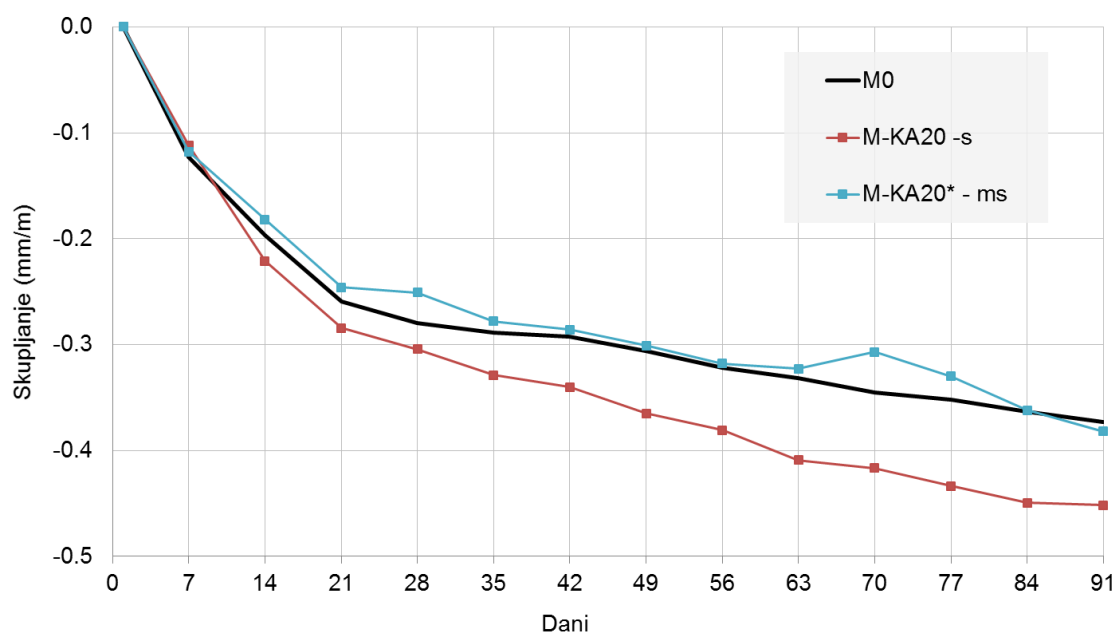


## 5.5 Skupljanje

Tablica 5 Rezultati ispitivanja deformacija (skupljanja) na uzorcima betona s ugrađenim pepelom/muljem

Oznaka uzorka	Deformacija (-mm)							
	1.	7.	14.	21.	28.	35.	42.	49.
M0	0.000	0.123	0.197	0.259	0.279	0.289	0.293	0.306
M-KA20 - s	0.000	0.112	0.221	0.284	0.304	0.329	0.340	0.365
M-KA20* - ms	0.000	0.118	0.182	0.246	0.251	0.278	0.286	0.301

Oznaka uzorka	Deformacija (-mm)					
	56.	63.	70.	77.	84.	91.
M0	0.322	0.332	0.345	0.352	0.364	0.373
M-KA20 - s	0.381	0.409	0.417	0.433	0.449	0.452
M-KA20* - ms	0.318	0.323	0.307	0.330	0.362	0.382



Slika 11 Deformacije (skupljanje) uzoraka betona s dodatkom pepela





## 5.6 Analiza rezultata ispitivanja na betonu u očvrslom stanju

Čvrstoća na savijanje ispitivana je samo na betonskim uzorcima starosti 28 dana. Mješavina s ugrađenim pepelom dobivenim na 900°C i uz dodatak metakaolina razvila je vrijednosti podjednake onima na referentnoj mješavini, dok je mješavina s ugrađenim pepelom dobivenim pri 800°C pokazala nešto niže vrijednosti čvrstoće na savijanje (za više od 30 % u odnosu na referentnu mješavinu).

Tlačna čvrstoća ispitivana je za 3 različite starosti betona (1, 7 i 28 dana) te je moguće uočiti trend povećanja vrijednosti čvrstoće s povećanjem starosti betona za sve ispitivane mješavine.

Generalno se može reći da su rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće (za sve starosti) betona s ugrađenim pepelima podjednake onima na referentnom betonu. Ipak, potrebno je istaknuti da nije zabilježen značajniji očekivani doprinos korištenja metakaolina na razvoj čvrstoća betona.

Na temelju rezultata ispitivanja vodonepropusnosti može se generalno zaključiti da dodatak pepela ne utječe značajnije na maksimalnu dubinu prodora vode pod tlakom. Naime, svi zabilježeni rezultati u rangu su s rezultatima zabilježenim na referentnom betonu (unutar  $\pm 10\%$ ).

Prema klasifikaciji razreda vodonepropusnosti, svi analizirani uzorci s ugrađenim pepelom, kao i referentni uzorak, mogu se svrstati u razred VDP2 (maksimalna dopuštena dubina prodora vode do 30 mm).

Na temelju prikazanih rezultata ispitivanja deformacija (skupljanja) može se zaključiti da je skupljanje betona s ugrađenim pepelom dobivenim pri 900°C i uz dodatak metakaolina podjednako skupljanju referentnog betona, dok je ukupno skupljanje betona s ugrađenim pepelom dobivenim pri 800°C tijekom 90 dana za oko 20 % veće od skupljanja zabilježenog na referentnom betonu.

## 5.7 Zaključak

Iz provedenih ispitivanja (koja se direktno nastavljaju na ispitivanja prikazana u sklopu Izvještaja br. 11) na betonu s ugrađenim pepelom dobivenim spaljivanjem mulja s UPOV-a mogu se izvući određeni zaključci:

- Gustoća svježeg betona za sve analizirane uzorke uglavnom je podjednaka i ne ovisi značajnije o udjelu dodanog pepela kao ni o primijenjenoj temperaturi spaljivanja mulja.
- Temperatura svježeg betona raste s dodatkom pepela u odnosu na referentnu mješavinu.
- Udio pora u betonu povećava se s dodatkom pepela.
- Obradivost betona se smanjuje s dodatkom pepela, prije svega zbog povećanih potreba za vodom uslijed nepravilne morfologije čestica pepela.



- Čvrstoće betona s dodatkom pepela (mulja) rastu s povećanjem starosti betona.
- Udjeli pepela do 20 % u betonskim mješavinama uz korištenje aditiva (superplastifikatora) ne narušavaju značajno mehaničke karakteristike betona i postignute čvrstoće uglavnom su u rangu čvrstoća postignutih na referentnoj mješavini. Ipak, potrebno je naglasiti da pojedine čvrstoće betona s korištenim pepelom dobivenim pri najnižoj temperaturi spaljivanja (800°C) pokazuju određena smanjenja u odnosu na referentni beton.
- Na temelju rezultata dobivenih ispitivanjem vodonepropusnosti, može se zaključiti da betoni s ugrađenim pepelom dobivenim spaljivanjem mulja s UPOV-a generalno pokazuju vrijednosti prodora vode pod tlakom podjednake vrijednostima dobivenim na referentnom betonu. Svi analizirani uzorci s ugrađenim pepelom, kao i referentni uzorak, mogu se svrstati u isti razred – VDP2.
- Svi analizirani uzorci daju rezultate ispitivanja deformacija (skupljanja) istog reda veličine kao i referentni uzorci. Ipak, može se reći da je s dodatkom pepela dobivenog pri 900°C skupljanje podjednako kao i na referentnom betonu, dok je prilikom korištenja pepela dobivenog pri nižoj temperaturi spaljivanja (800°C) ipak nešto veće od skupljanja referentnog betona (za oko 20%).

Zaključno se može konstatirati da je za primjenu u betonskim proizvodima, kao zamjenski cementni materijal pogodniji pepeo dobiven pri temperaturi spaljivanja od 900°C.



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet  
Zavod za hidrotehniku  
Katedra za zdravstvenu hidrotehniku i okolišno inženjerstvo

