



Rezultati ispitivanja tehničkih i ekoloških karakteristika mortova i betona s ugrađenim muljem (pepelom) s UPOV-a

Domagoj Nakić, mag. ing. aedif.

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

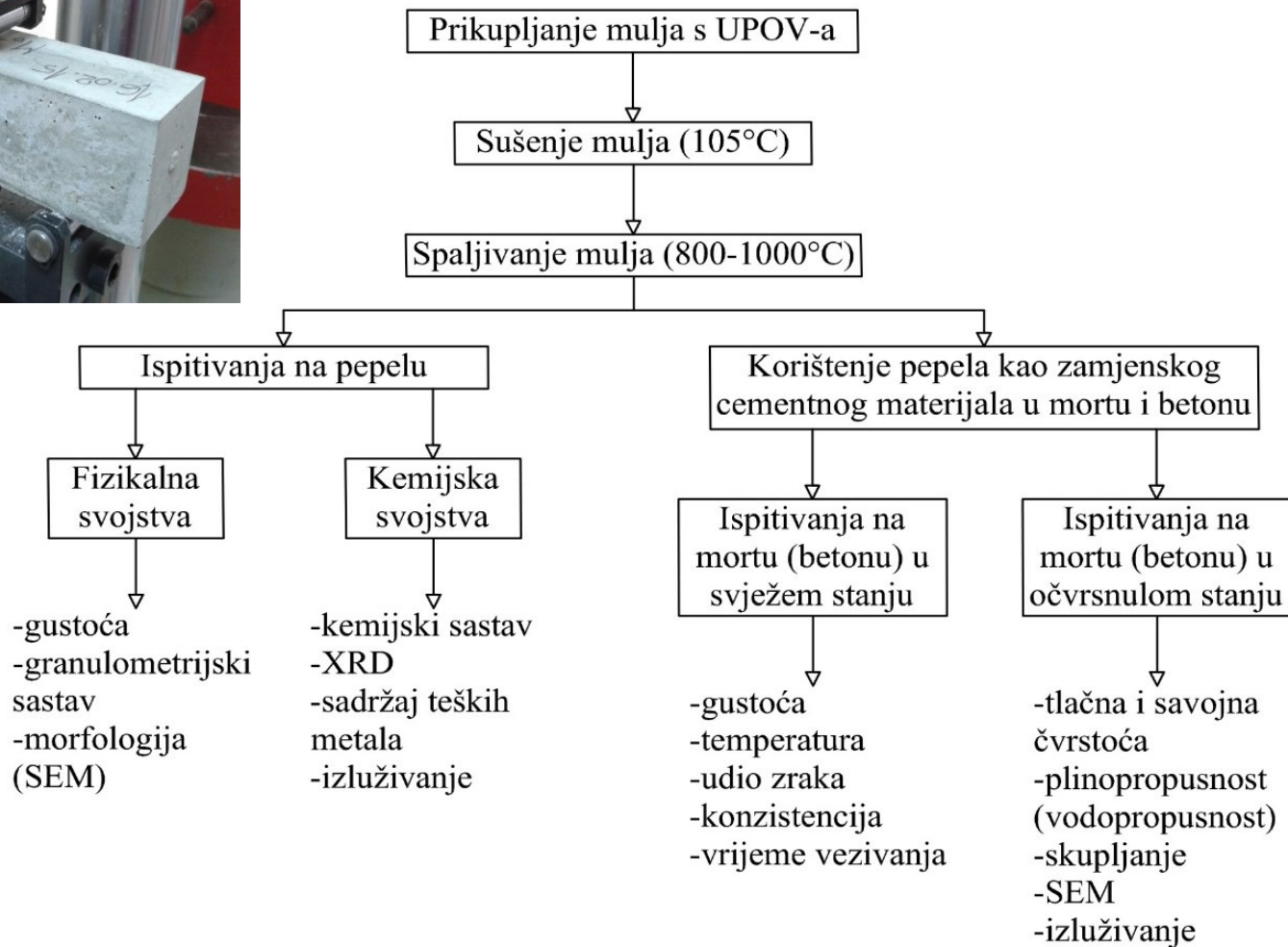


- Ispitivana je mogućnost i opravdanost zbrinjavanja pepela dobivenog spaljivanjem mulja s UPOV-a u proizvodnji morta i betona koristeći pepeo kao zamjenu za dio cementa
- Najveći dio ispitivanja odrađen je na mortu budući da je pogodan za početne faze ispitivanja radi praktičnosti pri ugrađivanju (manje dimenzije ispitnih uzoraka, odnosno manje potrebne količine materijala) i ispitivanju (više uzoraka i više ispitanih parametara)



Analiziran utjecaj većeg broja parametara:

- Temperatura spaljivanja (800, **900** i 1000 °C)
- Vodocementni (v/c), odnosno vodovezivni (v/v_e) omjer (0.45, **0.50**, 0.55)
- Maseni udio pepela (%) kao zamjena za cement (5, **10**, **20** i 30%)
- Dodaci (aditivi) prilikom spaljivanja mulja (suspaljivanje) ili prilikom miješanja morta i betona

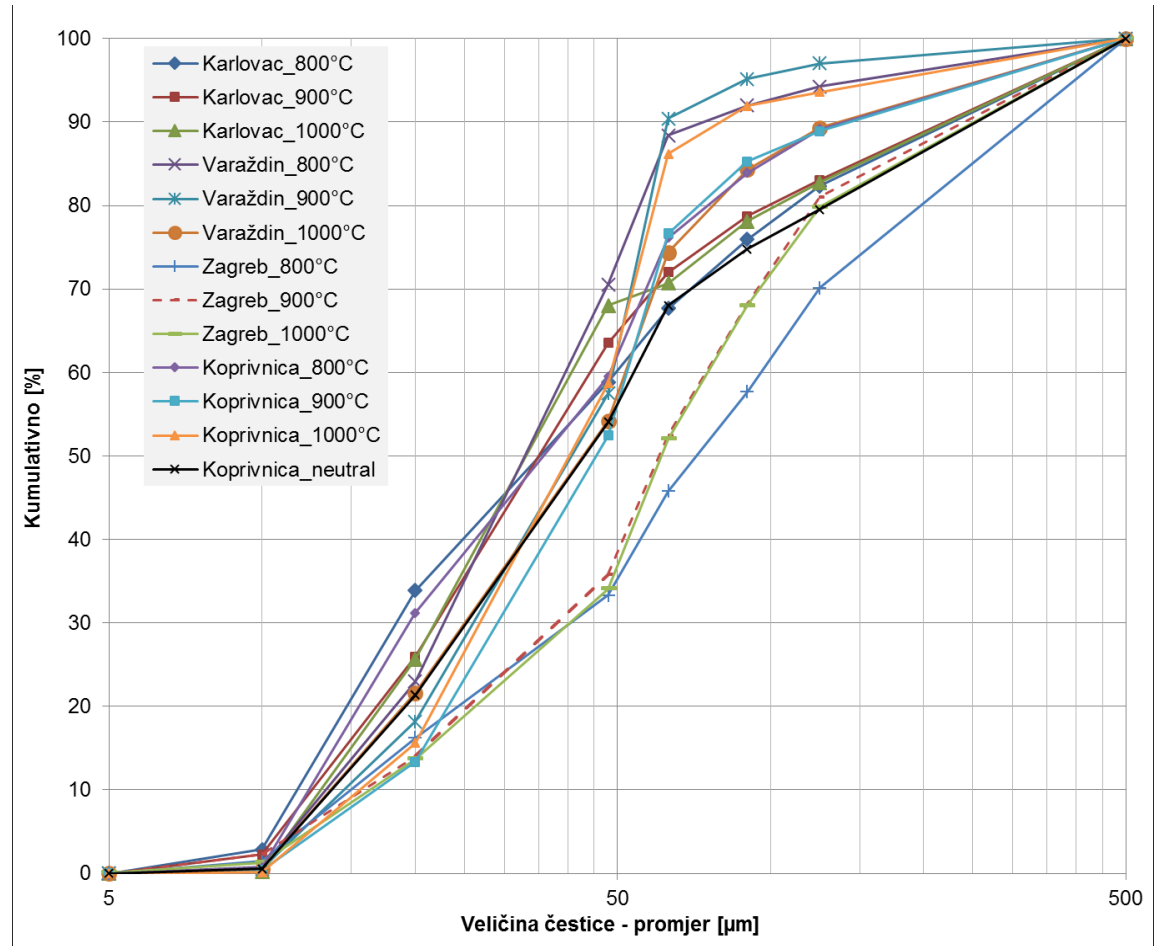
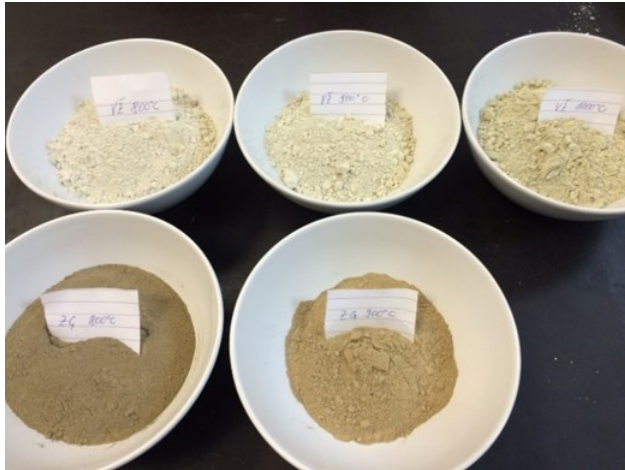


Karakteristike pepela

Porijeklo mulja (lokacija UPOV-a)	Gustoća (kg/dm ³)			
	neutral	800°C	900°C	1000°C
Karlovac	-	2.62	2.69	2.83
Koprivnica	2.05	2.78	2.90	2.95
Varaždin	-	2.52	2.66	2.94
Zagreb	-	2.69	2.75	2.83



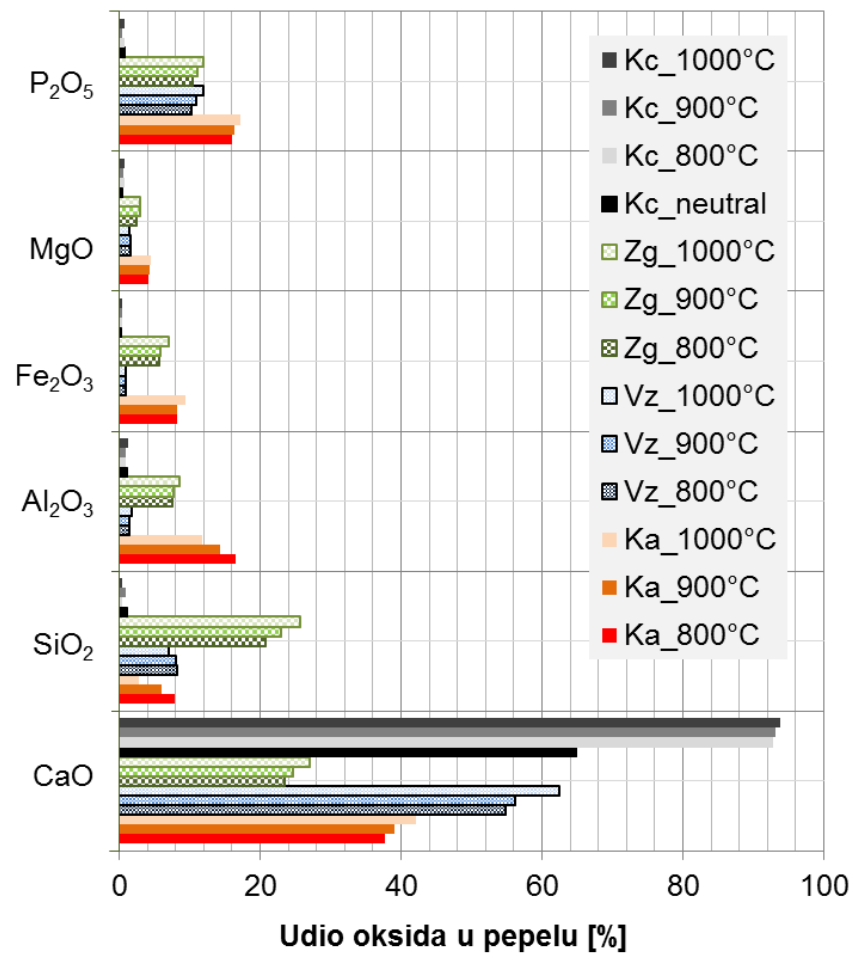
Karakteristike pepela



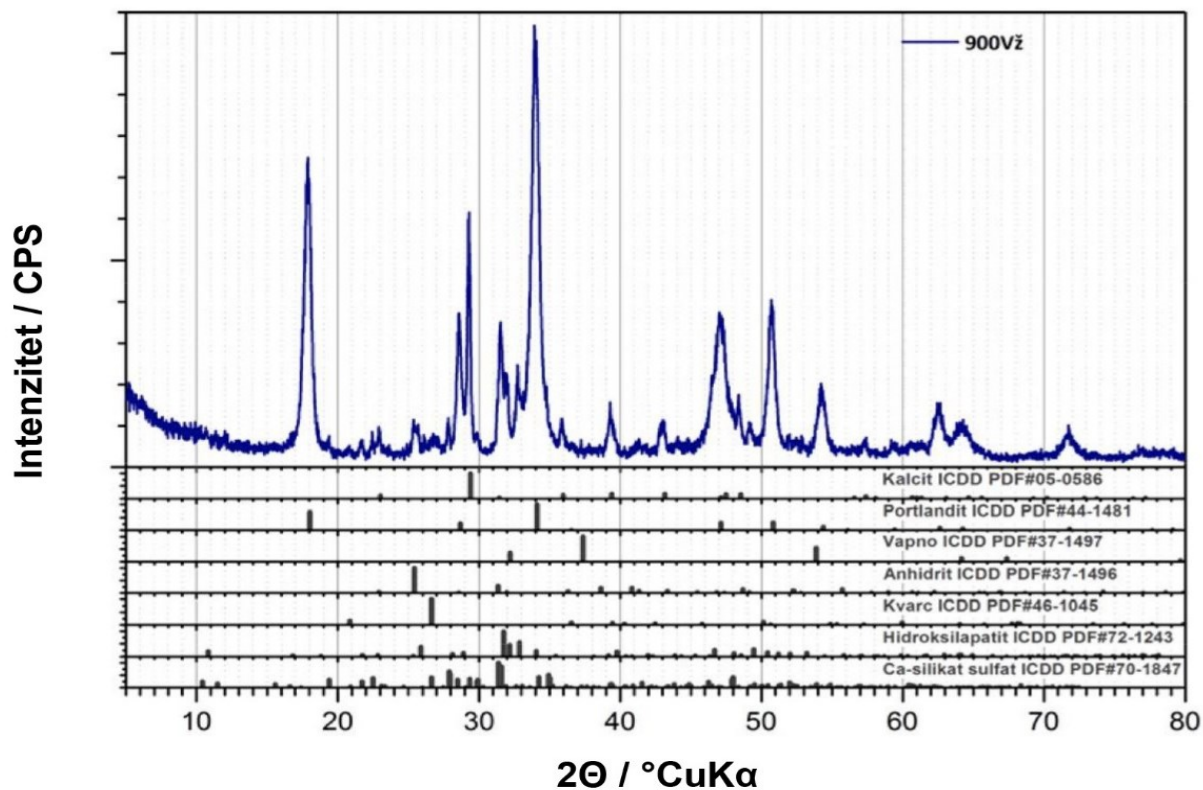
Karakteristike pepela

Oksid	UPOV Karlovac		
	800°C	900°C	1000°C
CaO	37.64	39.42	42.12
SiO ₂	7.94	3.94	2.87
Al ₂ O ₃	16.46	14.29	11.72
Fe ₂ O ₃	8.21	8.23	9.46
MgO	4.23	4.34	4.53
P ₂ O ₅	16.02	16.11	17.21
TiO ₂	0.76	0.82	1.03
Na ₂ O	0.28	0.30	0.28
K ₂ O	1.31	1.30	1.26
SO ₃	5.83	6.31	7.66
ostatak	1.32	4.94	1.86

Karakteristike pepela



Karakteristike pepela



Kristalni sastav: kvarc, kalcit, portlandit, vapno, anhidrit, ilit...

Sastav mješavina cementnog morta

- Miješani portlandski cement CEM II/B-M (S-V) 42,5N (manji dio ispitivanja i s CEM I 52.5N)
- Drobljeni dolomit granulacije 0–4 mm
- Voda iz vodovoda
- Pepeo dobiven spaljivanjem mulja



Materijal	KA M ₂₀ -B		
	Masa (kg)	Gustoća (kg/dm ³)	Volumen (dm ³)
Cement	2,027	2,947	0,688
Pepeo (20%)	0,507	2,667	0,190
Voda	1,267	1,000	1,267
v/v _e = 0,5	-	-	-
Zrak 2,5%	-	-	0,125
Agregat	7,508	2,750	2,730
Ukupno	11,309	2,262	5,000

Sastav mješavina betona

- CEM II/B-M (S-V) 42.5N
- Drobljeni dolomit granulacije:
 - 0 – 4 mm
 - 4 – 8 mm
 - 8 – 16 mm
- Voda iz vodovoda
- Pepeo dobiven spaljivanjem mulja
- Superplastifikator

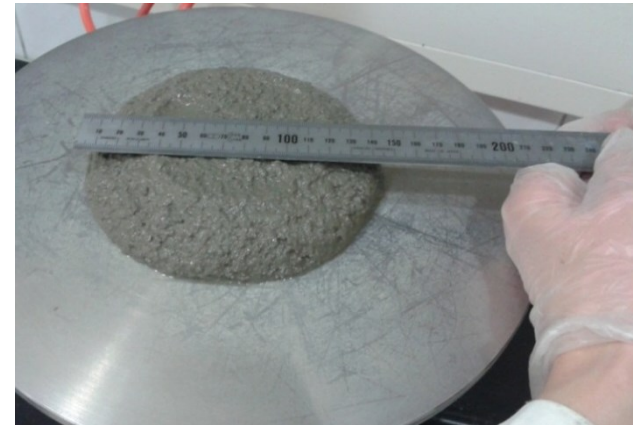


Materijal		KC M ₂₀ -B			
		Masa (kg)	Gustoća (kg/dm ³)	Volumen (dm ³)	Masa za 37,5 l (kg)
Cement		240,00	2,947	81,44	9,00
Pepeo (20%)		60,00	2,778	21,60	2,25
Voda		150,00	1,000	150,00	5,63
v/v _e = 0.50		-	-	-	-
Zrak 2.50%		-	-	25,00	-
AGREGAT	0 – 4 50%	992,70	2,750	360.98	37.23
	4 – 8 20%	397,08	2,750	144.39	14.89
	8 – 16 30%	595,62	2,750	216.59	22.34
Ukupno		2435,40	2,435	1000,00	91,33

ISPITIVANJA NA MORTU

U svježem stanju:

- gustoća
- temperatura
- poroznost
- obradivost
- vrijeme vezanja



U očvrslom stanju:

- tlačna i čvrstoća na savijanje
- plinopropusnost
- otpornost na koroziju
- izluživanje



ISPITIVANJA NA BETONU

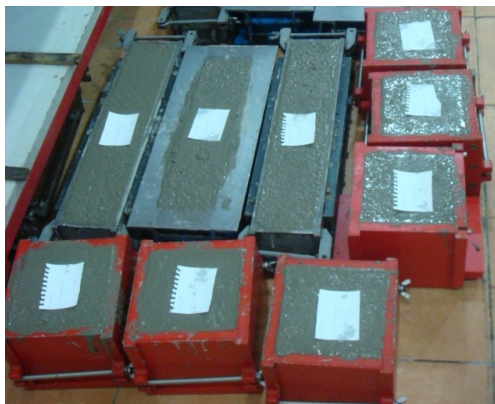
U svježem stanju:

- gustoća
- temperatura
- poroznost
- obradivost



U očvrslulom stanju:

- tlačna i čvrstoća na savijanje
- VDP
- skupljanje



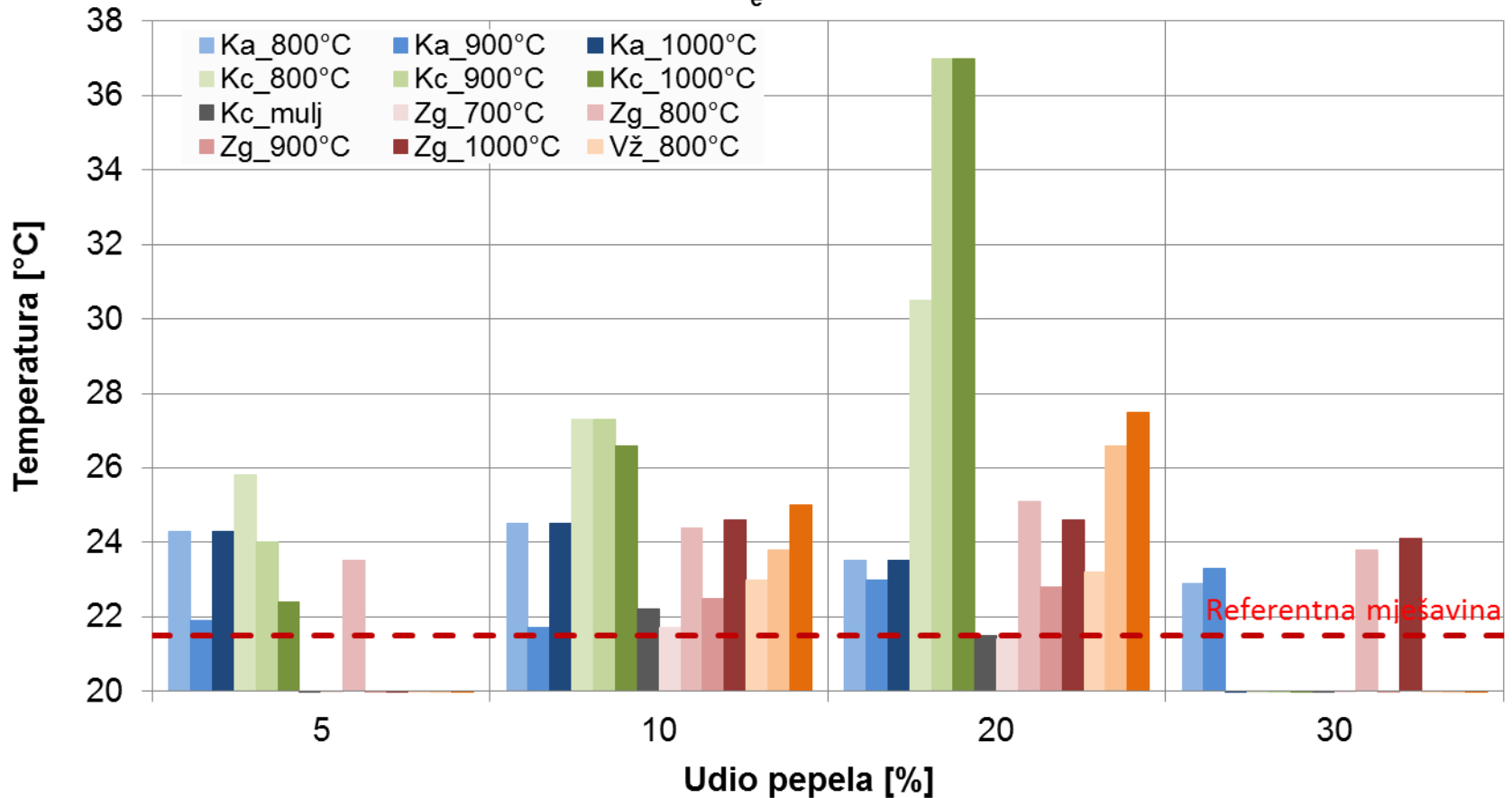
Rezultati ispitivanja na mortu i betonu u svježem stanju

- ✓ Generalni trend manje odgode vezivanja mortova s dodatkom pepela
- ✓ Povećanje poroznosti s povećanjem udjela pepela
- ✓ Povećanje temperature svježeg morta/betona s dodatkom pepela
- ✓ Porast potreba za vodom s povećanjem udjela pepela
- ✓ Obradivost nelinearno opada s povećanjem udjela pepela; pad obradivosti je pri većim udjelima pepela manje značajan



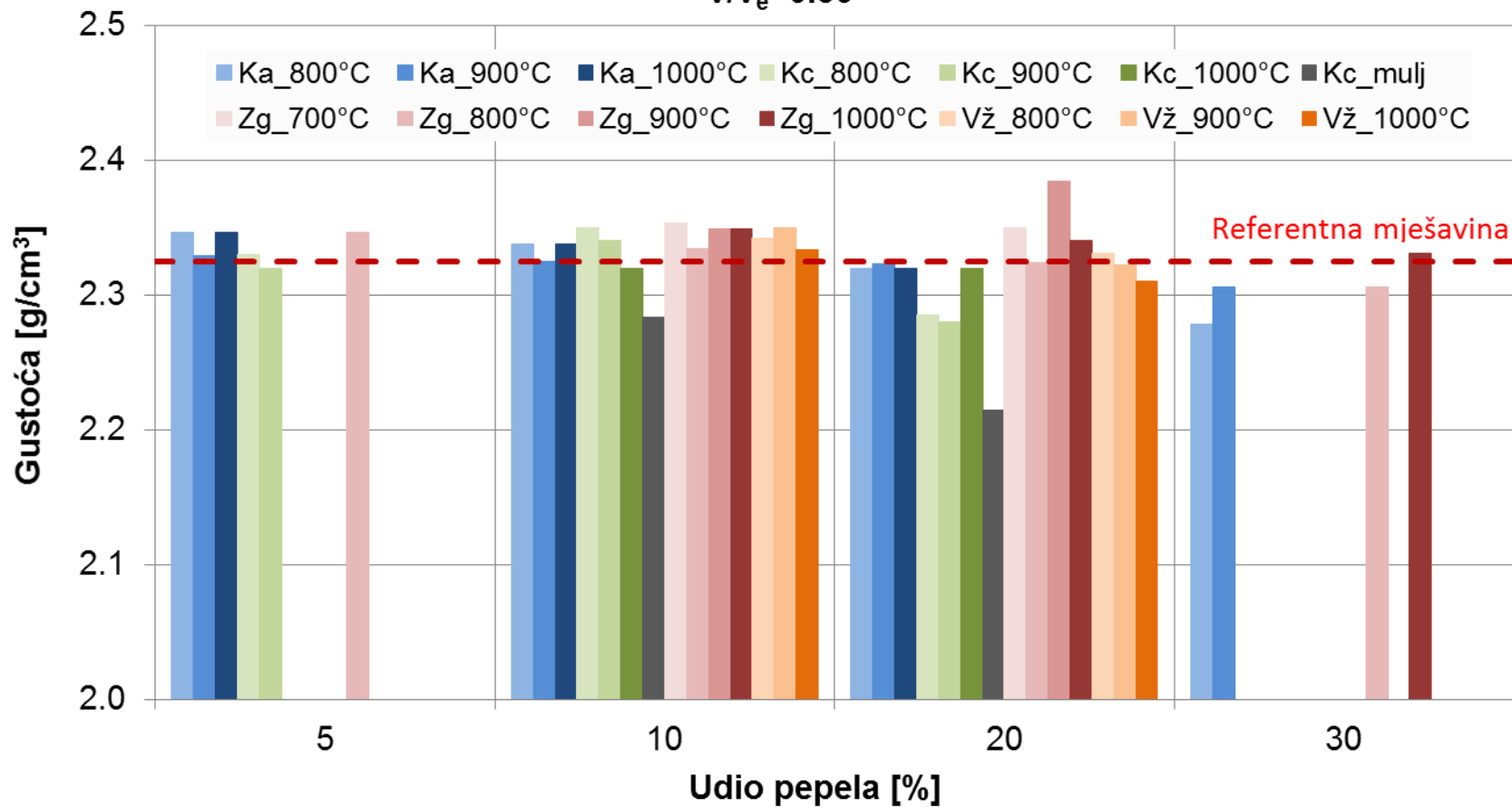
Rezultati ispitivanja na mortu i betonu u svježem stanju

$v/v_e=0.50$

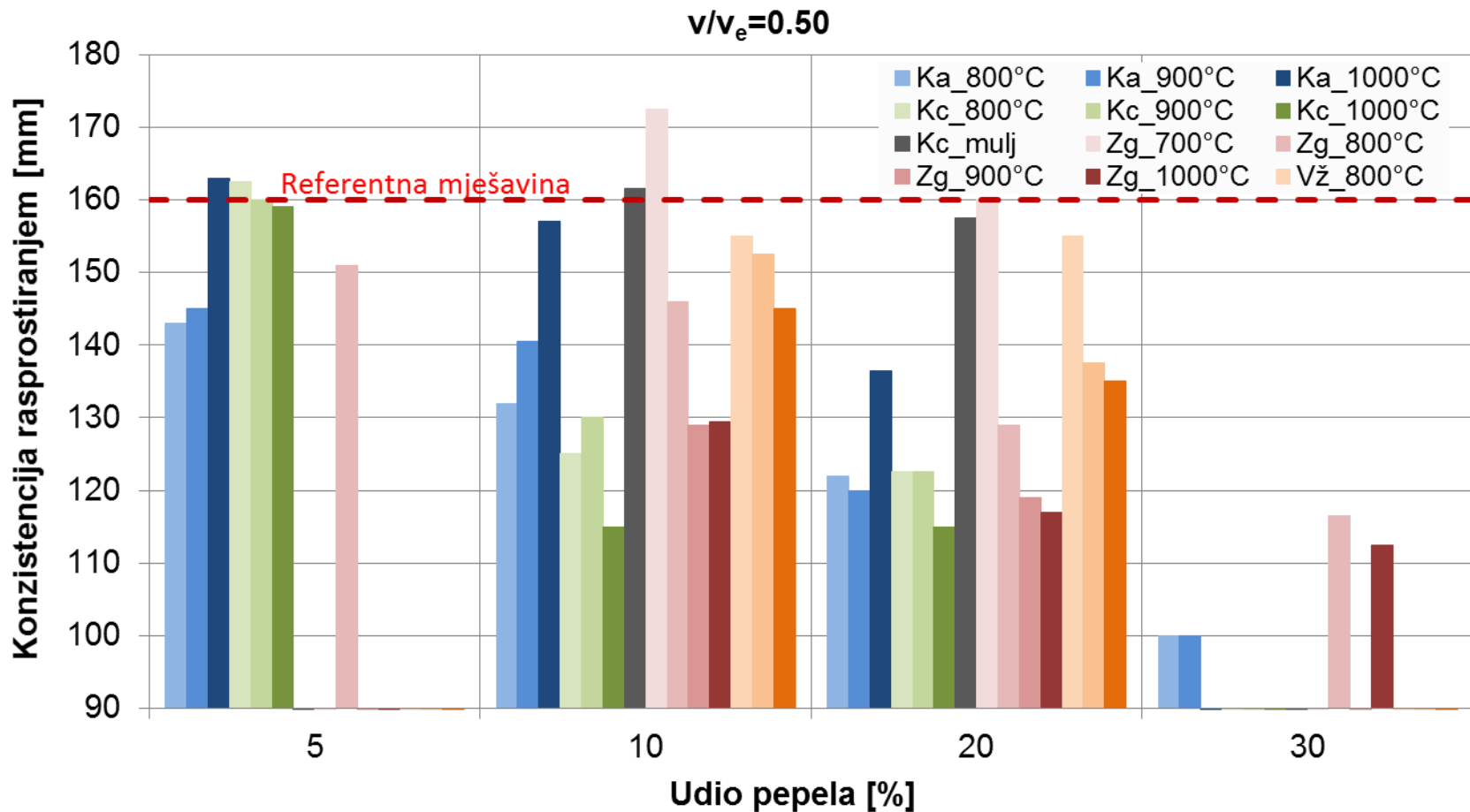


Rezultati ispitivanja na mortu i betonu u svježem stanju

$v/v_e=0.50$

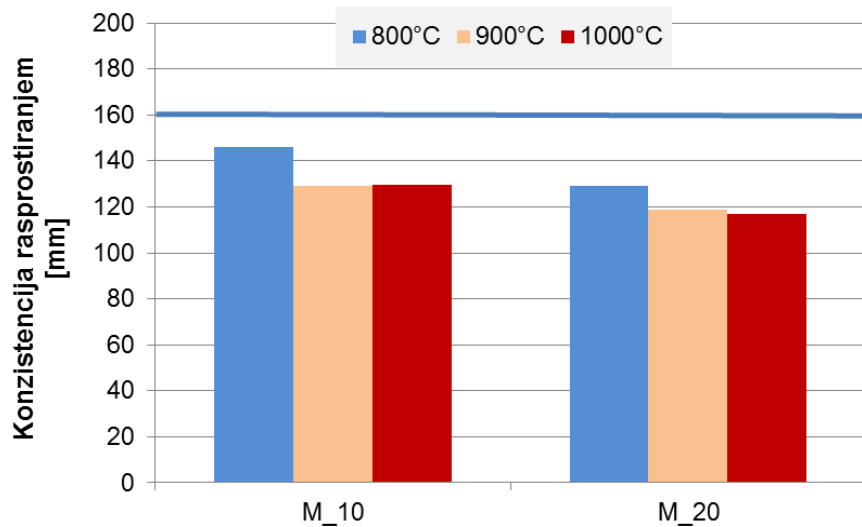


Rezultati ispitivanja na mortu i betonu u svježem stanju



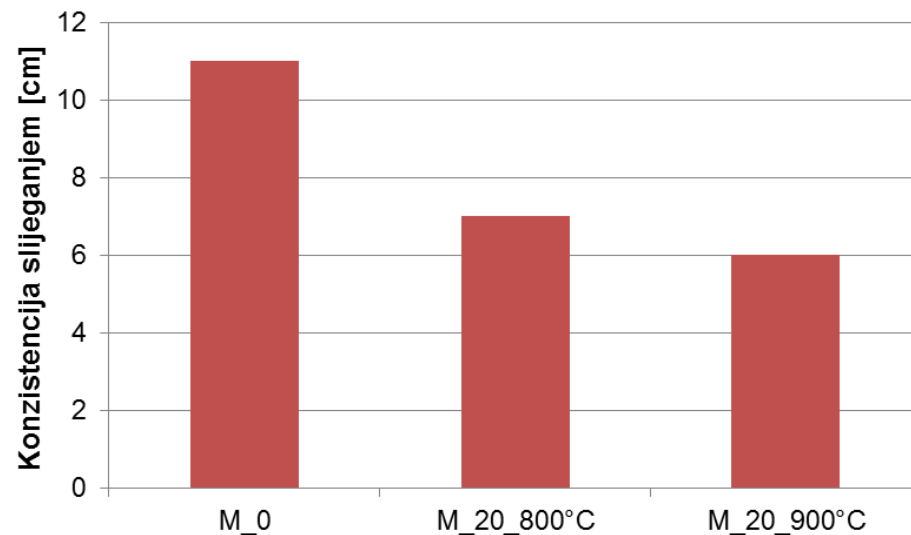
Rezultati ispitivanja na mortu i betonu u svježem stanju

MORT



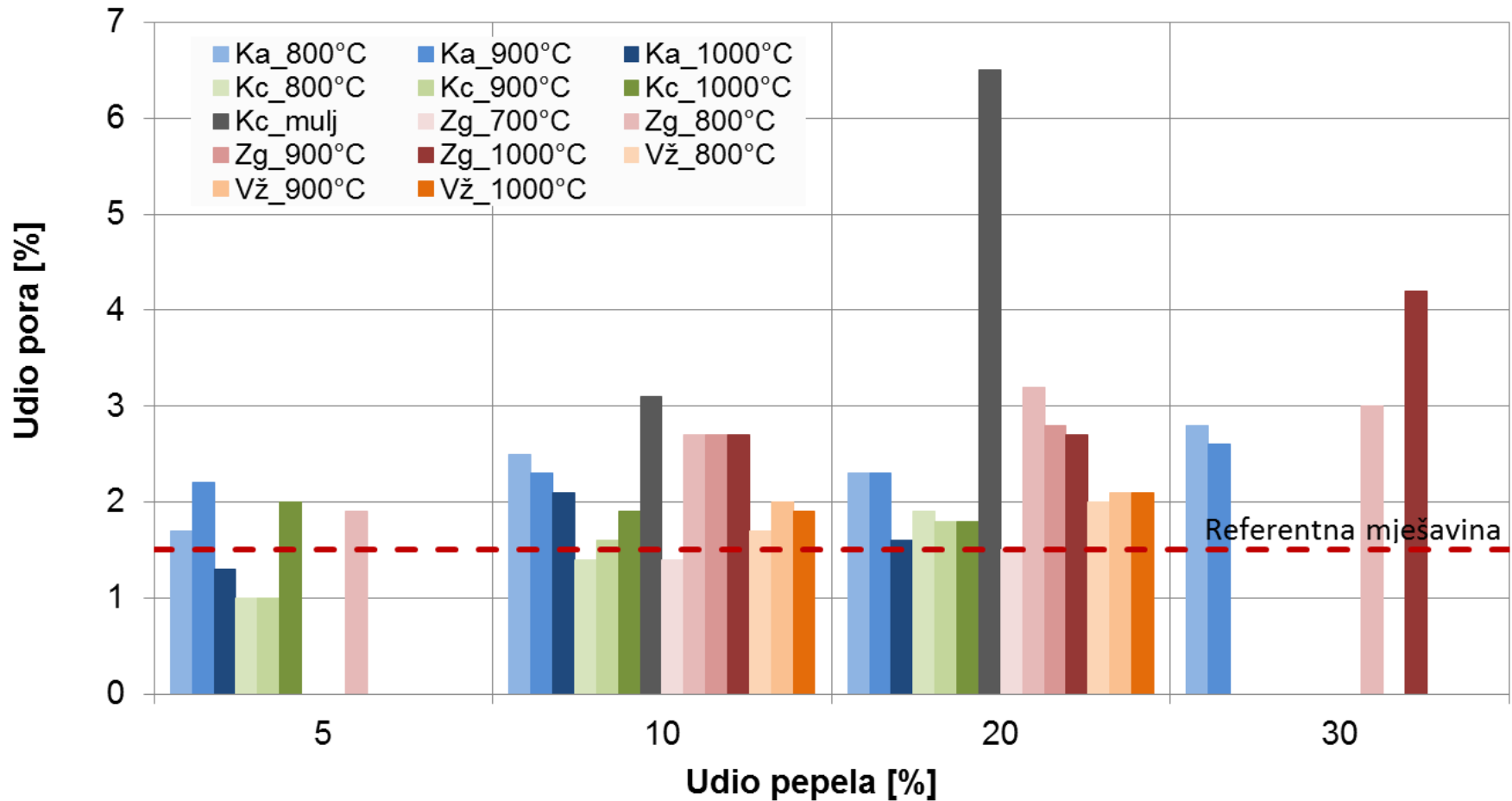
BETON

(uz dodatak superplastifikatora)



Pepeo iz mulja s UPOV-a Zagreb

Rezultati ispitivanja na mortu u svježem stanju

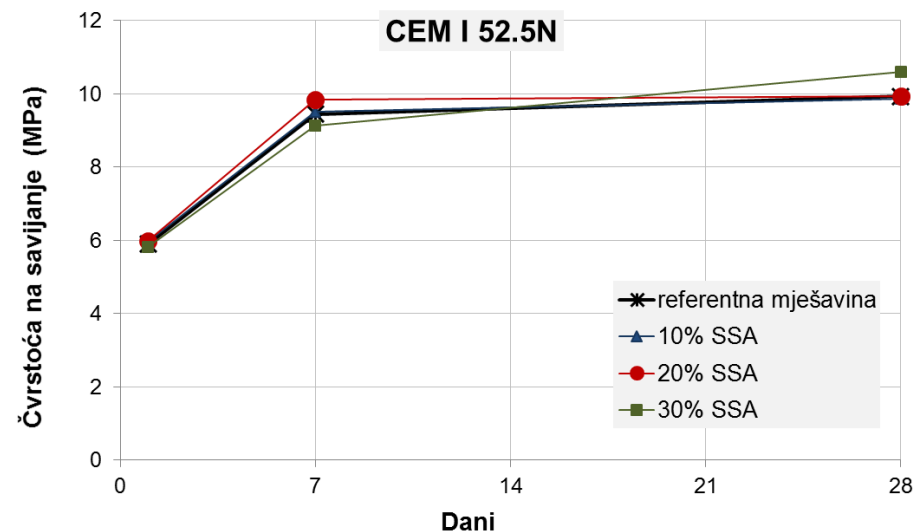
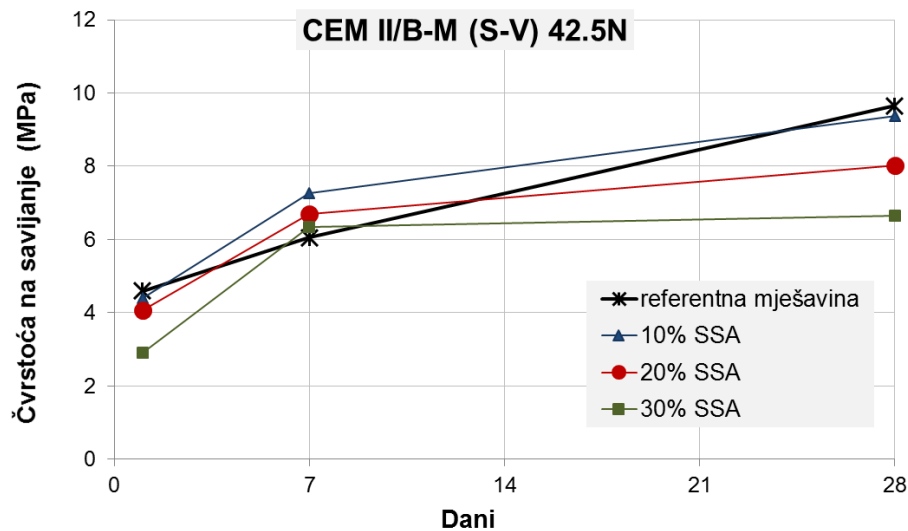


Ispitivanja na mortu u očvrnulom stanju – mehaničke karakteristike

- Generalno je prisutan **blagi** pad čvrstoća s povećanjem udjela dodanog pepela, ali su pojedini uzorci razvili i jednakovrijedne ili veće čvrstoće od referentnih
- Vrijednosti čvrstoća rastu s porastom vremena hidratacije za sve analizirane uzorke što je naznaka da u mortovima s dodanim pepelom dolazi do pucolanskih reakcija i posljedičnih pozitivnih učinaka na mehaničke karakteristike
- Utjecaj temperature spaljivanja mulja na mehaničke karakteristike uzoraka morta s dodatkom pepela (900°C optimalna temperatura)

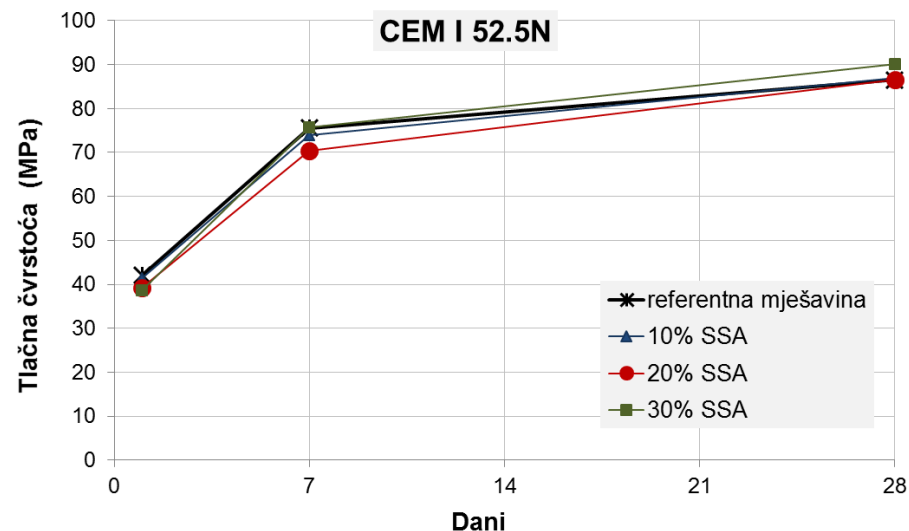
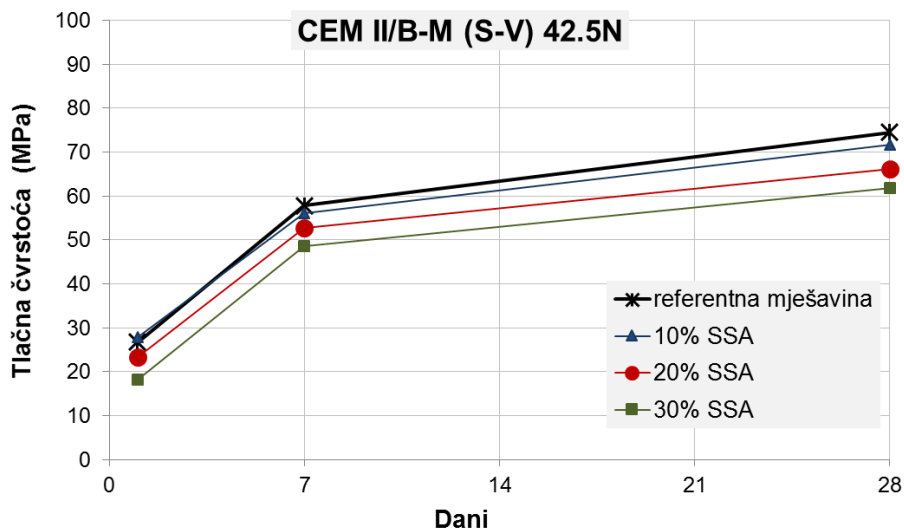


Ispitivanja na mortu u očvrsnulom stanju – mehaničke karakteristike



Pepeo iz mulja s UPOV-a Karlovac

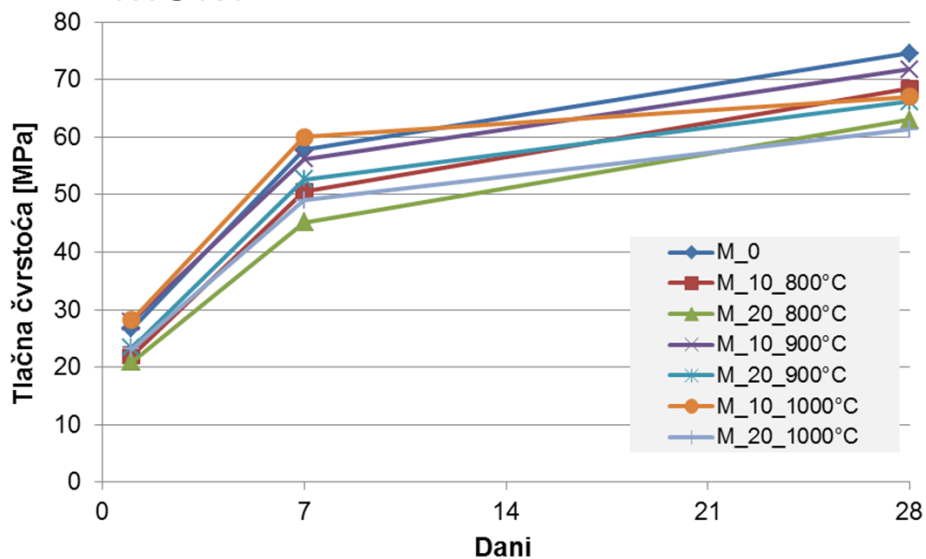
Ispitivanja na mortu u očvrnulom stanju – mehaničke karakteristike



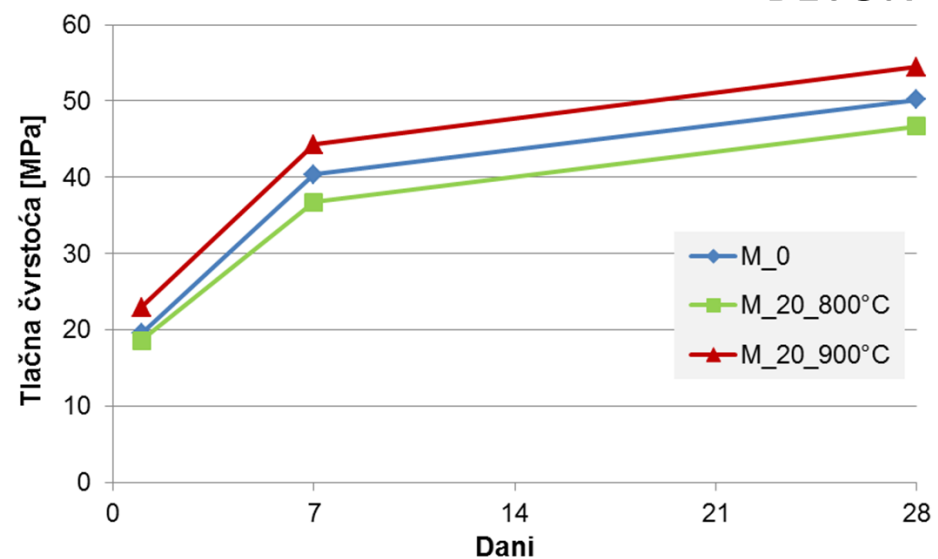
Pepeo iz mulja s UPOV-a Karlovac

Ispitivanja na mortu i betonu u očvrsnulom stanju – mehaničke karakteristike

MORT



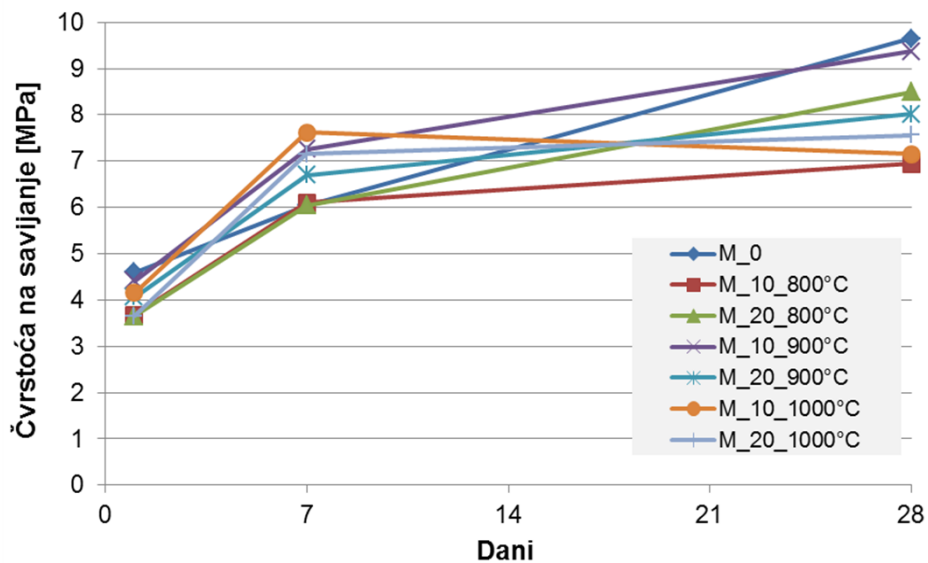
BETON



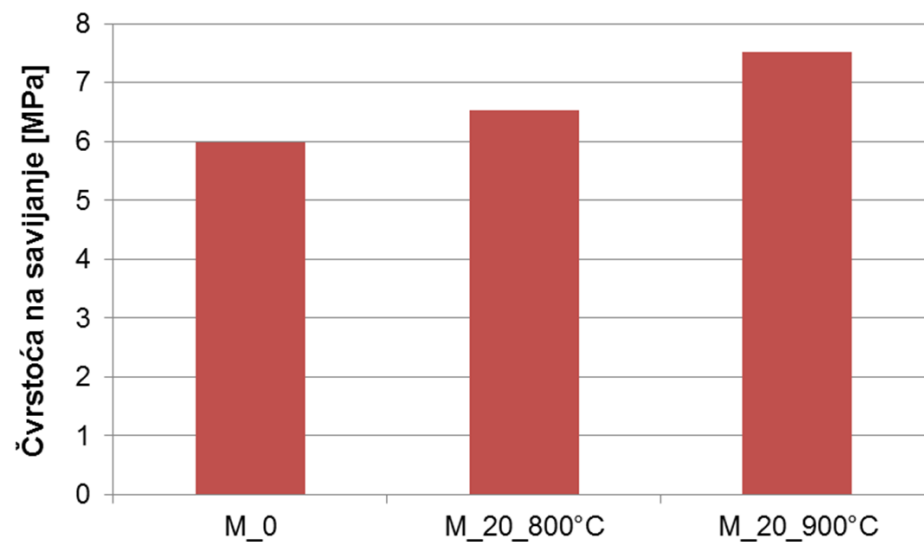
Pepeo iz mulja s UPOV-a Zagreb

Ispitivanja na mortu i betonu u očvrsnulom stanju – mehaničke karakteristike

MORT



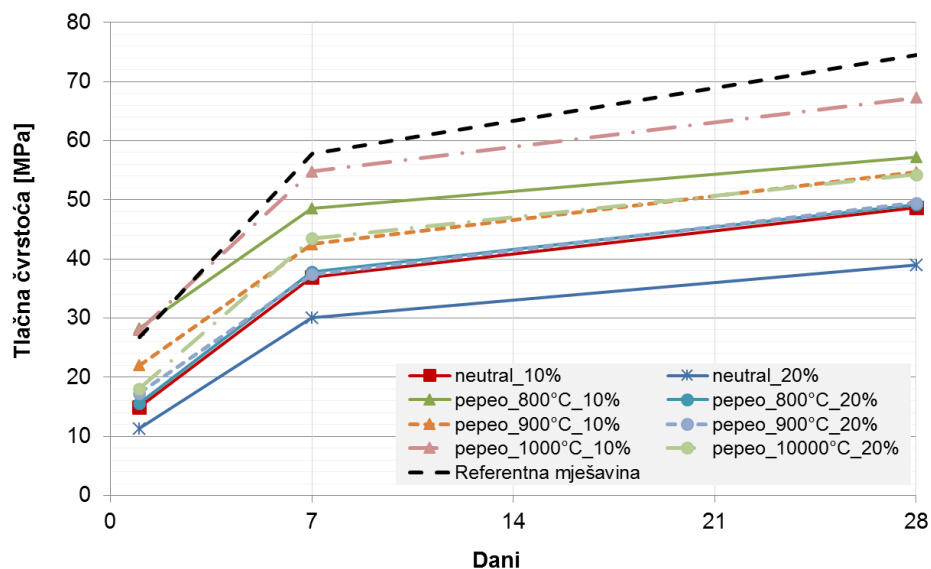
BETON



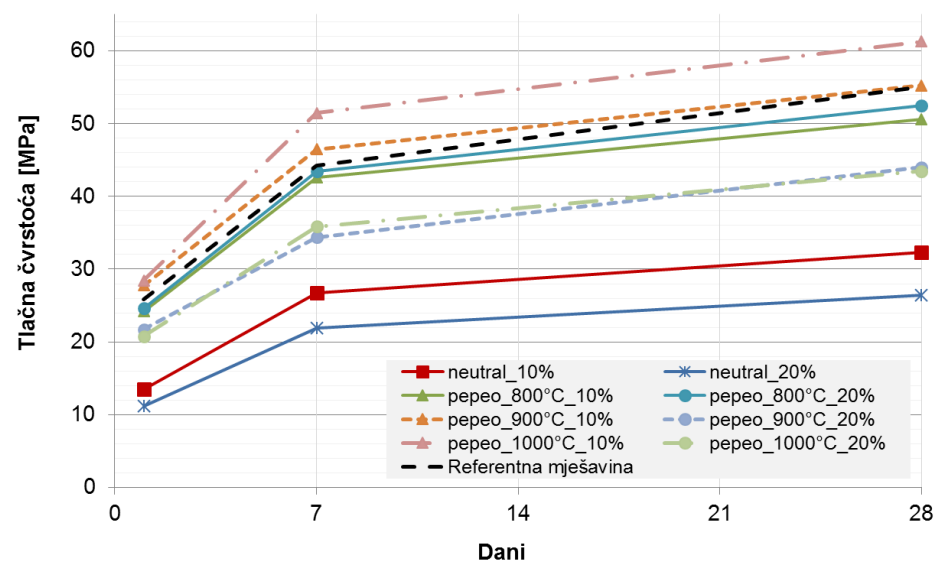
Pepeo iz mulja s UPOV-a Zagreb

Ispitivanja na mortu i betonu u očvrsnulom stanju – mehaničke karakteristike

MORT

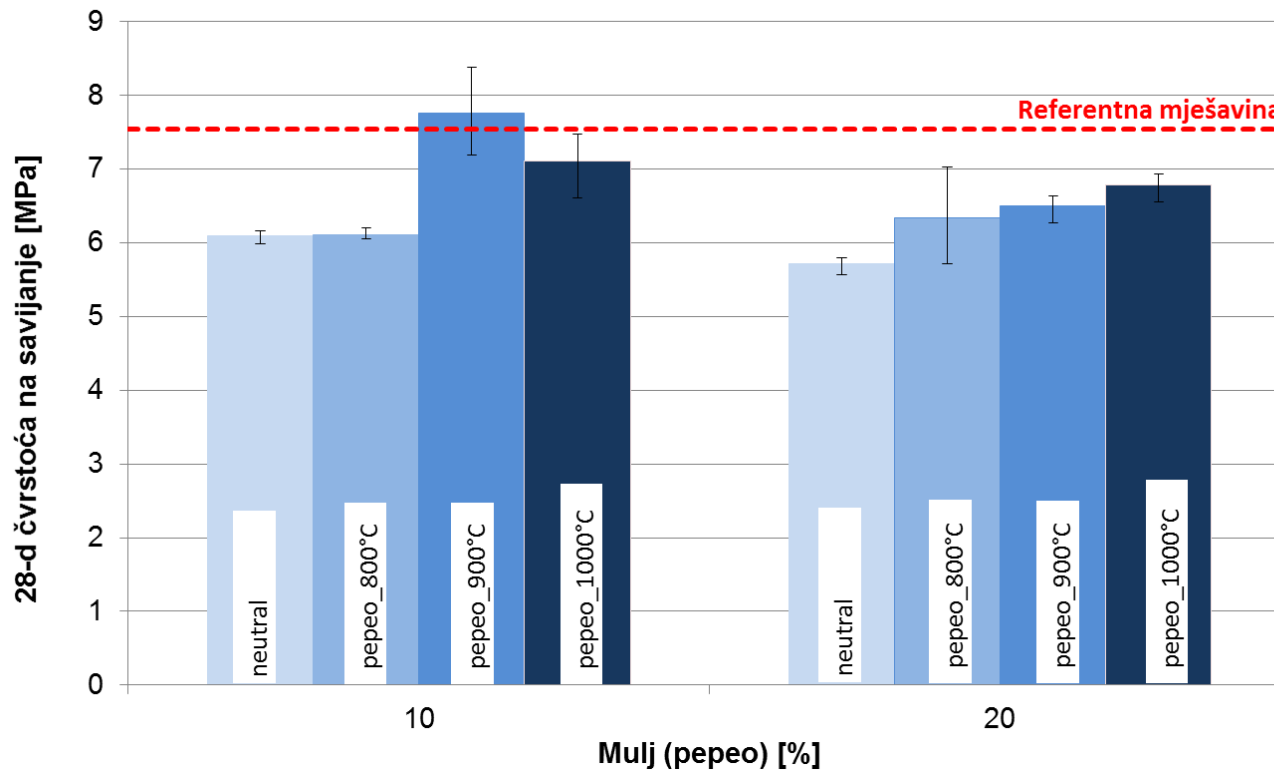


BETON



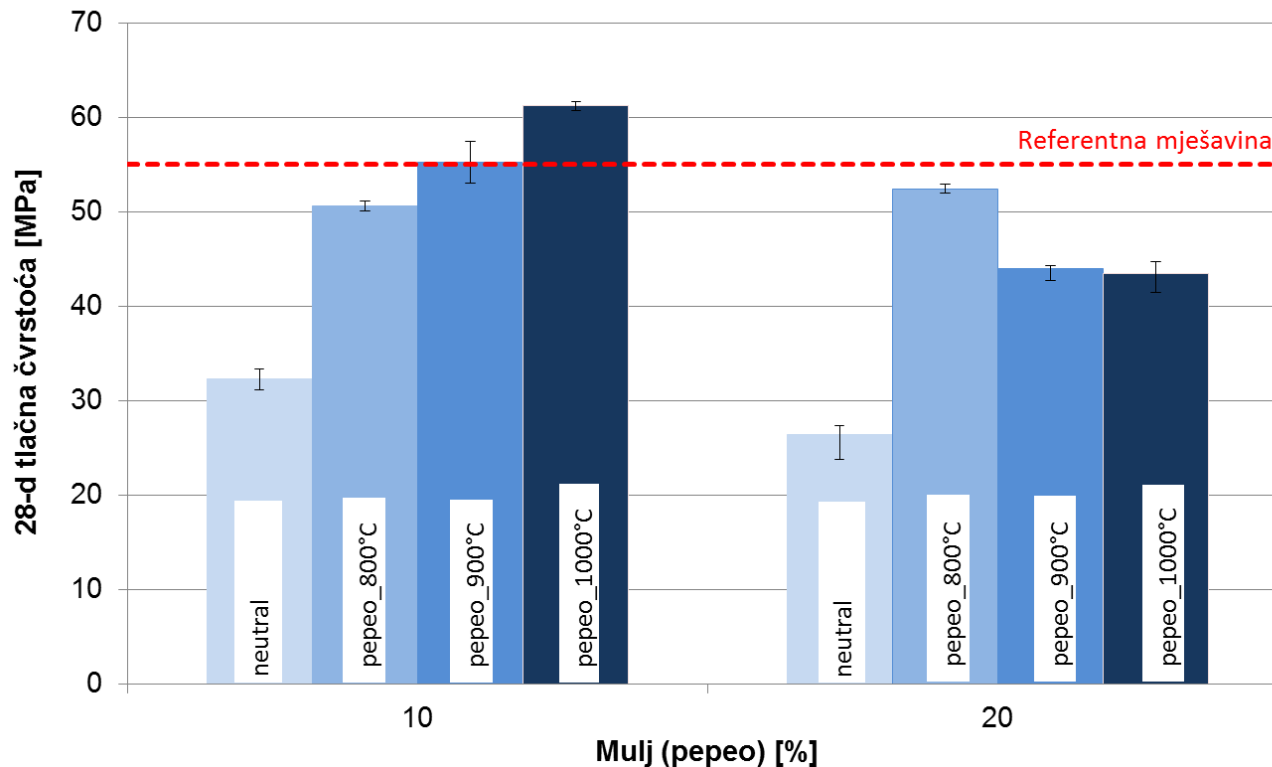
Pepeo iz mulja (i mulj) s UPOV-a Koprivnica

Ispitivanja na betonu u očvrnulom stanju – mehaničke karakteristike



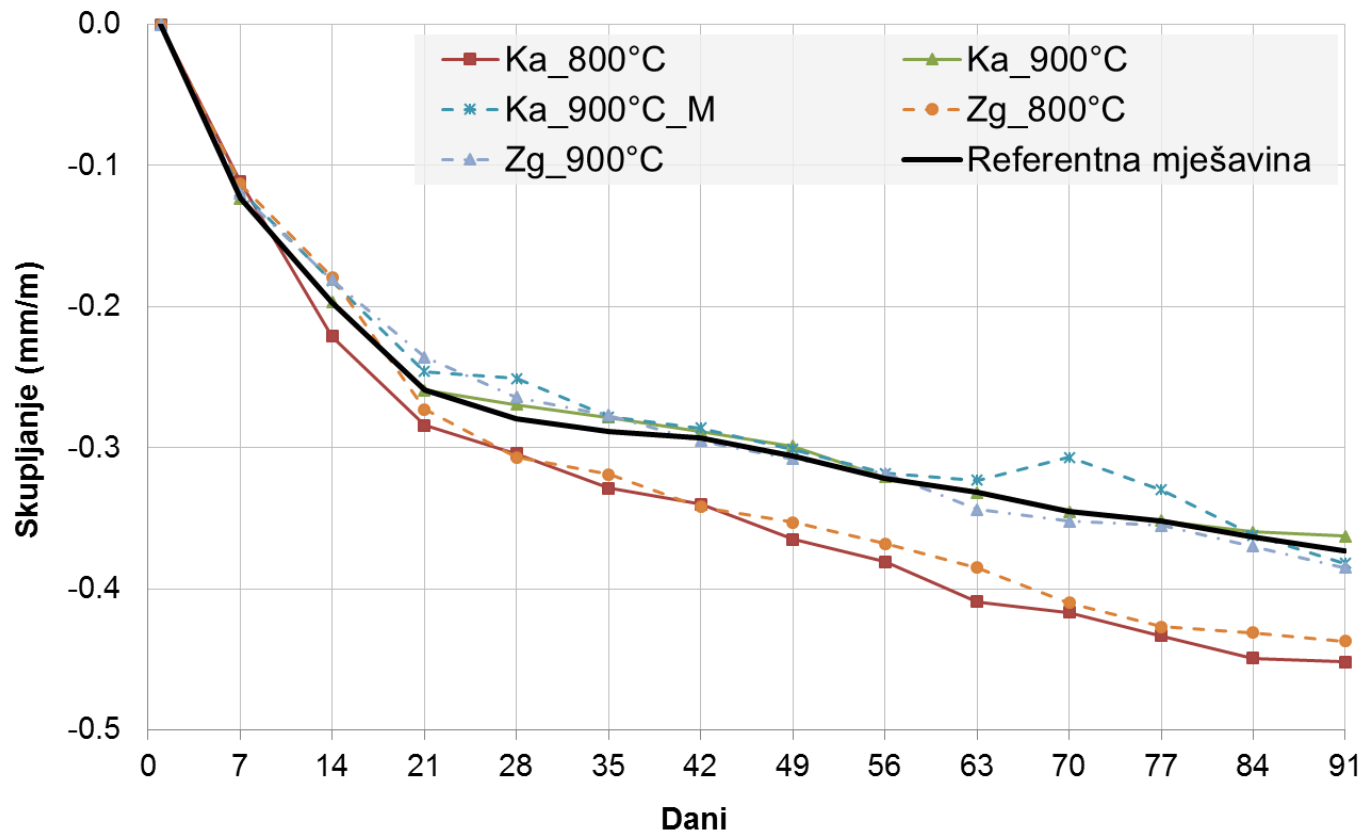
Pepeo iz mulja (i mulj) s UPOV-a Koprivnica

Ispitivanja na betonu u očvrnulom stanju – mehaničke karakteristike



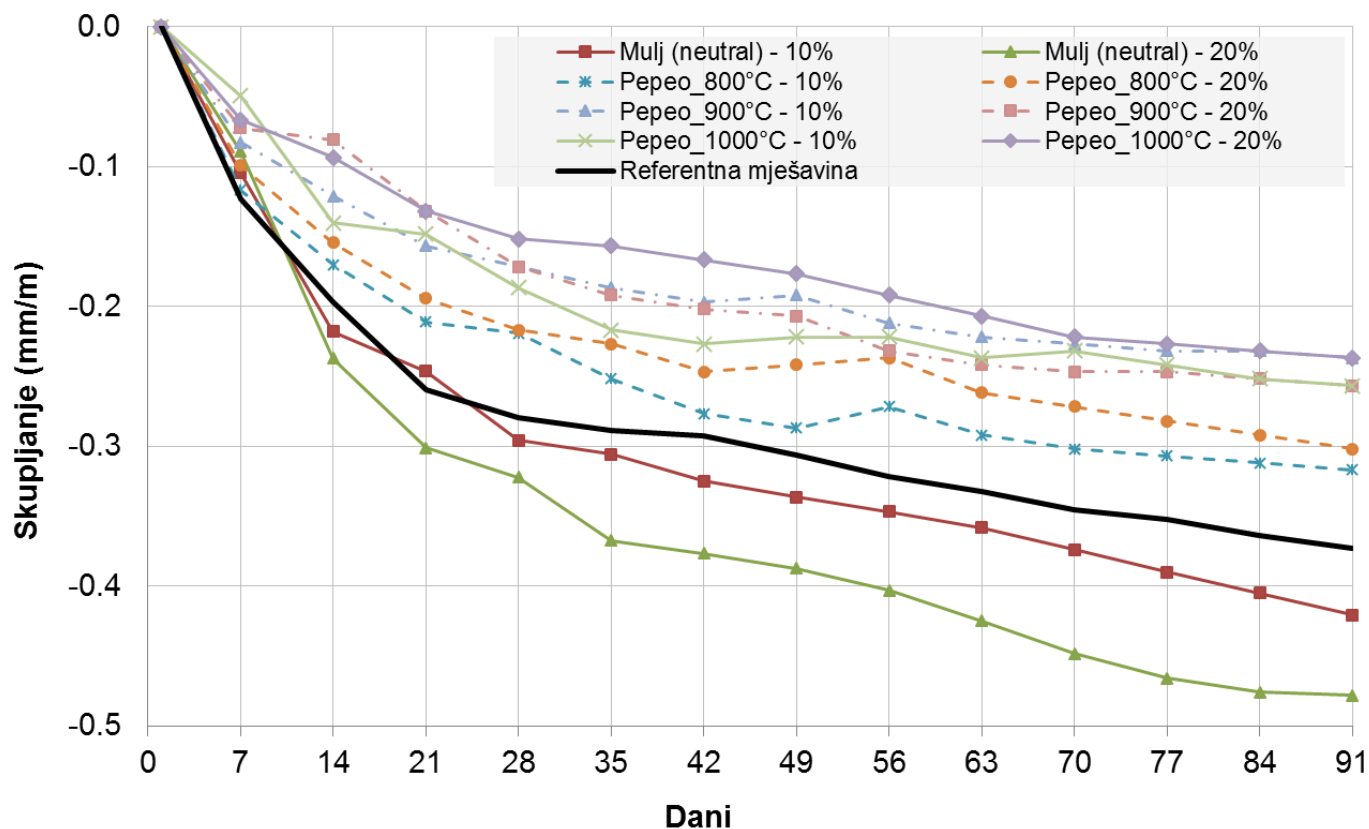
Pepeo iz mulja (i mulj) s UPOV-a Koprivnica

Ispitivanja na betonu u očvrsnulom stanju – skupljanje



20% pepela iz mulja s UPOV-a Karlovac i Zagreb

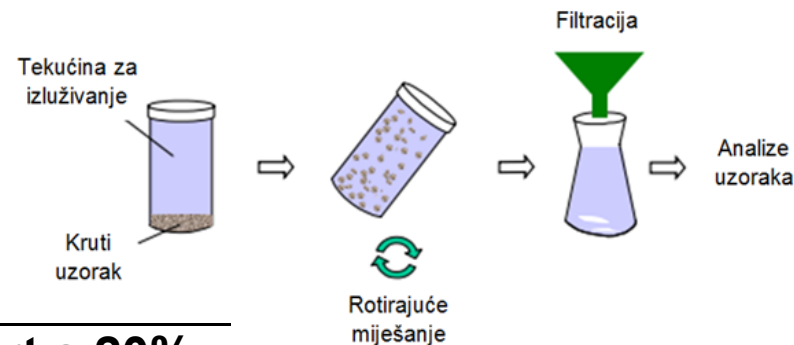
Ispitivanja na betonu u očvrsnulom stanju – skupljanje



Pepeo iz mulja (i mulj) s UPOV-a Koprivnica

Rezultati ispitivanja izluživanja iz pepela i krhotina morta s ugrađenim pepelom

Primjer: pepeo iz mulja s UPOV-a Zagreb dobiven pri 900°C

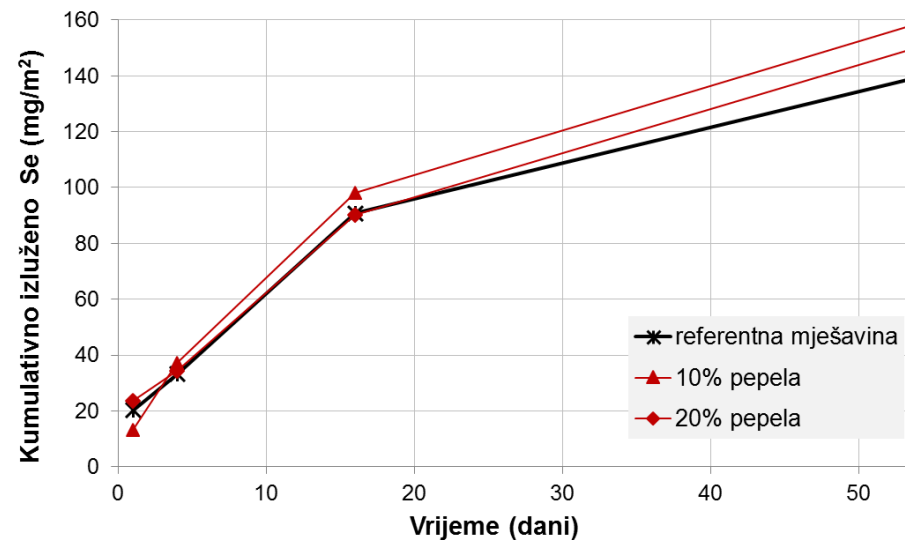
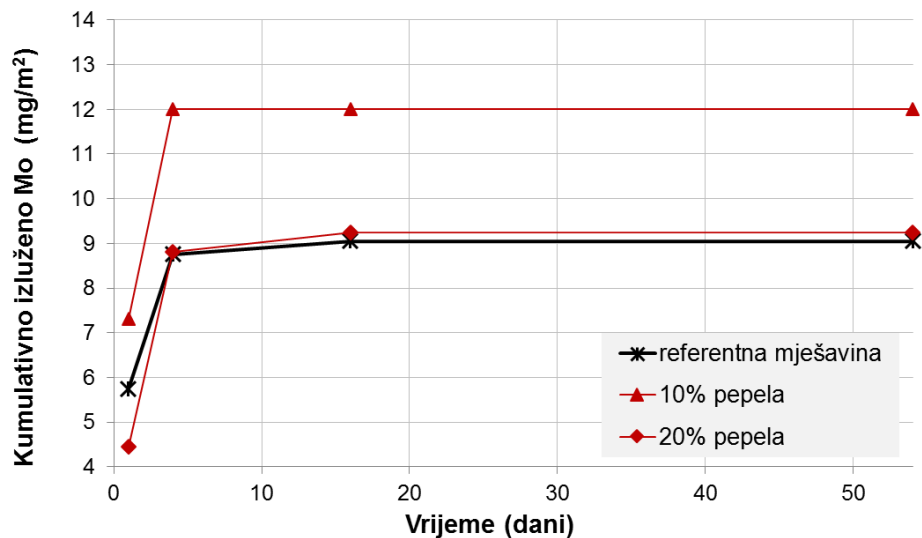


Parametar	Jedinica	Pepeo	Mort s 20% pepela
Cl ⁻	mg/L	220	12.7
F ⁻	mg/L	0.35	0.23
SO ₄ ²⁻	µg/L	11	17
Cr	µg/L	4.43	2.86
Se	µg/L	14.81	0.99
Mo	µg/L	114.28	4.80

Neopasan otpad

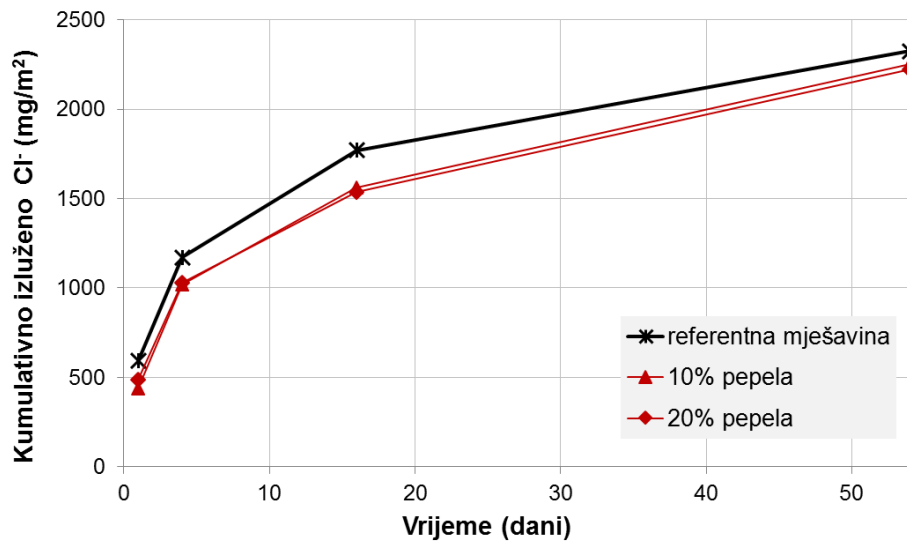
Inertan otpad

Rezultati ispitivanja izluživanja iz monolitnih uzoraka morta („tank leaching test“)



$L/A = 50 \text{ l/m}^2$

Rezultati ispitivanja izluživanja iz monolitnih uzoraka morta („tank leaching test“)



$$L/A = 50 \text{ l/m}^2$$

ZAKLJUČAK

Na temelju prikazanih rezultata ispitivanja na cementnom mortu i betonu, a promatrajući **tehničke i okolišne zahtjeve**, zbrinjavanje pepela dobivenog spaljivanjem mulja s UPOV-a u betonskoj industriji čini se mogućim i opravdanim rješenjem

Daljnja istraživanja...

- Pilot projekt u suradnji s BETON – LUČKO d.o.o.
- 10-20% cementa zamijenit će se pepelom iz mulja s UPOV-a Zagreb
- Proizvodnja betonskih elemenata korištenih u području hidrotehnike (oblaganje korita vodotoka, odvodnja)



49x49x20
49x49x10



50x15x12



50x25x8

H v a l a n a p a ž n j i !