



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
SUBOTICA



YU ISSN 0352-6852

**ZBORNİK RADOVA  
GRAĐEVINSKOG FAKULTETA**

**16**



**E.III**

**SUBOTICA  
2007.**

**6**

# UTICAJ ELEKTROFILTERSKOG PEPELA NA KVALITET CEMENTNOG MALTERA

Dr Zoran Grdić, Mr Gordana Topličić-Ćurčić, Ana Stanković, Iva Despotović  
Građevinsko-arhitektonski fakultet, A. Medvedeva 14, 18000 Niš, SRB

UDK:691.55:662.613.11

*Rezime:* Svaka potencijalna upotreba elektrofilterskog pepela rezultira u tri glavne prednosti:

1. upotreba besplatnog sirovog materijala
2. uklanjanje prirodnih resursa
3. eliminacija otpada

Elektrofilterski pepeo je bogat nekim elementima i smesama (kao što su metali i soli) i zato ima potencijal da bude upotrebljen kao sirov materijal. Ispitivanja su obavljena na cementnom malteru sa dodatkom pepela kao veziva, a rezultati su prikazani grafički i tabelarno. Optimalnim učešćem od 10 % pepela u odnosu na masu cementa dobijaju se malteri zadovoljavajuće čvrstoće

*Ključne reči:* elektrofilterski pepeo, malter, čvrstoća pri pritisku

## 1. UVOD

Naučno istraživanje obrađeno u ovom radu odnosi se na pitanje da li dodavanje elektrofilterskog pepela cementnom malteru utiče na promenu njegovih čvrstoća na pritisak kao uslova kvaliteta.

Upotrebom elektrofilterskog pepela uklanjaju se problemi stvaranja industrijskog otpada, zagađenja čovekove sredine, uništavanja hiljade hektara obradive površine i istovremeno pruža mogućnost stvaranja novih, ekonomičnijih građevinskih materijala.

Ideja o upotrebi elektrofilterskog pepela postoji u svetu, gde se primenjuje uglavnom modifikovan različitim aditivima kako bi se poboljšala njegova svojstva kao veziva ili agregata u malterima i betonima. Takođe, postoji mogućnost i njegove fizičke ili termalne modifikacije koja se primenjuje u brojnim državama. U ovom radu korišćen je pepeo sa skladišta bez ikakvih promena njegovog hemijskog sastava da bi se razmotrila realna mogućnost njegove primene u praksi. Ispitivan je cementni malter gde je elektrofilterski pepeo korišćen kao vezivo.

## 2. EKSPERIMENT

### 2.1 METODA NAUČNOG ISTRAŽIVANJA

Dati problem proučavaće se *eksperimentalnom metodom*. Eksperiment se vrši u laboratoriji za građevinske materijale i predstavlja veštački eksperiment.

*Eksperiment* je plansko, organizovano i metodsko stvaranje realnih pojava čiji se tok želi proučavati. Pošto je konkretizovan predmet proučavanja, u sledećem tekstu će biti izložena organizacija i način izvođenja eksperimenta. U laboratoriji za građevinske materijale postoje svi potrebni aparati, uređaji, merni instrumenti, pribor i materijali za izvođenje eksperimenta.

Mehaničke čvrstoće maltera određuju se na 3 prizmatična uzorka veličine  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ .

Da bi se doneo zaključak o uticaju elektrofilterskog pepela na kvalitet cementnog maltera eksperimentalnim putem, prave se dve grupe prizmatičnih uzoraka za ispitivanje čvrstoće. Jedna grupa prizmatičnih uzoraka sačinjena je od cementnog maltera sa dodatkom elektrofilterskog pepela pri spravljanju. Drugu grupu čine prizme cementnog maltera bez ikakvih dodataka (razmere 1:3), koja predstavlja kontrolnu grupu (etalon). Mere se čvrstoće i jedne i druge grupe i na taj način se utvrđuje uticaj elektrofilterskog pepela. I jedna i druga grupa prizmi napravljene su i ispituju se u identičnim uslovima.

Važno je naglasiti da su sve prizme napravljene od malterskih smeša *standardne konzistencije*  $180 \pm 2 \text{ mm}$ . Standardna konzistencija meri se na potresnom stolu. Ako je mera rasprostiranja  $180 \pm 2 \text{ mm}$  znači da je odgovarajuća količina vode za standardnu konzistenciju. Ako je mera rasprostiranja veća ili manja, postupak se ponavlja sa korigovanim količinom vode do ispunjenja datog uslova.

*Malteri* predstavljaju veštačke kamene materijale koji se dobijaju kao rezultat očvršćavanja tzv. *malterskih smeša*-homogenizovanih mešavina sitnog agregata i vezivnih supatanci.

*Cementni malter* predstavlja mešavinu cementa peska i vode. Ispitivanje se vrši na cementnom malteru razmere 1:3, što znači  $m_c : m_p = 1 : 3$ . Voda se dodaje toliko da mera rasprostiranja malterske smeše merena na potresnom stolu iznosi  $180 \pm 2 \text{ mm}$ , tj. da malterska smeša bude standardne konzistencije. Potrebne količine materijala za  $1 \text{ m}^3$  cementnog maltera (Građevinski materijali-Mihailo Muravljev):

Materijal ( $\text{m}^3$ )	1:3
Cement	0.336
Pesak	1.008
Voda	0.350

Po ovoj recepturi se prave prizme etalona, s`tim što se količina vode menja da bi se dobila standardna konzistencija.

Na osnovu ovih količina mogu se dobiti potrebne mase za spravljenje prizmi etalona. Prizme se ispituju na 2,7 i 28 dana.

Potrebne mase materijala za  $1 m^3$  :

$$V_c \cdot \gamma_c + V_p \cdot \gamma_p + V_v \cdot \gamma_v = m_{c.m.}$$

$$\gamma_c = 1200 kg / m^3$$

$$\gamma_p = 1400 kg / m^3$$

$$\gamma_v = 1000 kg / m^3$$

$$0.336 \cdot 1200 + 1.008 \cdot 1400 + 0.350 \cdot 1000 = 2164.4 kg$$

$$403.2 + 1411.2 + 350 = 2164.4 kg$$

Na osnovu dobijenih masa za  $1 m^3$  mogu se izračunati potrebne mase materijala za jednu seriju od tri prizme:

$$V_{prizmi} = 0.04m \cdot 0.04m \cdot 0.16m \cdot 3_{kom.} = 0.768 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$V_{prizmi} : x = 1m^3 : m_c$$

$$x = V_{prizmi} \cdot m_c$$

Dobijene mase uvećane za 20% zbog rastura materijala:

$$m_c = 372.5g$$

$$m_v = 323.4g$$

$$m_p = 1303.8g$$

Malterska smeša se priprema mešanjem vode i cementa u mešalici za malter, konstruisane za spravljanje malih količina namenjenih za ispitivanje materijala u laboratoriji za građevinske materijale, prvom brzinom u trajanju od 30s. U sledećih 30s dodaje se pesak, a onda se nastavlja mešanje drugom brzinom 30s. 90s se prekida mešanje, nakon toga mešanjem drugom brzinom u trajanju od 60s završava se proces pripreme malterske smeše.

Prizme sa dodatkom elektrofilterskog pepela čine:

- prizme sa dodatkom 10% elektrofilterskog pepela od ukupne količine cementa,
- prizme sa dodatkom 20% elektrofilterskog pepela od ukupne količine cementa,

- prizme sa dodatkom 30% elektrofilterskog pepela od ukupne količine cementa,

Takođe se ispitivanje njihovih čvrstoća vrši na 2, 7, i 28 dana:

Elektrofilterski pepeo se dodaje procentualno u odnosu na količinu cementa i za toliko se smanjuje količina peska. Elektrofilterski pepeo se ručno promeša sa peskom i malterska smeša se priprema na isti način kao za etalon. Voda se dodaje tako da se dobije standardna konzistencija malterske smeše sa dodatkom elektrofilterskog pepela.

Pripremljena malterska smeša posle ispitivanja na potresnom stolu ugrađuje se u trodelni čelični kalup u dva sloja.

Svaki sloj se ugrađuje tako što kalup pričvršćen za potresni sto sa malterom pada slobodnim padom sa visine od 15mm, jednom u sekundi, ukupno 60 puta. Kada je ugrađivanje završeno višak maltera se ukloni, površina epruveta se zagladi i na kalup se stavi staklena pločica.

Uzorci se, ukoliko je cementni malter već dovoljno očvrstnuo, nakon  $24h \pm 15min$  od momenta izrade vade iz kalupa, a ako se oni ne mogu izvaditi iz kalupa bez oštećenja, vađenje se odlaže za narednih 24h. Uzorci cementnog maltera, nakon vađenja iz kalupa potapaju se u vodu temperature  $20^{\circ}C$ , pri čemu se voda mora menjati svakih 14 dana.

Čvrstoća pri savijanju se određuje ispitivanjem tri prizme pomoću Mihaelisove prese koja obezbeđuje konstantan prirast sile od 50N/s. Epruveta je opterećena koncentrisanom silom do sloma.

Pojedinačna čvrstoća pri savijanju određuje se prema obrascu:

$$f_{si} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2} [MPa]$$

Čvrstoća pri savijanju, kao aritmetička sredina tri rezultata ispitivanja, sračunava se prema obrascu:

$$f_{s,sr} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 f_{s,i} [MPa]$$

Čvrstoća pri pritisku se ispituje na polovinama epruveta dobijenim posle ispitivanja čvrstoće pri savijanju. Pojedinačna vrednost čvrstoće pri pritisku se izračunava po obrascu:

$$f_{pi} = \frac{F_i}{A} [MPa]$$

a srednja vrednost:

$$f_{p,sr} = \frac{1}{6} \cdot \sum_{i=1}^6 f_{p,i} [MPa]$$

gde je  $F$  sila sloma u N, a  $A$  površina na koju deluje sila ( $4 \times 4 = 16 \text{ cm}^2$ ).

Ako pojedinačne vrednosti čvrstoće pri savijanju i čvrstoće pri pritisku odstupaju za više od  $\pm 10\%$  od odgovarajuće srednje vrednosti ispitivanje se ponavlja.

## 2.2 MATERIJALI

Osim što se sve prizme prave i ispituju u identičnim uslovima i materijali od kojih se spravljaju su isti:

- cement PC 35M(S-Q) 42,5N
- agregat-prirodni rečni pesak "Moravac" krupnoće zrna od 0-2mm
- voda-pijaća voda
- elektrofilterski pepeo iz skladišta

Mineralni sastav elektrofilterskog pepela zavisi od prirode, starosti, upotrebljenog goriva, uglja, postignutih temperatura sagorevanja goriva i samog režima hlađenja. Elektrofilterski pepeli nastaju u zonama visokih temperatura (iznad  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) na kojima dolazi do omekšavanja pa čak i do topljenja nesagorelih mineralnih čestica, koje zatim dolaze u zonu relativno niske temperature (reda oko  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Usled ovakvog termičkog naprezanja elektrofilterski pepeli dobijaju staklastu strukturu pri čemu se zbog površinskih napona formiraju u obliku loptica ili fragmenete nepravilnog oblika. Osnovnu mineralnu tvorevinu u ovim pepelima čine staklaste materije i mulit uz manje učešće hematita, magnetita, getita, ugljene supstance.

Mikroskopska analiza pokazuje da su čestice elektrofilterskih pepela najčešće sfernog oblika (mogu biti i izdužena, zaobljena ili sasvim nepravilna) dimenzija 3 do 200 mikrona, specifične mase  $1.7 - 2.6 \text{ g / cm}^3$ .

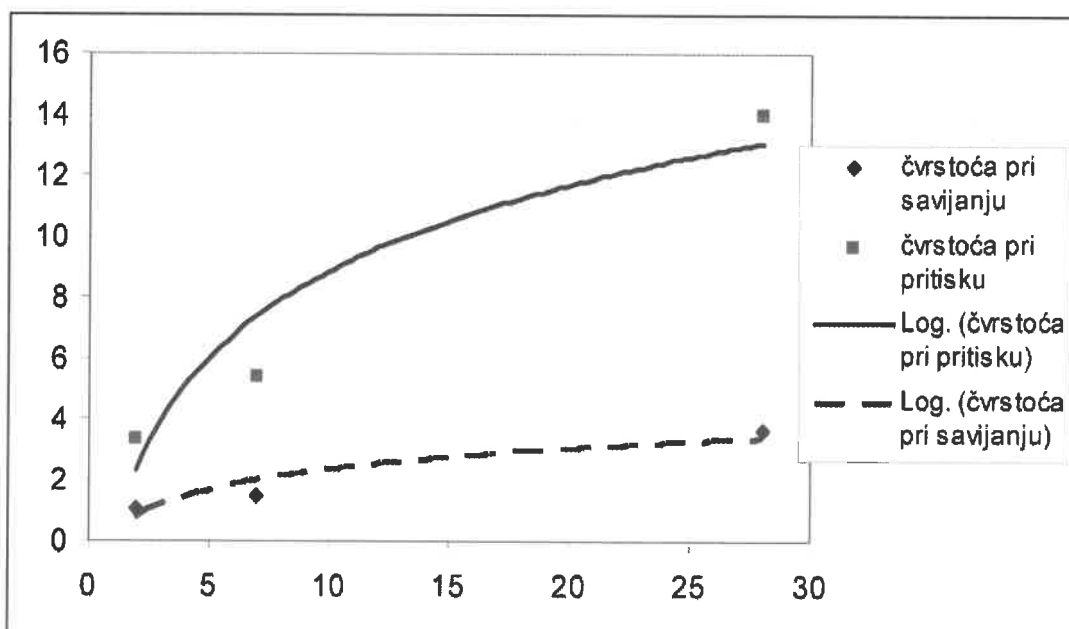
Osnovna karakteristika po kojoj se elektrofilterski pepeli izdvajaju od ostalih građevinskih materijala je njihova ekstremno niska zapreminska masa koja u rastresitom stanju iznosi nešto preko  $500 \text{ kg / m}^3$

Oksid	Procenat učešća
$\text{SiO}_2$	42-50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16-30
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3-10
$\text{CaO}$	2-4
$\text{MgO}$	0.5-9
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	4-7
$\text{SO}_3$	0-2
Gubitak žarenjem	promenljiv

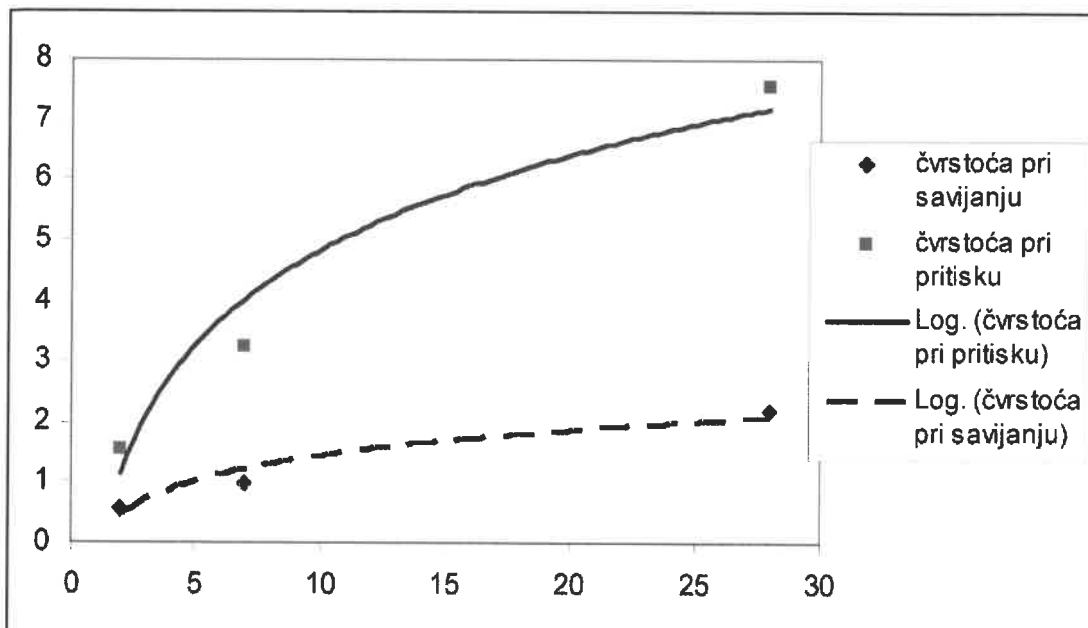
Tabela 1 Hemijski sastav elektrofilterskog pepela

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

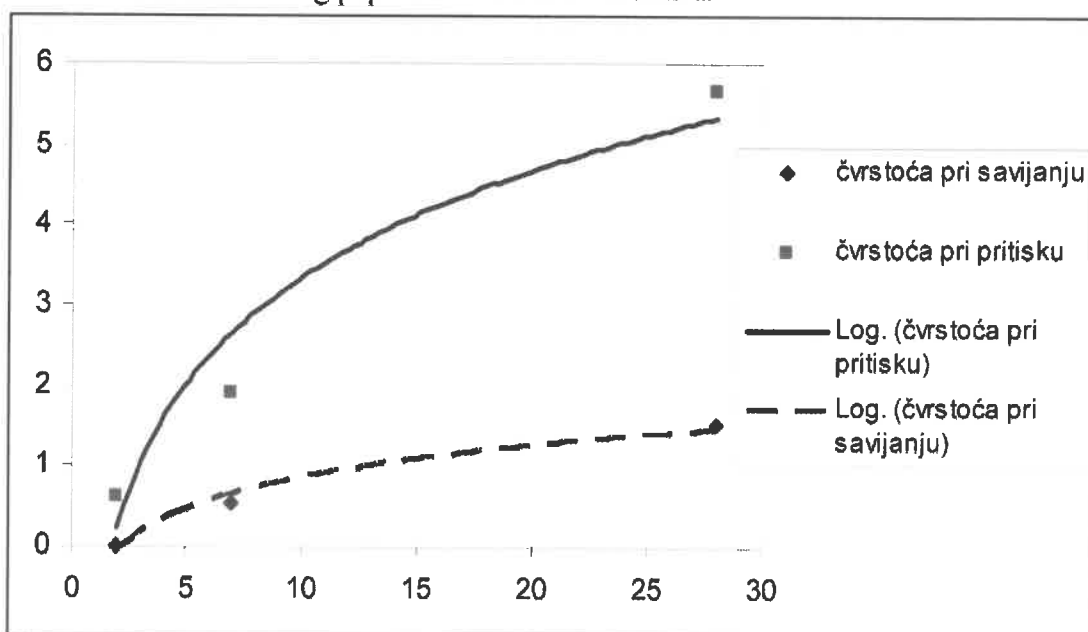
Vreme ispitivanja	Merene veličine	etalon	10% el.pepela	20% el.pepela	30% el pepela
2 dana	m(g)	548.44	538.61	526.1	500.6
	fs(MPa)	0.656	1.045	0.558	0
	fp(MPa)	2.207	3.346	1.548	0.621
7 dana	m(g)	553.29	545.64	497.11	511.76
	fs(MPa)	2.140	1.492	0.984	0.533
	fp(MPa)	8.145	5.416	3.220	1.916
28 dana	m(g)	560	532.6	526.08	527.23
	fs(MPa)	3.925	3.620	2.180	1.520
	fp(MPa)	15.615	14.000	7.540	5.670



Slika 1. Čvrstoće pri pritisku (savijanju) cementnog maltera sa dodatkom elektrofilterskog pepela 10% od mase cementa.

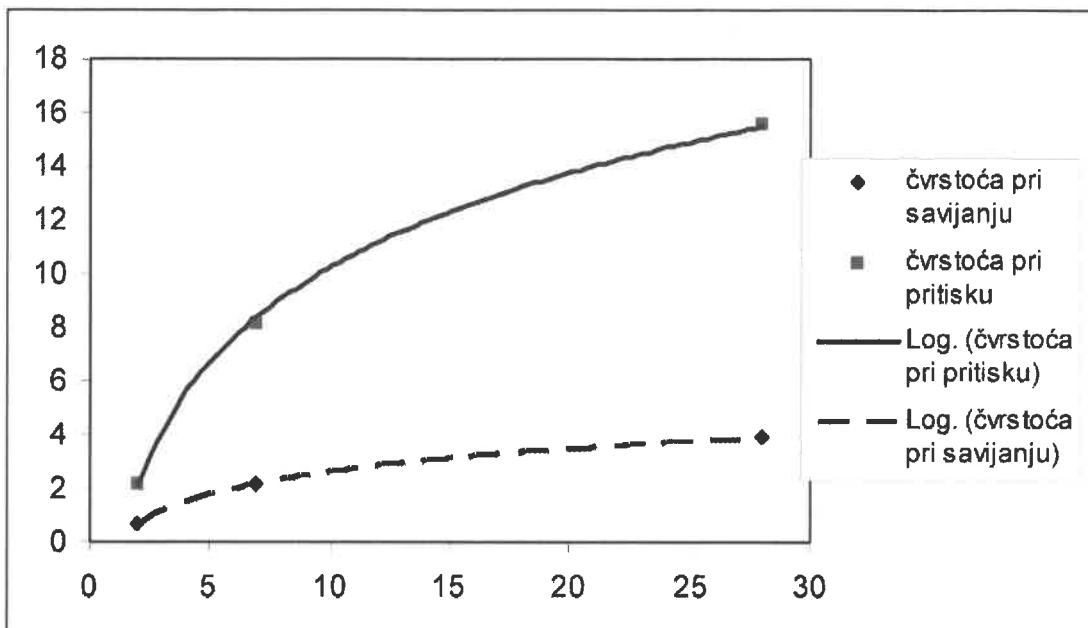


Slika 2. Čvrstoće pri pritisku (savijanju) cementnog maltera sa dodatkom elektrofilterskog pepela 20% od mase cementa.



Slika 3. Čvrstoće pri pritisku (savijanju) cementnog maltera sa dodatkom elektrofilterskog pepela 30% od mase cementa.





Slika 4. Čvrstoće pri pritisku (savijanju) cementnog maltera bez dodatka elektrofilterskog pepela

Analizom dobijenih rezultata dolazi se do zaključka da je optimalno učešće elektrofilterskog pepela kao veziva u cementnom malteru razmere 1:3 10% od mase cementa pri čemu se dobijaju malteri zadovoljavajućih čvrstoća. Zapažen je značajan porast čvrstoće pri ispitivanju uzoraka starosti dva dana u odnosu na etalon što znači da je elektrofilterski pepeo ubrzao hidrataciju cementa, dok se nakon 7 i 28 dana čvrstoće smanjuju ali se malter i kao takav može koristiti u građevinarstvu. Povećanjem procenta učešća elektrofilterskog pepela čvrstoće maltera toliko opadaju da on ne može imati neku praktičnu upotrebu.

#### 4. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati pokazuju da se dodavanjem elektrofilterskog pepela kao veziva cementnom malteru dobija malter primenljiv u praksi i na taj način postiže znatna ušteda u potrošnji cementa. Takođe, otvara se mogućnost daljih istraživanja u oblasti primene elektrofilterskog pepela u proizvodnji građevinskih prefabrikata. U slučaju rada sa čistim portland cementom (praksa u svetu) može se povećati procenat učešća pepela u malteru.

Dalja istraživanja treba usmeriti ka malterima sa istovremenim dodavanjem pepela i aditiva koji će uticati na osobine maltera.

#### LITERATURA

- [1] Petković D., Grdić Z., Topličić Ćurčić G., Mijalković M "Istraživanje mogućnosti primene elektrofilterskog pepela u proizvodnji građevinskih elemenata", Prvo savetovanje o deponijama pepela i šljake termoelektrana, Zbornik radova, Obrenovac, 24 – 25. 05. 005.
- [2] Zoran Grdić, Dušan Petković, Gordana Topličić Ćurčić, Biserka Marković "Analiza eksperimentalnih rezultata fizičkih i mehaničkih karakteristika maltera i betona modifikovanih elektrofilterskim pepelom", JUDIMK – XXIII kongres, Novi Sad 20. – 21. oktobar 2005.
- [3] Građevinski materijali, M. Muravljov, Građevinska knjiga, Beograd