

## **MOGUĆNOST PROIZVODNJE CEM I 52,5R U TVORNICI CEMENTA KAKANJ**

### **POSSIBILITY OF THE PRODUCTION OF CEMENT TYPE CEM I 52,5R IN CEMENTPLANT KAKANJ**

**Prof. dr. sc Ilhan Bušatlić**  
**Msc. Nadira Bušatlić dipl.ing**  
**Fakultet za metalurgiju i materijale**

**Msc. Nevzet Merdic dipl.ing**  
**Msc. Nedžad Haračić**  
**Kakanj cement plant**  
**Musić Amila, MA ing. hem.**

**Kategorizacija rada:** Originalni naučni rad

#### **SAŽETAK**

*U ovom radu se analizira mogućnost proizvodnje tipa cementa CEM I 52,5R u skladu za zahtjevima standarda EN 197-1. Prema tom standardu, CEM I 52,5R se sastoji od 95-100% klinkera i od 0-5% minornih komponenata. Kao minorne komponente, u ovom radu su korišteni granulirana troska visoke peći i leteći pepeo. Ove minorne komponente su se koristile da bi se uštedio sadržaj klinkera. Što je manji sadržaj klinkera u cementu, manji je sadržaj CO<sub>2</sub> u zraku. Takođe, ovaj rad sadrži rezultate ispitivanja kao što su specifična površina, hemijska analiza, savojna i pritisna čvrstoća.*

**Ključne riječi:** klinker, granulirana troska visoke peći, leteći pepeo, cement, hemijska analiza, pritisna čvrstoća

#### **ABSTRACT**

*This study is about possibility of the production of CEM I 52,5 in cementplant Kakanj satisfying some requirements for cement quality issued by EN 197-1. By EN 197-1, CEM I 52,5R consists of 95-100 % clinker and minor additional constituents of 0 - 5 %. Fly ash and granulated blast furnace slag are used as minor constituents in this study. The lower the clinker content in cement, the lower is CO<sub>2</sub> content in environment, These minor components are used to save clinker content. Specific surface, chemical analyses, tensile and compressive strength are done in this work also.*

**Keywords:** clinker, granulated blast furnace slag, fly ash, cement, chemical analyses, compressive strength

#### **1. UVOD**

Ova vrsta cementa spada u grupu CEM I prema EN 197-1. Prema ovom standardu, količina klinkera potrebna za ovu vrstu cementa se kreće od 95-100 %. Količina ostalih dodataka koji se mogu dodati klinkeru je od 0-5 %. Sporedni dodatni sastojci poboljšavaju fizičke osobine cementa nakon odgovarajuće pripreme i na bazi njihove raspodjele veličine čestica. Oni mogu da budu inertni ili da imaju blago hidraulična ili pucolanska svojstva. Oni ne smiju da povećavaju potrebu za vodom, niti da utiču na fizičko-hemijsku otpornost betona niti da smanjuju zaštitu armature od korozije. Naravno, dodatni sastojci utiču i na ekonomski benefit jer smanjuju učešće klinkera kao glavnog dodatka u ovoj vrsti cementa.

Zahtjevi EN 197-1 za ovu vrstu cementa u pogledu fizičko-mehaničkih osobina su dati u tabeli 1.

Tabela 1. Zahtjevi u pogledu fizičkih i mehaničkih osobina za CEM I 52,5R

Klasa čvrstoće	Čvrstoća pri pritisku MPa		Početak vezivanja (min)	Stalnost zapremine (ekspanzija) u mm
	Početna čvrstoća	Standardna čvrstoća		
	2 dana	28 dana		
52,5 R	≥ 30,0	≥ 52,5	≥ 45	≤ 10

### 1.1. Dodaci cementu

Kao što smo već rekli postoje materijali koji se koriste kao dodaci klinkeru pri proizvodnji cementa u fazi mljevenja, a koji imaju pucolanska svojstva kao i materijali koji imaju latentna hidraulička svojstva. Ovi fino mljeveni materijali se dodaju cementu kako bi se unaprijedile njegove karakteristike ili da bi se zamjenio dio klinkera. Tu grupu materijala čine elektrofilterski pepeli (leteći pepeo), troske visokih peći, silikatna prašina (mikrosilika), metakaolin, krečnjak itd. U ovom radu kao dodaci cementu su se koristili leteći pepeo iz termoelektrane i granulirana troska visoke peći [6].

Elektrofilterski pepeo (leteći pepeo), koji se dobija sagorijevanjem uglja u termoelektranama, može se koristiti kao zamjena za klinker i do 60 % po masi. Karakteristike elektrofilterskog pepela zavise od vrste uglja koji sagorijeva i režima sagorijevanja. Generalno, elektrofilterski pepeo sa većim dijelom silicijuma je pucolan, a ako preovladava kalcijum tada ima latentna hidraulična svojstva. Elektrofilterski pepeo se kao mineralni dodatak cementu koristi od 1930-ih i može se upotrijebiti kao zamjenski materijal u cementu u svrhu zaštite okoliša [6]. U tabeli 2 je dat prikaz osnovne podjele letećih pepela prema EN 197-1 i ASTM C618 [7].

Tabela 2. Elektrofilterski pepeli prema EN 197-1 i ASTM C618 [7]

	Niskokalcijski elektrofilterski pepeo	Visokokalcijski elektrofilterski pepeo
Porijeklo elektrofilterskog pepela	Bituminozni ugalj i antracit	Sub-bituminozni ugalj i lignit
Princip reakcije	Pucolanska	Pucolanska i hidraulična
Definicija prema EN 197-1	Silicijski elektrofilterski pepeo, oznaka V	Kalcijski elektrofilterski pepeo, oznaka W
Reaktivni CaO	< 10 %	≥ 10 %
Definicija prema ASTM C618	Klasa F	Klasa C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	≥ 70%	≥ 50 %

Granulirana troska visoke peći GTVP (GBS - granulated blastfurnace slag) proizvodi se iz rastopljene visokopećne troske, koja se dobija istovremeno sa gvoždem kao sporedni proizvod. Brzim hlađenjem sa vodom i zrakom formira se staklasti granulirani materijal sa latentnim-hidrauličnim svojstvima. Koristi se za cement, beton, malter, fug masu i agregate (usitnjen kamen određene krupnoće; npr: pijesak, šljunak). Pomenuta troska visokih peći koja nastaje kao nusprodukt u proizvodnji gvožđa može zamijeniti i do 80 % klinkera pri proizvodnji cementa. Rastopljena troska je nalik na prirodnu tečnu lavu. Ako očvrstne, granulirana visokopećna troska (GBS - granulated blastfurnace slag) postaje anorganski, staklasti materijal. Staklasta priroda je odgovorna za njena cementna svojstva. Četiri osnovne

komponente, predstavljene kao oksidi, su CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i MgO. Pored njih TiO<sub>2</sub> i MnO su također prisutni i utječu na latentno-hidraulična svojstva.

## 2. HEMIJSKA ANALIZA KONSTITUENATA

U tabeli 3 su date hemijske analize konstituenata (granulisana troska visoke peći i leteći pepeo) koji su se koristili u ovim ispitivanjima.

*Tabela 3. Hemijska analiza konstituenata*

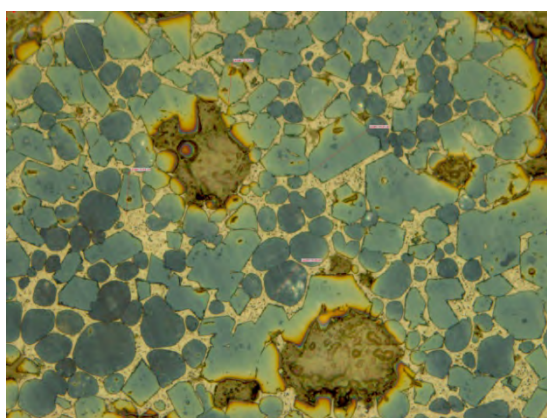
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Sl.CaO
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Klinker	21,22	5,64	3,13	65,13	1,37	0,89	0,18	0,31	0,42
Leteći pepeo	46,00	17,65	6,98	19,35	3,62	1,41	0,43	1,35	-
GTVP	0,45	0,39	0,20	52,07	0,41	0,73	0,08	0,14	-
Gips	4,10	1,27	0,40	33,23	3,12	44,09	0,08	0,14	-

Iz hemijske analize letećeg pepela vidimo da se radi o kalcijском pepelu jer ima visok sadržaj kalcijum-oksida koji iznosi 19,35 %. Zbog krečnjaka, koji se dodaje kao jedna od sirovina u visoku peć, sadržaj CaO u troski je je jako visok i u ovom slučaju iznosi 52,07 %.

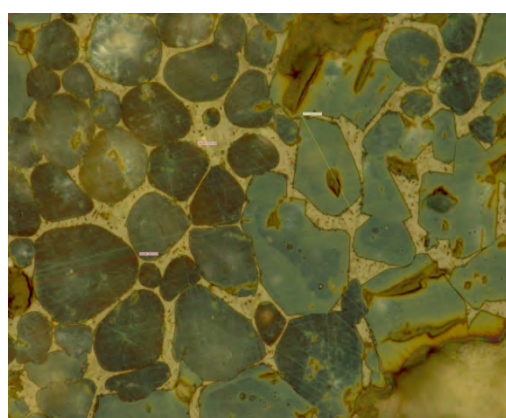
Klinker koji se koristio u ovim ispitivanjima je iz dnevne proizvodnje Tvornice cementa Kakanj, leteći pepeo je iz Termoelektrane Kakanj, GTVP iz Mittal-Steel Zenica, dok je gips iz Donjeg Vakufa. Pošto je klinker glavni sastojak kod ove vrste cementa, veoma važno je znati kakav mu je mineraloški sastav i reaktivnost. Njegov mineraloški sastav je dat u tabeli 4 i na slici 1 (a i b). Najbolje osobine reaktivnosti pokazuje klinker kod koga se veličina zrna alita kreće od 30-40 μm kod peći sa izmjenjivačima topline, a veličina zrna belita kreće u intervalu od 15-30 μm. Druga veoma bitna osobina reaktivnosti je ta da postoji veći odnos alita prema belitu i u ovom slučaju taj odnos iznosi 4,27. Opšte je poznata činjenica da je alit odgovoran za početne čvrstoće cementa, a belit za krajnje čvrstoće cementa.

*Tabela 4. Mineraloški sastav klinkera*

	Alit-C <sub>3</sub> S	Belit-C <sub>2</sub> S	Trikalcijaluminat-C <sub>3</sub> A	Tetrakalcijalumoforit-C <sub>4</sub> AF
	%	%	%	%
Klinker	61,50	14,40	9,60	9,50



a) Alit, belit – 200x



b) Alit, belit – 500x

*Slika 1. Mineraloški prikaz klinkera*

### 3. PRIPREMA UZORAKA

Za ova ispitivanja su pripremljena tri uzorka:

- uzorak klinkera i gipsa (čisti PC-U1),
- uzorak klinkera, letećeg pepela i gipsa (U2),
- uzorak klinkera, GTVP i gipsa (U3).

Nakon pripreme u laboratorijskom kugličnom mlinu svi uzorci su imali specifičnu površinu (Blaine) preko 4000 cm<sup>2</sup>/g. Ova specifična površina je potrebna da bi imali što bolju reaktivnost cementa, tj. da bi postigli početnu i standardnu čvrstoću cementa prema navedenom standardu. Vodocementni faktor (w/c) kod ispitivanja je 0,5. U tabeli 5 su dati podaci o masenim udjelima komponenata kao i specifične površine pripremljenih uzoraka cementa.

Tabela 5. Uzorci CEM I 52,5R

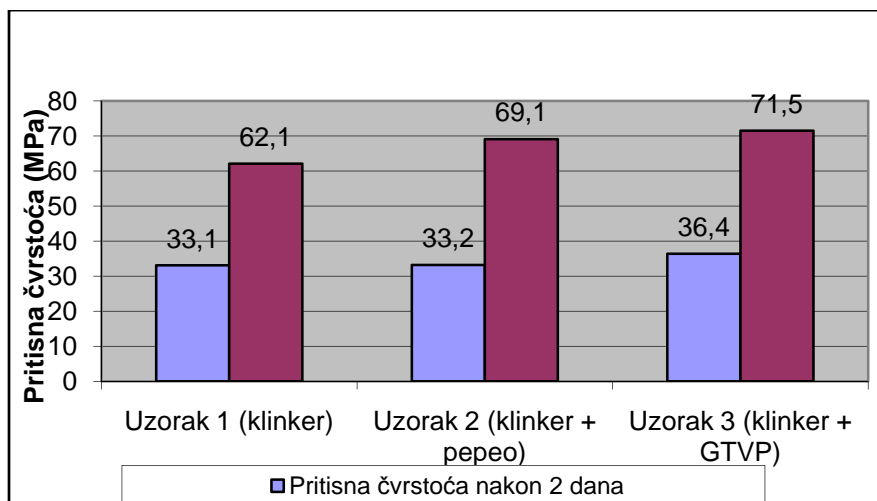
Uzorak	Klinker	Gips	Krečnjak	Pepeo	Blaine
	%	%	%	%	cm <sup>2</sup> /g
Uzorak 1 (klinker)	96	4	0	0	4370
Uzorak 2 (klinker + leteći pepeo)	92	4	4	0	4460
Uzorak 3 (klinker + GTVP)	92	4	0	4	4570

### 4. REZULTATI ISPITIVANJA

U tabeli 6 su dati rezultati ispitivanja mehaničkih osobina (pritisne i savojne čvrstoće) nakon 2 i 28 dana, kao i rezultati ispitivanja početka vezivanja za sva tri uzorka cementa, a dijagramski prikaz je dat na slici 2.

Tabela 6. Rezultati ispitivanja

Uzorak	Savojna čvrstoća		Pritisna čvrstoća		Početak vezivanja
	2 dana	28 dana	2 dana	28 dana	(minuta)
Uzorak 1 (klinker)	5,7	8,2	33,1	68,5	105
Uzorak 2 (klinker + leteći pepeo)	5,7	8,7	33,2	69,1	145
Uzorak 3 (klinker + GTVP)	5,9	9,4	36,4	71,5	115



Slika 2. Savojna i pritisna čvrstoća

#### 4. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima ispitivanja uzoraka koji su samljeveni na datu specifičnu površinu, može se zaključiti da sva tri uzorka zadovoljavaju zahtjeve standarda (pritisna čvrstoća nakon 2 i 28 dana). Prema tabeli 6, nešto veće rezultate pritisne čvrstoće pokazuje uzorak 3, a što se može zahvaliti neznatno većoj specifičnoj površini ali i veoma dobroj pucolanskoj aktivnosti granulirane troske visoke peći. Takođe, početak vremena vezivanja je najbrži kod čistog PC, dok se kod ostala dva uzorka to vrijeme produžava zbog korištenih dodataka. Međutim, najveći doprinos razvoju čvrstoća daje klinker koji ima veoma izraženu reaktivnost. Najveći uticaj na reaktivnost klinkera daju alit i belit (sadržaj, veličina i modifikacija), koji su odgovorni kako za početnu, tako i za krajnju čvrstoću. Prema rezultatima ispitivanja, a poštujući EN 197-1, ova klasa cementa se može proizvoditi u Tvornici cementa Kakanj.

#### 5. LITERATURA

- [1]. A. Đureković, Cement, cementni kompozit i dodaci za beton, Institut građevinarstva Hrvatske i Školska knjiga, Zagreb, 1996.
- [2]. Donald H. Campbell, Microscopical examination and interpretation of portland cement clinker, Portland cement association, second edition, 1999.
- [3]. Brookbranks, P., Properties of fresh concrete, Performance of limestone-filled cements, Watford, England, 1993
- [4]. Ghosh, S., K., Portland cement phases: Polymorphism, solid solution, defect structure and hydraulicity, Advances in cement technology, ed. S.K. Ghosh, Pergamon press, New York, 1983.
- [5] Insley, H., Structural characteristics of some constituents of portland cement clinker, Journal of research of the national bureau of standards, Vol. 17, Research paper RP917, Washington, D.C., September 1936.
- [6] Bušatlić Ilhan, Dodaci cementu, Hijatus, Zenica 2013.
- [7] Heidelberg Technology Center, Fly ash in composite cement, Material Technology letter 02/2008.