

## **UTJECAJ DODATKA UGLJENA RMU „KAKANJ“ NA SVOJSTVA OPEKARSKE GLINE „RAPAJLO“**

### **EFFECT OF ADDITION OF COAL FROM COAL MINE “KAKANJ” ON PROPERTIES OF BRICK CLAY “RAPAJLO”**

**Marina JOVANOVIĆ, Adnan MUJKANOVIĆ,  
Mirsada RIZVANOVIĆ, Merima BRKIĆ  
Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, FBiH**

**Kategorizacija rada:** Stručni rad

#### **SAŽETAK**

*Ugljena prašina se dodaje opekarskim glinama uglavnom radi uštede energije i povećanja poroznosti. U radu je ispitivan utjecaj dodatka ugljena iz RMU „Kakanj“, u količini od 10% i 20% na značajne fizičke i tehnološke osobine opekarske gline „Rapajlo“. Ispitivan je utjecaj ugljena na plastičnost gline, te na osobine osušenih i pečenih uzoraka. Ugljen smanjuje plastičnost gline i osjetljivost gline na sušenje, dok pečenim proizvodima povećava poroznost, brzinu upijanja vode i upijanje vode.*

**Ključne riječi:** opekarska glina, ugljen, fizičke i tehnološke osobine gline

#### **ABSTRACT**

*A coal dust is added to brick clay mainly to save energy and increase porosity. This paper examines the influence of coal from Coal mine "Kakanj", in the amount of 10% and 20%, on some physical and technological properties of brick clay "Rapajlo". The impact of coal on the plasticity of clay, and the characteristics of dried and fired samples was investigated. The coal reduces the plasticity of clay and its sensitivity to drying, and increases the porosity, rate of water absorption and water absorption of fired products.*

**Keywords:** brick clay, coal, physical and technological properties of clay

#### **1. UVOD**

Glinene opeke se iz pogodnih glina, nakon adekvatne pripreme, prave ekstruzijom glinenog tijesta u gredu određenog profila koja se siječe u jedinice željenih dimenzija, koje se zatim suše i konačno peku na 750°C do 950°C. Suvremena tehnika građenja još uvijek koristi velike količine glinenih opeka. Zbog smanjenja troškova grijanja stambenih i industrijskih objekata, a samim tim uštede energije i smanjenja zagađenja okoliša, cilj je postići što veću termičku izolaciju ovih objekata. Jedan od načina je smanjenje toplinske provodnosti građevinskih elemenata. Kod glinenih opeka se to postiže povećanjem udjela šupljina i povećanjem poroznosti stijenki opeke. Za povećanje poroznosti glinama se prije oblikovanja dodaju najčešće razni organski dodaci koji pri procesu pečenja sagorijevaju i ostavljaju male šupljine u tijelu opeke, te na taj način povećavaju poroznost i smanjuju težinu gotovog proizvoda dajući materijal s boljom toplinskom i zvučnom izolacijom. Donedavno je za te potrebe

najčešće korištena drvena piljevina, međutim s početkom korištenja piljevine za pravljenje briketa za loženje došlo je do nestašice ovog materijala na tržištu.

Jedan od organskih dodataka je i ugljen, koji pored navedene funkcije povećanja poroznosti ima i drugih prednosti kao što su smanjenje utroška osnovnog energenta, jer ugljen pri svom sagorijevanju oslobađa znatnu količinu topline, zatim smanjenje vremena pečenja opeka, bolja raspodjela topline u peći, te ujednačenije pečen proizvod. Primjenu ugljena kao dodatka glinama pri proizvodnji opeka prvi je patentirao James Wood 1836. godine [1,2,3,4,6]. Budući da ugljen pri sagorijevanju oslobađa znatno veću energiju od drugih dodataka, ograničena je količina dodavanja ugljena, a time i poroznost koja se može postići [5].

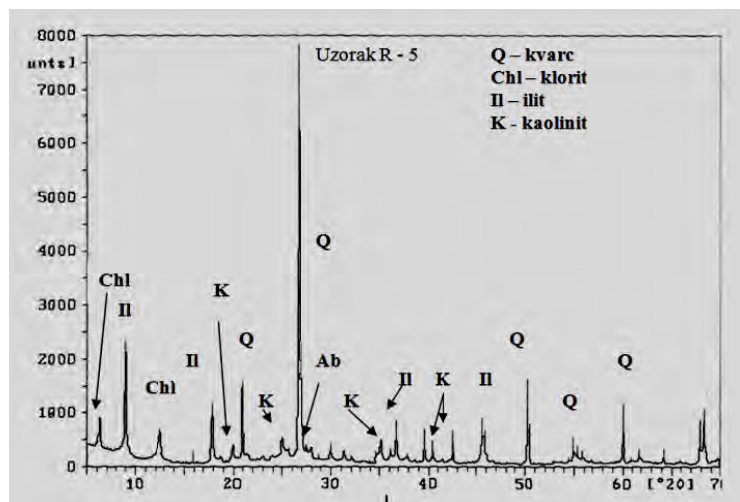
Cilj ovog rada je da se utvrdi na koji način dodatak ugljene prašine od 10%, odnosno 20% utječe na značajne fizičke i tehnološke osobine: plastičnost glinene mase, njeno ponašanje pri sušenju i pečenju, te upijanje vode, poroznost i gustoću pečenih proizvoda. U eksperimentalnom programu ispitani su uzorci gline sa većim dodatkom ugljena nego što je to uobičajeno, iz prostog razloga da se utvrdi postoje li štetni utjecaji dodatka ugljena koji se manifestiraju pri ovakvim povećanim udjelima.

## 2. EKSPERIMENTALNI DIO

Ležište gline „Rapajlo“ nalazi se u Gladnom Polju (Rakovica) sjeverno od doline potoka Rakovica. Od Sarajeva je udaljeno oko 18 km. U blizini ležišta nalazi se magistralni put Sarajevo – Kiseljak. Glina sa ovog ležišta se koristi za proizvodnju elemenata za zidanje. Kemijski sastav uzorka odležane gline je prikazan u tablici 1, a rendgenska difrakciona analiza istog uzorka na slici 1 [7].

**Tablica 1.** Kemijska analiza uzorka gline „Rapajlo“

Komponenta	Kemijski sastav (mas%)
SiO <sub>2</sub>	61,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,95
CaO	2,11
MgO	1,98
K <sub>2</sub> O	1,95
Na <sub>2</sub> O	0,25
SO <sub>3</sub>	0,14
G. ž.	5,98



**Slika 1.** Rendgenska difrakciona analiza uzorka gline „Rapajlo“

Ispitivan je utjecaj dodatka ugljena iz Rudnika mrkog uglja „Kakanj“ na osobine opekarske gline „Rapajlo“. Za ispitivanje su pripravljene tri smjese: prva je referentna smjesa od same gline, druga smjesa je glina s dodatkom ugljena u količini od 10 mas% i treća s dodatkom ugljena u količini od 20 mas%. Uzorci gline i ugljena su osušeni u laboratorijskoj sušnici na temperaturi  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  do konstantne mase, poslije čega su ručno usitnjeni i prosijani kroz sito veličine otvora 1,18 mm.

### **Plastičnost**

Plastičnost glinenih smjesa je određena pomoću Pfefferkornovog uređaja (slika 2). Od glinenih smjesa različite relativne vlažnosti prave se valjci visine 40 mm i promjera 33 mm i sabijaju na Pfefferkornovom uređaju na kojem se očita visina valjka nakon sabijanja. Za dobijene vrijednosti se crta dijagram, gdje se na apscisu nanose vrijednosti za vlažnost, a na ordinatu visine nakon sabijanja. Kao koeficijent plastičnosti uzima se relativna vlažnost koja se očita s dijagrama za visinu sabijenog valjka od 12,1 mm. Na osnovu vrijednosti koeficijenta plastičnosti određuje se plastičnost gline iz tablice 2 [8].

**Tablica 2. Kriterij plastičnosti glina za vrijednosti koeficijenata plastičnosti**

Vrijednosti koeficijenata plastičnosti	Kriterij plastičnosti gline
13,8 – 16,7	Slabo plastične
16,7 – 20,0	Umjereno plastične
20,0 – 23,1	Dobro plastične
23,1 – 28,6	Visoko plastične

### **Ponašanje pri sušenju i pečenju**

Za ispitivanje ponašanja glinenih smjesa pri sušenju i pečenju ručno su pravljene pločice dimenzija 80x40x14 mm na koje su ucrtavane dijagonale i pomoću čeličnog kružnog kalupa na njih nanosene reperne točke preko kojih se prati skupljanje. Izgled kalupa za pravljenje pločica prikazan je na slici 2 desno. Ponašanje glina pri sušenju i pečenju prati se preko linearnih promjena dimenzija dijagonala između repernih točaka i gubitka mase pločica pri sušenju, odnosno pri pečenju [9]. Napravljeno je ukupno 6 pločica, po dvije za svaku vrstu smjese.

Gubitak mase se računa sljedećim izrazom:

$$\Delta G = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 (\%)$$

gdje je:

$m_1$  - masa pločice prije termičkog tretmana (g)

$m_2$  - masa pločice poslije termičkog tretmana (g).

Linearna promjena dimenzija se računa sljedećim izrazom:

$$\Delta S = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100 (\%)$$

gdje je:

$d_1$  – duljina prije termičkog tretmana (mm)

$d_2$  – duljina poslije termičkog tretmana (mm).



*Slika 2. Pfefferkornov uređaj (lijevo) i kalup za pločice (desno)*

Režim pečenja glinenih pločica u laboratorijskoj peći dan je u tablici 3.

*Tablica 3. Režim pečenja glinenih pločica*

Temperatura (°C)	Vrijeme (min)
410	600
550	350
765	100
850	50
850	120

***Brzina upijanja vode***

Pečenim pločicama (slika 3) se pomičnim mjerilom izmjere duljine i širine da bi se mogle izračunati površine upijanja. Pločice se potapaju pljoštimice (najvećom površinom) u vodu sobne temperature do polovice svoje visine i drže jednu minutu. Poslije se pločice obrišu vlažnom krpom i važu. Iz razlike masa pločice prije i poslije potapanja odredi se količina upijene vode, koja podijeljena s površinom upijanja (duljina × širina) predstavlja brzinu upijanja vode, prema jednadžbi:

$$v = \frac{m}{P} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

gdje je:

m – masa upijene vode (kg)

P – površina pločice koja je bila uronjena u vodu (m<sup>2</sup>).

***Upijanje vode, prividna poroznost, prividna gustoća***

Za određivanje upijanja vode, prividne poroznosti i prividne gustoće pločice se prvo potope u vodu sobne temperature do polovice svoje širine 24 sata, nakon toga potpuno se prekriju vodom i drže naredna 24 sata. Vlažne pločice se važu na zraku i u vodi na hidrostatskoj vagi.

Upijanje vode računa se sljedećim izrazom:

$$U_V = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100(\%)$$

Prividna poroznost se računa sljedećim izrazom:

$$P_p = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} \cdot 100$$

Prividna (volumna) gustoća se računa sljedećim izrazom:

$$\gamma = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \gamma_v \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

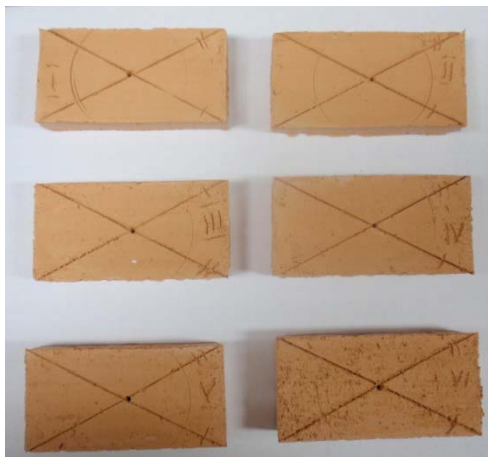
gdje je:

m<sub>1</sub> – masa suhog uzorka (g),

m<sub>2</sub> – masa uzorka zasićenog vodom na zraku (g),

m<sub>3</sub> – masa uzorka zasićenog vodom u vodi (g),

γ<sub>v</sub> – gustoća vode (γ<sub>v16°C</sub> = 0,9998968 g/cm<sup>3</sup>).



***Slika 3. Pločice nakon pečenja (lijevo) i potapanje pločica u vodi (desno)***

### 3. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja su prikazani u tablici 4.

*Tablica 4. Rezultati ispitivanja glinenih smjesa*

Karakteristika	Glinena smjesa		
	Glina bez ugljena	Glina s 10% ugljena	Glina s 20% ugljena
Koeficijent plastičnosti	23,2	21,8	21,1
Kriterij plastičnosti	Visoka plastičnost	Dobra plastičnost	Dobra plastičnost
Gubitak mase pri sušenju (%)	26,38	19,93	18,2
Skupljanje pri sušenju (%)	6,7	4,82	3,82
Gubitak mase pri pečenju (%)	7,32	11,54	16,16
Skupljanje pri pečenju (%)	0,33	0,49	0,69
Brzina upijanja vode (kg/m <sup>2</sup> )	0,79	1,09	1,85
Upijanje vode (%)	17,9	20,3	23,2
Prividna poroznost (%)	31,55	32,95	35,3
Prividna gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	1,76	1,62	1,52

Glina s ležišta „Rapajlo“ ima koeficijent plastičnosti 23,2 što je svrstava u gline visoke plastičnosti. Takve gline nisu poželjne za proizvodnju opekarskih proizvoda, jer za svoju obradu zahtijevaju veću količinu vode, koja pri procesu sušenja treba da ispari. Što više vode isparava pri sušenju to je veća mogućnost pojave pukotina u gotovom proizvodu i njegovo vitoperenje, a sam proces sušenja se mora voditi usporeno zbog čega se povećava potrošnja energije. Dodatak ugljena značajno smanjuje plastičnost gline, ali ne previše, jer je samo premješta u područje dobre plastičnosti, pogodne za opekarske gline. Tako ugljen u ovom slučaju igra ulogu opošćivača.

Pozitivan utjecaj ugljena na plastičnost se prenosi i na ponašanje gline pri sušenju. Naime, dodatak ugljena smanjuje i gubitak mase i skupljanje glinenih smjesa pri sušenju, što daje stabilnije proizvode, odnosno proizvode bez mnogo pukotina, a proces sušenja se može brže odvijati i time smanjiti potrebna količina energije za sušenje.

Gubitak mase kod pečenja glinenih smjesa se povećava s povećanjem dodatka ugljena, što je očekivano, jer pri zagrijavanju dolazi do sagorijevanja ugljena. Međutim povećanje gubitka mase je samo za 4,22% (kod dodatka od 10% ugljena), odnosno za 8,84% (kod dodatka od 20% ugljena), što ukazuje na veliku količinu pepela u ugljenu, odnosno da se radi o ugljenu lošije kvalitete. Skupljanje pri pečenju je malo i povećava se s povećanjem količine ugljena. Malo skupljanje je zbog sporog režima pečenja (preko 20 sati) koji simulira režim stvarnog pečenja u tunelskim pećima.

Brzina upijanja vode također raste s povećanjem sadržaja ugljena, ali se zadržava u granicama umjerene brzine upijanja [3].

S dodatkom ugljena se povećava poroznost proizvoda, kao i upijanje vode, a prividna gustoća se smanjuje. JUS B.D1.015 propisuje najmanje upijanje vode za šuplje blokove za zidanje od 8%, dok najveće upijanje nije propisano. Za fasadne šuplje blokove najmanje upijanje vode je 6%, a najveće 18%, prema JUS B.D1.014, što vodi zaključku da su ove smjese pogodne za proizvodnju šupljih blokova za zidanje, a nisu pogodne za fasadne šuplje blokove. Povećanje poroznosti od 2 do 5% je malo sa stajališta smanjenja toplinske provodnosti, što se vidi i iz prividne gustoće koja za opeke s olakšanom osnovnom masom prema JUS B.D1:017 iznosi od 0,8 do 1,0 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4. ZAKLJUČAK

Glinena smjesa sastavljena od gline sa lokaliteta „Rapajlo“ i ugljene prašine dobivene mljevenjem ugljena iz RMU „Kakanj“ ima smanjenu plastičnost i smanjeno skupljanje pri sušenju u odnosu na čistu glinu. Obje činjenice su povoljne sa tehnološkog aspekta proizvodnje opekarskih proizvoda, jer je zbog prevelike plastičnosti sama glina podložna deformacijama i stvaranju pukotina pri skupljanju u procesu sušenja. U odnosu na referentne uzorke od gline bez dodatka ugljene prašine, uzorci koji sadrže ugljenu prašinu imaju veći gubitak mase pri pečenju, a neznatno veće skupljanje, upijanje vode, brzinu upijanja vode i prividnu poroznost i manju prividnu gustoću. Kao povoljan efekat dodatka ugljena može se izdvojiti i činjenica da su sinterovani uzorci dobiveni iz smjese gline i ugljena značajno lakši od odnosu na uzorke dobivene iz gline. Ovi uzorci se dakle odlikuju većom poroznošću, što im daje nešto bolja termoizolaciona svojstva. Glini „Rapajlo“ se može dodati ugljen iz Rudnika mrkog uglja „Kakanj“ u količini od 20% bez ikakvog štetnog utjecaja na fizičke i tehnološke karakteristike i uz neznatno mijenjanje boje pečenih proizvoda. U radu nije ispitan utjecaj na čvrstoću proizvoda, pa bi daljnja ispitivanja trebala uzeti u obzir i ovu osobinu kod određivanja maksimalne količine ugljena koja se može dodati. Također nije razmatran energetski aspekt dodatka ugljena kod procesa pečenja.

#### 5. LITERATURA

- [1] <http://brickcollecting.com/history.htm> (02/2014.)
- [2] K. Junge, *Additives in the brick and tile industry*, ZI 12/2000., str. 25-39
- [3] H. Wijck, H. Marks, *Using additives to lower the firing temperature in the heavy clay ceramic industry*, ZI 6/2011.
- [4] F. Kristály, *The effects of vegetal pore-forming additives on the composition, microstructure and physical properties of clay bricks*, doctoral thesis, University of Miskolc, Faculty of Earth Science and Engineering, Miskolc 2012.
- [5] R. Niemann, *Perlite – a new mineral filler for the promotion of sintering in the ceramic industry*, ZI 7/91, str. 342-345
- [6] [www.iidfc.com/index.php?option=com\\_rubberdoc&view=doc...](http://www.iidfc.com/index.php?option=com_rubberdoc&view=doc...) (02/2014.)
- [7] A. Hamzabegović, *Utjecaj mineraloško-petrografskog sastava na fizičko-mehaničke karakteristike gline za opekarske proizvode*, doktorska disertacija, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Tuzla 2007.
- [8] P. Brzaković, *Priručnik za proizvodnju i primenu građevinskih materijala nemetaličnog porekla*, Knjiga 2, Orion Art, Beograd 2000.
- [9] M. Jovanović, *Strukturne i fazne promjene gline u toku procesa sinterovanja*, doktorska disertacija, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica 2009.
- [10] E. Koldžić, J. Duraković, M. Jovanović, A. Mujkanović, *Opeka od sirovine do gotovog proizvoda*, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica 2010.