

**IDENTIFIKACIJA KVALITETA PROCESA PRODUKCIJE  
KLINKERA U FC LUKAVAC**

**IDENTIFICATION OF THE QUALITY OF CLINKER PROCESS  
PRODUCTION IN FC LUKAVAC**

**Dr. sc. Zehrudin Osmanović, dipl. ing. tehnologije,  
Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet Tuzla  
Dina Pozderović, dipl. ing. tehnologije,  
DD FCL, Lukavac  
Emir Čilinković,  
Tehnološki fakultet Tuzla**

**REZIME**

*Odabir sirovinske smjese za formiranje sirovinskog brašna nužno je vezan za tehnike kvantitativne i kvalitativne analize. Izbor metode je u funkciji više parametara: fizičko-hemijskih karakteristika sirovinskih komponenti, fleksibilnosti proizvodnog sistema, tržišnih zahtjeva i dr. Za određivanje sastava sirovinskog brašna, korigirajućih komponenti i klinkera u radu su korištene instrumentalne tehnike (rendgenska difrakcijska i fluorescentna tehnika) i klasične matematske metode (Simpleks metoda). Na osnovu dobivenih eksperimentalnih rezultata iz egzistirajućeg procesa izvršit će se analiza kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika formirane sirovinske smjese i relevantnosti i pouzdanosti primijenjenih metoda.*

**Ključne riječi:** Cement, sirovinski materijal, Rendgenska fluorescentna analiza, Simpleks metoda

**ABSTRACT**

*The choice of raw materials for forming of raw meals is related for methods of qualitative and quantitative Analyses. The choose of methods are in function more parameters: physical, chemical characteristics of raw components, flexibility of production system, economical etc. Instrumental techniques (RDA and RFA) and classic mathematics methods (Simplex) were use for determination of raw meal composition, corrective components and clinker. Based of obtained experimental results from existing plant, it will be make analyse of qualitative and quantitative characteristics of formed raw mix and relevance and reliability of applied methods.*

**Key words:** Cement, Raw material, XRF, Simplex method

**1. UVOD**

U procesu produkcije cementa osim realizacije tehnološkog procesa bitnim se nameće i proces kvantitativne i kvalitativne analize sirovinske smjese, klinkera i cementa. Pored uobičajenih analitičkih kvantitativnih i kvalitativnih metoda (rendgenska difrakcijska i fluorescentna tehnika) pri analizi parametara kvaliteta procesa korištena je klasična matematska metoda (Simplex metoda) te njihov sinergizam pri inženjerskom odabiru kvantiteta i kvaliteta sirovinske smjese. U Fabrici cementa Lukavac za pripremu sirovinskog brašna za produkciju klinkera koriste se krečnjak, šljaka i pepeo. Reinženjeringom procesa,

odnosno povećanjem kapaciteta rotacione peći sa 800 t/dan na 1050 t/dan i problemom u snabdijevanju jednom od sirovina (pepeo) javljaju su novi momenti u tehnološkom postupku. Prije svega bitnim se nameće uvođenje korektivnih komponenti (pijesak, laporovita glina i dr.) što osim formiranja baze podataka elementarnog sastava korektivnih komponenti nameće i problem «ekonomije» samog procesa. Iz tih razloga sinergizam analitičkih i matematskih metoda pri inženjerskom odlučivanju daje mogućnost kvalitetnog upravljanja procesom.

## 2. METODE ANALIZE SIROVINSKE SMJESE

### 2.1. Simpleks metoda

Postoji više metoda rješavanja problema linearnog programira (LP) od kojih je najčešće u literaturi citirana Dantzigova odnosno simpleks metoda [1]. Za rješavanje problema nalaženja optimalnog sastava smjese za produkciju portland cementa formira se model na bazi zadatih ograničenja (kvaliteta, tehnološki sastav, maseni bilans i dr.) sa minimizacijom troškova sirovina kao funkcijom cilja. Kako se proračun mineraloškog sastava radi po Bogueu, uzima se da je ukupan zbir klinker minerala ( $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ ) kao i zbir glavnih oksida koji čine klinker ( $CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$ ) jednak 100%

#### 2.1.1. Ograničenje sistema u odnosu na udio konstituanata

Za  $m$  komponenti sirovinski sistem, gdje su  $x_i$  maseni udjeli konstituenata, zapisuje se sljedeća jednakost,

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1.$$

#### 2.1.2. Ograničenje kvaliteta

Da bi se postigla odgovarajuća kvaliteta cementa, može se zadati numerička vrijednost trikalcijum silikata i tetraalkalijum aluminata kao minerala koji presudno utiču na kvalitet cementa u granicama koje su preporučene za portland cement. U tom slučaju se u model uključuju bilans  $C_3S$  i bilans  $C_3A$ . Naravno, može se uključiti i bilans drugih minerala kao i kombinacija dva klinker minerala ukoliko je to potrebno da bi se okarakterisao traženi kvalitet cementa.

a) Bilans trikalcijevsilikata,  $3CaO \cdot SiO_2$ , ( $C_3S$ )

Bilansa  $C_3S$  izražava se kao,

$$C_3S_k = \sum x_i C_3S_i,$$

gdje je  $C_3S_i$  sadržaj  $C_3S$  u  $i$ -toj komponenti, a  $C_3S_k$  sadržaj  $C_3S$  u klinkeru. Ukoliko se predvidi da se  $C_3S$  klinkera može kretati u određenoj oblasti ( $C_3S_k, C_3S$ ) onda se u model linearnog programiranja uključuju dvije nejednačine:

$$\sum_{i=1}^m x_i C_3S_i \geq C_3S_{kd},$$

i

$$\sum_{i=1}^m x_i C_3S_i \leq C_3S_{kg},$$

gdje su  $C_3S_{kd}$  i  $C_3S_{kg}$  donja i gornja granica sadržaja trikalcijum silikata u klinkeru.

b) Bilans trikalcijevaluminata,  $3CaO \cdot Al_2O_3$ , odnosno  $C_3A$

Bilans  $C_3A$  se može zapisati :

$$C_3A_k = \sum_{i=1}^m C_3A_i,$$

gdje je  $C_3A_i$  sadržaj trikalcijum aluminata u i-toj komponenti, a  $C_3A_k$  sadržaj  $C_3A$  u klinkeru. Ukoliko se postavi gornja granica za sadržaj  $C_3A$  u klinkeru, onda se u model uključuje nejednačina,

$$\sum_{i=1}^m x_i C_3A_i \leq C_3S_{kg} .$$

### 2.1.3. Tehnološka ograničenja

U matematski model se mogu uključiti tehnološka ograničenja kao npr. ograničenje tipa maksimalnog prihvata dozirnih vaga za pojedine komponente. Kapacitet vaga može se prikazati i kao maksimalno dozvoljeni udio pojedine komponente u smjesi. Ukoliko sa  $O_1, O_2, O_3, O_4$  obilježe maksimalni udjeli pojedinih komponenata u smjesi koje određena vaga može da primi formiraju se još četiri nejednačine u modelu,

$$X_i \leq O_i, \quad i=1,2\dots m .$$

### 2.1.4. Kriterijalna jednačina

Funkcija cilja u ovom modelu prikazuje se jednakošću,

$$\sum_{i=1}^m C_i x_i = MIN ,$$

gdje je  $C_i$  cijena pojedinih sirovina a  $x_i$  udjeli pridodanih sirovina.

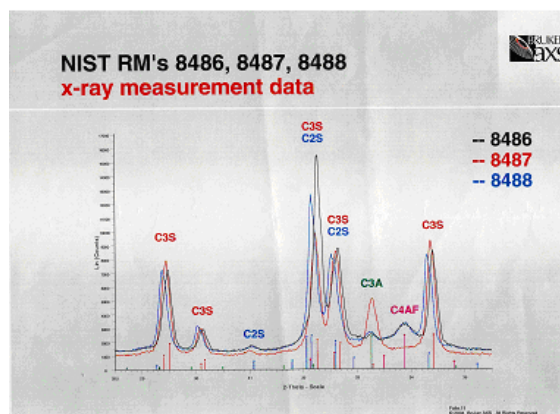
## 2.2. Rendgenska emisijska spektrometrija (Ritveldova metoda)

Rendgenska emisijska spektrometrija sa sekundarnim pobuđivanjem (engl. X-ray secondary spectrometry) ili vrlo često nazivana rendgensko-fluorescentna spektrometrija (engl. X-ray florescence spectrometry) ili skraćeno RFA je metoda za kvalitativnu i kvantitativnu analizu na osnovu mjerenja talasne dužine i intenziteta rendgenskih spektralnih linija emitovanih sekundarnim pobuđivanjem[2]. Na osnovu ove metode moguće je analizirati neorganske materijale, metale, legure, mineralne supstance, praškaste materijale, rude, keramiku itd. Primarni snop iz rendgenske cijevi ozračuje uzorak pobuđujući elemente na sekundarnu emisiju rendgenskih spektara talasnih dužina karakterističnih za te elemente što predstavlja osnovu kvalitativne analize. Kvantitativna analiza zasnovana je na mjerenju intenziteta karakterističnih linija, koji je proporcionalan koncentraciji prisutnih elemenata u uzorku.[3,4].

Pri analizi uzoraka sirovinskih komponenata i sirovinskog brašna korišten je Rendgenski analizator proizvođača Siemens (XRF-S 3000, XRD-D5000) čije rad je zasnovan na temeljima Rietveldovog metoda, **TOPAS (Total Pattern Analysis Solutions)**.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

U egzistirajućem procesu za produkciju cementa (FC Lukavac) provedena je analiza sirovinskog brašna za određeni period (novembra 2006 godine). Na Slici 1 prikazani su eksperimentalni rezultati dobiveni mjerenjem na X-ray spektrofotometru



Slika 1. Eksperimentalni rezultati dobiveni analizom sirovinskog brašna

Rezultati analize sirovinskog brašna dobiveni eksperimentalnim putem (X-ray spektrofotometrijom) i simulacijom na računaru prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati analize sirovinskog brašna dobiveni eksperimentalnim putem i simulacijom na računaru

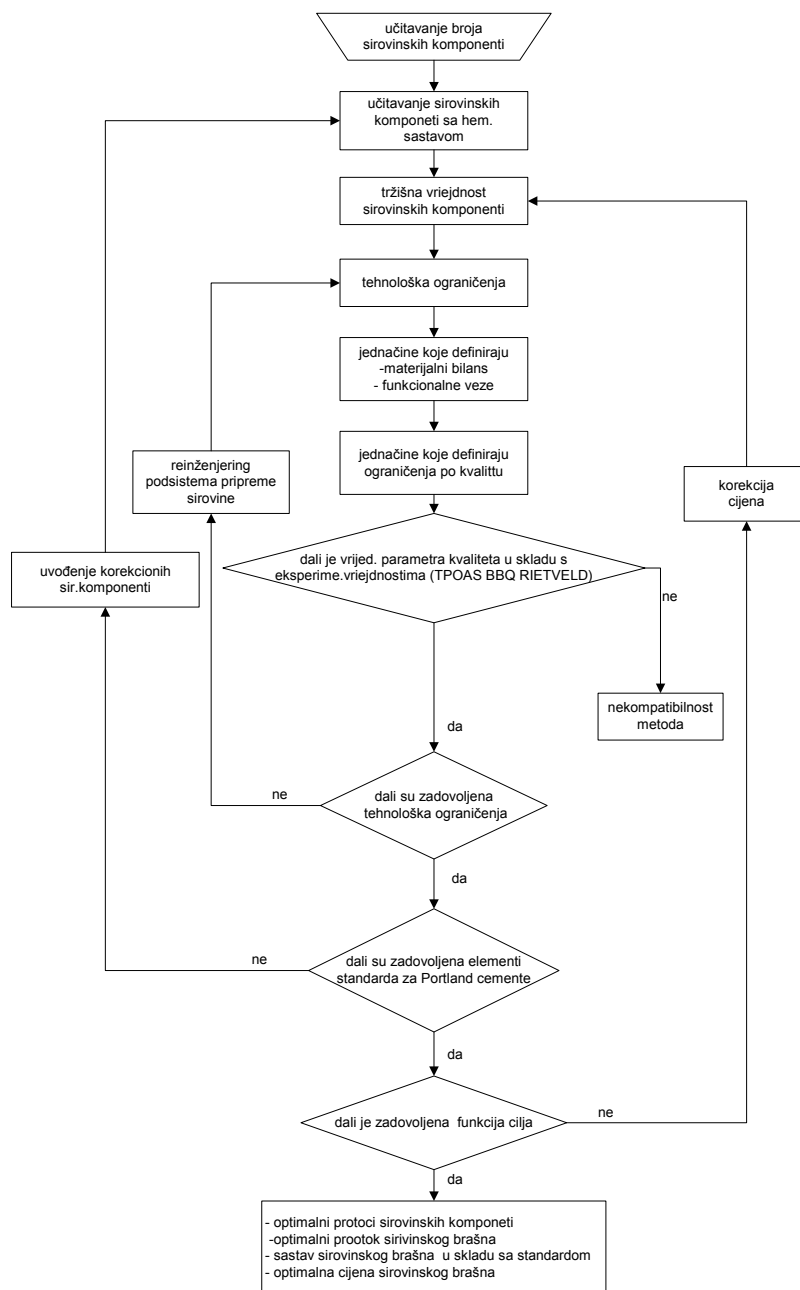
Komponenta	TOPAS BBQ RIETVELD (%)	Simulacija na računaru
Trikalcijev silikat $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2(\text{C}_3\text{S})$	60,50	51,46
Dikalcijski silikat $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2(\text{C}_2\text{S})$	18,65	19,23
Trikalcijev aluminat $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3(\text{C}_3\text{A})$	4,98	9,96
Tetrakalcijev aluminat $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{C}_4\text{AF})$	12,72	11,60

Algoritam sinergizma ove dvije metode prikazan je na Dijagramu 1.

#### 4.ZAKLJUČCI

Na osnovu provedenih eksperimentalnih istraživanja u egzistirajućem procesnom sistemu (FC Lukavac) i simulacijom na računaru mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- Klasična analitička metoda (X-ray spektrofotometrija) pokazala se kao dobra metoda pri valorizaciji simulacijskog programa sa zadovoljavajućom greškom
- Nakon valorizacije simulacijskog softvera pružena je mogućnost da se na jednostavan i brz način dođe do informacija vezanih za vrijednosti optimalnih protoka sirovinskih komponenti i kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika sirovinskog brašna
- Realizacijom simulacijskog softvera, u odnosu na klasične analitičke metode, može se vrlo lako odrediti «polje» realnih inženjerskih rješenja vezanih za vrijednosti protoka kao i određivanje vektora parametara korekcionih komponenti u skladu sa kriterijumima za Portlad cemente.



*Dijagram 1. Algoritam određivanja optimalnih vrijednosti protoka sirovinskih komponenti i sirovinskog brašna u skladu sa funkcijom cilja*

## 5. LITERATURA

- [1] W. Marks and J. Potrzebowski, Multicriteria optimisation of structural concrete mix, Civ. Eng. Arch., Warsaw 38, (4), (1992), pp.323-3.
- [2] A. Kern, State-of-the art Quantitative Phase Analyses by X-ray Powder Diffractions Applied Mineralogy Pecchio et. al. ISBN 85-98656-01-1 Karlsruhe, Germany, (2004), 125-127
- [3] P. Petrovski, Uvod u rendgensku difraktometriju i mineralna rendgenska analiza cementa, Zenica, BiH ,(2006).
- [4] R. Jenkins, R. W. Gould, and D.Gedcke, Quantitative X-Ray Spectrometr, 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1995.god.

