

**KOMPJUTERSKA SIMULACIJA PROCESA
DOBIJANJA FEROMANGANA I SILIKOMANGANA
KORIŠĆENJEM POVRATNE TROSKE
COMPUTING SIMULATION OF Fe-Mn
AND Si-Mn ALLOY PRODUCTION WITH USAGE
OF Fe-Mn AND Si-Mn WASTE SLAG**

EFTIMIJA HRISTOVA , GORAN NAČEVSKI

*Tehnološko metalurški fakultet, Skopje
Ruđer Bošković 16, 1000 Skopje, Macedonia*

IZVOD

Cilj istraživanja u ovom radu je optimizacija tehnoloških parametara, odnosno definisanje optimalne sarže za proces dobijanja feromangana i silikomangana u elektropeći. Pomoću hemijske i mikroskopske analize izvršena je karakterizacija ulaznih manganovih sirovina (ruda, koncentrat i aglomerat) kao i analiza dobijene troske. Imajući u vidu podatke materijalno-energetskog bilansa procesa topljenja ferolegura (Fe-Mn, Si-Mn) definisane su funkcionalne zavisnosti između komponenata koje ulaze u sastav manganovih sirovina (MnO , MnO_2 , SiO_2 i $\Sigma(Al_2O_3 + Fe_2O_3 + CaO + MgO + P_2O_5)$) i sledećih parametara: potrošnje električne energije, koksa, kolicine Fe-Mn legure, Fe-Mn troske, Mn prašine, kao i bazicitet troske. Primenom regresione analize definisane su modelne jednačine i prikazan je uticaj promene sastava komponenata manganovih sirovina na tehnološke parametre procesa topljenja u elektropeći. Pored toga definisane su granične vrednosti tehnoloških parametara korišćenih kod kompjuterskog proračuna u cilju optimizacije procesa. Izrađen je kompjuterski program za simulaciju procesa dobijanja Fe-Mn i Si-Mn legure i definisane su optimalne sarže.

Ključne reči: Fe-Mn, Si-Mn, regresiona analiza, optimizacija, kompjuterski program.

ABSTRACT

The subject of these investigations is optimization of technological parameters in production processes of Fe-Mn and Si-Mn alloys using recycled Si-Mn slag in electro furnace. A characterization of the input Mn-material (ore, concentrate, agglomerate), Fe-Mn and Si-Mn slag with chemical and microscopic analyses was made. On the base of data from material and energetic balance of smelting process, functional relation of the influence of the composite (MnO , MnO_2 , SiO_2 , and Σ oxyde) to consumption of electro energy, coke, Fe-Mn slag, Mn dust, basicity of slag was analyzed. Using the regression analyze, functional dependencies between technological parameters and model equations were determined. Also were determined limited values of technological parameters used in computer calculation for optimization the processes. However, the computer program for simulation the smelting process of Fe-Mn and Si-Mn, with recycling Si-Mn slag under optimal conditions was made.

Key words: Fe-Mn, Si-Mn, Regression analyze, Optimization, Computer program

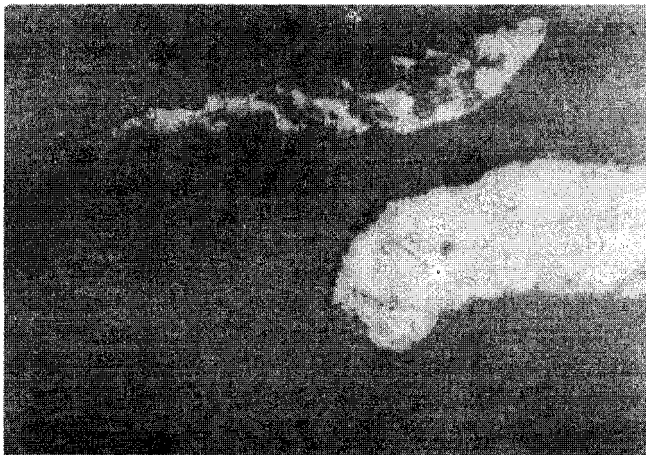
UVOD

U poslednjim godinama povećanjem proizvodnje čelika u svetu, povećana je i potrošnja feromangana i silikomangana [1,2]. Usled veće potražnje feromangana kao i povećanje cene elektroenergije, tečnih i čvrstih goriva, posebno je važna analiza i definisanje parametara koji utiču na smanjenje ovih energenata i materijala za proces dobijanja feromangana i silikomangana. U procesu proizvodnje feromangana i silikomangana u železari "Skopje", kao manganosne sirovine koriste se: ruda, koncentrat i aglomerat. Sirovina za proizvodnju Mn-aglomerata su: Mn koncentrat, krečnjak, dolomit, koks i kovarina. U procesu aglomeracije odvijaju se složene fizičko-hemijske reakcije između komponenata šarže: disocijacija oksida i karbonata, kao i oksidoredukcijski procesi. Proces dobijanja Fe-Mn i Si-Mn izvodi se na dva načina: dobijanje Fe-Mn legure korišćenjem povratne troske sa 12-14% Mn i dodatkom topitelja, a drugi postupak korišćenjem povratne, bogate Mn troske, sa sadržajem mangana između 25 - 40 % i bez dodatka topitelja [1,2]. Povratna troska predstavlja osnovnu komponentu za proizvodnju silikomangana i korišćenjem ove troske smanjuje se potrošnja elektroenergije[5-7].

KARAKTERIZACIJA MANGANOSNIH SIROVINA KORIŠĆENIH U PROCESU DOBIJANJA FEROMANGANA I SILIKOMANGANA

Ispitivan je racionalni i hemijski sastav 30 reprezentativnih uzoraka Mn-sirovine: Mn ruda (R_1-R_{10}), Mn koncentrat ($K_{11}-K_{18}$) i Mn aglomerat ($A_{18}-A_{30}$) koji su korišćeni pri dobivanju Fe-Mn i Si-Mn u elektropeći. Ovi podaci su dati u Tabeli 1.

Primenom mikroskopske analize izvršena je karakterizacija Fe-Mn troske koja se koristi kao povratni materijal u procesu topenja (slike 1 i 2).



Slika 1 - Mikroskopski snimak Fe-Mn troske - proba 1 (x 100)
Figure 1 - The microstructure of Fe-Mn slag - sample 1 (x 100)



Slika 2 - Mikroskopski snimak Fe-Mn troske - proba 2 (x 100)
 Figure 2 - The microstructure of Fe-Mn slag - sample 2 (x 100)

Mikroskopska analiza je pokazala prisustvo metalnih Mn-faza u obliku zvezdice sa povećanim radiusom koji su impregnirani u silikatnoj fazi Fe-Mn troske. Raspodela mangana približno je ravnomerna u celoj masi troske.

ISPITIVANJA RADNIH PARAMETARA I MATEMATIČKA OBRADA DOBIJENIH REZULTATA U PROCESU TOPENJA Fe-Mn I Si-Mn LEGURA

Na osnovu podataka iz hemijske analize (Tabela 1) i dobijenih srednjih vrednosti za dati vremenski period utvrđena je raspodela mangana u Fe-Mn troski i gasova i izrađen je materijalno-energetski bilans procesa topljenja u elektropeći.

Primenom regresione analize ispitivan je uticaj sastava ulaznih Mn sirovina na osnovnih tehnoloških parametara ($G_{(Fe-Mn)}$, $G_{(Mn)}$, $G_{(tr.)}$, $G_{(K)}$, B) (jednačine 1-6) [3-4].

$$E = f(x); x = (\%MnO)_{R;K;A}; (\%MnO_2)_{R;K;A}; (\%SiO_2)_{R;K;A}; (\%\Sigma oksidi)_{R;K;A} \quad (1)$$

$$G_{(Fe-Mn)} = f(x); x = (\%MnO)_{R;K;A}; (\%MnO_2)_{R;K;A}; (\%SiO_2)_{R;K;A}; (\%\Sigma oksidi)_{R;K;A} \quad (2)$$

$$G_{(Mn)} = f(x); x = (\%MnO)_{R;K;A}; (\%MnO_2)_{R;K;A}; (\%SiO_2)_{R;K;A}; (\%\Sigma oksidi)_{R;K;A} \quad (3)$$

$$G_{(tr.)} = f(x); x = (\%MnO)_{R;K;A}; (\%MnO_2)_{R;K;A}; (\%SiO_2)_{R;K;A}; (\%\Sigma oksidi)_{R;K;A} \quad (4)$$

$$G_{(K)} = f(x); x = (\%MnO)_{R;K;A}; (\%MnO_2)_{R;K;A}; (\%SiO_2)_{R;K;A}; (\%\Sigma oksidi)_{R;K;A} \quad (5)$$

$$B = f(x); x = (\%MnO)_{R;K;A}; (\%MnO_2)_{R;K;A}; (\%SiO_2)_{R;K;A}; (\%\Sigma oksidi)_{R;K;A} \quad (6)$$

Tabela 1 - Hemiski sastav Mn sirovina (ruda, koncentrat, aglomerat) (%)
 Table 1 - Chemical composition of input Mn-material (ore, concentrate, agglomerate) (%)

Red. broj	Ime (poreklo)	MnO	MnO ₂	Mn	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe	CaO	MgO	S
R ₁	Gabon	8,30	68,00	49,10	0,335	4,8	5,06	6,15	4,30	0,80	0,10	0,10
R ₂	Bocvana	37,82	28,14	47,10	0,137	6,29	0,35	17,86	12,49	7,15	1,46	0,15
R ₃	Bocvana (2)	32,46	36,92	48,70	0,195	3,38	0,5	15,73	11,00	5,35	0,75	0,15
R ₄	Gabon (2)	5,13	73,08	50,60	0,247	3,73	6,27	5,33	3,73	0,054	0,20	0,04
R ₅	Gabon (3)	3,17	75,60	50,40	0,259	3,4	5,17	4,09	2,86	0,14	0,76	0,027
R ₆	Bocvana (3)	34,41	34,44	48,43	0,092	4,35	0,5	13,95	9,75	5,80	0,65	0,15
R ₇	Bocvana (4)	38,12	29,91	48,94	0,087	3,17	0,8	12,80	8,96	6,14	0,63	0,165
R ₈	Bocvana (5)	36,29	32,14	48,43	0,092	4,35	0,5	13,93	9,74	5,80	0,65	0,14
R ₉	Bocvana (4)	7,35	69,14	49,40	0,252	3,55	4,96	4,58	3,20	0,10	0,06	0,05
R ₁₀	Bocvana (6)	31,76	38,91	49,20	0,137	2,98	0,72	12,72	8,90	7,20	0,80	0,15
K ₁₁	Obrociste 1	18,81	32,63	35,20	0,289	12,37	2,18	2,17	1,52	3,80	2,70	0,35
K ₁₂	Obrociste 2	13,99	37,42	34,50	0,344	13,65	2,79	2,57	1,80	4,92	3,12	0,35
K ₁₃	Obrociste 3	11,79	55,31	44,10	0,229	3,41	7,19	7,62	5,33	1,66	1,49	0,19
K ₁₄	Obrociste 4	14,5	41,27	37,32	0,273	11,26	2,43	2,37	1,66	3,92	2,87	0,33
K ₁₅	Obrociste 5	16,83	40,88	38,88	0,313	12,07	2,87	2,46	1,72	3,87	3,09	0,34
K ₁₆	Obrociste 6	17,22	43,35	40,74	0,264	13,22	3,04	2,87	2,01	4,36	2,63	0,35
K ₁₇	Obrociste 7	16,78	39,56	38,01	0,248	6,47	5,29	6,83	4,78	1,83	1,62	0,21
K ₁₈	Obrociste 8	12,43	40,28	35,09	0,237	4,28	6,36	6,66	4,66	1,78	1,46	0,20
A ₁₉	Agglomerat 1	43,36	3,78	36,00	0,275	26,70	4,05	4,37	3,06	6,58	3,40	0,23
A ₂₀	Agglomerat 2	50,04	1,26	39,59	0,252	26,10	4,45	4,83	3,38	6,58	3,40	0,23
A ₂₁	Agglomerat 3	51,87	1,24	41,00	0,275	27,36	5,43	6,92	4,84	6,62	4,02	0,25
A ₂₂	Agglomerat 4	54,25	0,42	42,32	0,309	20,95	3,90	4,25	2,97	8,95	3,65	0,12
A ₂₃	Agglomerat 5	48,25	4,20	40,06	0,357	22,48	4,92	4,05	2,83	9,49	5,39	0,18
A ₂₄	Agglomerat 6	49,32	0,86	38,78	0,378	24,20	4,30	8,29	5,80	7,52	4,05	0,22
A ₂₅	Agglomerat 7	46,37	5,04	39,13	0,367	24,00	4,36	5,30	3,71	8,04	4,75	0,20
A ₂₆	Agglomerat 8	46,85	3,78	38,70	0,435	20,75	4,18	7,01	4,90	12,05	4,50	0,29
A ₂₇	Agglomerat 9	47,95	4,20	39,80	0,390	18,98	2,05	4,43	3,10	9,58	7,29	0,27
A ₂₈	Agglomerat 10	48,77	6,30	41,83	0,458	17,94	2,73	7,29	5,10	11,83	7,29	0,26
A ₂₉	Agglomerat 11	51,83	4,62	43,10	0,458	18,60	3,60	8,86	6,20	9,04	6,30	0,28
A ₃₀	Agglomerat 12	50,46	0,84	39,65	0,298	19,03	3,78	6,41	4,48	10,89	5,86	0,42

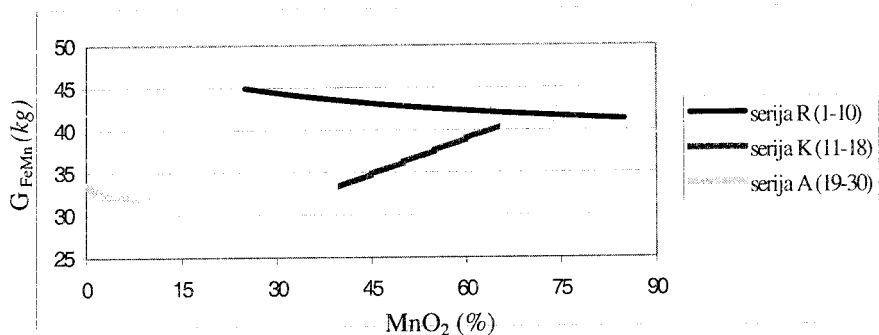
Tabela 2 - Količina i hemijski sastav troske
Table 2 - Quantity and chemical composition of slag

red.b r.	MnO → MnO _(tr)		MnO ₂ → MnO _(tr)		P ₂ O ₅ → P ₂ O _{3(tr)}		SiO ₂ → SiO _{2(tr)}		Al ₂ O ₃ → Al ₂ O _{3(tr)}		Fe ₂ O ₃ → FeO _(tr)		CaO → CaO _(tr)		MgO → MgO _(tr)		S _(tr)		Ukupno	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
R ₁	2,26	7,76	15,11	51,90	0,04	0,12	4,86	16,70	5,51	18,92	0,30	1,04	0,87	2,99	0,11	0,38	0,06	0,19		29,12
R ₂	10,06	30,61	6,11	18,58	0,02	0,05	6,22	18,93	0,37	1,13	0,86	2,60	7,61	23,15	1,55	4,72	0,08	0,24		32,87
R ₃	8,95	30,98	8,30	28,74	0,02	0,07	3,47	12,01	0,55	1,90	0,78	2,70	5,9	20,43	0,83	2,87	0,09	0,29		28,89
R ₄	1,39	4,85	16,12	56,32	0,03	0,09	3,75	13,09	6,78	23,69	0,26	0,91	0,06	0,21	0,22	0,77	0,02	0,07		28,62
R ₅	0,87	3,09	16,88	60,08	0,03	0,10	3,46	12,32	5,66	20,15	0,20	0,72	0,15	0,53	0,83	2,95	0,02	0,05		28,09
R ₆	9,54	31,47	7,79	25,70	0,01	0,03	4,49	14,82	0,55	1,81	0,70	2,30	6,43	21,21	0,72	2,37	0,09	0,28		30,32
R ₇	10,83	35,53	6,94	22,75	0,01	0,03	3,35	10,98	0,91	2,98	0,65	2,15	6,98	22,90	0,72	2,36	0,10	0,31		30,49
R ₈	10,12	33,19	7,31	23,99	0,01	0,03	4,51	14,80	0,56	1,84	0,70	2,29	6,47	21,23	0,72	2,36	0,08	0,26		30,47
R ₉	2,07	7,47	15,91	57,30	0,03	0,10	3,72	13,40	5,59	20,14	0,23	0,84	0,11	0,40	0,07	0,25	0,03	0,11		27,76
R ₁₀	8,67	28,34	8,67	28,33	0,02	0,05	3,02	9,88	0,79	2,58	0,63	2,04	7,86	25,68	0,87	2,84	0,08	0,26		30,61
K ₁₁	6,30	14,77	8,92	20,90	0,04	0,09	15,41	36,12	2,92	6,84	0,13	0,31	5,09	11,93	3,62	8,49	0,24	0,55		42,66
K ₁₂	4,46	10,00	9,74	21,82	0,04	0,10	16,19	36,28	3,56	7,98	0,15	0,33	6,28	14,07	3,98	8,92	0,23	0,50		44,63
K ₁₃	3,40	10,45	13,03	40,01	0,03	0,08	3,66	11,25	8,3	25,48	0,40	1,22	1,92	5,90	1,72	5,28	0,11	0,34		32,57
K ₁₄	4,62	11,32	10,72	26,28	0,03	0,09	13,34	32,69	3,10	7,59	0,14	0,33	4,99	12,24	3,66	8,96	0,21	0,52		40,80

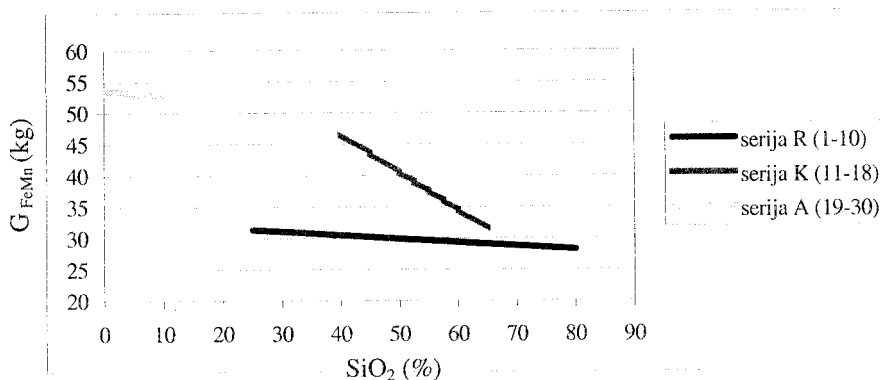
Nastavak tabele 2

K ₁₅	5,13	12,41	10,17	24,59	0,04	0,09	13,69	33,10	3,50	8,46	0,14	0,33	4,72	11,41	3,77	9,11	0,21	0,50	41,37
K ₁₆	4,98	12,02	10,23	24,70	0,03	0,07	14,22	34,34	3,52	8,49	0,15	0,36	5,04	12,18	3,04	7,35	0,20	0,49	41,42
K ₁₇	5,46	15,28	10,51	29,39	0,03	0,09	7,84	21,91	6,89	19,26	0,40	1,12	2,38	6,66	2,11	5,90	0,14	0,38	35,76
K ₁₈	4,33	12,27	11,46	32,44	0,03	0,09	5,55	15,72	8,87	25,11	0,42	1,18	2,48	7,03	2,04	5,76	0,14	0,39	35,33
A ₁₉	11,86	21,33	0,84	1,52	0,03	0,05	27,16	48,86	4,43	7,97	0,22	0,39	7,2	12,96	3,72	6,69	0,13	0,22	55,57
A ₂₀	13,07	24,13	0,27	0,50	0,03	0,05	25,37	46,84	4,65	8,58	0,23	0,42	6,88	12,70	3,55	6,55	0,12	0,22	54,17
A ₂₁	12,98	24,34	0,25	0,47	0,03	0,05	24,54	46,03	4,43	8,31	0,31	0,58	6,63	12,43	4,02	7,54	0,13	0,23	53,32
A ₂₂	14,20	27,17	0,09	0,17	0,03	0,06	20,39	39,03	4,08	7,81	0,20	0,38	9,37	17,93	3,82	7,31	0,07	0,12	52,25
A ₂₃	12,30	22,37	0,87	1,59	0,04	0,07	21,32	38,77	5,02	9,13	0,19	0,34	9,67	17,59	5,49	9,99	0,09	0,16	54,98
A ₂₄	12,76	23,99	0,18	0,34	0,04	0,07	23,29	43,78	4,45	8,37	0,39	0,73	7,78	14,63	4,19	7,88	0,12	0,22	53,19
A ₂₅	11,97	22,09	1,06	1,96	0,04	0,07	23,05	42,54	4,5	8,31	0,25	0,45	8,3	15,32	4,91	9,06	0,11	0,19	54,18
A ₂₆	11,99	22,09	0,79	1,46	0,05	0,08	19,74	36,40	4,28	7,89	0,32	0,59	12,33	22,73	4,6	8,48	0,15	0,28	54,25
A ₂₇	12,78	24,07	0,91	1,72	0,04	0,08	18,81	35,45	2,19	4,13	0,21	0,40	10,21	19,24	7,77	14,64	0,15	0,27	53,07
A ₂₈	12,23	23,67	1,29	2,49	0,05	0,09	16,74	32,39	2,74	5,30	0,33	0,64	10,86	21,02	7,31	14,15	0,13	0,25	51,68
A ₂₉	12,97	26,11	0,94	1,90	0,05	0,09	17,31	34,85	3,6	7,25	0,31	0,62	9,05	18,22	5,3	10,67	0,14	0,28	49,66
A ₃₀	13,13	24,47	0,18	0,33	0,03	0,06	18,42	34,33	3,94	7,34	0,30	0,56	11,34	21,13	6,1	11,37	0,22	0,41	53,66

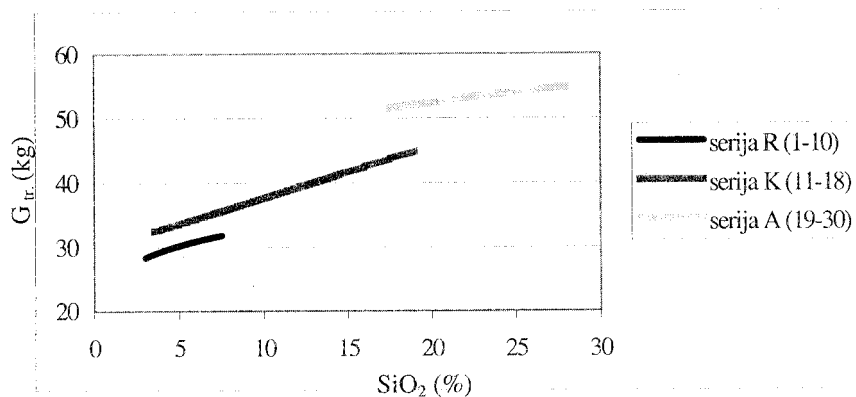
U zavisnosti sastava ulaznih sirovina (Mn(R); Mn(K); Mn(A)) definisane su modelne jednačine funkcionalnih zavisnosti tehnoloških parametara. Ove zavisnosti prikazani su dijagramski (slike 3 - 8).



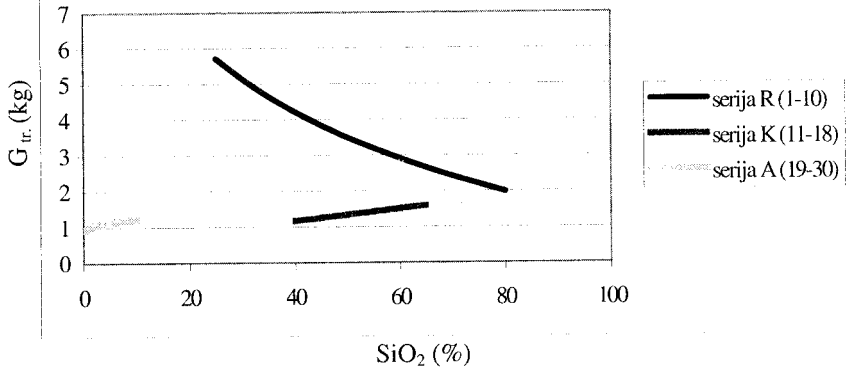
Slika 3 - Količina dobijene Fe-Mn legure u funkciji od sadržaja MnO_2 (%)
 Figure 3 - Fe-Mn alloy quantity as a function of MnO_2 content (%)



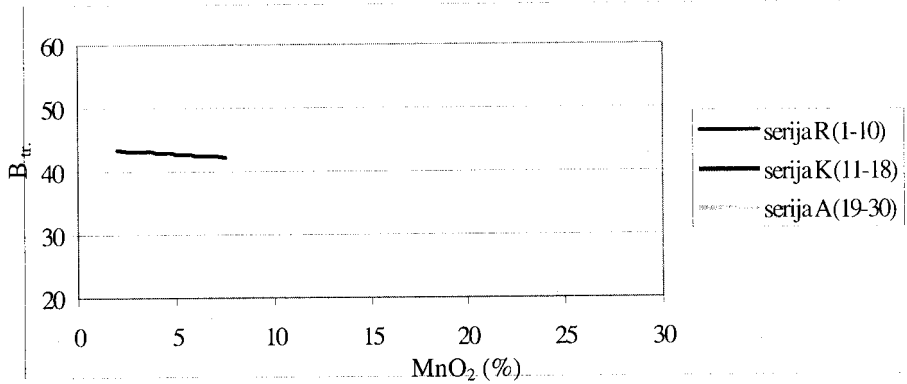
Slika 4 - Količina dobijene Fe-Mn legure u funkciji od sadržaja SiO_2 (%)
 Figure 4 - Fe-Mn alloy quantity as a function of SiO_2 content (%)



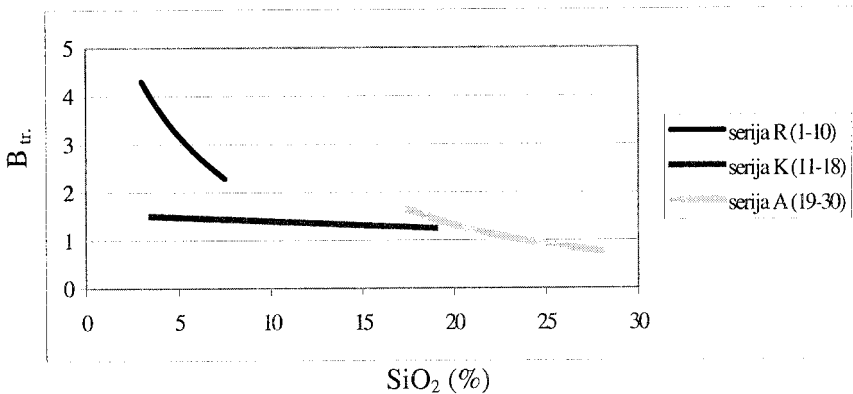
Slika 5 - Količina dobijene troske u funkciji sadržaja MnO_2 (%)
 Figure 5 - Slag quantity as a function of MnO_2 content (%)



Slika 6 - Količina dobijene troske u funkcii sadržaja SiO_2 (%)
 Figure 6 - Slag quantity as a function of SiO_2 content (%)



Slika 7 - Bazicitet troske u zavisnost od sadržaja MnO_2 (%)
 Figure 7 - Basicity of slag as a function of MnO_2 content (%)



Slika 8 - Bazicitet troske u zavisnost od sadržaja SiO_2 (%)
 Figure 8 - Basicity of slag as a function of SiO_2 content (%)

DISKUSIJA REZULTATA

Analizom dobijenih podataka iz materijalno-energetskog bilansa i parcijalnih korelacionih zavisnosti između sastava manganosnih sirovina (R,K,A) i tehnoloških parametara procesa topljenja dobijena su sledeća saznanja:

Koeficijent raspodele mangana ($L_S = G_{(Fe-Mn)} / G_{(Fe-Mn)tr}$) između Fe-Mn legure i Fe-Mn troske je u granicama :

0,65 - 0,71 za Mn(R);

0,82 - 1,33 za Mn(K);

1,46 - 1,71 za Mn(A),

Bazicitet troske B iznosi:

B = 1,64 - 2,85 za Mn(R);

B = 1,23 - 1,62 za Mn(K);

B = 0,74 - 1,49 za Mn(A),

Kontinuirani proces topljenja u elektropećima za dobijanje feromangana izvodi se sa prethodno pripremljenjom šaržom kojom se postiže: koeficijent raspodele $L_S = m_{(Fe-Mn)} / m_{(Fe-Mn)tr} = 1$; $L = [Mn] / [Fe] = 7$; $B = 1$.

Da bi se ovo postiglo potrebna je korekcija šarže manganosnih sirovina odnosno promena sastava šarže dodatkom CaO, MgO i Fe. Kod pripreme šarže za dobijanje Fe-Mn, osim Mn-sirovine za korekciju parametara (B, L, L_S) potrebno je dodati krečnjak, dolomit i kovarina.

Proces dobijanja Si-Mn u elektropeći se odvija sa sledećim ograničenjima: $L_S = m_{(Si-Mn)} / m_{(Si-Mn)tr} = 1.15$; $L = [Mn] / [Fe] = 6$; $B = 0,55$. Iz ovoga proizlazi da je za odvijanje procesa dobijanja Si-Mn, osim Mn sirovine potreban je dodatak kvarcita i kovarine.

Analiza sastava troske (tabela 2), ukazuje da troska sadrži visok procenat mangana i SiO₂. Na osnovu toga može se zaključiti da se proces dobijanja Fe-Mn i Si-Mn treba izvoditi kontinuirano i u tri faze u cilju maksimalnog iskorišćenja mangana:

Prva faza: proizvodnja 75% Fe-Mn i troska sa sadržajem Mn ~ 25%;

Druga faza: Proizvodnja 65% Si-Mn, korišćenjem bogate Fe-Mn troske iz prve faze;

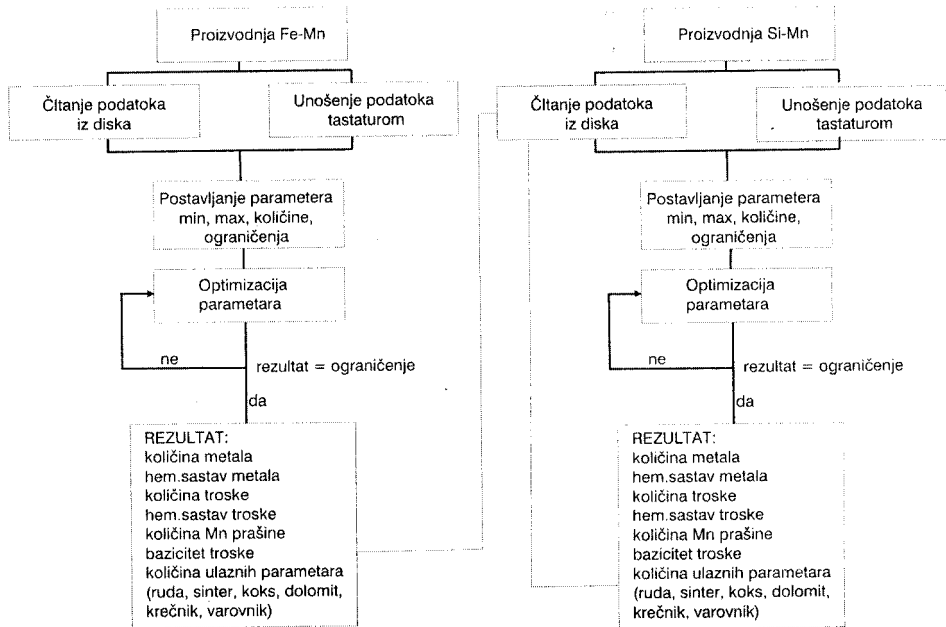
Treća faza: Proizvodnja 65% Si-Mn, korišćenjem povratne troske (mešavina Fe-Mn troske iz prve faze i Si-Mn troske iz druge faze).

OPTIMIZACIJA PROCESA POMOĆU PROGRAMSKOG PAKETA MATLAB

Optimizacija procesa dobijanja Fe-Mn i Si-Mn urađena je u cilju postizanja maksimalnog iskorišćenje mangana iz manganosnih sirovina. Na osnovu ograničenja procesa topljenja u elektropeći, potrebno je definisati optimalne šarže posebno za svaku fazu. U praksi se proizvodi 75-80 % Fe-Mn i 65-70 % Si-Mn u zavisnosti od pripreme šarže. Vođenjem procesa do minimalno dozvoljenih

količina 75% Fe-Mn i 65% Si-Mn postiže se ušteda mangana. Za definisanje optimalne šarže za sve faze pojedinačno korišćen je optimizacioni programski paket MATLAB, odnosno funkcija fgoalattain. U sastav ove funkcije ulaze nekoliko metoda koje programski paket koristi po potrebi i u zavisnosti od postavjenog problema. Za optimizaciju procesa proizvodnje Fe-Mn i Si-Mn korišćene su Kvazi Njutnova metoda, linearna i nelinearna optimizacionijska metoda najmanjih kvadrata i parametrska optimizacionijska metoda.

Blok dijagram programa predstavljen je na slici 4.



Slika 9 - Blok dijagram optimizacionijskog programa
Figure 9 - Block diagram of optimization program

ZAKLJUČAK

Na osnovu hemijske analize, sastava manganosnih sirovina i njihovog uticaja na tehnološke parametre procesa dobijanja Fe-Mn i Si-Mn u elektropeći može se zaključiti:

- Obradom podataka procesa topljenja feromangana i silikomangana, recikliranjem Fe-Mn i Si-Mn troske i primenom regresione analize, definisane su modelne jednačine funkcionalnih zavisnosti tehnoloških parametara od sastava manganosnih sirovina.

- Uparednom analizom dobijenih podataka, tehnoloških parametara i utvrđenih graničnih parametara procesa topljena u elektopeći, utvrđena je tehnologija vođenja procesa u tri faze iskoriscenjem povratne troske.
- Primenom optimizacijskog paket programa definisane su optimalne šarže u cilju maksimalnog iskoriscenja mangana, a to je ustvari uvođenje čiste bezotpadne tehnologije dobijanje Fe-Mn i Si-Mn u elektro peći.

LITERATURA

- [1] Гасик М.И., Лакиев И.П. Теорија и технологије производства феросплавов, М.Металурги, (1988).
- [2] G. A. Haralampiev: Teorija na metalurgičnite procesi, Sofija ,(1987).
- [3] Марков Б.П. А.А.Кирсанов : Физическое моделирование в металлургии, М. Металургија, (1984).
- [4] Shroeder L, D. Electric Furnace Control Utilising Personal Computers, Annual Symposium Process Control Systems for Electric Furnace, Chicago, (1987).
- [5] R, H, White ,V. Meyer J. Metals 19, (1967).
- [6] H. Bell : Chemical Phenomena of iron Smelting , London ,(1972).
- [7] O. Kubashevski , E. Evans : Metallurg. Chemistry , 2 ed.,London. (1966).