

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol. 2	str. 75–81	Zagreb, 1990.
----------------------------------	--------	------------	---------------

UDK 553.551.2:691.54:519.28

Izlaganje sa znanstvenog skupa

## STATISTIČKA INTERPRETACIJA SIROVINA ZA CEMENTNU INDUSTRIJU U SPLITU

Miroslav MATIJACA\* i Slavko VUJEC\*\*

\* »Dalmacija cement« YU – 58000 Split,

\*\* Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU – 41000 Zagreb

**Ključne riječi:** Cement, Sirovine za proizvodnju cementa, Geološko istraživanje, Dijagram korelacije.

Sve do posljednjih dva desetljeća se cement proizvodio od lapora zvanog tupina s oko 76% CaCO<sub>3</sub>, koji je idealna smjesa za proizvodnju cementa. Smanjenjem količina ove sirovine, cement se je nastavio proizvoditi miješanjem ostalih članova fliške serije: vapnenaca, lapora, gline, lesa, pješčenjaka i dr. Pri analizi prirodnih materijala utvrđuje se najčešće sadržaj CaCO<sub>3</sub>, te je stoga od izuzetne važnosti poznavanje korelacijske veze oksida u mineralnoj sirovini. U članku prikazani su rezultati istraživanja korelacijske veze CaCO<sub>3</sub> i ostalih oksida sirovine.

**Key-words:** Cement, Cement rock, Geologic investigation, Correlation diagram.

Up to the last two decades cement was produced from marl called »tupina« (with about 76% CaCO<sub>3</sub>) which is an ideal mixture for cement production. Due to the quantity decrease of this raw material, cement production went on using the mixture of other members of the flysch series: limestones, marls, clay, loess, sandstones a.o. By the analysis of natural materials the CaCO<sub>3</sub> content has mostly been proved. Therefore, knowing the correlation of oxides in mineral raw material is of special significance. The article discusses investigation results of the correlation between CaCO<sub>3</sub> and other oxides of the raw material.

### Uvod

Današnja snažna industrija cementa u Splitskom bazenu nastala je u jednom relativno dugom periodu od preko 120 godina. Pionir dalmatinske industrije cementa bio je Nijemac A. Höffling, koji je 1885. godine u Splitu podigao prvu jamastu peć za pečenje lapora. Sirovina se kopala na obližnjim padinama Marjana u tupinolomu (kavi). Dalmatinski lapor, koji je imao idealnu smjesu za proizvodnju portland cementa dobio je naziv tupina zbog tupog zvuka pri udaru, za razliku od vapnenca.

Proizvodnja portland cementa počela je 1880. godine, a veliki tehnološki napredak predstavljala je izgradnja prve Dietzschove peći 1890. godine. Godine 1904. splitski inženjer Emil Stock s talijanskim industrijalcem C. Zambonijem podiže u Solinu (Sveti Kajo) tvornicu cementa »Adriaportland« (sadašnji »Prvoborac«). Godine 1908. Stock s M. Vidovićem pušta u rad novu tvornicu cementa »Split« (današnji »10. kolovoz«) u Majdanu. Godine 1909. slijedi tvornica cementa »Lavocal« (sadašnji »R. Šperac«) u Ravnicama kod Omiša. Godine 1912. sagrađena je tvornica cementa »Dalmacija« (sadašnji »Partizan«) u Kaštel Sućurcu. Od 1928. godine grade se prve rotacione peći, a paralelno s time gase se jamaste peći.

U poslijeratnoj fazi razvoja od 1956–1958. godine podižu se nove rotacione peći »Miag« u tvornici »Partizan«, kapaciteta 400 tona klinkera na dan, te je provedena i rekonstrukcija rotacione peći »Polysius« koja je dobila izmjenjivač topline »Humboldt« čime je kapacitet peći povećan sa 200 na 300 tona klinkera na dan.

U razdoblju 1970–1971. godine »Dalmacija cement« gradi dvije velike rotacione peći, i to 1970.

godine »Humboldt« peć kapaciteta 1200 tona klinkera na dan u tvornici »Prvoborac« i 1971. godine peć istoga tipa, kapaciteta 950 tona klinkera na dan u tvornici »10. kolovoz«.

Godine 1976. rekonstruira se rotaciona peć »Humboldt« u tvornici »Prvoborac« i povećava se njezin kapacitet sa 1200 na 1400 tona klinkera na dan. Godine 1979. puštena je u rad nova rotaciona peć »Polysius« kapaciteta 3200 tona klinkera na dan u tvornici »Partizan«, a 1982. godine rekonstruira se rotaciona peć »Humboldt« u tvornici »10. kolovoz«, te se povećava kapacitet peći od 950 tona na 1450 tona klinkera na dan. Ovim su zaokruženi kapaciteti razvoja koji će predstavljati za duži period osnovicu proizvodnje cementa u tvornicama »Dalmacija cement«.

### Sirovine za proizvodnju portland cementnog klinkera

Sirovine za proizvodnju portland cementnog klinkera baziraju se na sastavu SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i CaO. Sirovina koje sadrže navedene okside ima u ogromnim količinama. Među njima ističemo lapore, vapnenice, gline, pješčenjake, les, uljne škriljavce i drugo. Pojavljuju se u mnogim geološkim formacijama. Po starosti su osobito važni tercijar, kreda i jura. Najvažniju ulogu u proizvodnji cementnog klinkera imala su ležišta lapora. Prve naše tvornice cementa u Jugoslaviji sagrađene su u blizini moćnih naslaga lapora. Ležišta lapora, u kojima su sadržane sve potrebne komponente za proizvodnju portland cementnog klinkera, većim su dijelom iscrpljena, tako da se danas proizvodnja klinkera uglavnom temelji na odvojenim sirovinama koje se miješaju u traženim omjerima.

Stijene unutar eksploatacijskog polja sadrže slijedeće količine  $\text{CaCO}_3$ :

- numulitne breče i mikrobreče (> 80%  $\text{CaCO}_3$ ),
- kalkarenit i kalcisilit (80–95%  $\text{CaCO}_3$ ),
- laporoviti vapnenac (77–80%  $\text{CaCO}_3$ ),
- vapnoviti lapor (75–77%  $\text{CaCO}_3$ ),
- lapor i glinoviti lapor (65–74%  $\text{CaCO}_3$ ),
- lapor s pretaloženim numulitima (jako varira sadržaj  $\text{CaCO}_3$ , sirovina ima visoko obilježje) i
- izmjene lapora, pješčenjaka i vapnenca (55–70%  $\text{CaCO}_3$ ).

#### Zahtjevi koji se moraju ispuniti za proizvodnju portland cementnog klinkera

Svaka sirovina koja se razmatra kod komponiranja mješavine mora sadržavati najmanje jedan od četiri glavna cementna oksida:  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (C, S, A i F). Kriterij za ocjenu kvalitete sirovinke mješavine jest težinsko ograničenje četiri glavna oksida. Najvažniji jesu:

- stupanj zasićenja

$$SZ = \frac{100 \text{ CaO}}{2,8 \text{ SiO}_2 + 1,1 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3} \quad (1)$$

- silikatni modul

$$SM = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2)$$

- aluminatni ili željezni modul

$$AM = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (3)$$

Najvažniji modul je stupanj zasićenja (SZ), koji se određuje prema Kühlovom obrascu (1), a pokazuje odnos efektivnog, tj. stvarnog sadržaja  $\text{CaO}$  koji u normalnom procesu pečenja i hlađenja klinkera može biti vezan na okside  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Stupanj zasićenja (SZ)** daje pravu sliku o kvaliteti cementa kao i o tehnološko-termičkim svojstvima sirovine. Normalne vrijednosti SZ normalnog portland cementa nalaze se između 90–95. Sirovine koje imaju SZ 90–98 smatraju se sirovinama koje se dobro peku. S porastom SZ iznad 102 mora se računati i sa slobodnim  $\text{CaO}$  u klinkeru, koji stvara vremensku nestabilnost cementa. Vrijednosti SZ ispod 90, olakšavaju pečenje, ali i pospješuju stvaranje naljepka i sirovinog prstena u peći.

**Silikatni modul (SM)** kreće se od 1,9 do 3,2. Obično se u cementu traži odnos 2,2 do 2,6. Kod većeg silikatnog modula slabi pečenje klinkera sa smanjenjem likvidne faze i smanjenjem tendencije stvaranja prstena u peći. Smanjenje silikatnog modula povećava sadržaj likvidne faze, koja poboljšava pečenje klinkera i formiranje prstena u peći.

**Aluminatni modul (AM)** kreće se od 1,5 do 2,5. Aluminatni modul određuje sastav likvidne faze u klinkeru. Mali aluminatni modul karakterizira niska toplina hidratacije, sporo očvršćivanje i sporo vezivanje cementa. Visoki aluminatni modul skupa s niskim silikatnim modulom ubrzava vezivanje, te je stoga potrebno dodavati više gipsa.

#### Računanje sirovinske smjese

Kada su zadani SZ, SM i AM može se izračunati udio  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , odnosno klinker minerali koje ćemo označiti sa:

$$\text{C}_3\text{S} = (\text{CaO})_3 \cdot \text{SiO}_2,$$

$$\text{C}_2\text{S} = (\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2,$$

$$\text{C}_3\text{A} = (\text{CaO})_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ i}$$

$$\text{C}_4\text{AF} = (\text{CaO})_4 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3.$$

U tablici 1 prikazani su postoci glavnih oksida i klinker minerala u sirovinskoj mješavini za SZ 0,90; 0,95; 1,0 i za SM 2,5 i AM 2,0.

Tablica 1. (Table 1.)

	SZ=0,90 SM=2,50 AM=2,00	SZ=0,95 SM=2,50 AM=2,00	SZ=1,00 SM=2,50 AM=2,00
CaO	67,20	68,38	69,48
SiO <sub>2</sub>	23,43	22,59	21,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,25	6,02	5,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,12	3,01	2,91
C <sub>3</sub> S	49,00	61,89	73,88
C <sub>2</sub> S	30,21	18,08	6,78
C <sub>3</sub> A	11,27	10,87	10,49
C <sub>4</sub> AF	9,51	9,16	8,85

#### Prostorni raspored uzoraka u promatranom ležištu

Sirovinska baza za tvornice cementa »Partizan« i »Prvoborac« istražena je istražnim dubokim bušenjem s uzorkovanjem i analizom  $\text{CaCO}_3$  svakog metra bušotine. Istražne bušotine postavljene su po profilima na udaljenosti od 20 m, a međusobna udaljenost profila iznosila je 100 m.

Na području površinskog kopa »Partizan« u Kaštel Sućurcu obavljeno je dodatno istražno bušenje, a analizirani su:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Na taj način dobiven je 381 uzorak ili po izdvojenim sirovinama:

- lapori, pješčenjaci i vapnenici (niska miješana sirovina – NMS) 68 uzoraka,
- lapor (normalna sirovina – N) 57 uzoraka,
- laporoviti vapnenac, kalkarenit i kalcisilit (visoka sirovina – V) 85 uzoraka i
- numulitni lapor, glinoviti lapor, izmjene lapora, pješčenjaka i vapnenca (visoka miješana sirovina – VMS) 171 uzorak.

Na površinskom kopu »Prvoborac« u Solinu korišten je dio uzoraka koji su ranije bili korišteni za analize sadržaja  $\text{CaCO}_3$  za izradu kompletnih kemijskih analiza. Na ovaj način korišteno je 51 od 128 istražnih bušotina. Ovdje je jedan uzorak predstavljen s 10–15 m istražne bušotine, a dobilo se je 202 uzorka, ili po izdvojenim sirovinama:

- niska miješana sirovina 102 uzorka,
- normalna sirovina 16 uzoraka,
- visoka sirovina 65 uzoraka i
- visoka miješana sirovina 27 uzoraka.

#### Analiza kvalitete razmatranog ležišta

Sedimentne stijene kao tvorevine raznovrsnih mehaničkih i kemijskih procesa sedimentacije me-

dušobno pokazuju velike razlike u pogledu kemijskog i mineraloško-petrografskog sastava. Na heterogenost kemijskog sastava utječu, pored ostalog, karakter i uvjeti taloženja, te tektonski pokreti koji kompliciraju tektonsku građu. Heterogeni sastav fliških naslaga nastao je u nemirnoj marinskoj relativno dubokoj turbulentnoj sredini. Struje su nosile materijale iz velike udaljenosti i taložile ih u dubljim dijelovima bazena. Promjenom u režimu turbulentnih strujanja uvjetovale su znatnu lateralnu izmjenju, tako da u vertikalnom i horizontalnom smislu razmatrane naslage predstavljaju jednu heterogenu sredinu. Promjena kvalitete veoma je spora u pravcu pada i pružanja sloja, dok je u pravcu podina-krovina izrazita.

### Distribucija cementnih oksida u razmatranim sirovinama ležišta

Populacija rudnih elemenata u ležištu dio je osnovne geološke populacije atoma ovih elemenata koji se nalaze u vlastitim mineralima razmatranih rudnih elemenata. Većina autora smatra, da se raspodjela kemijskih elemenata pokorava zakonu normalne raspodjele. Drugi dolaze do razrade »lognormalnog« zakona raspodjele. Ipak, u prirodi to nije uvijek prisutno, pa se dolazi do uvjerenja da raspodjele ne moraju biti ni normalne ni lognormalne,

već se svaka distribucija prilagođava svojoj vlastitoj shemi.

U stijenama i orudnjenjima raspodjela se uvijek pokorava jednom od tri zakona raspodjele geološke slučajne varijable, a to su:

- simetrična raspodjela ( $\bar{X} \sim M$ ), u idealnom slučaju normalna raspodjela ( $\bar{X} = M$ ),
- lijevo asimetrična raspodjela ( $M < \bar{X}$ ) koja se još naziva i logaritamska raspodjela, u idealnom slučaju lognormalna raspodjela ( $M = G < \bar{X}$ ) i
- desno asimetrična raspodjela ( $\bar{X} < M$ ).

Analizom koeficijenta asimetrije  $\alpha_3$  kod promatranih distribucija cementnih oksida i modula (tablica 2) uočava se da je najviše zastupljena pozitivna (lijeva) asimetrija ( $\alpha_3 > 0$ ), dok su simetrična ( $\alpha_3 = 0$ ) i negativna (desna) asimetrija ( $\alpha_3 < 0$ ) zastupljene podjednako.

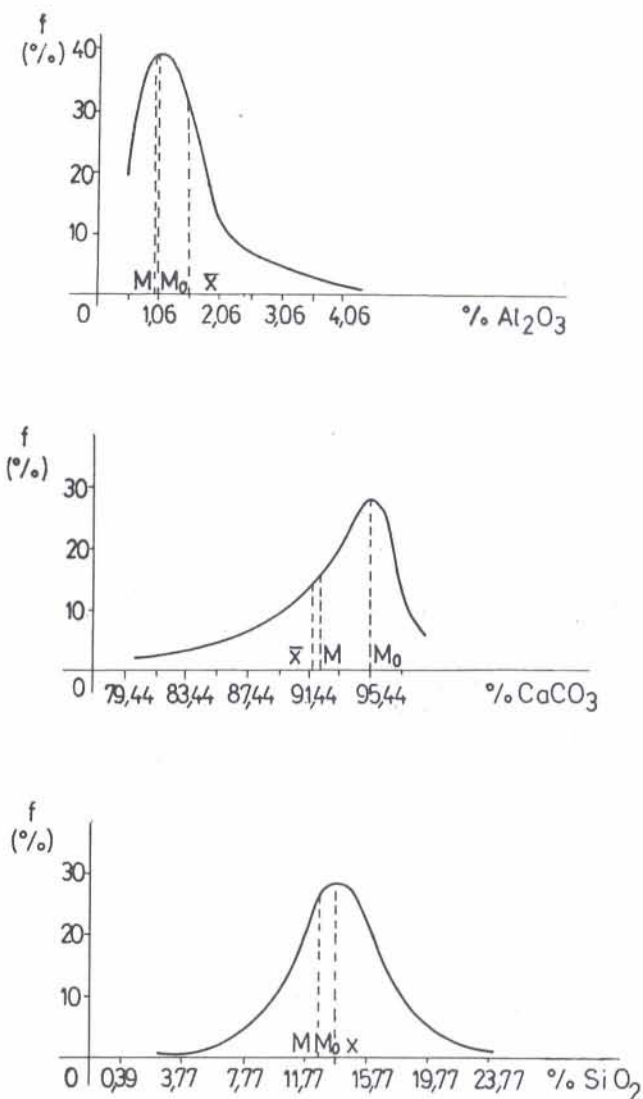
Za simetričnu distribuciju koeficijent asimetrije  $\alpha_3$  jednak je nuli. Za veoma jaku pozitivnu asimetriju  $\alpha_3$  će se približavati vrijednosti +2. Za veoma jaku negativnu asimetriju  $\alpha_3$  će se približavati vrijednosti -2. Distribucija je slabo negativno asimetrična za vrijednost  $\alpha_3 = 0,16$ , a veoma pozitivno asimetrična za vrijednost  $\alpha_3 = 1,67$ . Statistički parametri razmatranog ležišta prikazani su u tablici 3, a distribucija nekih cementnih oksida prikazana je na slici 1.

Tablica 2. (Table 2.)

	NMS nisko miješana sirovina »low« cement rock			N lapor Marl			V vapnenac Limestone			VMS visoko miješana sirovina »High« cement rock		
	$\alpha_3 > 0$	$\alpha_3 = 0$	$\alpha_3 < 0$	$\alpha_3 > 0$	$\alpha_3 = 0$	$\alpha_3 < 0$	$\alpha_3 > 0$	$\alpha_3 = 0$	$\alpha_3 < 0$	$\alpha_3 > 0$	$\alpha_3 = 0$	$\alpha_3 < 0$
CaCO <sub>3</sub>	0,93					1,55			0,74	0,76		
CaO	1,07					0,68			0,70		0,41	
SiO			1,15	1,06			0,63					-0,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,60			0,55	0,86					0,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						0,61	0,79					0,55
MgO	0,74				0,27				-0,35		0,25	
SiO <sub>2</sub>	1,16				0,33		3,66			1,74		
K <sub>2</sub> O		0,01				3,02	1,17					
Na <sub>2</sub> O	1,25				-0,03		1,25				1,29	
SZ	2,11					0,65	1,79				6,24	
SM	0,94			0,90					+0,32		0,56	
AM		-0,08		3,41				0,55			1,63	

Tablica 3. (Tabela 3.)

	Niska miješana sirovina »low« cement rock				Lapor Marl				Vapnenac Limestone				Visoka miješana sirovina »high« cement rock			
	$\bar{X}$	$\sigma$	$v$	$\alpha_3$	$\bar{X}$	$\sigma$	$v$	$\alpha_3$	$\bar{X}$	$\sigma$	$v$	$\alpha_3$	$\bar{X}$	$\sigma$	$v$	$\alpha_3$
CaCO <sub>3</sub>	71,39	3,22	4,51	0,93	76,47	0,79	1,03	-1,55	90,48	5,03	5,56	-0,74	78,13	6,74	8,63	0,76
CaO	39,83	1,79	4,49	1,07	42,74	0,48	1,12	-0,68	50,23	2,79	5,55	-0,70	43,70	4,29	9,82	0,41
SiO <sub>2</sub>	19,76	2,51	12,70	-1,15	14,09	0,83	5,93	1,06	5,97	3,27	54,77	0,63	13,77	4,64	33,70	-0,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,38	0,61	18,05	-0,60	3,92	0,37	9,44	-0,55	1,56	0,87	55,77	0,86	3,52	1,06	30,11	-0,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,62	0,27	16,67	-0,30	1,78	0,19	10,67	-0,61	0,78	0,34	43,59	0,79	1,55	0,45	29,03	-0,55
MgO	1,21	0,29	23,97	0,74	1,13	0,15	13,27	0,27	0,81	0,29	35,80	-0,35	1,07	0,29	27,10	0,25
SO <sub>3</sub>	0,19	0,11	57,89	1,16	0,23	0,17	73,91	0,33	0,03	0,12	400,00	3,66	0,24	0,22	91,67	1,74
K <sub>2</sub> O	0,44	0,09	20,45	0,01	0,45	0,10	22,22	-3,02	0,16	0,1	68,75	1,17	0,40	0,15	37,50	-0,38
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,05	35,71	1,25	0,08	0,07	87,50	-0,03	0,03	0,06	200,00	1,25	0,07	0,09	128,57	1,29
SZ	67,78	13,57	20,02	2,11	95,29	5,40	5,67	-0,65	367,17	228,88	62,34	1,79	141,12	187,47	133,21	6,24
SM	4,02	0,92	22,89	0,94	2,48	0,31	12,50	0,90	2,54	0,55	21,65	0,32	2,69	0,53	19,70	0,56
AM	2,10	0,30	14,29	-0,08	2,27	0,47	20,70	3,41	1,94	0,54	27,84	0,55	2,29	0,46	20,09	1,63



Sl. 1. Distribucija  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{CaCO}_3$  u vapnencu i  $\text{SiO}_2$  u visokoj miješanoj sirovini  
Fig. 1. Distribution of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{CaCO}_3$  for limestone and  $\text{SiO}_2$  for »high« cement rock

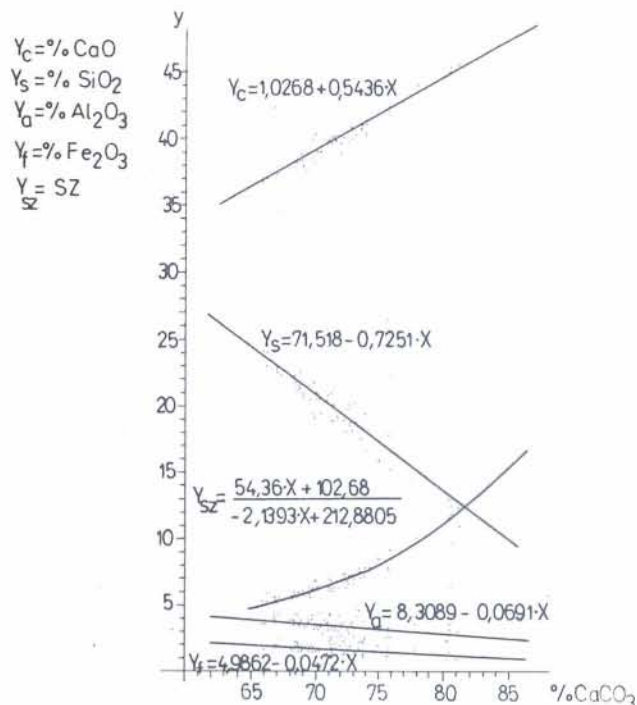
### Korelacija cementnih oksida i $\text{CaCO}_3$ u razmatranom ležištu

Koreliranost kalcijeva karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ) i glavnih cementnih oksida ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) vrlo je jaka s izuzetkom  $\text{Al}_2\text{O}_3$  u niskoj miješanoj sirovini (tablica 4, slike 2, 3, 4 i 5). Slabija linearna povezanost kod normalne sirovine (lapor) rezultat je homogenosti ove sirovine. Visoki stupanj koreliranosti  $\text{CaCO}_3$  i cementnih oksida omogućuje nam prognoziranje sadržaja cementnih oksida u većem dijelu ležišta koji je istražen isključivo na sadržaj  $\text{CaCO}_3$  (tablica 5).

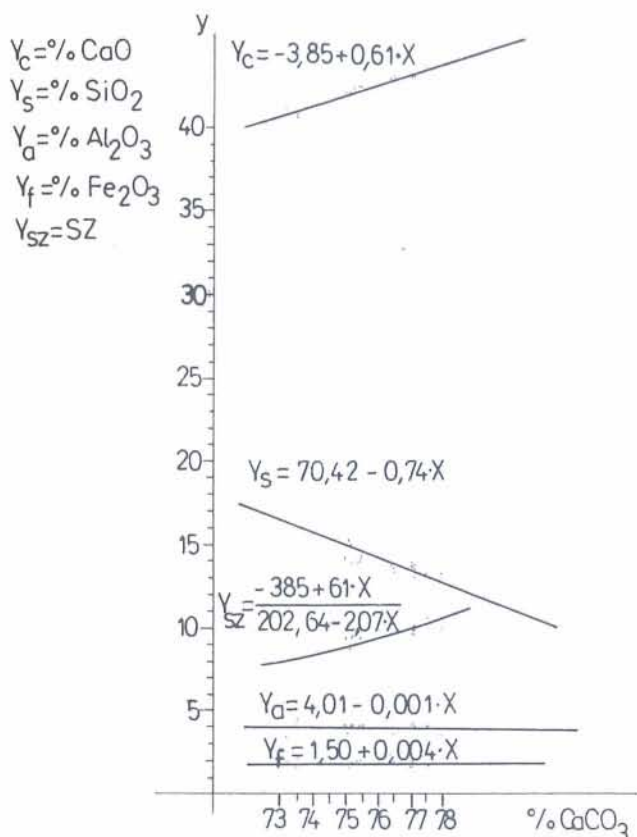
### Zaključak

Ležište cementnih sirovina u okolini Splita zastupljeno je s obzirom na sastav  $\text{CaCO}_3$  sa sljedećim sirovinama:

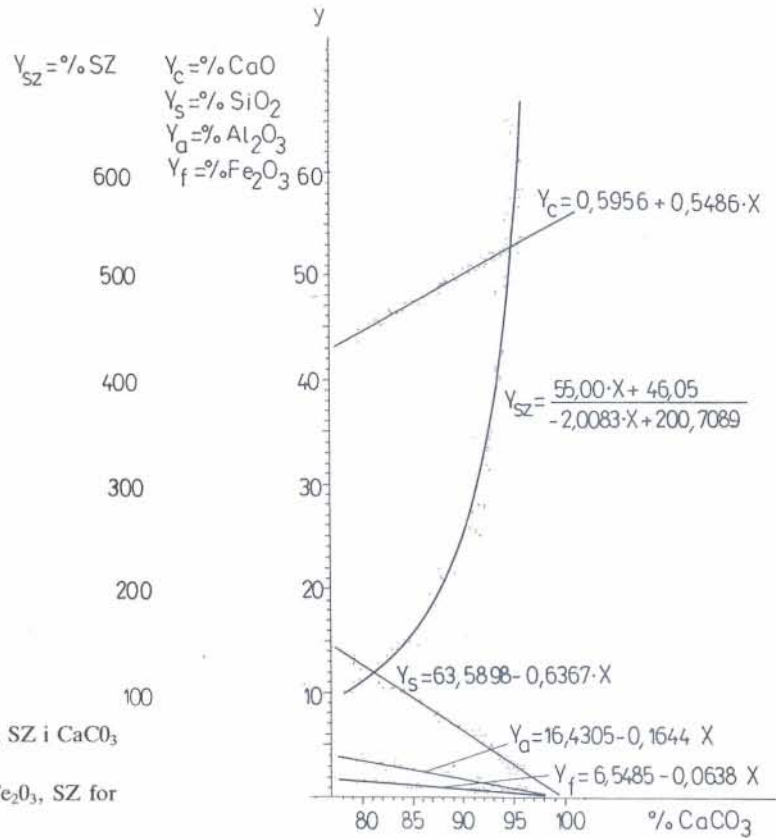
- niska miješana sirovina ( $\bar{X} = 71,39\% \text{ CaCO}_3$ ),
- lapor ( $\bar{X} = 76,47\% \text{ CaCO}_3$ ),



Sl. 2. Korelacijska zavisnost  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SZ}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{CaCO}_3$  u niskoj miješanoj sirovini  
Fig. 2. Correlation of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SZ}$  for »low« cement rock



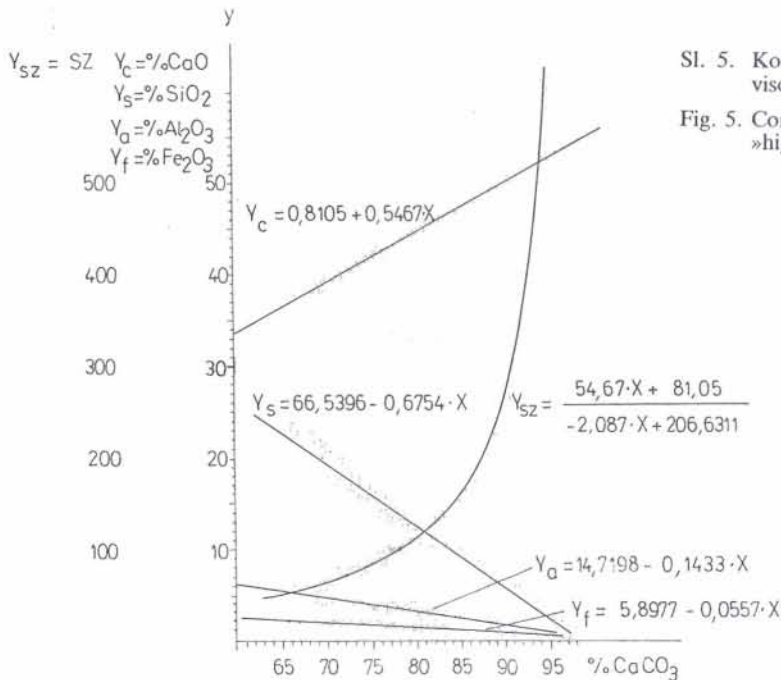
Sl. 3. Korelacijska zavisnost  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SZ}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{CaCO}_3$  u laporu  
Fig. 3. Correlation of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SZ}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  for marl



Sl. 4. Korelacijska zavisnost CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SZ i CaCO<sub>3</sub> u vapnencu  
 Fig. 4. Correlation of CaCO<sub>3</sub> and CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SZ for limestone

Tablica 4. (Table 4.)

KORELA-LACIJA (Correlation)	Niska miješana sirovina »low« cement rock	Lapor Marl	Vapnenac Limestone	Visoka miješana sirovina »high« cement rock
CaCO <sub>3</sub> –CaO	0,98	0,85	0,99	0,99
CaCO <sub>3</sub> –SiO <sub>2</sub>	-0,93	-0,66	-0,98	-0,98
CaCO <sub>3</sub> –Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,36	0,09	0,95	-0,90
CaCO <sub>3</sub> –Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,56	-0,11	-0,95	-0,89



Sl. 5. Korelacijska zavisnost CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SZ i CaCO<sub>3</sub> u visokoj miješanoj sirovini  
 Fig. 5. Correlation of CaCO<sub>3</sub> and CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SZ for »high« cement rock

Tablica 5. (Table 5.)

ETAŽA (LEVEL)	SIRO- VINA (RAW MATE- RIAL)	STATIS- TIKA (Statis- tics)	CaCO <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SZ	SM	AM
80	VMS	$\bar{X}$	74,70	41,86	15,37	3,79	1,60	89,09	2,87	3,37
		$\sigma$	3,35	1,88	2,07	0,55	0,23	19,91	0,17	0,08
		a		-0,04	60,70	15,17	6,36	-346,70	2,61	2,52
		b		0,56	-0,61	-0,15	-0,064	5,83	0,004	-0,002
80	V	$\bar{X}$	89,84	50,19	6,90	1,74	0,71	251,15	2,80	2,44
		$\sigma$	2,35	1,38	1,62	0,36	0,13	87,42	0,15	0,5
		a		-1,63	67,79	15,21	5,79	-3018,76	8,16	4,32
		b		0,58	-0,68	-0,15	-0,6	36,40	-0,06	-0,02
100	VMS	$\bar{X}$	75,65	42,18	15,67	3,73	1,57	90,46	2,93	2,38
		$\sigma$	5,25	2,54	3,07	0,63	0,27	26,72	0,32	0,07
		a		6,13	58,45	11,92	5,14	-288,72	4,81	2,07
		b		0,48	-0,57	-0,11	-0,05	5,01	-0,025	-0,004
120	V	$\bar{X}$	93,21	52,22	4,34	1,30	0,53	374,75	2,37	2,47
		$\sigma$	0,87	0,49	0,14	0,07	0,03	16,25	0,04	0,04
		a		-0,28	19,34	8,26	3,74	-1366,24	-1,38	-1,28
		b		0,56	-0,16	-0,07	-0,03	18,68	0,04	0,04
180	NMS	$\bar{X}$	72,37	40,55	19,25	2,72	1,21	70,39	4,97	2,25
		$\sigma$	1,17	0,66	0,94	0,36	0,15	4,58	0,38	0,11
		a		-0,04	74,18	22,91	10,06	-203,70	-14,64	2,19
		b		0,56	-0,76	-0,28	-0,28	3,79	0,27	9,10
200	NMS	$\bar{X}$	72,28	40,28	19,06	2,61	1,17	70,20	5,14	2,42
		$\sigma$	1,62	0,91	0,93	0,35	0,12	4,77	0,56	0,15
		a		-0,22	51,36	13,12	6,03	-100,88	-5,94	1,81
		b		0,56	-0,45	-0,15	-0,07	2,51	0,15	0,01
			1,00	-0,78	-0,67	-0,90	0,85	0,44	0,06	

- vapnenac ( $\bar{X} = 90,48\%$  CaCO<sub>3</sub>) i
- visoka miješana sirovina ( $\bar{X} = 78,13\%$  CaCO<sub>3</sub>).

Ležište je istraženo istražnim bušenjem - 17229 m i 17528 analiza na CaCO<sub>3</sub>.

Radi procjene cementnih oksida i modula, te radi utvrđivanja koreliranosti cementnih oksida i modula u odnosu na CaCO<sub>3</sub>, poslužio je skup od 381 uzorka od kojih su napravljene 381 kemijska analiza za površinski kop »Partizan« i 202 kemijske analize za površinski kop »Prvoborac«.

Statistička obrada oksida i modula pojedinih sirovina ukazuje na izrazitu asimetričnost distribucije cementnih oksida i modula, pri čemu je znatno zastupljena pozitivna asimetrija  $\alpha_3 < 0$ .

Visoki stupanj koreliranosti CaCO<sub>3</sub> i cementnih oksida, odnosno modula omogućuje valorizaciju i prognozu većeg dijela ležišta koje je istraženo samo za sadržaj CaCO<sub>3</sub>.

Poznavanjem distribucija varijabli koje definiraju ležište omogućuje postizavanje traženih veličina stupnja zasićenja (SZ), te silikatnog (SM) i alumi-

natnog (AM) modula nakon homogenizacije, te ravnomjernu racionalnu i dugoročnu proizvodnju sirovina na kopu.

Primljeno: 26. I. 1990.

Prihvaćeno: 4. VI. 1990.

#### LITERATURA:

- Matijaca, M. (1983): Ocjena kvalitete cementnih sirovina okoline Splita statističkim postupkom sa osvrtom na površinski kop »Partizan« - Kaštel Sućurac. Magistarski rad, Arhiva RGN-fakulteta, Zagreb.
- Omajev, V. (1985) O populacijama rudnih elemenata. *Rudarstvo, geologija, metalurgija*, 36, 12, 1746-1751, Beograd.
- Protić, M. (1961): Petrografija sedimentnih stena. Zavod za izdavanje udžbenika NRS, Beograd.
- Serdar, V., Šošić, I. (1987): Uvod u statistiku. Školska knjiga, Zagreb.
- Vujec, S., Rendulić, V., Prokopović, S. (1987): Glavni rudarski projekt eksploatacije površinskog kopa »Partizan«. Arhiva RGN-fakulteta, Zagreb.
- Vujec, S., Prokopović, S., Petzel, M., Kovačević, B., Zvežina, R.: Glavni rudarski projekt površinskog kopa »Prvoborac«. Arhiva RGN-fakulteta, zagreb.

## Contribution to the Statistical Interpretation of Raw Materials for the Cement Industry of Split

M. Matijaca, S. Vujec

The cement industry of Split has been active for more than 120 years. At the beginning cement was produced from marl. Marls within the flysch series on the hillsides of Kozjak and Mosor represent an ideal mixture for the production of Portland cement. From these raw materials the cement industry has successively developed having today the capacity over six thousand tons of clinkers a day. Marl reserves of the open pits have become too small, so that other beds of the flysch series begin to be exploited for cement production. These are limestones, marls, loess, sandstones and others whose mutual mixture has to satisfy degree of saturation, silicate moduls and aluminat moduls.

The amounts of main oxides and clinker minerals are presented in table 1. The deposit was explored with boreholes of 17299

m lenght, whareby 17528 analyses of  $\text{CaCO}_3$  were carried out. The correlations between cement oxides' and  $\text{CaCO}_3$  were studied on 583 samples which were chemically analyzed. The evaluation of cement oxides' distribution is expressed by the coefficient of asymmetry  $\alpha_3$  (table 3). Statistical data for individual raw materials are presented in table 3, and the correlation in table 4. The correlation between cement oxides ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) and calcium carbonate is very intensive (figures 2, 3, 4 and 5). High degree of the correlation between  $\text{CaCO}_3$  and cement oxides enables the determination of the cement oxides' content in the larger part of deposit where only  $\text{CaCO}_3$  was explored.