

# MĂCINAREA ZGURII GRANULATE DE FURNAL ADITIVATĂ ȘI NEADITIVATĂ. FACTORI DE INFLUENȚĂ GRINDING GRANULATED FURNACE SLAG WITH AND WITHOUT INTERGRINDING ADDITIVES. FACTORS OF INFLUENCE

ADRIANA MOANȚĂ<sup>\*1</sup>, ION TEOREANU<sup>2</sup>, ȘTEFANIA STOLERIU<sup>2</sup>, MIRELA MENICU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CEPROCIM S.A. B-dul Preciziei nr. 6, București, România

<sup>2</sup>Universitatea POLITEHNICA București, str. G. Polizu nr. 1, București, România

*Lucrarea de față prezintă rezultate privind comportarea la măcinare a zgurii granulate de furnal, în prezența aditivilor surfactanți din clasa aminoalcoolor. Investigațiile efectuate, în vederea stabilirii influenței surfactanților asupra aptitudinii la măcinare a zgurii rezultate, s-au realizat prin dozarea surfactantului în cursul procesului de măcinare. Zgura neaditivată la măcinare a fost considerată etalon. Surfactanții utilizați (MEA, DEA, TEA) au fost dozați în proporții diferite (0,01%, 0,03% și 0,05%), raportat la greutatea materialului supus măcinării. Zgura a fost măcinată la o finețe, exprimată prin suprafața specifică Blaine, de 4500 cm<sup>2</sup>/g.*

*The paper presents the results regarding the grindability of granulated blastfurnace slag interground with surface active additives belonging to the ethanalamines. The influence of the surfactants on the grindability of the slag was studied considering the usage of surfactants on slag grinding process. As reference, slag without any intergrinding additive was considered. The dosage of the aminoalcohols (as monoethanolamine, diethanolamine, and triethanolamine) had the following values: 0.01%, 0.03%, and 0.05% of the weight of the ground slag to grind. The slag was ground up to a fineness expressed as Blaine specific surface area of 4500 cm<sup>2</sup>/g.*

**Keywords:** grinding, blastfurnace granulated slag, surface additive

## 1. Introducere

Dezvoltarea necontrolată a societății omenești, mai cu seamă în perioada revoluției industriale și după aceasta, a fost însoțită de o serie de fenomene cu cele mai nedorite repercusiuni asupra mediului și dezvoltării industriale [1, 2].

Pentru a reduce efectele negative ale tipului actual de sistem economic, exploatarea resurselor, producerea materialelor, eliminarea deșeurilor, este necesar a se avea în vedere utilizarea unor materiale, care să asigure o dezvoltare durabilă, ceea ce presupune un control asupra emisiilor, duratei de viață a construcțiilor, energiei consumate la producerea materialelor de construcții, transformării deșeurilor în produse secundare, care să fie returnate producției de materiale și nu evacuate în mediul înconjurător ca deșeuri, să fie dezvoltată capacitatea de utilizare, prin chiar facilitarea reciclării [1,3].

Luată în calcul, în ansamblul ciclului lor de viață, materialele utilizate la realizarea construcțiilor ar trebui să consume cantități mici de energie în procesele de producere, să necesite o cantitate mică de energie pentru întreținerea lor pe întreaga durată de viață și să aibă emisii nesemnificative de gaze cu efect de seră.

## 1. Introduction

Uncontrolled development of the human society, especially during and after the industrial revolution, was accompanied by a series of events with the most undesirable repercussions on the environment and industrial development [1, 2].

To reduce the negative effects of current type of economic system, exploitation of raw materials, production materials, waste disposal, it is necessary to consider the use of some materials, for ensuring a sustainable development, which requires an control of emission, of long lifetime building construction, of energy consumed to produce building materials, of processing waste materials to be returned to the production of materials and not discharged into the environment as waste, and to develop the capacity to wastes usage, by the facilitation of recycling [1,3].

Considering, the whole of their life, materials used for buildings construction should consume small amounts of energy in production processes, and should require a small amount of energy for their maintenance throughout lifetime and have insignificant emissions greenhouse gas emissions.

Worldwide research towards finding ways and methods to reduce energy consumption in

\* Autor corespondent/Corresponding author,  
Tel.:0040 21 318.88.98, e-mail: [adriana.moanta@ceprocim.ro](mailto:adriana.moanta@ceprocim.ro)

Cercetările pe plan mondial în direcția găsirii unor căi și metode de reducere a consumului de energie la măcinarea cimentului, au condus atât la perfecționarea ansamblului instalațiilor de măcinare, cât și la introducerea și extinderea tot mai largă în ultimii ani, a utilizării aditivilor tensioactivi, ca intensificatori ai proceselor de măcinare. S-a ajuns la concluzia că folosirea surfactanților în industria materialelor de construcții constituie unul din mijloacele cele mai eficiente de reducere a consumurilor la măcinare și modelare a proprietăților produsului finit.

Buna folosire a puzzolanelor sau a materialelor cimentoide poate îmbunătăți nu numai lucrabilitatea, rezistențele mecanice finale și durabilitatea, dar poate avea și influențe pozitive asupra condițiilor economice și, mai ales, ecologice [4,5].

Astfel, se evidențiază o preocupare sporită pentru utilizarea, la fabricarea cimentului, a unor adaosuri cimentoide suplimentare, naturale sau subproduse industriale, justificată economic și ecologic.

## 2. Condiții experimentale

Investigațiile efectuate au avut drept scop, stabilirea efectului utilizării aminoalcoolilor (etanolamina, dietanolamina și trietanolamina, numite de acum înainte MEA, DEA și TEA), ca aditivi la măcinarea zgurii. Astfel, s-a urmărit stabilirea:

- corelațiilor între parametrii dispersionali – timp de măcinare – proporție de zgură – natura și proporția aditivului;
- eficienței din punct de vedere al reducerii consumului specific de energie la măcinare;
- influenței asupra distribuției granulometrice la utilizarea aditivilor.

Informații privind influența aditivilor asupra măcinării zgurii granulate sunt aduse și în lucrările [3,6].

cement grinding, lead both to improve overall milling facilities, as well as the usage and expansion of their usage in recent years, of surfactants as additives intensification of grinding processes. It was concluded that the use of surfactants in the building materials industry is one of the most effective ways to reduce consumption in grinding and shaping the final product properties.

Good usage of pozzolanas or cementitious materials not only can improve workability, final mechanical strengths and durability, but can also have positive influence on economic conditions and, especially, environmental [4,5].

Thus, it highlights the growing concern for use in the manufacture of cement, of cementitious materials (natural or industrial by-products), economically and environmentally justified.

## 2. Experimental

The investigations were focused on the effect of the ethanolamines (monoethanolamine, diethanolamine, and triethanolamine named from this point forward MEA, DEA, and TEA), in use as intergrinding additives in the granulated blast-furnace slag. Thus, it was aimed to establish:

- the correlations between grain size distribution parameters – grinding time – slag proportion – the nature and proportion of used additive
- the additive efficiency by point of view of reducing specific energy consumption in grinding
- the influence of mentioned additives on particle size distribution;

Research data regarding the influence of additives on grinding granulated slag are also presented in papers [3, 6].

The dosage of the surfactants (0.03%, 0.05%, and 0.1%) was related to the weight of the slag to grind. As reference was considered the slag without any surface active agent.

Tabelul 1

Caracteristici chimice ale zgurii granulate de furnal  
Chemical characteristics of blastfurnace granulated slag

Caracteristica Characteristic (%)	Zgură granulată de furnal / Blastfurnace granulated slag		
	Valori determinate Measured values	Condiții impuse de / Requirements as per	
		SR EN 197-1	SR 648
P.C.	2.47	-	max. 3.0
SiO <sub>2</sub>	34.60	-	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.87	-	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6	-	
CaO	42.24	-	
MgO	4.71	-	max. 7.0%
Ins. HCl / Insolubles in HCl	0.8		max. 1.5
SO <sub>3</sub>	0.84		max. 2.5%
CaO + MgO + SiO <sub>2</sub>	81.55	min. 66%	min. 66%
(CaO + MgO) / SiO <sub>2</sub>	1.35	min. 1.0	min. 1.0
CaO / SiO <sub>2</sub>	1.22	-	max. 1.4
Conținut fază vitroasă / Vitreous phase	65-67	min. 2/3 din masă min. 2/3 of the wt.	min. 2/3 din masă min. 2/3 of the wt.

Aditivii utilizați s-au dozat în diferite proporții (0,03%; 0,05%; 0,1%), raportate la masa zgurii supusă măcinării. Zgura neaditivată la măcinare s-a considerat zgură etalon.

Zgura a fost măcinată la o finețe, exprimată prin suprafața specifică Blaine, de aproximativ 4500 cm<sup>2</sup>/g.

Zgura granulată de furnal a fost caracterizată din punct de vedere chimic și fizico-mecanic.

Caracteristicile chimice determinate sunt prezentate în tabelul 1.

### 3. Rezultate și interpretări

*Efectul aditivilor asupra măcinării zgurii granulate de furnal s-a urmărit prin:*

- variația suprafeței specifice Blaine în funcție de natura și proporția de aditiv, la durate constante de măcinare;
- aptitudinea la măcinare a zgurilor cu diferite proporții de aditiv;
- modificarea distribuției granulometrice la utilizarea aditivilor;

#### 3.1. Măcinarea la durate constante. Corelații parametrii dispersionali (suprafață specifică) – timp de măcinare – natura și proporția aditivului

*Dependența suprafeței specifice Blaine de natura și proporția de aditiv, la durate constante de măcinare, s-a urmărit prin măcinarea cu diferite proporții (0,03%, 0,05%, 0,1%) de aditiv (MEA, DEA, TEA), considerând următoarele durate de măcinare: 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240 și 300 minute.*

Valorile suprafețelor specifice Blaine (cm<sup>2</sup>/g), obținute pentru zgurile aditate, comparativ cu zgura neaditivată – considerată etalon – sunt prezentate în tabelul 2.

The slag was ground up to a fineness expressed as Blaine specific surface area of approx. 4500 cm<sup>2</sup>/g.

The slag was chemical and physical analyzed. Table 1 presents the chemical characteristics of the blastfurnace granulated slag.

According to the data from the Table 1, the blastfurnace granulated slag fulfill the requirements from standards SR EN 197–1 and SR 648.

### 3. Results and discussion

*Additives effect on grinding granulated blastfurnace slag was followed by:*

- Blaine specific surface changes with the nature and proportion of additive, at fixed grinding time;
- grindability slag at different proportions of additive;
- change the grain size distribution at additive usage;

#### 3.1. Grinding at constant grinding times. Correlation between the grain size distribution parameters (specific surface area) – grinding time – the nature and proportion of surfactant additive

*Blaine specific surface dependence on nature and proportion of additive, for constant grinding times was observed by grinding with different proportions (0.03%, 0.05%, 0.1%) of additive (MEA, DEA, TEA), for the following grinding times: 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240 and 300 minutes.*

Blaine specific surface values (in cm<sup>2</sup>/g), obtained for slags with additive, as compared to reference slag, – are presented in Table 2.

From the presented data it can be pointed out the finesse increasing with the increase of grinding time, as well as a better efficiency of the additive TEA, especially for a 0.05% proportion [7].

**Tabelul 2**

Variația suprafeței specifice Blaine în funcție de tipul și proporția de aditiv  
*Blaine specific surface dependence on nature and proportion of additive*

Timp de măcinare Grinding time (min)	Etalon Reference	S <sub>Sp</sub> (cm <sup>2</sup> /g), pentru zguri aditate și neaditate (etalon) S <sub>Sp</sub> (cm <sup>2</sup> /g), for slag with and without additive								
		MEA (%)			DEA (%)			TEA (%)		
		0.03	0.05	0.1	0.03	0.05	0.1	0.03	0.05	0.1
15	3500	3870	4050	3900	3630	3920	3700	3738	3790	3640
30	4350	4400	4580	4510	4340	4760	4480	4540	4800	4500
45	4650	4760	4920	4860	4670	4980	4880	4810	5020	4940
60	5130	5480	5700	5610	5420	5550	5460	5520	5640	5540
120	6300	6650	6840	6710	6470	6750	6510	6700	6940	6715
180	6800	7250	7415	7300	7180	7340	7250	7300	7510	7200
240	7380	7540	7500	7420	7400	7470	7310	7610	7540	7220
300	7430	7580	7610	7510	7500	7580	7480	7670	7760	7540

Din datele prezentate se poate observa creșterea fineții, odată cu creșterea timpului de măcinare, precum și o eficiența mai bună a aditivului TEA, în special pentru un dozaj de 0,05% [7].

#### 3.2. Determination of grindability

*The slag grindability, with different additive proportion, was done by measuring the specific energy consumption corresponding ground binder*

### 3.2. Determinarea aptitudinii la măcinare

Aptitudinea la măcinare a zgurii, cu diferite proporții de aditiv, s-a realizat prin măsurarea consumului specific de energie, corespunzător măcinării zgurii până la o finețe de aproximativ 4500 cm<sup>2</sup>/g.

Informațiile, privind dependența consumului specific de energie în raport cu suprafața specifică realizată (pentru diferite proporții de aditiv surfactant folosit la măcinare) a materialului (zгурă) măcinat, sunt prezentate în tabelele și figurile din paragrafele următoare, corespunzătoare aditivilor MEA, DEA și TEA.

Aptitudinea la măcinare a zgurii măcinate în prezența MEA. Rezultatele obținute în urma măcinării zgurilor în prezența aditivului MEA, comparativ cu zgura neaditivată sunt prezentate în figura 1. Proporția optimă de aditiv, din punct de vedere al gradului de reducere a consumului specific de energie la măcinare, este de 0,05%.

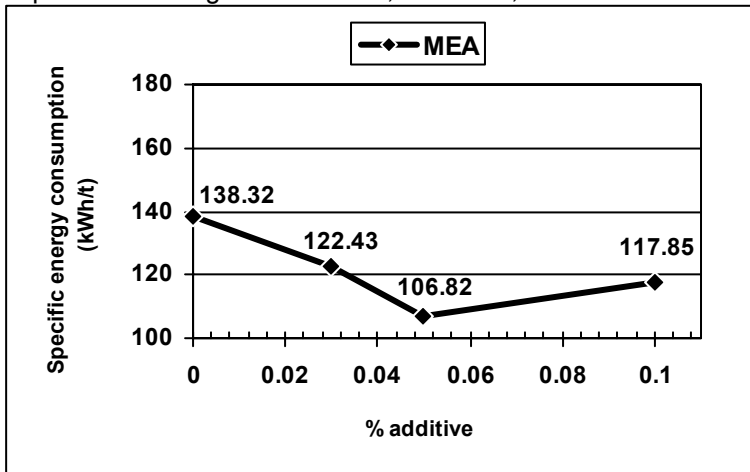


Fig. 1. - Variația consumului de energie, în funcție de proporția de surfactant MEA utilizată, pentru o suprafață specifică Blaine de aprox. 4500 cm<sup>2</sup>/g / Evolution of energy consumption with increasing of used MEA surfactant proportion for a specific area Blaine of approx. 4500cm<sup>2</sup>/g

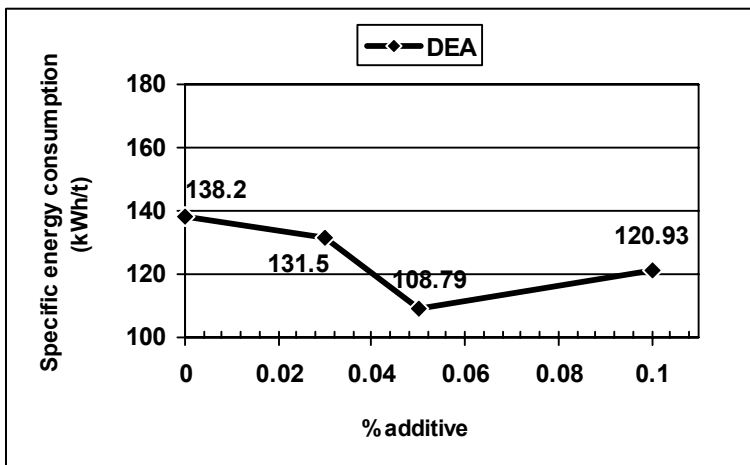


Fig. 2 - Influența proporției de aditiv DEA asupra consumului specific, pentru o suprafață specifică Blaine de aprox. 4500 cm<sup>2</sup>/g / Influence the proportion of DEA additive on specific consumption for a Blaine specific surface area of approx. 4500 cm<sup>2</sup>/g.

Efectul de reducere, a consumului specific de energie, cel mai evident, este semnalat, în cazul dozării MEA, în proporție de 0,05%, dozaj la care se înregistrează cel mai mic consum de energie (106,82 kWh/t), obținându-se o reducere de cca. 32 kWh/t, comparativ cu cel înregistrat în cazul zgurii neaditivată

Aptitudinea la măcinare a zgurii măcinate în

(slag) to a fineness of about 4500 cm<sup>2</sup>/g.

The information regarding the specific consumption of energy for obtained specific surface area with different additive proportions of surfactant used in grinding, of the ground material (slag), are presented in follow tables and figures, for additives MEA, DEA and TEA.

*The slags grindability in MEA presence.* The results obtained from grinding slag in the presence of MEA additive compared with reference slag are shown in Figure 1. Optimal proportion of additive, in terms of reduction in specific energy consumption in grinding, is 0.05%.

The reduction of specific energy consumption, the most obvious one, is noted for a MEA dosage of 0.05% for which is recorded the lowest energy consumption (106.82 kWh/t), achieving a reduction of approx. 32 kWh / t, as compared with that recorded for reference slag.

*The slags grindability in DEA presence.* Based on obtained results of slag grinding with DEA additive, shown in Figure 2, it is observed, as with the usage of MEA as a surfactant, a reduction of specific energy consumption for grinding, compared with reference slag for all three used proportions.

Optimal proportion of additive, in terms of

prezența DEA. Pe baza rezultatelor obținute în cazul utilizării, ca aditiv, a DEA la măcinarea zgurii, prezentate în figura 2, se observă, ca și în cazul utilizării ca surfactant, a MEA, o reducere a consumului specific de energie la măcinare, comparativ cu zgura etalon (neaditivată), pentru cele trei dozaje utilizate.

Proporția optimă de aditiv, din punct de vedere al reducerii consumului de energie, este de 0,05%.

În cazul dozării DEA, în proporție de 0,05%, se obține o scădere a consumului de energie de circa 30kWh/t, față de zgura neaditivată la măcinare.

În cazul celorlalte două dozaje de aditiv, eficiența reducătoare este mai mică, înregistrându-se reduceri de aproximativ 7 kWh/t pentru dozajul de 0,03%, respectiv aproximativ 17 kWh/t la un dozaj de 0,1%.

*Aptitudinea la măcinare a zgurilor măcinate în prezența TEA.* Influența proporției de aditiv asupra consumului specific de energie la măcinare, comparativ cu zgura neaditivată, este redată în figura 3.

reducing energy consumption is 0.05%.

For a 0.05% DEA proportion is obtained a reduction in energy consumption of approx. 30kWh/t, compared reference slag grinding. In the other two proportion of additive, the reducing the efficiency is lower, of about 7 kWh/t for the dosage of 0.03% and of about 17 kWh/t for the dosage of 0.1%.

*The slags grindability in TEA presence.* The influence of additive proportion on the grinding specific energy consumption compared to reference slag, is presented in Figure 3.

The data presented for ground slag in the presence of TEA, compared with reference slag, shows similar effects to those obtained in the use of MEA and DEA.

Thus, in terms of specific energy consumption in grinding it shows a reduction in the use of the three proportions of additive.

As with the use of MEA and DEA, the optimal proportion, in terms of the effect of reducing specific energy consumption is 0.05%. Using this additive proportion leads to a reduction in specific energy consumption by about 40 kWh/t

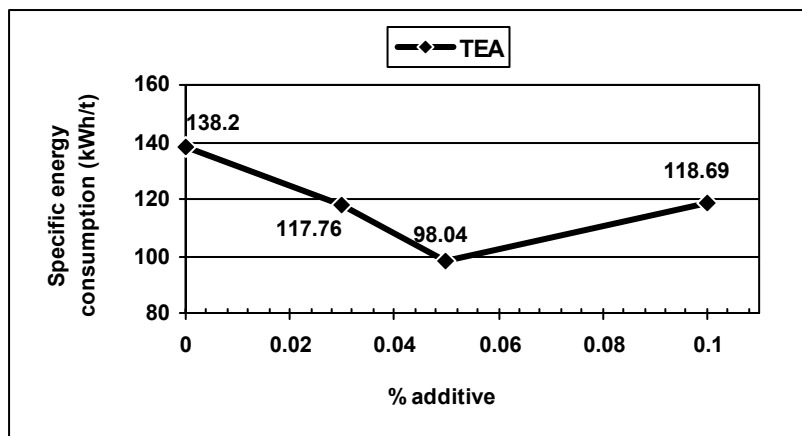


Fig. 3 - Influența proporției de aditiv TEA asupra consumului specific, pentru o suprafață specifică Blaine de aprox. 4500 cm<sup>2</sup>/g / Influence of the proportion of TEA additive on specific consumption for a Blaine specific surface area of approx. 4500 cm<sup>2</sup>/g.

Din datele prezentate, pentru zgura măcinată în prezența TEA, comparativ cu zgura neaditivată, se constată efecte similare cu cele obținute și în cazul utilizării MEA și DEA.

Astfel, din punct de vedere al consumurilor specifice de energie la măcinare se constată o reducere a acestora în cazul utilizării celor trei proporții de aditiv.

Ca și în cazul utilizării MEA și DEA, proporția optimă, din punct de vedere al efectului de reducere a consumului specific de energie este de 0,05%. Utilizarea acestei proporții determină o reducere a consumului specific de energie cu aproximativ 40 kWh/t față de consumul înregistrat pentru zgura neaditivată.

Analizând valorile consumurilor specifice de energie, obținute pentru proporția optimă de aditiv, se poate observa eficiența cea mai bună, din punct de vedere al reducerii consumului la măcinare, cea determinată de TEA.

compared to the consumption registered for reference slag.

Analyzing the specific energy consumption values obtained for the optimal proportion of additive, it can be seen best efficiency, in terms of reduced consumption in grinding, the TEA.

### 3.3. Grain size distribution of ground granulated slags with additives

The results obtained with laser grain size analyzer, for a particle size fraction up to 3μm and up to 32μm of ground granulated slag, with and without additive, for a fineness of approx. 4500 cm<sup>2</sup>/g are presented in Table 3.

Analyzing the information presented in Table 3, it can see that the TEA additive, for optimal dosage of 0.05%, and DEA additive for 0.05% and 0.03%, for which allow the maintain of gain size distribution within the limits of reference slag without improving the gain size distribution.

### 3.3. Distribuția granulometrică a zgurii granulate aditivate la măcinare

Rezultatele obținute, pentru fracțiunea sub  $3\mu\text{m}$  și sub  $32\mu\text{m}$ , în urma analizei granulometrice laser a zgurilor granulate măcinate, cu și fără aditiv, la o finețe de cca.  $4500\text{ cm}^2/\text{g}$  sunt prezentate în tabelul 3.

Analizând informațiile prezentate în tabelul 3, se poate observa că totuși TEA, pentru un dozaj optim de 0,05%, precum și DEA la 0,03% și 0,05% care, în aceste condiții mențin distribuția granulometrică în limitele probei neaditivate, fără să îmbunătățească distribuția granulometrică obținută pentru zgura măcinată fără aditiv.

### 4. Conclusion

The present research, by results processing and interpretation, can highlight the following conclusions:

- for constant grinding time it can be observed the finesse increase with increasing grinding time, as well as a better efficiency of the additive TEA, especially for a 0.05% proportion;
- regarding the grindability, the best effect (considered through reduction of grinding specific energy consumption) is obtained, when used TEA, at a 0.05% proportion;
- the used additives does not affect favorable the grain size distribution of slag.

Tabelul 3

Tip și proporție aditiv <i>Nature and porportion of additive</i>		Suprafața specifică <i>Specific surface area</i> ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	Distribuția granulometrică a zgurilor / <i>Slags grain size distribution</i>	
			Distribuția granulometrică / <i>Grain size distribution</i> (%)	
			sub $3\mu\text{m}$ <i>up to <math>3\mu\text{m}</math></i>	sub $32\mu\text{m}$ <i>up to <math>32\mu\text{m}</math></i>
-	-	4560	18,3	77,3
MEA	0,03%	4550	17,5	73,5
	0,05%	4560	15,0	70,2
	0,1%	4530	15,0	68,7
DEA	0,03%	4550	18,5	76,5
	0,05%	4580	18,3	76,3
	0,1%	4510	17,0	74,7
TEA	0,03%	4560	15,0	69,8
	0,05%	4510	15,0	76,8
	0,1%	4550	17,5	71,8

### 4. Concluzii

Prin cercetările efectuate, prin prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute, se pot evidenția următoarele concluzii:

- la durate constante de măcinare, se poate observa creșterea fineții, odată cu creșterea timpului de măcinare, precum și o eficiență mai bună a aditivului TEA, în special pentru un dozaj de 0,05%;
- în cazul aptitudinii la măcinare, efectul cel mai bun (în sensul scăderii consumului specific de energie la măcinare) se obține, în cazul utilizării TEA, în proporție de 0,05%;
- aditivii utilizați nu influențează favorabil distribuția granulometrică a zgurilor.

### REFERENCES

1. J. B. Harrison, Fundamental for Sustainability in the Built Enviroment – [www.tececo.com](http://www.tececo.com)
2. A.Vădineanu, Sustainable development, University of Bucharest Publishing House, 1998.
3. R. N. Swamy, Cost-effective environmentally-friendly construction materials for infrastructure application", 3<sup>rd</sup> International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies NOCMAT/3, 1-23, March 12-13 2002, Hanoi, Vietnam. Construction Publishing House, March 2002.
4. P.V.Krivenko, Alkaline cements and concretes: problems of durability Proceed. of 2<sup>nd</sup> International Conference on Alkaline Cements and Concretes, 18-20 May 1999, Kyiv, Ukraine. Oranta Ltd., 1999, pp. 3-43.
5. A. Moanță, G. Guslicov, and G. Stanciu, The effect of surfactants on grinding and hardening the Portland slag cement containing high blast furnace slag proportions, Romanian Journal of Materials, 2008, **38** (4), 293.
6. I. Teoreanu, and A. Moanță, Comparative interpretation of the effect of surfactants on grinding Portland cement with high proportions of granulated blast furnace slag, UPB Scientific Bulletin, 2009, **71**, (2), 19.
7. D. Padovani, B. Corcoran, and J. M. S. Gil, Los aditivos de molienda en los cementos con escoria, Cemento Hormigon, 2005, **6**, 26.

\*\*\*\*\*