

EVOLUȚIA GRADULUI DE UNIFORMITATE AL AMESTECURILOR GRANULARE DISPERSE ÎN TIMPUL MĂCINĂRII

EVOLUTION OF THE UNIFORMITY DEGREE OF DISPERSE GRANULAR MIXTURE DURING GRINDING

CORINA MITU^{1*}, DOREL RADU²

¹Universitatea Tehnică de Construcții, B-dul Pache Protopopescu nr. 66, sector 2, București, România

²Universitatea "POLITEHNICA" București, Str. G. Polizu nr. 1, sector 1, București, România

Pe fluxul tehnologic de fabricare a cimentului portland, operația de măcinare a amestecului de materii prime este determinantă pentru obținerea unei anumite distribuții granulometrice, cu un grad de uniformitate prestabilit, aptă să asigure o bună comportare la clincherizare a amestecului de materii prime. În acest context, gradul de uniformitate granulometrică poate fi considerat un parametru tehnologic important care poate măsura schimbările granulometrice ale amestecului de materii prime pe parcursul măcinării acestuia. Pentru a releva potențialul practic al gradului de uniformitate granulometrică în operația de măcinare a amestecurilor de materii prime, în articol se prezintă o serie de corelații între gradul de uniformitate și o serie de caracteristici granulometrice ale unor amestecuri de materii prime specifice industriei cimentului, care se modifică în timpul măcinării.

In the flow technology of manufacturing Portland cement, operation of grinding the mixture of raw materials is decisive to obtain a certain particle size distribution with a prescribed degree of uniformity for providing good clinkerization reaction of the mixture of raw materials.

Uniformity degree can be considered an important technological parameter which can measure the change of the particles size of the raw materials mixtures during grinding.

This paper presents some correlation between the uniformity degree and a number of granulometric characteristics of some mixtures of raw materials from cement industry which is changing during the grinding.

Keywords: grinding, mixture of raw materials, particle size distribution, uniformity degree

1. Introducere

În multe din tehnologiile actuale, cum ar fi cele din industria: cimentului, chimică, metalurgică, extractivă, de medicamente etc. are loc procesarea unor amestecuri pulverulente (amestecuri de materii prime, semifabricate sau produse finite). Operația de măcinare din cadrul procesului tehnologic este importantă, deoarece caracteristicile granulometrice ale materialelor măcinate determină atât nivelul de calitate al produsului finit, cât și valorile efective ale unor indicatori tehnico-economici de eficiență.

Procesarea optimă a amestecurilor de materii prime din industria cimentului implică o serie de condiții referitoare la omogenitatea chimică și la distribuția granulometrică. De obicei, cerințele legate de distribuția granulometrică se referă la valorile limită și medii pentru diametrele granulelor, respectiv la ponderea diverselor clase granulometrice. În funcție de particularitățile procesului la care participă materialul pulverulent în diferite etape și de proprietățile cerute pentru produsul finit, distribuția granulometrică trebuie să prezinte un anumit grad de uniformitate granulometrică, deoarece acesta are o influență

1. Introduction

Many of the presents technologies, such as the ones in the chemical industry, metallurgical, extractive, pharmaceutical industry etc. carry out a processing of some powder mixtures (mixtures of raw materials, half-finished or finite products). Grinding operation in the technological process is important because the granulometric characteristics of ground materials determines the quality level of finished product and the actual values of the technical-economical indicators of efficiency.

The best procesing of polygranular mixtures, involves some conditions regarding chemical homogeneity and particle size distribution. Usually, requirements for granulometric distribution refers to the limit values and average for grain diameter, respectively the proportion of various particle size classes. Depending on the particular process involving different stages of the powdery material properties required for the final product, particle size distribution must have a certain uniformity degree, because it has a decisive influence on the quality of the cement, expressed through its properties as well as thermal and

* Autor corespondent/Corresponding author,
Tel: 0744431914, e-mail: mitu_corina_mihaela@yahoo.com

hotărâtoare atât asupra calității cimentului, exprimată prin proprietățile acestuia, cât și asupra eficienței termice și energetice a unor operații ca: mărunțire - măcinare, separare, dozare, clasare, omogenizare etc. aferente procesului tehnologic de obținere a cimentului portland. Totodată, acest indicator influențează și modul în care se desfășoară procesele de transfer termic, clincherizare și hidratare a cimentului [1 - 7].

În domeniul materialelor oxidice, valabilitatea diverselor legi de distribuție pentru amestecurile granulare disperse este determinată de mai mulți factori: caracteristicile fizice, morfologice și dimensionale ale materialului, modul în care se obține amestecul, metoda experimentală de stabilire a distribuției granulometrice și modalitatea de prelucrare statistică a datelor practice pentru obținerea formulelor de calcul.

Cu excepția materialelor monogranulare, care se utilizează rar în tehnologia silicaților, majoritatea materialelor reprezintă materiale poligranulare. În funcție de specificul operației din fluxul tehnologic în care acestea apar, ele prezintă o anumită dispersie a diametrelor în jurul unei valori medii, precum și distribuții granulometrice uni sau multimodale. Rezultă, de aici, că *gradul de uniformitate granulometrică al amestecurilor poligranulare poate fi diferit, chiar dacă suprafața lor specifică sau diametrul mediu este același*. Pentru ilustrare se prezintă în figura 1 două amestecuri granulare care sunt caracterizate de o lege de distribuție Gauss, prezentând aceeași valoare a diametrului mediu, dar având grade de împrăștiere diferite. Este evident că procesarea celor două materiale pe același flux tehnologic va prezenta unele diferențieri (referitoare, de exemplu, la transferul termic de la gazele de ardere la material, la desfășurarea reacțiilor chimice sau la comportarea la măcinare). Aceeași concluzie se poate trage și din figura 2 în care se poate vedea că pentru același diametru mediu, distribuțiile granulometrice a trei amestecuri granulare sunt puternic diferite.

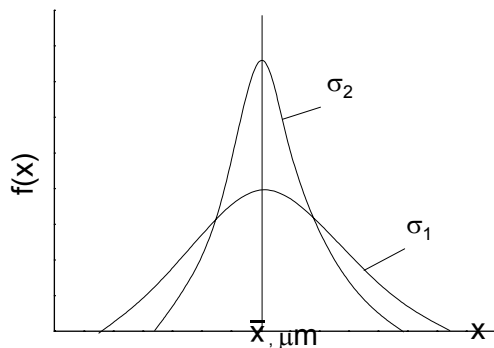


Fig.1 - Două tipuri de distribuții granulometrice de tip Gauss caracterizate de grade de dispersie diferite, dar prezentând același diametru mediu / Two types of Gaussian particle size distributions characterized by different degrees of dispersion, but showing the same average diameter.

energy efficiency of operations such as: crushing-grinding, separating, dosage, classification, homogenization etc. related to the technological process of obtaining Portland cement. At the same time, this indicator influences the way of thermic transfer, clinkerization and hydration cement process, as well as the efficiency of some operations, such as: grinding, homogenization, etc. [1 - 7].

For the oxide materials, the validity of various laws of distribution for dispersed granular mixtures is determined by several factors: the physical, morphological and dimensional characteristics of the material, the way of receiving the mixture, the experimental method of determining particle size distribution and statistical data processing of the experimental dates for the calculated equation.

Except monograins materials, which are seldom used in the silicates technology, the most of the materials represents polygranular materials. Depending on the specific nature of the operation from the technological flow in which the materials appear, they represent certain diameter dispersion around a medium value and also multimodal and granulometric distributions. Thus it results the *granulometric degree of uniformity of powdery mixtures can be different even if their specific surface or medium diameter is the same*. Figure 1 represents two granular mixtures both characterized by a Gauss distribution law and having the same value of medium diameter, but different dispersing degrees. It is obviously that processing the two mixtures on the same technological flow will present certain differences (like heat transfer from burning gazes to the material, reaction flow or milling bearing). The same conclusion can be drawn from the Figure 2 in which one appears that for the same average diameter, the size distributions of the three granulometric mixtures are strongly different.

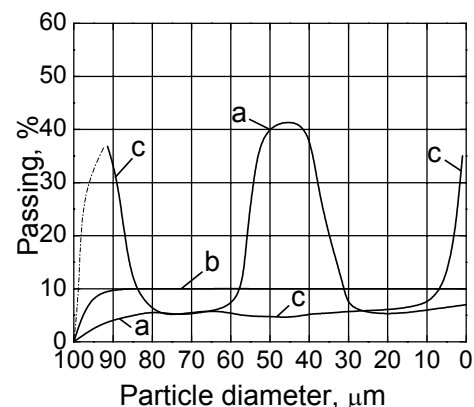


Fig.2 - Distribuțiile granulometrice pentru trei amestecuri poligranulare caracterizate de același diametru mediu, dar prezentând grade de uniformitate granulometrică diferite / Particle size distributions for three mixtures poligranulare environment characterized by the same diameter, but showing different uniformity degrees.

În lucrare se analizează rezultatele obținute la măcinare pentru un număr de 7 amestecuri de materii prime, tipice industriei cimentului [7], denumite AMP1 - AMP7. Aceste amestecuri de materii prime diferă atât din punct de vedere compozițional, cât și al procentului în care se amestecă materiile prime pentru a obține amestecul brut; ele sunt constituite din: calcar și argilă (AMP1 și AMP2); calcar și marnă (AMP3 - AMP6); calcar, marnă și adaos de corecție (AMP7).

Măcinarea fiecărui amestec de materii prime a fost realizată într-o moară de laborator, iar pentru fiecare amestec s-a determinat aptitudinea la măcinare prin măsurarea consumului specific de energie la diverse intervale de timp [8]. Materialul măcinat a fost analizat din punct de vedere granulometric și pentru fiecare amestec s-a determinat curba de distribuție granulometrică.

2. Rezultate și discuții

Amestecurile de materii prime au fost analizate din punct de vedere granulometric și s-a constatat că, în toate cazurile, curba de distribuție granulometrică este de tip Rosin - Rammler - Sperling (relația 1). Din acest motiv, pentru amestecurile de materii prime au fost stabilite reziduurile cumulate R_x , dar, și densitatea de repartiție $\frac{dT(x)}{dx}$ (relația 2). Totodată, pentru

fiecare amestec de materii prime au fost calculați:

- parametrii distribuției Rosin - Rammler - Sperling: parametrul de poziție (x' , μm) și indicele de uniformitate (n);
- densitatea de repartiție Rosin - Rammler - Sperling (relația 3);
- diametrul x_{50} , μm , pentru care se înregistrează un reziduu de 50% (relația 4);
- gradul de uniformitate (GU).

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x}{x'}\right)^n} \quad (1);$$

$$T(x) = 1 - R(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{x'}\right)^n} \quad (2)$$

Pentru a calcula n și x' se utilizează valorile reziduurilor pe sitele de $90\mu\text{m}$ și $200\mu\text{m}$. O problemă aparte o constituie evaluarea cantitativă a gradului de uniformitate.

În industria cimentului caracterizarea unui material pulverulent din punct de vedere granulometric se face cu ajutorul distribuției granulometrice. Din multitudinea de *legi de distribuție* prezentate în literatură, pentru caracterizarea distribuțiilor granulometrice a materialelor măcinate, cel mai des utilizate sunt

This paper analyzes the results from grinding the seven mixtures of raw materials [8], called AMP1 - AMP7. These mixtures of raw materials are different in the terms of compositional and also of proportion in which they are blended to obtain the raw mixture; they are made from: lime and clay (AMP1 and AMP2); lime and marl (AMP3-AMP6); lime, marl and correction additive (AMP7).

Each mixture of raw materials was made in a laboratory mill, and for each mixture was measuring the specific expenditure of energy at various time intervals to determine the ability to grind. Milled material was analyzed in terms of granulometric and for each mixture was determined particle size distribution.

2. Results and discussions

Mixtures of raw materials were analyzed in terms of granulometric and found that in all cases the granulometric distribution is of the type Rosin - Rammler - Sperling (eq. 1).

For this reason for each of the mixtures of raw materials were set cumulated residue R_x , and the repartition density $\frac{dT(x)}{dx}$ (eq. 2). Also, for each of the mixtures of raw materials were calculated:

- distribution parameters Rosin - Rammler - Sperling: position parameter (x' , μm) and uniformity index (n);
- repartition density Rosin - Rammler - Sperling (eq. 3)
- x_{50} diameter, μm , for passing 50% of material (eq. 4);
- uniformity degree (UD).

$$f(x) = \frac{dT(x)}{dx} = \frac{n}{x'} \left(\frac{x}{x'}\right)^{n-1} e^{-\left(\frac{x}{x'}\right)^n} \quad (3)$$

$$x_{50} = x' \cdot (\ln 2)^{1/n} \quad (4)$$

To calculate n and x' are used values of residues at the sieve of $90\mu\text{m}$ and $200\mu\text{m}$.

In the cement industry, characterisation of a powdery material in terms of granulometric are made using particle size distribution. From the literature the most used laws to characterise particle size distributions of ground materials [9, 10] are Rosin - Rammler - Sperling - Bennet and the Gaudin - Andreev - Schumann. The equation defining these laws contain coefficients that can assess the uniformity degree, but the

legea Rosin - Rammler - Sperling - Bennet și legea Gaudin - Andreev - Schumann [9, 10]. Aceste legi de distribuție granulometrică conțin în ecuația de definire coeficienți pe baza cărora se poate evalua gradul de uniformitate granulometrică, dar analiza prezentată în articolul [11] arată că aceștia pot caracteriza un amestec doar în anumite cazuri particulare.

Pentru a aprecia gradul de uniformitate granulometrică al amestecurilor pulverulente se pot folosi și o serie de *indicatori clasici* [12, 13]:

- dispersia (σ^2) ca măsură a împrăștierii reprezintă media aritmetică a pătratelor abaterilor valorilor individuale față de media aritmetică;

- coeficientul de variație (v) este o măsură a dispersiei relative care descrie abaterea medie pătratică ca procent din media aritmetică;

- asimetria apare atunci când cele trei valori modală, mediană și medie sunt diferite.

Toți indicatorii prezentați au utilitate practică la definirea gradului de uniformitate granulometrică a unui amestec pulverulent, dar eficiența lor este reală dacă distribuția granulometrică este descrisă de o singură funcție de distribuție și dacă legea de distribuție descrie exact împrăștieria particulelor pe tot spectrul granular caracteristic. Dar, în multe cazuri practice, la operațiile în care au loc procesări de amestecuri pulverulente, aceste condiții nu sunt îndeplinite. O rezolvare a acestei probleme este furnizată de utilizarea unor *indicatori furnizați de statistica informațională* [2, 11, 14].

Considerând un amestec pulverulent format din "n" fracții granulometrice, ca un sistem în care fiecare fracție granulometrică (i) are frecvența de apariție (f_i), se poate aprecia că, gradul său de uniformitate granulometrică (GU) este echivalent numeric cu energia informațională (E_i), propusă de Onicescu [15], asociată acestui sistem. Pentru un material monogranular, gradul de uniformitate este maxim (1 sau 100%), iar pentru un amestec complet dezordonat (neuniform) $GU = 0$ [2, 4].

Pentru cazul unei funcții $f(x)$ reprezentând o densitate de repartiție în raport cu o variabilă continuă x , gradul de uniformitate granulometrică al sistemului granular se calculează [2, 11] cu relația:

$$GU = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f^2(x) dx \quad (5)$$

unde: x_{\min} , x_{\max} sunt valorile extreme ale diametrului particulei din amestecul granular dispers, μm .

Este de așteptat ca între diversele mărimi statistice caracteristice distribuției RRS să apară o serie de corelații cu gradul de uniformitate, care se modifică în timpul măcinării. Această ipoteză este verificată pe baza graficelor prezentate în figurile 3 și 4, în care gradul de uniformitate al unui amestec (teoretic) granular polidispers este pus în corelație cu parametrii x' și n ai distribuției RRS.

analysis presented in article [11], shows that they can characterise a mixture only in certain cases.

Classical indicators have been proposed for assessing the uniformity degree of powder mixtures [12, 13]:

- dispersion (σ^2) is arithmetic mean of the squared deviations of individual values toward the arithmetic mean;

- coefficient of variation (v) is a measure of relative dispersion which describes deviation as a percentage of the arithmetic mean;

- when the three modal values, median and average are different asymmetry appears.

All the mentioned coefficients have practical utility in defining the uniformity degree of a powder mixture, but their efficiency is effective provided if the particle size distribution is defined by a unique distribution function and if the distribution law describes perfectly the particle size distribution along the entire characteristic granular spectrum. Nevertheless, many practical situations encountered in the operations processing polygranular mixtures do not comply with these requirements. So, a solution to this problem may be the use of certain information statistics index [2, 11, 14].

Considering a powder mixture which is composed by "n" granulometric fractions (powdery mixture is considered as a system in which each size fraction (i) has the admission frequency (f_i)) it can be appreciated that its uniformity degree (UD) is numerically equivalent to informational energy (E_i) proposed by Onicescu [15], which is assign to this system. For a monogranular material, the uniformity degree is maximum, respectively 1 or 100%, and for a completely disordered mix (non-uniform), $UD = 0$ [2, 4].

In the case of a function $f(x)$ which represents a repartition density for a **continue** variable x , the granulometric uniformity degree of granular system may be calculate [2, 11] with equation:

$$UD = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f^2(x) dx \quad (5)$$

where: x_{\min} - minimum diameter of the particles, μm , x_{\max} - maximum diameter of the particles, μm .

It is expected that durring milling between the various statistical characteristic of distribution RRS and the uniformity degree to appear a number of correlations. This hypothesis is verified based on the diagrams presented in Figures 3 and 4, were the uniformity degree of a polydisperse mixture is made in correlation with the parameters x' and n of RRS distribution.

A confirmation of the type of correlation UD/x' is given by Figure 5, which used a series of practical results presented in literature [16].

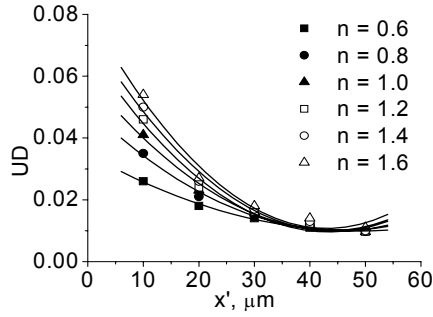


Fig. 3 - Variația gradului de uniformitate cu parametrul de poziție ($GU = a + b x' + c (x')^2$) / Variation of the uniformity degree with the position parameter ($UD = a + b x' + c (x')^2$).

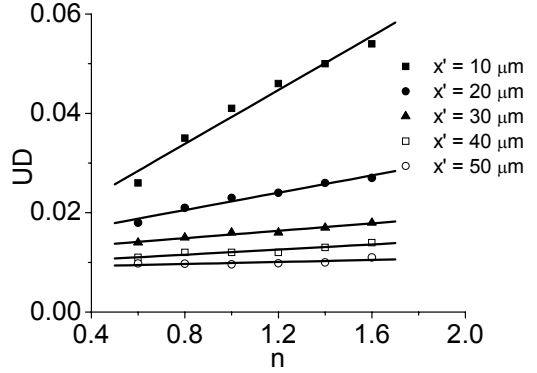


Fig. 4 - Variația gradului de uniformitate cu indicele de uniformitate ($GU = a_1 + a_2 n$) / Variation of the uniformity degree with the uniformity index ($UD = a_1 + a_2 n$).

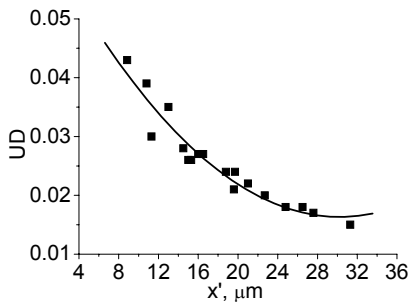
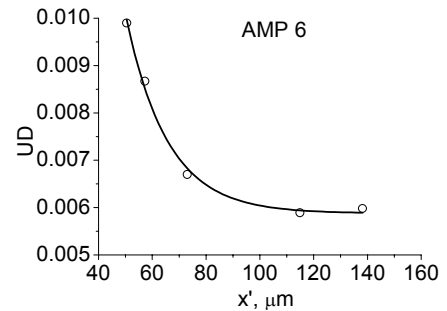
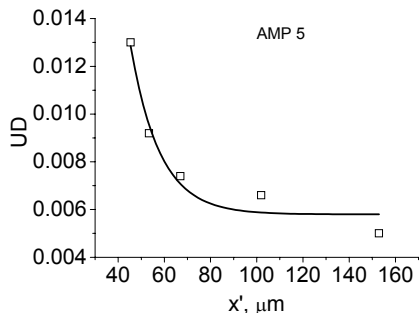
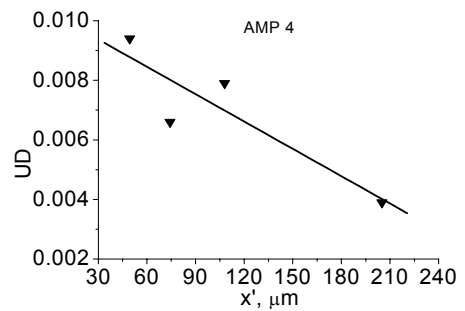
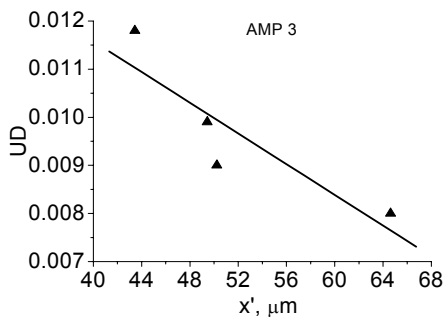
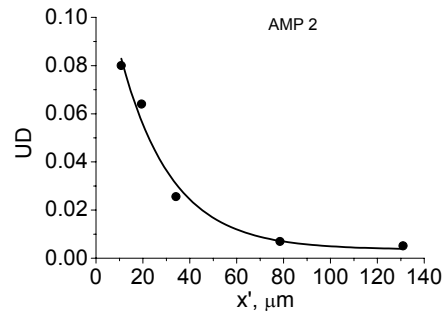
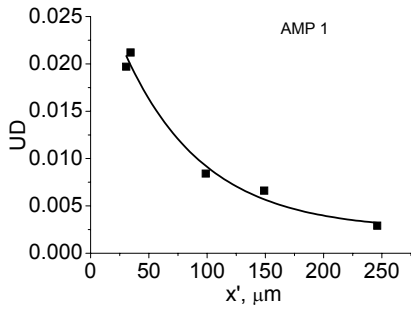


Fig. 5 - Variația gradului de uniformitate cu parametrul de poziție ($GU = a + b x' + c (x')^2$) / Variation of the uniformity degree with the position parameter ($UD = a + b x' + c (x')^2$).



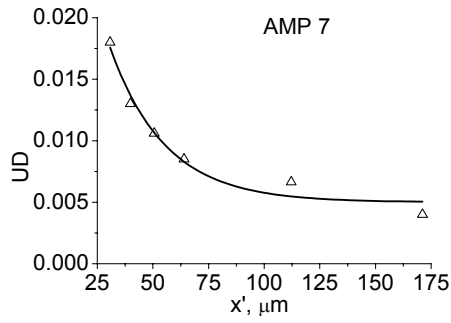


Fig. 6 - Variația gradului de uniformitate cu parametrul de poziție ($GU = a + b \cdot e^{-x'/c}$, $GU = a + b n$) / Variation of the uniformity degree with the position parameter ($UD = a + b \cdot e^{-x'/c}$, $UD = a + b n$).

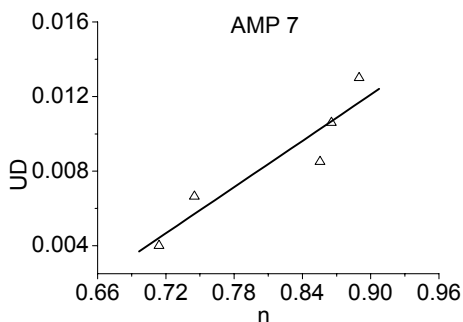
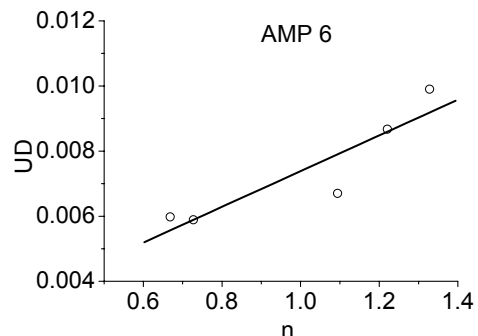
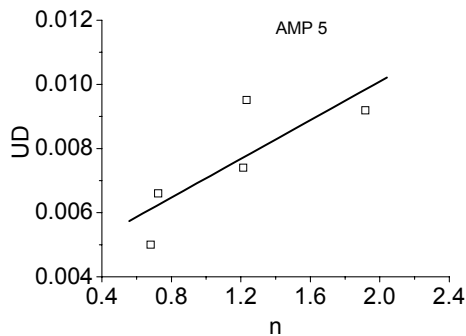
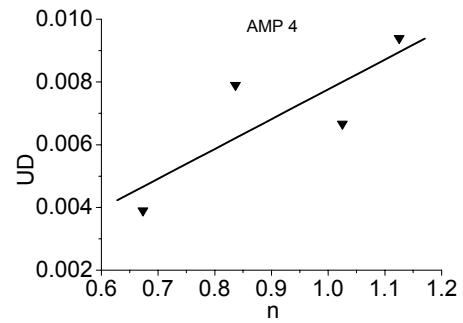
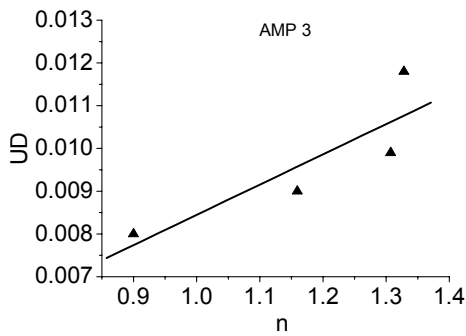
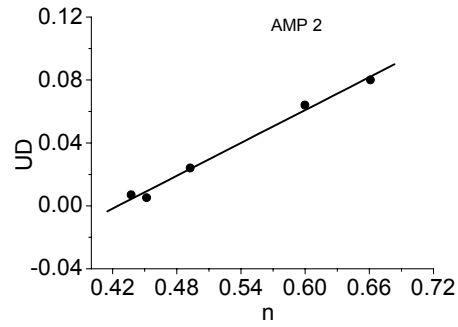
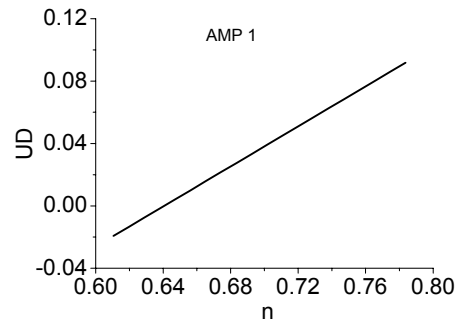


Fig. 7 - Variația gradului de uniformitate cu indicele de uniformitate ($GU = a + b n$) / Variation of the uniformity degree with the uniformity index ($UD = a + b n$).

The same type of dependency between UD/x' and UD/n were also identified in the case of analyzed mixtures of raw materials. Thus, in Figures 6 and 7 is presented variation of the uniformity degree with x' , respectively n , for the seven mixture of raw materials.

Analysis of the results presented show that:

- the fineness of grinding increase durring grinding; while position parameter are smaller, and also the uniformity index increases;
- uniformity degree decreases with increasing parameter position; this shows that the more fine a powdery mixture is, when x' is lower, more uniform it is, so the particle dispersion of the system is less;

Valorile coeficienților "a", "b" și "c" ai ecuațiilor de regresie care descriu dispunerea punctelor din figurile 3 – 7
Coefficient values ("a", "b", "c") of the regression equation describing the layout of points in figures 3 to 7

Nr. crt. No.		a	b	c	R	R ²	Nr. Figură Figure no.
1	n = 0,6	0.034	-0.001	$1.034 \cdot 10^{-5}$	0.995		Fig. 3
2	n = 0,8	0.049	-0.001	$1.892 \cdot 10^{-5}$	0.986		
3	n = 1,0	0.059	-0.002	$2.443 \cdot 10^{-5}$	0.985		
4	n = 1,2	0.068	-0.002	$3.116 \cdot 10^{-5}$	0.981		
5	n = 1,4	0.074	-0.002	$3.357 \cdot 10^{-5}$	0.980		
6	n = 1,6	0.081	-0.003	$3.785 \cdot 10^{-5}$	0.975		
7	x' = 10 μm	0.012	0.027		0.986		Fig. 4
8	x' = 20 μm	0.013	0.008		0.984		
9	x' = 30 μm	0.011	0.003		0.982		
10	x' = 40 μm	0.009	0.002		0.931		
11	x' = 50 μm	0.008	0.001		0.842		
12		0.064	-0.003	$5,319 \cdot 10^{-5}$			Fig. 5
13	AMP1	0.002	0.028	68.497		0.982	Fig. 6
14	AMP2	0.003	0.129	21.881		0.980	
15	AMP3	0.017	$3.785 \cdot 10^{-5}$		-0.889		
16	AMP4	0.01	$3.058 \cdot 10^{-5}$		-0.895		
17	AMP5	0.005	0.259	12.606		0.961	
18	AMP6	0.005	0.107	15.44		0.995	
19	AMP7	0.005	0.043	24.791		0.974	
20	AMP1	-0.411	0.641		0.898		Fig. 7
21	AMP2	-0.147	0.347		0.995		
22	AMP3	0.001	0.007		0.864		
23	AMP4	-0.001	0.009		0.82		
24	AMP5	0.004	0.003		0.807		
25	AMP6	0.001	0.005		0.911		
26	AMP7	-0.025	0.041		0.936		

O confirmare a tipului de corelație GU/x' este dată de figura 5, în care sunt utilizate o serie de rezultate practice prezentate în literatură [16].

Aceiași tip de dependențe între GU/x' și GU/n au fost evidențiate și în cazul amestecurilor de materii prime analizate. Astfel, în figurile 6 și 7 se prezintă variația gradului de uniformitate în funcție de x', respectiv n, pentru cele șapte amestecuri de materii prime considerate.

Analiza rezultatelor prezentate arată că:

- finețea de măcinare crește pe parcursul măcinării; în același timp se înregistrează valori tot mai mici pentru parametrul de poziție x', dar și o creștere a indicelui de uniformitate n;

- gradul de uniformitate scade cu creșterea parametrului de poziție; acesta arată că, cu cât un amestec pulverulent este mai fin, având x' mai mic, cu atât el este mai uniform, deci dispersia particulelor acestui amestec este mai mică;

- gradul de uniformitate crește cu creșterea indicelui de uniformitate, deci o dispersie mică a particulelor unui amestec pulverulent, caracteristică pe măsură ce procesul de măcinare avansează și n crește, duce la o creștere a uniformității acestuia.

În ANEXĂ se prezintă coeficienții determinați prin metoda regresiei matematice pentru diversele relații statistice determinate în lucrare.

3. Concluzii

Gradul de uniformitate granulometrică pentru un amestec dispers reprezintă un parametru

- uniformity degree increases with increasing uniformity index, so a small particles dispersion of a powdery mixture, characteristic when the grinding process and n increases, lead to increased uniformity.

In ANNEX presents coefficients determined by the mathematical regression for various statistical relationships determined in the paper.

3. Conclusions

Uniformity degree for a mixture dispersed represents an important technological parameter in determining many properties. Theoretical analysis and experimental data showing that the statistical indicator UG can be used to measure the degree of uniformity of a polydisperse mixture. It varies by a factor n of distribution RRS and decreases with increasing x'.

Currently, it pays particular attention to the grinding efficiency and expenditure of energy required in the operation of grinding of the powdery materials.

In the second part of this paper are presented a series of correlations between the GU of the milled mixture and expenditure of energy during milling, mean diameter and entropy.

tehnologic important în determinarea multor proprietăți. Atât analizele teoretice, cât și diversele date experimentale atestă că indicatorul statistic GU poate fi utilizat ca o mărime care măsoară gradul de uniformitate al unui amestec polidispers. El are o variație sinergică cu coeficientul n din distribuția RRS și scade atunci când x' crește.

În prezent, se acordă o atenție deosebită atât eficienței măcinării, cât și consumului de energie necesar în operația de măcinare a materialelor pulverulente.

În a doua parte a acestei lucrări se prezintă o serie de corelații între GU al amestecului măcinat și consumul de energie consumat în timpul măcinării, diametrul mediu și entropia.

REFERENCES

1. I. Teoreanu, The technology base inorganic binders, Didactic and Pedagogic Publishing House, R.A. - Bucharest, 1993.
2. D. Radu, A. Volcenov, and A. Toader, Uniformity degree of granular and powdery mixtures (in Romanian), Building Materials, 1996, **26**, (1), 59.
3. U. Stark, and A. Mueller, Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC), Durban, South Africa, 2003, 303.
4. K. Kaczmarek, and J. Ch. Bellot, Effect of particle-size distribution and particle porosity changes on mass-transfer kinetics, Acta Chromatographica, 2003, (13).
5. D. Touil, S. Belaadi, and C. Frances, Energy efficiency of cement finish grinding in a dry batch ball mill, Cement and Concrete Research, 2006, **36** (3), 416.
6. I. Teoreanu, S. Stoleriu, High final strength hydraulic binders. Portland cements, Romanian Journal of Materials, 2007, **37**, (1), 3.
7. B.I. Celick, The effects of particle size distribution and surface area upon cement strength development, Powder Technology, 2009, **188** (3), 272.
8. I. Cotea, D. Pușcașu, and C-tin Morăraș, Ways to reduce energy consumption in cement industry, Part I: Crushing and grinding of raw materials (in Romanian), Building Materials, 1980, **10** (2), 59.
9. M. E. Asim, Particle size distribution of cement, Zement - Kalk - Gyps, 1986, **39** (6), 321.
10. T. Allen, Particle size measurement, Powder Tehnology Series, 4th edition, Chapman and Hall, 1991.
11. D. Radu, and C. Ibrîș, Uniformity degree - a generalised statistical indicator for estimating the dispersion of polygranular mixtures, Romanian Journal of Materials, 2004, **34** (3), 313.
12. Gh. Mihoc, and N. Micu, Probability theory and statistical mathematics, Didactic and Pedagogic Publishing House, Bucharest, 1980.
13. V. Voineagu, C. Mitruț, and A. I. Maniu, Statistics 1, www.biblioteca-digitala.ase.ro/.../carte2.asp?
14. P. González-Tello, F. Camacho, J. M. Vicaria, and P. A. González, A modified Nukiyama-Tanasawa distribution function and a Rosin-Rammler model for the particle-size-distribution analysis, Powder Technology, 2008, **186** (3), 278.
15. K. Gotoh, H. Masuda, and Ko. Higashitani, Powder Technology Handbook, Second Edition, 1997, books.google.ro/books?isbn=0824700155...
16. K. Kuhlmann, H.G. Ellerbrock, and S. Sprung, Korngrößenverteilung und Eigenschaften von Zement, Teil I: Festigkeit von Portlandzement, Zement - Kalk - Ghips, 1985, **38**, (4), 169.

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS

fib Symposium PRAGUE 2011

CONCRETE ENGINEERING
FOR EXCELLENCE AND EFFICIENCY



8 - 10 June 2011

Clarion Congress
Hotel Prague
Prague
Czech Republic

The *fib* Symposium PRAGUE 2011 is organised by **Czech Concrete Society (CBS)** which serves simultaneously as Czech *fib* National Member Group. www.cbsbeton.eu

The *fib* Symposium PRAGUE 2011 is endorsed by *fib*—International Federation for Structural Concrete. www.fib-international.org

Production of the *fib* Symposium PRAGUE 2011 has been entrusted to the CBS Service Agency. Address: Samcova 1, 110 00 Prague 1, Czech Republic, fib@fib2011prague.eu

Main themes:

- New Model Code – expected impacts and practice of use
- Concrete and construction technology – transfer of experience
- Modelling and design of outstanding and innovative structures
- Structures integrated into environment in a balanced way
- Combination of structural concrete with other materials

<http://www.fib2011prague.eu/>