

ASUPRA MARUNTIRII ROCILOR UTILIZATE IN INDUSTRIA CIMENTULUI (PROBLEMA GRADULUI DE UNIFORMITATE AL AMESTECURILOR GRANULARE FINE)

Șuhan N. Vasile, drd.ing. Facultatea de Utilaj Tehnologic – Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti.

ABSTRACT

The work briefly presents the main problems of solid material size reduction namely : size reduction methods, grain characterisation both by grading and specific surface as well as the basic laws for the determination of size reduction process power consumption. The last part of the work contains a comparative description of the methods used to the determination of solid material grindability.

1. INTRODUCERE

In aceasta comunicare facand parte din “studiul maruntirii rocilor utilizate in industria cimentului” – dezvoltat in cadrul temei de doctorat, ne vom ocupa de problema gradului de uniformitate al unui amestec granular si pulverulent. Din punct de vedere granulometric produsul fin si foarte fin al maruntirii materialelor de tip roca se caracterizeaza prin intermediul mai multor tipuri de distributii $f(x)$ determinate in raport cu :

- numarul de particule de diametru $(x) \rightarrow f_N(x)$;
- suprafata, $f_S(x)$;
- volumul sau masa particulelor, $f_M(x)$.

Pentru exemplificare, in fig. 1, se prezinta comparativ curbele de distributie mai sus mentionate (f_N , f_S , f_M) pentru un material maruntit foarte fin, continand particule cuprinse intre 0 – 120 μm [11].

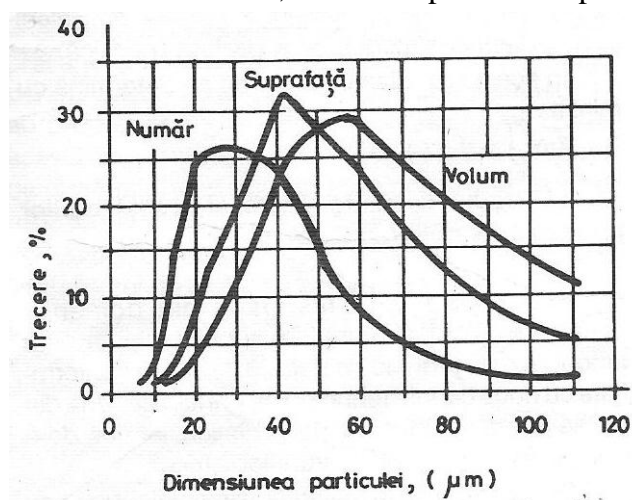


Fig. 1. Diferite moduri de prezentare a distributiei (dupa J. Dodds)

Daca factorul de forma poate fi considerat constant, trecerea de la un tip de distributie la altul se poate evalua pe baza relatiilor prezentate in tabelul 1 [11].

Relatii intre diferite tipuri de distributii granulometrice Tabelul 1

Tipul distributiei	Relatia de transformare	Coeficientul de transformare
$f_S(x)$	$k_2 \cdot x^2 \cdot f_N(x)$	$k_2 = (x^2 \cdot f_N(x) d(x))^{-1}$
$f_M(x)$	$k_3 \cdot x^3 \cdot f_N(x)$	$k_3 = (x^3 \cdot f_N(x) d(x))^{-1}$

$x =$ diametrul granulei

O alta marime caracteristica a produsului fin poligranular o reprezinta diametrul mediu (\bar{x}).

Se pot calcula mai multe tipuri de diametre medii, in functie de frecventa relativa (f_i) a adiverselor clase granulometrice avand diametrul (x_i) si numarul de clase granulometrice (n). Relatia generala de calcul se poate scrie astfel [11]:

$$\bar{x} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot x_i^p}{\sum_{i=1}^n f_i \cdot x_i^q} \right)^{\frac{1}{p-q}} \quad (1)$$

2. RELATII DE CALCUL A DIAMETRULUI MEDIU (\bar{x}) SI A SUPRAFETEI SPECIFICE (S) PENTRU PRODUSUL FIN SI FOARTE FIN AL MARUNTIRII

Relatii de definire pentru diverse medii Tabelul 2

p	q	Simbol	Relatii calcul	Specificatie
1	0	d_{10}, d_{an}	$\sum f_i d_i$	Media aritmetica numerica
2	0	d_{20}, d_{sn}	$(\sum f_i d_i^2) 1/2$	Media aritmetica numerica in raport cu suprafata
3	0	d_{30}, d_{vn}	$(\sum f_i d_i^3) 1/3$	Media aritmetica numerica in raport cu volumul
2	1	d_{21}	$f(\sum f_i \cdot d_i^2 \cdot \sum f_i d_i)$	Media aritmetica in raport cu suprafata si dimensiunea
3	1	d_{31}	$f(\sum f_i d_i^3 \cdot \sum f_i d_i)$	Media aritmetica in raport cu volumul si dimensiunea
3	2	d_{32}, d_s	$f(\sum f_i d_i^3 \cdot \sum f_i d_i^2)$	Media aritmetica in raport cu suprafata si volumul
4	3	d_{43}, d_{DB}	$f(\sum f_i d_i^4 \cdot \sum f_i d_i^3)$	Media aritmetica in raport cu volumul si masa

Nr. Crt	Tipul de distributie	Forma functiei de distributie diferentiala, f(x)	Diametrul mediu (\bar{x})	Suprafata specifica (S)
1.	Rosin – Rammler – Sperling (RRS)	$f(x) = \frac{nx^{n-1}}{(x')^n} \cdot e^{-\left(\frac{x}{x'}\right)^n}$	$d_{vm} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{n}\right)}{n\sqrt{n'}}$	$S = \frac{6\alpha_s}{[\rho x' \Gamma\left(2 - \frac{1}{n}\right)]}$
2.	Distributia normala	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right)$	\bar{x}	$S = \frac{6\alpha_s \Gamma\left(1 - \frac{1}{n}\right)}{\rho \cdot x'}$
3.	Dinger-Funk	$f(x) = \frac{ax^{a-1}}{x_M^a - x_m^a}$	$\frac{a}{a+1} \cdot \frac{x_M^{a+1} - x_m^{a+1}}{x_M^a - x_m^a}$	$\frac{a}{a-1} \cdot \frac{x_M^{a-1} - x_m^{a-1}}{x_M^a - x_m^a}$

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} \cdot e^{-x} dx$$

In functie de diferitele valori intregi pentru (p) si (q) in relatie ($p > q$), se pot obtine formulele explicite de calcul prezentate in tabelul 2. In mod uzual, cu cat valoarea ($p + q$) este mai mare, un produs fin si foarte fin este caracterizat de un diametru mediu mai mare.

Pentru o serie de situatii practice este de preferat ca acest produs sa fie caracterizat nu prin intermediul diametrului mediu. In aceste cazuri se utilizeaza suprafata specifica (S). Cand se cunoaste ecuatia pentru distributia granulometrica diferentiala, f(x), atunci suprafata specifica se va calcula cu relatia:

$$S = \frac{6\alpha_s}{\rho} \int_0^{\infty} x^{-1} \cdot f(x) dx \quad (2)$$

unde: α_s - este factorul de forma considerat in calcularea suprafetei specifice [5], [6] si [8];

ρ - reprezinta valoarea densitatii particulelor de agregat;

f(x) - este functia care indeplineste conditia de normare.

In tabelul 3 au fost prezentate trei tipuri de functii de distributie granulometrica uzuale si relatiile de calcul pentru diametrul mediu (\bar{x}) si suprafata specifica (S). In acest caz, diametrul mediu se poate determina cu relatia [11] :

$$\bar{x} = \int_0^{\infty} x \cdot f(x) dx \quad (3)$$

3. GRADUL DE UNIFORMITATE (U) AL AMESTECURILOR FINE POLIGRANULARE. GENERALITATI

In majoritatea cazurilor una sau alta dintre caracteristicile granulometrice calculate in mod uzual nu defineste intr-un mod unic tipul de distributie granulometrica. In acest sens, J. Dodds si T. Allen dau pentru exemplificare trei tipuri de distributii granulometrice pentru un material pulverulent format din particule cu diametre cuprinse intre 0 si 100 μm , figura 2.

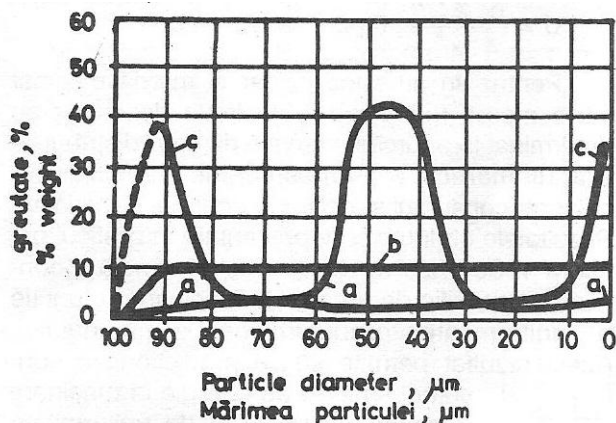


Fig. 2. Distributiile granulometrice pentru trei amestecuri formate din granule fine si foarte fine avand acelasi diametru mediu

De la caz la caz in practica se impun anumite caracteristici granulometrice pentru produsul fin si foarte fin obtinut in urma maruntirii, in acest sens literatura de specialitate precizeaza ca distributia granulometrica trebuie sa prezinte un anumit grad de uniformitate (U). Acest indicator este in stransa dependenta cu tipul de distributie (uni sau multimodala) si cu gradul de dispersie al valorilor pentru diametru particulelor din diferite clase granulometrice in raport cu valoarea medie.

Alaturi de dimensiunea medie a particulelor (\bar{x}), gradul de uniformitate (U) al amestecurilor pulverulente prezinta o importanta hotaratoare la stabilirea calitatii produsului finit. Deasemenea acest indicator influenteaza in mod semnificativ eficienta termica si energetica a unor instalatii si procese tehnologice de maruntire. Din acest motiv, pentru evaluarea acestei proprietati a unui produs al maruntirii (fin si foarte fin) s-au propus in literatura de specialitate diferiti coeficienti. Unii dintre acestia sunt cuprinsi chiar in legea de definire a tipului de distributie granulometrica. In alte situatii ei se pot calcula pornind de la forma concreta a legii de distributie [11].

Astfel, de exemplu, in primul caz se aminteste coeficientul de uniformitate din legea RRS.

In alte situatii se pot calcula o serie de indicatori statistici precum dispersia, asimetria, etc., (cazul distributiilor normale). Un neajuns al acestor modalitati de comensurare a gradului de uniformitate (U) rezida in faptul ca utilizarea lor este, in general, limitata la formele particulare ale diferitelor tipuri de distributii granulometrice. O rezolvare cu un grad ridicat de generalitate este furnizata de utilizarea unor marimi definite in statistica informationala [12].

4. EVALUAREA ENTROPIEI (\mathfrak{S}), A ENERGIEI INFORMATIONALE (E_s) SI A GRADULUI DE UNIFORMITATE (U) PENTRU UN SISTEM INFORMATIC CONSIDERAT

Pentru un « sistem informatic » care poate fi gasit in n stari diferite cu o probabilitate (p_i) cu $i = 1, 2, \dots, n$, cercetatorul Shannon defineste in anul 1948 entropia (\mathfrak{S}) cu urmatoarea relatie:

$$\mathfrak{J} = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i \quad (4)$$

In context, Onicescu [12] propune notiunea de “energie informatională” (E_s) ca marime de masura a gradului de organizare / dezorganizare sau uniformitate / neuniformitate pentru sistemul informatic studiat. Considerand ca $f(x)$ este o functie ce reprezinta densitatea de repartitie a unui parametru (x), energia informatională se poate calcula cu relatia :

$$E_s = (\sum_{i=1}^n f_i^2 - 1/n) / (1 - 1/n) \quad (5)$$

unde : f_i – este frecventa de aparitie a unei stari (i) a sistemului considerat, cu care poate fi asimilata probabilitatea (p_i).

In cazul in care sistemul este perfect organizat, atunci : $f_1 = f_2 = f_3 = \dots = f_{n-1} = 0, f_n = 1$. Pentru un astfel de sistem, energia informatională (normata) devine egala cu 1:

$$\sum_{i=1}^n f_i = 1 \quad (6)$$

Observatie : pentru un sistem ideal neuniform, la care diferitele stari sunt echiprobabile ($f_1 = f_2 = f_3 = \dots = f_n = 1/n$) energia lui informatională va fi egala cu zero. Entropia normata asociata unui sistem de dezorganizare (neuniformitate) ideala are valoarea 1.

Considerand un produs format din granule fine si foarte fine ca un sistem caracterizat de un numar (n) de clase granulometrice avand frecventele $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ se poate defini gradul de uniformitate granulometrică (U) dupa urmatoarea relatie de baza [11] :

$$U = \int_0^{\infty} f^2(x) dx \quad (7)$$

unde : $f(x)$ – reprezinta densitatea de repartitie continua ce caracterizeaza granulometria unui produs pulverulent.

De exemplu, pentru o repartitie normala $N(x, \sigma^2)$ pentru care densitatea de probabilitate (de repartitie) are forma $f(x, \bar{x}, \sigma)$, este indeplinita relatia :

$$\int_0^{\infty} f(x, \bar{x}, \sigma) dx = 1 \quad (8)$$

In acest caz gradul de uniformitate pentru un amestec pulverulent care prezinta o repartitie normala, poate avea urmatoarea valoare [11]:

$$U = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \int_0^{\infty} e^{-[(x-\bar{x})/\sigma]^2} dx \quad (9)$$

care conduce la expresia :

$$U = \frac{1}{2\sigma\sqrt{\pi}} \quad (10)$$

Aceasta relatie (10) ne arata ca un amestec fin poligranular, a carei repartitie este de tip Gauss prezinta un grad de uniformitate mai mare cu cat dispersia diametrelor pentru diferitele clase granulometrice este mai mica.

5. CONCLUZII

- Gradul de uniformitate (U) pentru o distributie de tip Dinger – Funk (v. tabelul 3), pentru un produs poligranular fin si foarte fin (cum este si cazul macinarii materialelor de tip roca), poate fi calculat cu urmatoarea relatie :

$$U = \frac{a^2}{2a-1} \cdot \frac{x_M^{2a-1} - x_m^{2a-1}}{(x_M^a - x_m^a)^2} \quad (11)$$

- In cazul unei distributii RRS (v. tabelul 3), T. Allen si J. Dodds, au determinat experimental (la macinarea rocilor) urmatorul grad de uniformitate:

$$U = \frac{n \cdot 2^{1/n}}{4x'} \cdot \Gamma(2 - 1/n) \quad (12)$$

- Pentru un amestec de calcar si marna (maruntite intr-o moara cu circuit deschis) s-au putut determina experimental, la anumite intervale de timp, distributiile granulometrice ale amestecului respectiv. Simultan s-a masurat si consumul specific de energie E_s [kWt/h] si rezultatele obtinute sunt prezentate in graficul din figura 3 :

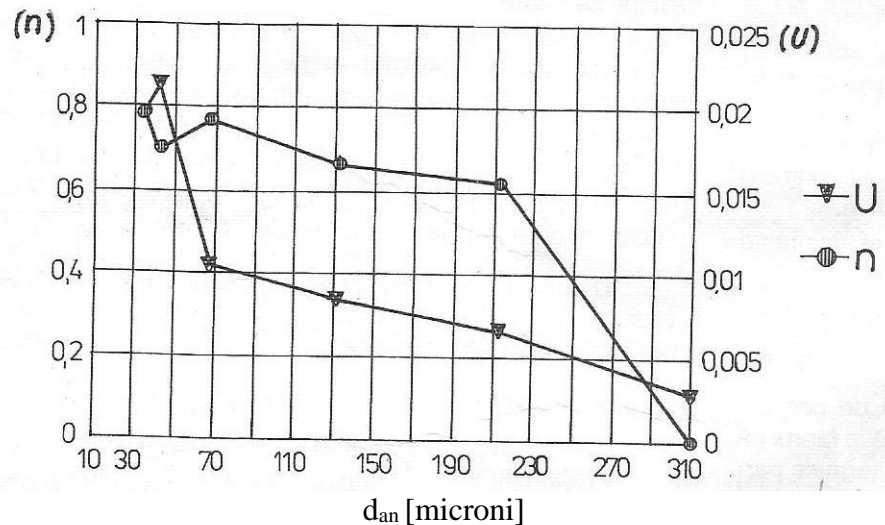


Fig. 3. Variatia indicilor de uniformitate (n) functie de diametrul medie aritmetica (d_{an}) a amestecului [11]

Se poate observa o dependentă simplă a consumului specific de energie la maruntirea într-o moară în funcție de uniformitatea granulometrică a materialului solid. Astfel se poate prezice consumul specific de energie la maruntire, în raport cu un grad de uniformitate impus inițial din considerente tehnologice.

- Experimental, literatura de specialitate menționată în bibliografie, evidențiază că variația consumului specific de energie (E_s) în funcție de gradul de uniformitate al amestecului (U), este practic o funcție liniară.

BIBLIOGRAFIE

1. Bond F. C. – British Chemical Engineering, June 1961, nr. 6, p. 378 – 385.
2. Bond F. C. – Pit and Quarry, January, 1962.
3. Buzdugan Gh. – Rezistența materialelor, Editura Tehnica, București, 1972.
4. Bauman V. A. – Rotornie drobilki. Masinstroenie, Moscova, 1973.
5. Ene Gh. – Echipamente pentru clasarea și sortarea materialelor solide polidisperse, Editura MATRIX ROM, București, 2005.
6. Joisel A. – Zement – Kalk – Gips, nr. 1, p. 13 – 22, 1963.
7. Levenson L. B., Tighelnii P. M. – Masini de concasare și sortare pentru prelucrarea pietrei. Traducere din limba rusă, IDP București, 1966.
8. Lauer D. – Grain size measurements on commercial powders, Alpine AG, Augsburg.
9. Peicu R. A. – Studiul maruntirii prin concasare a materiilor prime în vederea elaborării unei metodologii de determinare a aptitudinii de concasare, Contract de Cercetare Științifică nr. 106/1984 cu Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Liantilor și Azbocimentului.
10. Șuhan N. V. – Caracteristici ale materialelor granulare rezultate din concasare, importante pentru procesul de maruntire și calitatea produsului, Referat nr. 2 în cadrul pregătirii Tezei de Doctorat, București, 2006.
11. Dodds J., Baluais G., Allen T. – « Characterisation de la Taille des Particules », Laboratoire des Sciences du Génie Chimique, Nancy, 1993.
12. Onicescu O. – Energie Informationelle, Comptes Rendues l'Academie des Sciences, Paris, Serie A, 263 (1966).