

Cercetări cu privire la sortarea aerodinamică a particulelor solide după starea suprafețelor

VALENTIN NEDEFF*, EMILIAN MOȘNEGUȚU, MIRELA PANAINTE, CARMEN SAVIN, BOGDAN MĂCĂRESCU

Universitatea din Bacău, Facultatea de Inginerie, Str. Calea Mărăești, nr.157, 600115, Bacău, România

The process of aerodynamic sorting of a solid particles mixture is influenced by the aerodynamic characteristics of the particles (shape, dimensions, the surface state and the density of the particle), which determine the behaviour of particles in the air flows. In this study it was analyzed the influence of the surface state of solid particles on the separation degree of a binary mixture, made from particles with smooth surface and particles with rough surface, submitted to the aerodynamic sorting. The correlation between the surface state of solid particles and their behavior in air flow is emphasized by the weight mass of the particles deposited in the collection boxes. It was observed that the particles with the smooth surface have higher floating velocities than the particles with the rough surface for closed dimensions, shapes and densities. The sorting process is influenced by the surface condition of the particle.

Keywords: surface state, aerodynamic sorting

În literatura de specialitate procesul de sortare aerodinamică, care ține seama de caracteristicile aerodinamice ale particulelor solide, nu este suficient studiat, cu toate că există un număr mare de tipuri de instalații utilizate pentru realizarea acestui proces [18, 21]. Deoarece factorul principal la procesul de sortare aerodinamică îl reprezintă viteza de plutire, marea majoritate a studiilor efectuate au fost realizate în scopul determinării acestuia pentru diferite tipuri de particule [7, 11, 14, 16, 23], utilizând diferite metode [3, 9].

Puținele studii realizate în acest domeniu au avut drept scop obținerea de corelații între starea suprafeței (coeficientul de frecare) și viteza de plutire [12, 17].

În majoritatea cazurilor, studiile efectuate în scopul sortării unui amestec eterogen de particule solide au la bază instalații de sortare aerodinamică în curenți de aer înclinați [1, 2, 15, 22].

Procesul de sortare aerodinamică a particulelor solide are loc atunci când componentele amestecului solid se deosebesc cel mai mult după comportarea lor în curenții de aer, mai precis, sortarea se realizează după factorul principal care duce la apariția unor suprafețe de separare în amestecul de particule [4, 5, 6, 8, 19, 20].

Factorii care influențează comportamentul unei particule, situate într-un curent de aer, sunt: masa specifică a particulei, forma și dimensiunile particulei, starea suprafeței, poziția particulei pe direcția liniilor de curent de aer.

Cunoașterea acestor însușiri dau informații importante pentru alegerea corectă a vitezei curentului de aer, pentru calculul și proiectarea sistemelor pneumatice destinate atât sortării cât și curățării sau transportului pneumatic al amestecului de particule [5].

Influența stării suprafeței particulelor solide asupra sortării aerodinamice nu a fost luată în considerare având în vedere randamentele mici de sortare care rezultau. Pentru cunoașterea în amănunt a influenței tuturor proprietăților particulei asupra procesului de sortare aerodinamică este necesară extinderea studiilor cu privire la influența stării suprafeței particulelor asupra procesului de sortare.

Partea experimentală

Pentru sortarea aerodinamică a unui amestec de particule s-a utilizat un separator pneumatic cu un singur canal de aer vertical și cu trei camere de liniștire (fig.1).

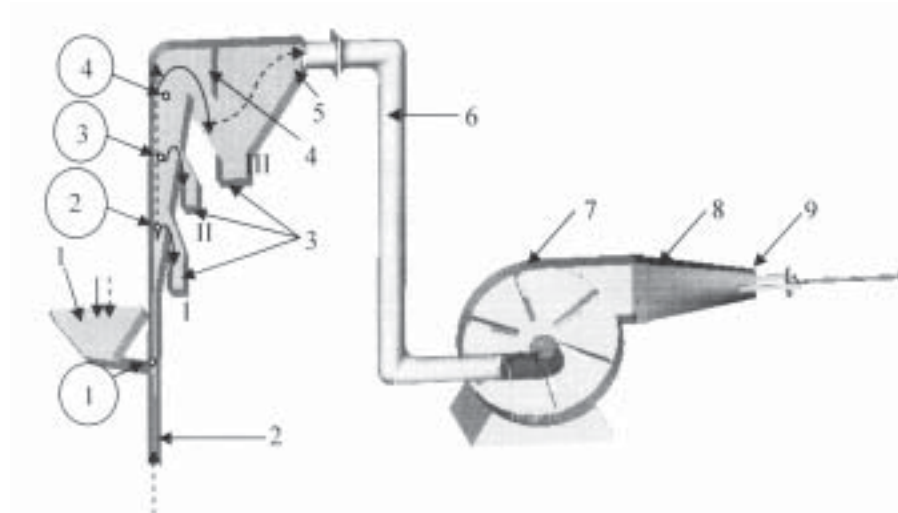


Fig. 1. Schema standului de laborator:

1 - coș de alimentare; 2- tubulatura cu secțiune variabilă; 3 - casete de colectare; 4 - perete deflector; 5 - racord de evacuare aer; 6 - tubulatură; 7 - ventilator axial-radial; 8 - racord de evacuare a aerului din instalație; 9 -dispozitiv de reglare grosieră a debitului de aer aspirat din instalație;

1, 2, 3, 4 - punctele de măsurare a variației presiunii;

I, II, III – ordinea casetelor de colectare,
— - traseul particulelor solide;
- - - - - traseul aerului

* Tel.: 0723675128

Debitul de aer din instalație poate fi reglat cu ajutorul dispozitivului de reglare grosier, astfel încât gama valorilor vitezei curentului de aer să fie într-un interval foarte mare. Cele trei casete de colectare a particulelor solide sunt dispuse la diferite înălțimi față de racordul de alimentare a amestecului de particule, având diferite secțiuni ale canalului de aer.

Variația presiunii curentului de aer a fost pusă în evidență cu ajutorul traductoarelor electronice capacitive de presiune diferențială **TIP CE3D**, care sunt conectate la placa de achiziție date NI PCI 6251/CB-68LP încorporată într-un calculator Pentium IV, având memoria Hard 40 GB și memoria RAM 512.

Variația vitezei curentului de aer, din interiorul instalației, se realizează datorită variației secțiunii tubulaturii. Acest lucru s-a putut „vizualiza” cu ajutorul programului de simulare FLUENT, pentru un debit al aerului de 0,7674 m³/s.

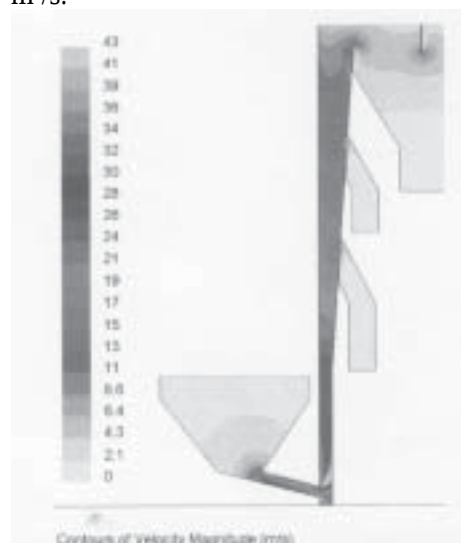


Fig. 2. Variația vitezei curentului de aer din interiorul instalației de sortare aerodinamică

Starea suprafeței unei particule solide este caracterizată de coeficientul de frecare. Valorile coeficientului de frecare μ_f s-au determinat indirect, prin calcul, utilizând relația prezentată în literatura de specialitate [13]:

$$\mu_f = \tan \varphi \quad (1)$$

unde φ este unghiul de frecare dintre particula și materialul pe care se realizează deplasarea particulei (frecarea).

În laborator determinarea unghiului de frecare (la alunecare și la rostogolire) s-a realizat pe o placă metalică, având suprafața plană și o rugozitate $R_a = 3,2 \mu\text{m}$.

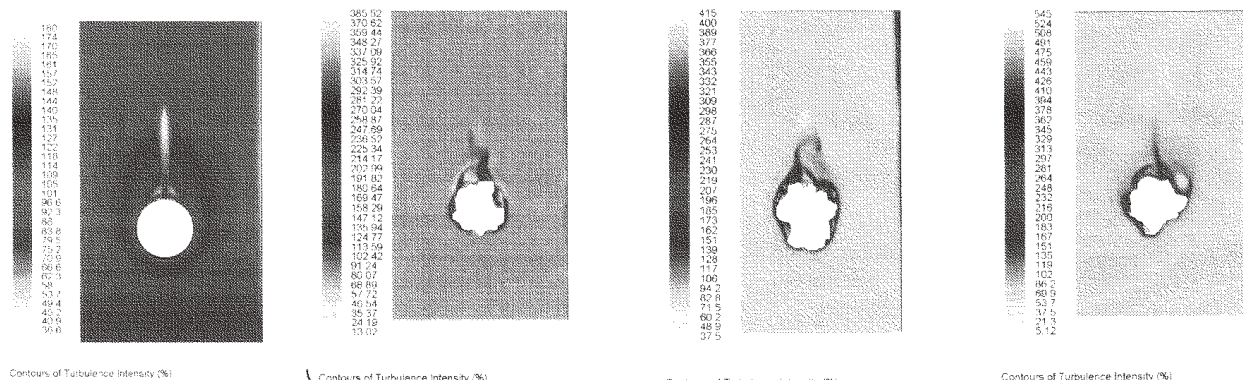


Fig. 4. „Vizualizarea” liniilor de curent pentru: a) particula cu suprafața netedă; b) particula cu suprafața rugoasă

Unghiul de frecare φ s-a determinat prin măsurarea unghiului de alunecare sau de rostogolire, cu ajutorul unui dispozitiv [12, 13, 17], conform schemei prezentate în figura 3:

- G - greutatea particulei;
- N - forța de apăsare normală;
- m - masa particulei;
- φ - unghiul de frecare.

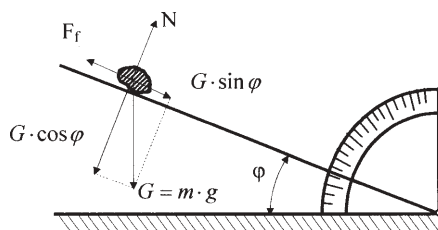


Fig. 3. Schema dispozitivului pentru determinarea unghiului de frecare φ

Pentru a putea studia în laborator modul cum este influențat gradul de separare de starea suprafeței particulelor s-au ales particule cu aceeași densitate, respectiv $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$; același diametru echivalent, respectiv $d_e = 3 \text{ mm}$; la care s-au determinat și stabilit vitezele de plutire:

- pentru particulele netede $v_{pn} = 7,36 - 7,45 \text{ m/s}$;
- pentru particulele rugoase $v_{pr} = 3,233 - 5,289 \text{ m/s}$.

Conform figurii 3, forța de frecare este dată de relația [13]:

$$F_f = \mu_f \cdot N = \mu_f \cdot m \cdot g \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

În cadrul determinărilor experimentale s-au utilizat două tipuri de particule, de forme, dimensiuni și densități apropiate:

- cu suprafață netedă și de formă sferică;
- cu suprafață rugoasă și de formă aproape sferică.

Cu ajutorul programului FLUENT s-au „vizualizat” liniile de curent, pentru cele două tipuri de particule solide, respectiv particula cu suprafață netedă și particula cu suprafață rugoasă, situate într-un canal de aer vertical (fig. 4).

Din analiza efectuată cu ajutorul programului FLUENT s-a constatat că liniile de curent sunt influențate și în cont de forma și starea suprafeței particulei solide.

De asemenea, s-au determinat coeficienții de frecare respectivi:

- pentru particula netedă - coeficientul de frecare la rostogolire $\mu_{tr} = 0,035 - 0,1$;

-pentru particula rugoasă - coeficientul de frecare la alunecare $\mu_{ja} = 0,26 - 0,9$.

Alte considerente au fost:

- cantitatea de material introdusă în standul de laborator a fost aleasă în următoarele cantități: 0,02 kg, 0,05 kg, 0,1 kg, 0,2 kg și 0,4 kg, urmărindu-se ca întreaga cantitate să intre odată în canalul de aer;

- cele două componente ale amestecului eterogen de particule solide au fost introduse în amestec în proporții egale;

- debitul de aer pentru care s-a urmărit procesul de sortare aerodinamică a amestecului binar de particule a fost $Q_a = 0,056 \text{ m}^3/\text{s}$;

- raportul dintre cantitatea de produs și cantitatea de aer poartă denumirea de coeficient de amestec μ și este determinat cu relația [10]:

$$\mu = \frac{G_m}{Q_a} = \frac{G_m}{Q_a \cdot \gamma_a} \quad (3)$$

în care:

G_m este debitul masic de material antrenat de curentul de aer, kg/s;

G_a – debitul masic de aer, kg/s;

Q_a – debitul de aer, m^3/s ;

γ_a - masa specifică a aerului, kg/m^3 .

- presiunea totală s-a calculat în funcție de presiunea dinamică și presiunea statică.

În cadrul determinărilor experimentale s-a urmărit variația presiunii totale a curentului de aer în timpul procesului de sortare aerodinamică și cantitatea de material, pentru fiecare tip de particulă, obținută în cele trei casete de colectare.

Determinările experimentale au fost realizate în cinci repetiții, în continuare fiind prezentate valorile medii obținute pentru fiecare parametru studiat.

Rezultate și discuții

În urma determinărilor experimentale, pentru cele cinci cantități de amestec folosite, s-a obținut variația presiunii totale a curentului de aer reprezentată în figura 5. Pentru a se putea realiza reprezentarea grafică (s-a utilizat programul OriginLab), punctele de măsurare a presiunii curentului de aer au fost notate cu 1, 2, 3 și 4 (fig.1).

Tot în figura 5 sunt reprezentate cantitățile de material colectate în casete ținându-se cont de tipul particulei.

Din analiza reprezentărilor grafice se constată că odată cu creșterea cantității de material introdusă în stand, respectiv a coeficientului de amestec, valoarea presiunii totale crește, astfel valoarea presiunii totale din punctul 1 de măsurare, la un coeficient de amestec de 0,276 este de 30,5 mm col. H_2O , iar la un coeficient de amestec de 5,516 este de 48 mm col. H_2O .

Ținându-se cont de punctul de măsurare al presiunii totale (secțiunea canalului de aer), s-a constatat că valoarea presiunii totale este direct proporțională cu variația secțiunii canalului de aer, respectiv pentru punctul 1 de măsurare (secțiunea cea mai mică), la un coeficient de amestec de 1,379, presiunea totală a fost de 37 mm col. H_2O , iar în punctul 4 de măsurare (secțiunea cea mai mare) valoarea presiunii totale a fost de 15,95 col. H_2O .

În urma determinărilor experimentale s-a observat o preferință în modul de colectare a particulelor solide. În cazul particulelor cu suprafață netedă, datorită valorii mari a vitezei de plutire comparativ cu cea a particulelor cu

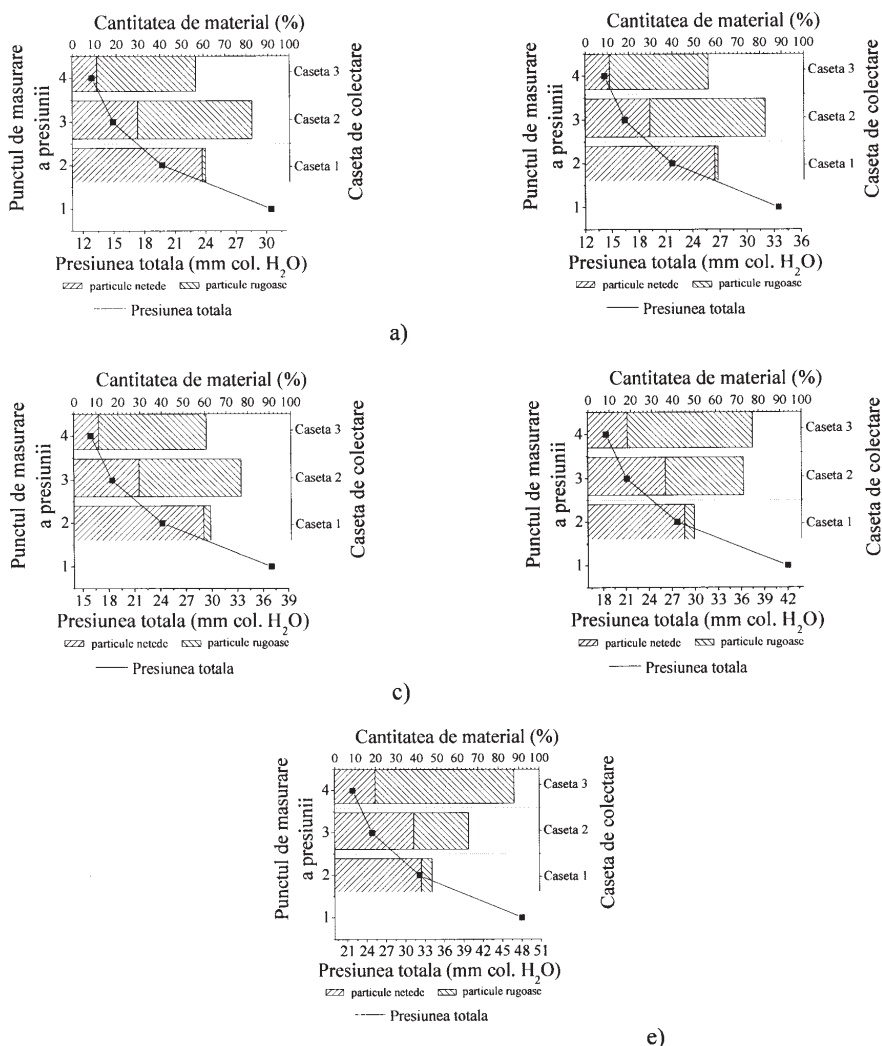


Fig.5. Variația presiunii totale a curentului de aer în cele patru puncte de măsurare și variația cantității de material din casetele de colectare pentru diferiți coeficienți de amestec:

- a) coeficient de amestec de 0,276;
- b) coeficient de amestec de 0,689;
- c) coeficient de amestec de 1,379;
- d) coeficient de amestec de 2,758;
- e) coeficient de amestec de 5,516

suprafața rugoasă, acestea s-au regăsit în partea de jos a standului, zonă în care valoarea presiunii totale a fost cea mai mare, indiferent de valoarea coeficientului de amestec. De aceea marea majoritate a cantității de particule netede s-au regăsit în caseta I de colectare, respectiv:

-pentru un coeficient de amestec de 0,276 la o presiune totală de 30,5 mm col. H₂O, s-a obținut o cantitate de material de 59,6 % din cantitatea de particule netede;

-pentru un coeficient de amestec de 5,516 la o presiune totală de 48 mm col. H₂O, s-a obținut o cantitate de material de 42 % din cantitatea de particule netede.

Din analiza reprezentărilor grafice se observă că odată cu creșterea valorică a coeficientului de amestec crește și cantitatea de particule netede colectată în casetele II și III, acest fapt datorându-se creșterii presiunii totale a curentului de aer.

Datorită vitezei de plutire mică, particulele a căror suprafață este rugoasă s-au regăsit într-o pondere mai mare în caseta de colectare II, la un coeficient de amestec de 0,276, dar la creșterea valorii coeficientului de amestec, ponderea de material din caseta II a scăzut astfel că în caseta III s-au găsit majoritatea particulelor cu suprafață rugoasă. Ponderea acestor particule obținute în caseta I de colectare a fost mică, observându-se o creștere nesemnificativă dată de creșterea coeficientului de amestec.

Modelarea procesului de sortare aerodinamică

Ca în orice proces, și în acest caz s-a urmărit obținerea unui model matematic echivalent.

Plecând de la valorile obținute pe cale experimentală, cu ajutorul programului de generare a ecuațiilor liniare și neliniare TableCurve 3D, a fost determinată ecuația de variație a presiunii totale a curentului de aer în funcție de coeficientul de amestec și secțiunea tubulaturii corespunzătoare punctului de colectare (tabelul 1 a).

Tot cu ajutorul programului TableCurve 3D (tabelul 1 b, c) s-a realizat și modelul matematic corespunzător variației cantității procentuale de material obținut în fiecare casetă de colectare, pentru fiecare tip de particulă în parte, ținându-se cont de variația coeficientul de amestec și de suprafața secțiunii tubulaturii din dreptul casetei de colectare.

Expresiile modelelor matematice pentru cantitățile procentuale de particule netede, respectiv rugoase, sunt exprimate prin relațiile (4), (5) și (6).

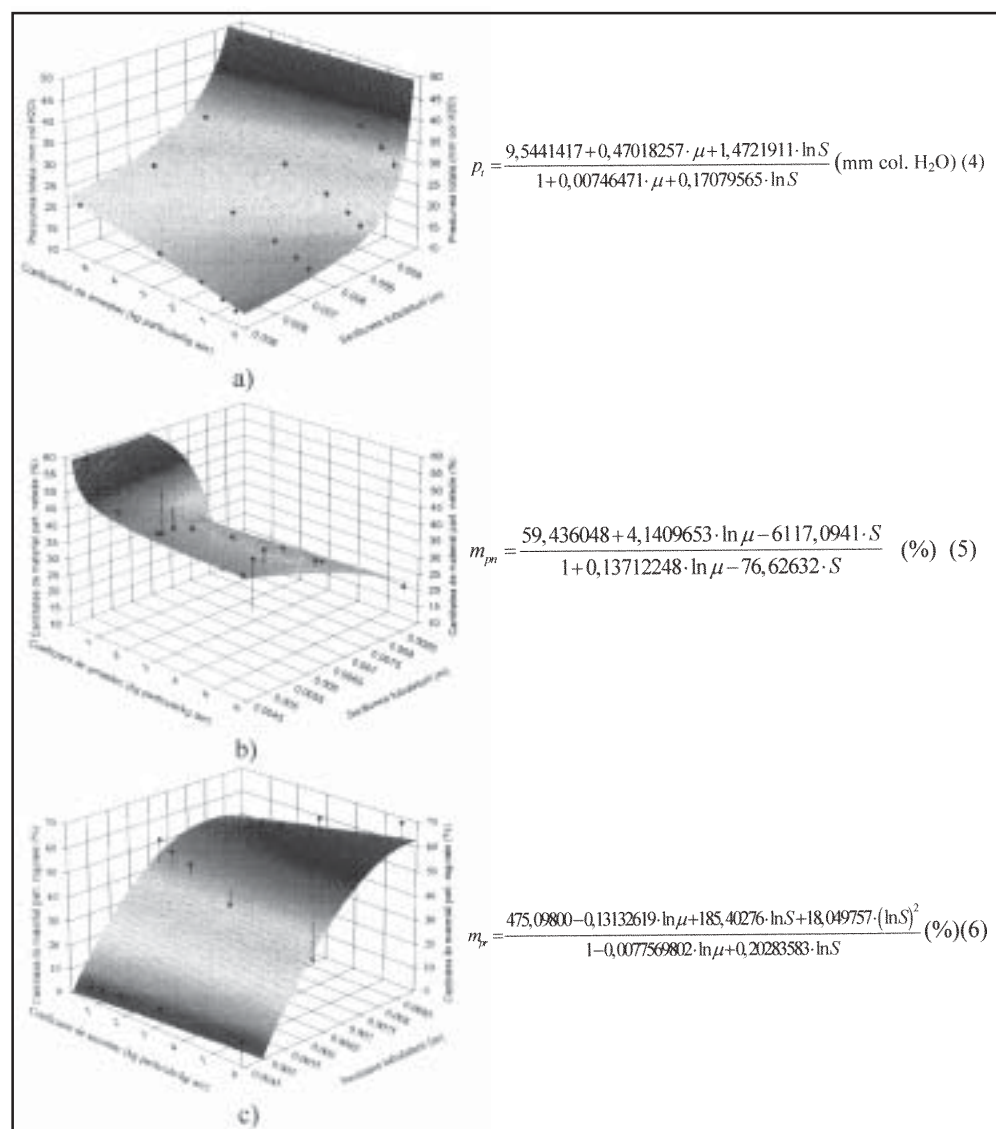
Pentru relațiile (4), (5) și (6) coeficienții de corelație sunt 0,99; 0,78 și 0,9.

În aceste relații s-au făcut următoarele notații:

- p_t este presiunea totală a curentului de aer;
- μ – coeficientul de amestec, kg particule/kg aer;
- S - secțiunea tubulaturii corespunzătoare punctului de măsurare, m².

Verificarea modelului matematic

S-au verificat modelele matematice obținute cu ajutorul programului de generare a ecuațiilor liniare și neliniare TableCurve 3D, pentru următoarele valori ale coeficientului de amestec: 0,276; 1,379; 5,516; și s-a urmărit:



Tabelul 1

REPREZENTAREA SUPRAFEDELOR DE RĂSPUNS OBȚINUTE CU PROGRAMUL TABLECURVE 3D ȘI MODELELE MATEMATICE CORESPUNZĂTOARE, PENTRU VARIAȚIA PRESIUNII TOTALE A CURENTULUI DE AER ȘI PENTRU VARIAȚIA CANTITĂȚII DE MATERIAL OBȚINUTĂ ÎN CASETELE DE COLECTARE ÎN FUNCȚIE DE COEFICIENTUL DE AMESTEC ȘI DE SUPRAFAȚA TUBULATURII DIN DREPTUL CASETEI DE COLECTARE (PUNCTELE DE PE REPREZENTĂRILE GRAFICE REPREZINTĂ VALORILE OBȚINUTE EXPERIMENTAL)

Tabelul 2

VERIFICAREA MODELULUI MATEMATIC CORESPUNZĂTOR VARIAȚIEI PRESIUNII TOTALE A CURENTULUI DE AER ÎN TIMPUL PROCESULUI DE SORTARE, PENTRU CELE PATRU PUNCTE DE MĂSURARE LA UN COEFICIENT DE AMESTEC: a) 0,276; b) 1,379; c) 5,516.

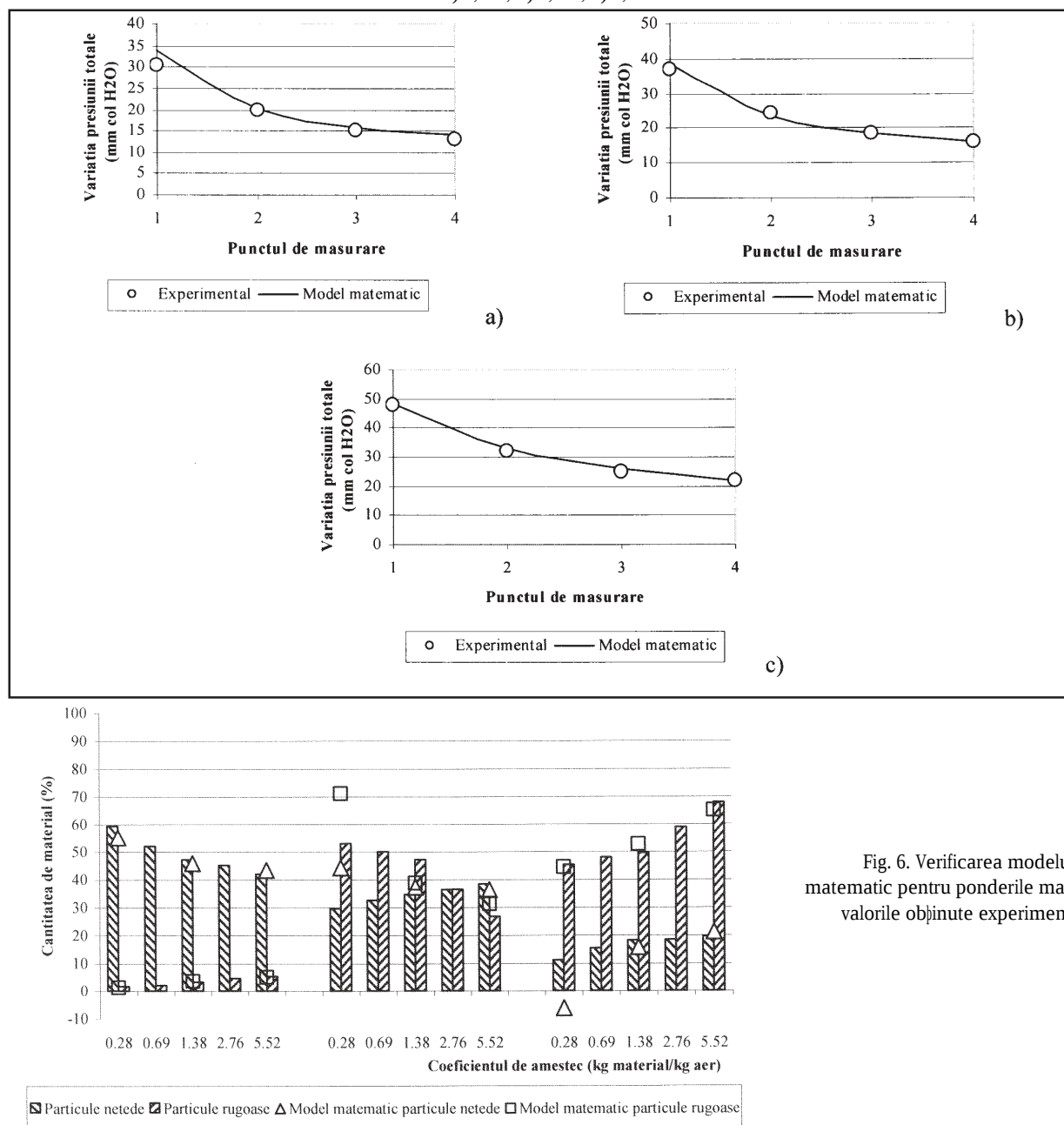


Fig. 6. Verificarea modelului matematic pentru ponderile masice cu valorile obținute experimental.

- valorile presiunii curentului de aer în punctele 1, 2 și 3 de măsurare (tabelul 2), utilizând relația (4);
- cantitatea de material obținută în casetele I, II și III de colectare, pentru (fig. 6):
- particulele cu suprafață netedă, utilizând relația (5);
- particulele cu suprafață rugoasă, utilizând relația (6).

Concluzii

Valoarea vitezei de plutire a unei particule solide este influențată în mod indirect de variația coeficientul de frecare al acesteia.

Intensitatea turbulenței curentului de aer, respectiv liniile curentului de aer, din jurul unei particule solide aflate în interiorul unui canal de aer diferă în funcție de starea suprafeței, observându-se că în cazul particulei netede intensitatea turbulenței este mică, iar în cazul particulei

rugoase intensitatea turbulenței este dublă sau triplă față de primul caz.

Coeficientul de amestec influențează direct variația presiunii totale a curentului de aer;

Starea suprafeței particulelor poate fi o proprietate pentru sortarea amestecurilor de particule solide. Se pot obține randamente de separare variabile între (50 - 70) %.

Pentru acest proces de sortare, s-a elaborat un model matematic care a fost verificat cu valori reale, atât pentru variația presiunii totale cât și pentru ponderea masică, excepție făcând valorile obținute pentru ponderea masică din caseta numărul II indiferent de tipul particulei, acesta reprezentând o casetă de tranziție.

Bibliografie

1.ADEWUMI B., OGUNLOWO A., ADEMOSUN C, Investigating Particle Trajectory as a Parameter for Selecting the Dimensions of Cross Flow Grain Classifier, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, document nr. 06 007, VIII, 2006

- 2.ADEWUMI B., ADEMOSUN O. AND OGUNLOWO A., Preliminary Investigation on the Distribution and Spread Pattern of Cowpea in a Cross Flow Grain Separator, *Agricultural Engineering International the CIGR Ejournal*, document nr. 06 020, **VIII**, 2006
- 3.ALLEN C., WATTS K.C., Properties of cowpeas, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **68**, nr. 2, 1997, p 159
- 4.CARPINLIOGLU OZDICI MELDA, GUNDOGDU MEHMET YASAR, Effect of Particle Size and Loading on Development Region in Two-Phase Flows, *Journal of Engineering and onmental Science*, nr. 23, 1999, p. 27
- 5.ENE Gh., Echipamente pentru clasarea și sortarea materialelor solide polidisperse, Ed. MATRIX ROM, București, 2005
- 6.FOUNTI M., ACHIMASTOS TH., DIMOPOULOS D., KLIPFEL A., Experimental Investigation Of Particle Motion In A Model Of A Beater Wheel Mill, *Laser Anemometry & Experimental & Numerical Flow Visualization*, ASME FED, **239**, 1996, p. 67
7. JAYAS D.S., Airflow resistance of canola (Rapeseed), *ASAE*, vol. 30, nr. 4, 1987, p. 1484
- 8.KHOSHTAGHAZA M. H., MEHDIZADEH R., Aerodynamic Properties of Wheat Kernel and Straw Materials, *Agricultural Engineering International the CIGR Ejournal*, document nr. 05 007, **VIII**, 2006
- 9.LECOFFRE Y., BONAZZI X., JOUET F., HUET D., TRAVEL A real time particle velocity measuring system for use in shot peening, *The Shot Peener*, **07**, nr. 2, document nr. 1993122, 1993
10. LEONTE M., Tehnologii și utilaje în industria morăritului. Măcini și ul cerealelor, Ed. Millenium, Piatra-Neamț, 2002
11. LOSERT W., BOCQUET L., LUBENSKY T.C., GOLLUB J.P., Particle dynamics in sheared granular matter, *Physical review letters*, vol. 85, nr. 7, 2000
- 12.MASOUMI AMIN ALLAH, S.a., Terminal velocity and frictional properties of garlic (*Allium sativum* L.), *CSAE/SCGR*, documentul nr. 03-330, Montréal, Québec, 2003
13. NEDEFF V., MOSNEGUTU E., BAISAN I., Separarea mecanică a produselor granulometrice și pulverulente din industria alimentară, Ed. TEHNICA - Chișinău, 2001
14. ÖZGÜVEN FARUK, VURSAVUS KUBILAY, Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*) nuts, *Journal of Food Engineering*, **68**, nr. 2, 2005, p. 191
15. PANASIEWICZ M. - Analysis of the pneumatic separation process of agricultural materials, *International Agrophysics*, **13**, nr 2, 1999, p. 233
16. PAWEŁ TYLEK, JÓZEF WALCZYK, Critical air velocity as a separation feature in nuts of european beech (*fagus sylvatica* l.), *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Forestry*, **6**, nr. 2, 2003
17. PUCHALSKI C., BRUSEWITZ G., SLIPEK Z., Coefficients of Friction for Apple on Various Surfaces as Affected by Velocity, *Agricultural Engineering International the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, document nr. 03 002, **V**, 2003
18. RODRIGUES M.V., AROUCA F.O., BARROZO M.A.S., DAMASCENO J.J.R., Analysis of the efficiency of a cloth cyclone: the effect of the permeability of the filtering medium, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **20**, nr. 04, 2003, p. 435
19. ROZ MANUEKA, S.a., Gravitational grain size separation of contaminated ground: potential and limits, *Applied Clay Science*, nr. 31, 2006, p. 85
20. SANDRA M. COUTO, ANDERSON C. MAGALHÃES, DANIEL M. DE QUEIROZ; ITACIANE T. BASTOS, Important parameters for determination of terminal velocity of coffee fruits, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **7**, nr. 8, 2003
21. SHAPIRO M., GALPERIN V. - Air classification of solid particles: a review, *Chemical Engineering and Processing*, nr. 44, 2005, p. 279
22. SIMONYANI K.J., YILJEP Y. D., MUDIARE O. J., Modeling the Grain Cleaning Process of a Stationary Sorghum Thresher, *Thresher. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript P M 06 012, **VIII**, 2006
- 23.TABAK S, WOLF D., Aerodynamic properties of cottonseeds, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **70**, nr. 3, 1998, p. 257

Intrat în redacție: 26.04.2007