

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA “VASILE ALECSANDRI” din BACĂU
FACULTATEA DE INGINERIE**

Ing. lt. Mihail RISTEA

REZUMAT LA

TEZA DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESULUI DE
SEPARARE AERODINAMICĂ A AMESTECURILOR
SOLIDE CU APLICAȚII ÎN INDUSTRIA
ALIMENTARĂ**

**Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Valentin NEDEFF**

**BACĂU
2014**

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA “VASILE ALECSANDRI” din BACĂU
FACULTATEA DE INGINERIE**

Ing. lt. Mihail RISTEA

REZUMAT LA

TEZA DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESULUI DE
SEPARARE AERODINAMICĂ A AMESTECURILOR
SOLIDE CU APLICAȚII ÎN INDUSTRIA
ALIMENTARĂ**

**Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Valentin NEDEFF**

**BACĂU
2014**



ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA „VASILE ALECSANDRI” DIN BACĂU
Calea Mărășești, nr. 157, Bacău, 600115
Tel. ++40-234-542411, tel./ fax ++40-234-545753
www.ub.ro; e-mail: rector@ub.ro



RECTORATUL

DECIZIE

Nr. 551 din 17.10.2013	Privind numirea Comisiei pentru susținerea publică a tezei de doctorat elaborată de doctorandul ing. Ristea V. Mihail, domeniul Inginerie mecanică.
---------------------------	---

În temeiul Ordinului M.E.C.T.S. nr. 3494/09.03.2012, privind confirmarea Rectorului Universității „Vasile Alecsandri” din Bacău;

În baza prevederilor Regulamentului de organizare și desfășurare a studiilor universitare de doctorat R-13-01 E3R0, nr. 192/08.01.2013;

Având în vedere referatul nr. 17493/08.10.2013, aprobat în ședința Senatului din data de 14 octombrie 2013.

RECTORUL
UNIVERSITĂȚII „VASILE ALECSANDRI” DIN BACĂU
DECIDE:

Art. 1. Se numește Comisia pentru susținerea publică a tezei de doctorat cu titlul „Contribuții la studiul procesului de separare aerodinamică a amestecurilor de particule solide cu aplicații în industria alimentară”, elaborată de doctorandul ing. Ristea V. Mihail, domeniul Inginerie mecanică, în următoarea componență:

Președinte:	Prof.univ.dr.ing. Carol SCHNAKOVSKY – Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău, România;
Membri:	
<i>Conducător științific:</i>	Prof.univ.dr.ing. Valentin NEDEFF – Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău, România;
<i>Membri:</i>	Prof.univ.dr.ing. Gigel PARASCHIV – Universitatea Politehnica din București, România; Prof.univ.dr. Maricel AGOP – Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași, România; Prof.univ.dr.ing. Gabriel-Octavian LAZĂR – Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău, România.

Art. 2. Prezenta decizie va fi adusă la cunoștința membrilor comisiei de către conducătorul științific de la Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău, România.

Art. 3. Prezenta decizie se întocmește în 8 (opt) exemplare, pentru: Rectorat, Școala de Studii Doctorale, Serviciul Resurse Umane și fiecare membru al comisiei.

Prof.univ.dr.ing. Valentin NEDEFF

BI/ BI

F 18.07/Ed.01

MULȚUMIRI

Mulțumesc pe această cale „S.C. Aerostar S.A.” pentru colaborarea în vederea realizării standului de laborator fără de care cercetarea științifică a acestei teze de doctorat nu era posibilă.

*Doresc să mulțumesc în mod deosebit conducătorului științific, domnului **prof. univ. dr. ing. Valentin NEDEFF**, pentru întreg sprijinul acordat și pentru modul în care mi-a călăuzit întreaga activitate de cercetare științifică depusă pentru realizarea acestei teze de doctorat.*

*Adresez mulțumirile cuvenite colectivului Departamentului de Ingineria Mediului și Inginerie Mecanică din cadrul Universității „Vasile Alecsandri” din Bacău, pentru că m-au sprijinit și încurajat pe parcursul acestor ani de căutări științifice, în special domnului **șef lucr. dr. ing. Emilian MOȘNEGUȚU**.*

Nu în ultimul rând doresc să adresez mulțumiri colegilor, familiei și tuturor celor care m-au susținut și ajutat pe parcursul realizării acestei teze.

Ing. lt. Mihail RISTEA

CUPRINS

CAPITOLUL NR. 1. PRODUSE AGRICOLE SUPUSE SORTĂRII AERODINAMICE	8/9
1.1. Considerații generale	8/9
1.2. Sisteme eterogene	9/-
1.3. Proprietățile produselor agricole	9/9
1.3.1. Proprietăți fizico-mecanice	9/9
1.3.2. Proprietăți tehnologice	22/10
1.4. Concluzii	23/10
CAPITOLUL NR. 2. STADIUL ACTUAL AL REALIZĂRIILOR PRIVIND SORTAREA PRODUSELOR AGRICOLE	25/10
2.1. Divizibilitatea amestecurilor eterogene	25/-
2.2. Sortarea amestecurilor de particule după proprietățile aerodinamice ale particulelor	27/-
2.2.1. Evoluția separatoarelor aerodinamice	27/-
2.3. Clasificarea separatoarelor utilizate pentru amestecurile eterogene de tip Gaz – Solid	30/10
2.4. Separatoarele gravitaționale utilizate pentru amestecurile eterogene de tip Gaz-Solid	34/11
2.5. Stadiul actual privind procesul de separare gravitațională a amestecurilor eterogene de tip Gaz-Solid	37/12
2.6. Concluzii	52/14
CAPITOLUL NR. 3. BAZELE TEORETICE ALE PROCESULUI DE SORTARE AERODINAMICĂ A PRODUSELOR AGRICOLE	54/14
3.1. Regimul de curgere pentru aer	54/-
3.2. Forțele care acționează asupra particulelor solide aflate într-un curent de aer	59/15
3.3. Comportamentul unei particule într-un curent de aer vertical	64/15
3.3.1. Plutirea particulei solide în curentul de aer	65/15
3.3.2. Antrenarea particulei solide de curentul de aer	66/17
3.3.3. Sedimentare particulei solide în câmp gravitațional	68/17
3.3.4. Sedimentare particulei solide sub acțiunea curentului de aer	70/17
3.4. Forța Magnus	71/18
3.4.1. Considerații teoretice privind forța Magnus	73/19
3.4.2. Stadiul actual al cercetărilor privind forța Magnus	76/21
3.5. Concluzii	87/22
CAPITOLUL NR. 4. CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND INFLUENȚA FORȚEI MAGNUS ASUPRA COMPORTAMENTULUI UNEI PARTICULE SOLIDE AFLATE ÎNTR-UN CURENT DE AER	89/23
4.1. Fluidul fractal ca sistem complex	89/-
4.2. Mișcarea în fluide pe curbe continue și diferențiabile. Forța Magnus	89/-
4.2.1. Caracterizarea stratului limită pentru mișcările fluidului incompresibil	89/-
4.2.2. Ecuațiile lui Prandtl pentru stratul limită	91/-
4.2.3. Soluții pentru stratul limită	92/-
4.2.4. Forța Magnus	94/23
4.3. Mișcări și fluide pe curbe continue și nediferențiabile. Forța Magnus generalizată	96/-
4.3.1. Ecuația geodezicelor	96/-
4.3.2. Mișcări rotaționale. Forța Magnus generalizată	97/-
4.3.3. Forța Magnus generalizată la tranziția de scala fractal-nefractal	99/25
4.4. Concluzii	101/26

CAPITOLUL NR. 5. PROIECTAREA ȘI REALIZAREA BAZEI TEHNICE DE CERCETARE A PROCESULUI DE SORTARE AERODINAMICĂ	102/26
5.1. Standul de laborator	102/26
5.2. Echipamentele și softurile utilizate	106/27
5.2.1. Camera video	109/28
5.2.2. Softurile utilizate	111/28
5.3. Concluzii	113/28
CAPITOLUL NR. 6. STABILIREA METODICII DE CERCETARE A PROCESULUI DE SEPARARE AERODINAMICĂ A AMESTECURILOR DE PARTICULE SOLIDE, STABILIREA INFLUENȚEI FORȚEI MAGNUS ÎN PROCESUL DE SORTARE	115/29
6.1. Stabilirea condițiilor de lucru	115/-
6.2. Metoda și materialul de cercetare	115/29
6.3. Pregătirea probelor	116/-
6.4. Metoda de prelucrare a datelor experimentale	117/-
6.4.1. Determinarea coordonatelor punctelor urmărite pe cele trei axe OX, OY și OZ	119/-
6.4.2. Determinarea distanței instantanee parcursă de particula solidă	127/-
6.4.3. Determinarea vitezei liniare a particulei solide	128/-
6.4.4. Determinarea vitezei unghiulare	129/-
6.5. Fișa de calcul realizată în soft-ul Mathcad	132/-
6.6. Concluzii	132/30
CAPITOLUL NR. 7. REZULTATE EXPERIMENTALE	137/30
7.1. Determinarea experimentală a caracteristicilor particulelor solide supuse procesului de separare aerodinamică	137/30
7.2. Determinarea vitezei de plutire	139/30
7.3. Determinarea vitezei liniare pentru diferite tipuri de particule	143/32
7.3.1. Determinarea vitezei medii liniare instantanee	143/32
7.3.2. Determinarea vitezei liniare	147/35
7.4. Determinarea vitezei unghiulare pentru diferite tipuri de particule	151/38
7.5. Determinarea forței Magnus pentru particule reale	164/48
7.6. Concluzii	169/52
CAPITOLUL NR. 8. INTERPRETAREA REZULTATELOR OBTINUTE	173/54
8.1. Dezvoltarea modelului matematic pentru viteza liniară	173/-
8.1.1. Elaborarea modelului matematic pentru viteza medie liniară instantanee	173/54
8.1.2. Elaborarea modelului matematic pentru viteza liniară	174/55
8.2. Dezvoltarea modelului matematic pentru viteza unghiulară și forța Magnus	175/55
8.2.1. Elaborarea modelului matematic pentru viteza medie unghiulară ...	175/55
8.2.2. Elaborarea modelului matematic pentru turația instantanee medie ..	176/56
8.2.3. Elaborarea modelului matematic pentru numărul de rotații executate în timpul de urmărire	176/57
8.2.4. Elaborarea modelului matematic pentru forța Magnus instantanee ..	177/57
8.3. Verificarea modelelor matematice	179/-
8.4. Concluzii	186/59
CONCLUZII GENERALE	188/59
BIBLIOGRAFIA	192/62

INTRODUCERE

Pentru obținerea de produse de calitate superioară este necesară ca în cadrul procesului tehnologic să fie introduse materii prime care să îndeplinească condițiile prescrise de standarde.

Separarea fracțiilor dintr-un amestec de particule solide se realizează cunoscându-se proprietățile specifice fiecărui component și ținând cont de acestea au fost concepute diferite metode de separare.

Cele mai răspândite metode de separare a unui amestec eterogen de particule solide sunt cele care fac separarea după dimensiuni și după proprietățile aerodinamice ale componentelor (site, trioare și separarea în curenți de aer înclinați sau verticali).

Lucrarea de față constituie o sinteză teoretică și experimentală din domeniul separării aerodinamicii, mai exact separarea în curenți de aer verticali ascendenți a amestecurilor solide cu aplicații în industria alimentară, punându-se accentul, în special, pe influența pe care o are forța Magnus asupra comportării particulei solide.

În primul capitol sunt prezentate acele proprietăți ale particulelor solide care influențează procesul de separare aerodinamică și plecând de la acestea, în cadrul capitolului doi, au fost prezentate o serie de instalații și echipamente utilizate pentru desfășurarea acestui proces. Tot în cadrul acestui capitol a fost prezentată influența pe care o exercită atât caracteristicile fizico-mecanice ale particulelor solide, din cadrul amestecului eterogen, cât și parametrii de lucru ai echipamentelor de lucru asupra gradului de separare a fracțiilor fazei solide.

Asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer acționează o serie de forțe, iar în funcție de corelațiile existente între acestea se pot întâlni o serie de cazuri (particula plutește, particula poate fi antrenată de curentul de aer, particula poate sedimenta sub acțiunea curentului de aer). Deoarece în literatura de specialitate efectul rotirii unei particule solide asupra procesului de separare aerodinamică este puțin studiat, în cadrul capitolului trei s-a descris forța Magnus și aplicațiile acesteia.

Pe baza celor prezentat în primele trei capitole s-au putut stabili contribuțiile teoretice cu privire la influența exercitată de către forța Magnus asupra comportamentului unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent. Mai exact s-a analizat mișcarea unei particule solide în fluide curbe și diferențiale obținându-se expresia forței Magnus folosind teoria stratului limită. Totodată prin generalizarea mișcării unei particule solide într-un fluid complex s-a determinat relația de calcul a forței Magnus generalizată.

Din analiza studiilor teoretice au rezultat obiectivele tezei de doctorat și metodologia de cercetare.

Folosind baza materială (prezentată în cadrul capitolului cinci) și ținând cont de metodologia de lucru (prezentată în cadrul capitolului șase) s-au efectuat o serie de cercetări experimentale care au permis determinarea următorilor parametrii (corespunzători comportamentului unei particule solide aflate într-un curent de aer): viteza medie liniară instantanee; viteza medie liniară; viteza medie unghiulară; turația instantanee, numărul de rotații și forța Magnus.

Din analiza rezultatelor experimentale se constată că atât parametrii cinematici ai standului (viteza cu care curentul de aer străbate canalul de aer) cât și caracteristicile fizico-mecanice ale particulelor solide reale (dimensiunea și forma particulelor, densitatea particulelor, starea suprafeței) utilizate în cadrul determinărilor experimentale au exercitat o influență semnificativă asupra comportamentului unei particule solide aflate în canalul de aer vertical ascendent.

Între parametrii urmăriți în cadrul determinărilor experimentale și factorii care influențează procesul de separare aerodinamică a particulelor solide există o dependență, aceasta fiind pusă în evidență prin conceperea, realizarea și verificarea de modele matematice.

Concluziile generale prezentate la sfârșitul lucrării evidențiază principalele teme abordate în cercetările teoretice și experimentale.

Considerăm că lucrarea de față constituie o contribuție modestă la clarificarea procesului de separare aerodinamică a amestecurilor solide cu aplicații în industria alimentară.

Observații: Numerotarea capitolelor, figurilor, relațiilor matematice, tabelelor, precum și referințele bibliografice utilizate în rezumatul lucrării sunt cele corespunzătoare tezei de doctorat.

CAPITOLUL NR. 1. PRODUSE AGRICOLE SUPUSE SORTĂRII AERODINAMICE

1.1. Considerații generale

Pentru prelucrarea materiilor prime obținute din agricultură sunt utilizate diferite metode de curățire, sortare și uscare a acestora, în scopul aducerii acestora la nivelul condițiilor prescrise în standarde sau în normele impuse de procesele ulterioare de prelucrare și depozitare. Procesele de pregătire a materiei prime pentru valorificarea, respectiv curățirea și sortarea, au drept scop, mărirea valorii produsului. Curățirea se referă la îndepărtarea din masa produsului de bază a impurităților, care pot fi:

- de origine vegetală: semințe de buruieni, frunze, boabe sparte, boabe golașe etc.;
- de origine minerală: pietriș, praf etc.

Operația de sortare reprezintă separarea unui amestec de particule în mai multe fracții (trei, patru etc.) după anumite criterii, a semințelor aceleași culturi, în scopul obținerii unor fracții uniforme folosind un singur criteriu (formă, dimensiune, viteză de plutire etc.) [157].

Potrivit definițiilor din „Dicționarul de mecanică agricolă” [157]:

- **Separarea** este operația de divizare și de izolare după anumite criterii și metode a componentelor unei mase de particule;

- **Curățirea** reprezintă ansamblul de operații care trebuie efectuate pentru a elimina impuritățile din masa produselor;

- **Sortarea** este operația de separare în mai multe fracții (trei, patru etc.), după anumite criterii, a semințelor aceleași culturi în scopul obținerii unor fracții uniforme folosind un singur criteriu (dimensiune, formă, culoare etc.);

- **Selectarea** este operația de separare a semințelor de impurități sau de semințele altor culturi și de sortare a lor după diferite proprietăți.

Sortarea fracțiunilor dintr-un amestec se realizează pe baza proprietăților specifice fiecărui component, respectiv: dimensiuni, formă, proprietăți aerodinamice, rugozitatea suprafeței, culoare, greutatea specifică etc. [54]. Ținându-se cont de aceste proprietăți sunt concepute diferite metode de sortare [28, 32, 33, 75], acestea putându-se aplica separat sau în combinație pentru a obține o eficiență maximă.

1.3. Proprietățile produselor agricole

În general, particulele solide se caracterizează prin următoarele grupe de proprietăți:

1.3.1. Proprietăți fizico-mecanice.

Acestea diferențiază cel mai mult componentele unui amestec de particule, iar cele mai importante proprietăți sunt:

a) Forma geometrică și dimensiunile particulelor. Se consideră că particulele pot avea formele și dimensiunile.

b) Proprietățile aerodinamice. Acestea caracterizează comportamentul particulelor într-un curent de aer. Proprietățile aerodinamice ale particulelor solide sunt caracterizate în principal de către *viteza de plutire*.

c) Starea suprafeței particulei. În special produsele obținute din agricultură pot fi cu suprafețe netede, lucioase, rugoase, acoperite cu perișori etc.

d) Masa specifică reprezintă masa unității de volum a materialului particulei și variază în funcție de gradul de maturitate al particulei; poate fi diferită în cazul aceleiași particule în funcție de structura acesteia.

e) Umiditatea momentană oferă informații utile pentru calculul bilanțului de constituenți în cazul formării amestecurilor.

1.3.2. Proprietăți tehnologice

Acestea diferențiază pe grupe de calitate masa de particule de același tip. Cele mai importante proprietăți tehnologice sunt:

- a) Aspectul general al masei de particule, care dă informații asupra gradului de vechime sau prospețime a particulelor, modul de păstrare, conținutul de impurități etc.;
- b) Duritatea particulelor dă informații asupra modului în care acestea rezistă la acțiunile mecanice din timpul transportului, manipulării și efectuării operațiilor din tehnologia care trebuie aplicată;
- c) Masa hectolitrică (kg/dm^3) reprezintă masa unui volum de 1 dm^3 și este folosită la dimensionarea depozitelor, buncărelor, utilajului de transport etc.
- d) Masa relativă sau masa a 1000 particule (boabe), MMB (g) reprezintă masa a 1000
- e) Masa absolută a 1000 particule (boabe), Ma (g) reprezintă masa a 1000 particule reportată la substanța uscată. Se calculează în funcție de masa a 1000 boabe (MMB) și umiditatea boabelor în momentul analizei, cu relația:

1.4. Concluzii

1. Pentru prelucrarea materiilor prime obținute din agricultură, dar și pentru o parte din produsele obținute pe cale industrială, este necesară realizarea operației de curățire și sortare;
2. Atât produsele obținute din agricultură cât și o parte din produsele rezultate din diverse procese industriale reprezintă amestecuri eterogene;
3. Un sistem eterogen este format din cel puțin două faze, una internă sau faza discontinuă și una externă numită și faza continuă;
4. Pentru operația de curățire și sortare a unui amestec eterogen se ține cont de proprietățile componentelor care intru în structura amestecului eterogen, acestea fiind proprietăți fizico-mecanice și proprietăți tehnologice;
5. Dintre cele mai importante proprietăți fizico-mecanice se evidențiază: forma geometrică și dimensiunile particulelor; proprietățile aerodinamice; starea suprafeței particulei solide; masa specifică și umiditatea particulei;
6. Orice particulă solidă se poate caracteriza prin relațiile existente între cele trei elemente dimensionale (lungimea, lățimea și grosimea particulei solide) și în funcție de acestea se poate identifica forma acesteia;
7. În funcție de forma particulei se pot defini o serie de termeni cum ar fi sfericitatea sau rotunjimea, iar în funcție de aceștia se pot concepe noi corelații cu celelalte caracteristici fizico-mecanice ale particulei solide;
8. În cadrul procesului de sortare aerodinamică, pe lângă dimensiunea și masa particulei solide, comportamentul acesteia într-un curent de aer mai poate fi influențat și de forma și starea suprafeței particulei.
9. Ținându-se cont de acești factori au fost concepute o serie de utilaje care pot realiza separarea unui amestec eterogen pe diferite fracții.

CAPITOLUL NR. 2. STADIUL ACTUAL AL REALIZĂRILOR PRIVIND SORTAREA PRODUSELOR AGRICOLE

2.3. Clasificarea separatoarelor utilizate pentru amestecurile eterogene de tip Gaz-Solid

Procesul de sortare aerodinamică se realizează ținând cont de o serie de factori care depind de [187]:

- caracteristicile produsului supus procesului de separare aerodinamică;
- tipul constructiv al echipamentului utilizat pentru realizarea procesului de separare.

Pentru realizarea separării unui amestec eterogen de tip gaz – solid se pot utiliza diferite metode [187]:

- a) separarea în câmp gravitațional;

- b) separarea prin reținerea fazei solide prin intermediul unui material filtrant sau a unui lichid;
 - c) separarea în câmp centrifugal;
 - d) separarea în câmp electrostatic.
- a) Separarea în câmp gravitațional
Acele tipuri de separatoare inerțiale pot fi [187]:
- camere de separare;
 - camere de separare cu pereți deflectorii.
- b) Separarea prin reținerea fazei solide prin intermediul unui material filtrant.
Înalta eficiență a acestor tipuri de colectoare se datorează faptului că sistemul de eliminare a particulelor solide din aer se realizează prin intermediul suprafeței active a sacilor. Procesul de filtrare depinde de următorii factori:
- reținerea particulelor datorate dimensiunii ochiului împletitului;
 - pierderea din energia cinetică a particulelor prin impactul dintre acestea și filtru datorită mișcării browniene
 - prin intermediul forței electrostatice care apare între particulele solide și țesătura filtrului.
- c) Separarea în câmp centrifugal
Cele mai utilizate tipuri de separatoare centrifuge sunt (fig. 2.13):
- ciclonul simplu;
 - baterie de cicloane.
- d) Separarea în câmp electrostatic.
Un separator electrostatic este compus din (fig. 2.14):
- sursa de alimentare de înaltă tensiune,
 - secțiunea de ionizare, pentru a încărca particule din fluxul de gaz;
 - zona de eliminare a particulelor colectate
 - carcasă

2.4. Separatoarele gravitaționale utilizate pentru amestecurile eterogene de tip Gaz-Solid

Aceste tipuri de separatoare se pot diferenția după direcția curentului de aer care străbate instalația, respectiv:

- separatoare în curenți de aer verticali (fig. 2.15 a.);
- separatoare în curenți de aer înclinați (fig. 2.15 b.).

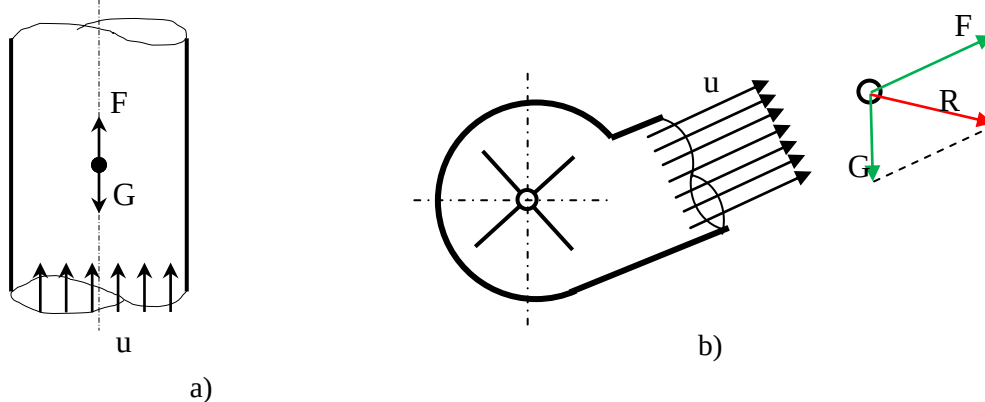


Fig. 2.15. Direcția curentului de aer și forțelor care acționează asupra unei particule aflate într-un curent de aer:
a) vertical; b) înclinat.

În interiorul echipamentelor acestor tipuri de utilaje există o regiune în care se realizează separarea particulelor solide din amestecul eterogen gaz-solid numită zonă de separare (denumită astfel de către Rumpf) [118, 169, 190]. Zona în care sunt colectate particulele solide în raport cu direcția curentului de aer care străbate echipamentul poate fi:

- opusă direcției de deplasare a curentului de aer (fig. 2.16 a);
- poziționată transversal direcției de deplasare a curentului de aer (fig. 2.16 b).

Ținându-se cont de cele prezentate anterior separatoarele pot fi:

- separatoare în cascadă (fig. 2.17), respectiv:
 - în zig-zag;
 - tararul simplu;
 - tararul în cascadă;
- separatoare inerțiale;
- separatoare în strat fluidizat (fig. 2.18), respectiv:
 - o singură trecere;
 - cu două treceri;
 - cu funcționare continuă;
- alte tipuri de separatoare (fig. 2.19), respectiv:
 - separator gravitațional-inerțial Franken/Buell;
 - separator tip Vortex;
 - separator gravitațional-centrifugal;
 - separator rotor;
 - separator cu lame profilate;
 - separator de aer circulant.

2.5. Stadiul actual privind procesul de separare gravitațională a amestecurilor eterogene de tip Gaz-Solid

Datorită diversității tipurilor de utilaje folosite pentru realizarea separării aerodinamice a unui amestec eterogen de particule solide, este necesară realizarea de diverse experimente cu scopul de optimizare a procesului.

Plecând de la clasificarea anterioară a separatoarelor aerodinamice descrisă anterior, în continuare se vor prezenta câteva studii experimentale care au avut drept scop determinarea eficienței procesului de separare aerodinamică, utilizând diferite tipuri de echipamente.

f) Separatorul aerodinamic în curenți de aer înclinați

Pentru realizarea unui proces cât mai eficient s-au efectuat o serie de studii cu scopul de a identifica modul de influență al caracteristicilor particulelor care compun amestecul eterogen asupra randamentului separării. Un astfel de studiu s-a efectuat folosind particule de cereale utilizând un separator în curenți de aer înclinați [127] (fig. 2.34).



Fig. 2.34. Separator în curenți de aer înclinați [127].

Studiile au avut drept scop determinarea eficienței procesului de separare aerodinamică ținând cont de următorii parametri urmăriți:

- densitatea în vrac a particulelor de cereale și paie (fig. 2.35 și fig. 2.36);
- umiditatea cerealelor și a paielor (fig. 2.37 și fig. 2.38);
- viteza curentului de aer (fig. 2.39);
- debitul de alimentare cu particule solide (fig. 2.40).

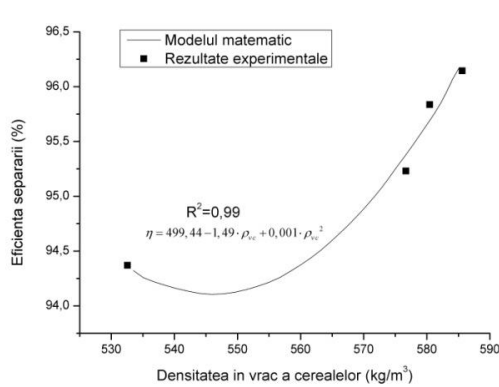


Fig. 2.35. Influența densității în vrac a particulelor de cereale asupra eficienței separării aerodinamice [127].

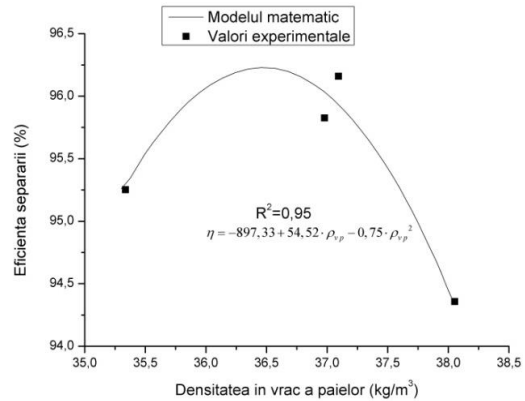


Fig. 2.36. Influența densității în vrac a paielor asupra eficienței separării aerodinamice [127].

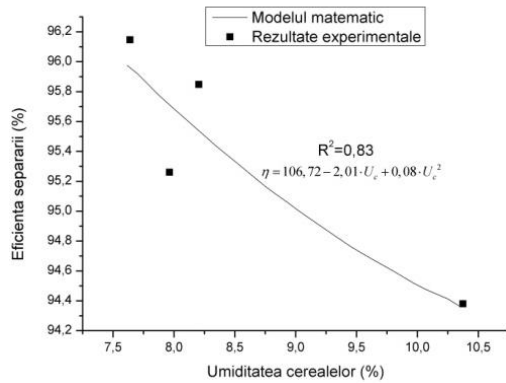


Fig. 2.37. Influența umidității particulelor de cereale asupra eficienței separării aerodinamice [127].

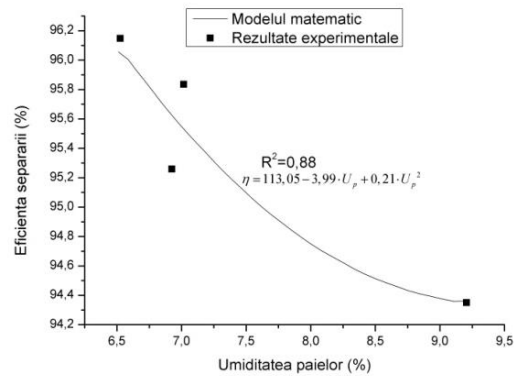


Fig. 2.38. Influența umidității paielor asupra eficienței separării aerodinamice [127].

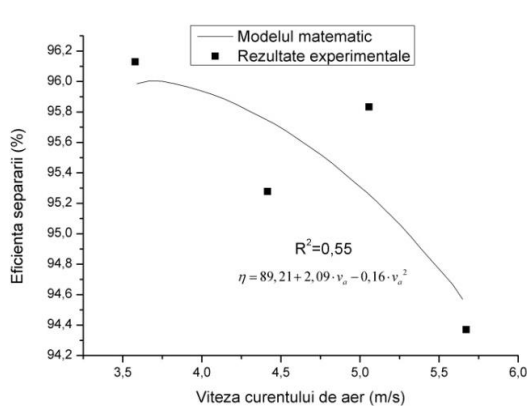


Fig. 2.39. Influența vitezei cilindrului separatorului asupra eficienței separării aerodinamice [127].

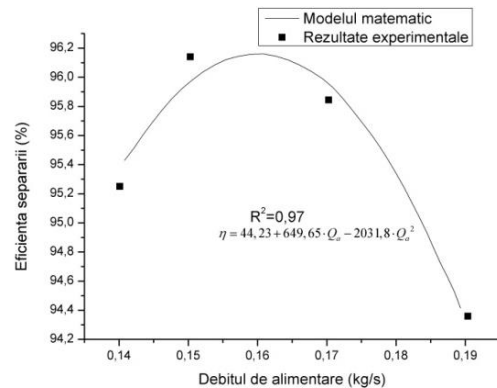


Fig. 2.40. Influența debitului de alimentare cu particule solide asupra eficienței separării aerodinamice [127].

2.6. Concluzii

1. Pentru a putea realiza separarea unui amestec eterogen de particule solide trebuie să se cunoască, pentru fiecare componentă a amestecului, proprietățile acestora;
2. Eficiența procesului de separare a unui amestec eterogen depinde de modul de divizare a componentelor care alcătuiesc amestecul;
3. Sortarea amestecurilor de particule solide după proprietățile aerodinamice ale componentelor este una din cele mai vechi metode de separare, utilizată în scopul de a crește gradul de puritate al produsului de bază;
4. Odată cu dezvoltarea industriei au fost concepute o serie de tipuri de separatoare care au ca scop separarea aerodinamică a unui amestec eterogen de particule solide;
5. Separatoarele gravitaționale utilizate pentru separarea amestecurilor eterogene de tip gaz-solid pot fi separatoare în curenți de aer verticali sau înclinați;
6. În literatura de specialitate există o serie de experiențe care au fost realizate în scopul optimizării procesului de separare aerodinamică, respectiv:
 - a. Ivan K. Klumpar a pus în evidență divizibilitatea unui amestec de particule solide utilizând un separator aerodinamic cu curenți de aer circular;
 - b. G. Barsky a evidențiat impactul pe care îl are viteza curentului de aer asupra ponderii fracției separate ținându-se cont de dimensiunea particulei solide, utilizând un separator de tip cascadă cu rafturi plane;
 - c. Aceeași dependență a fost pusă în evidență și de către Murilo D. M. Innocentini în cadrul experiențelor efectuate pe o instalație concepută pentru determinarea vitezei de plutire a particulelor solide;
 - d. De asemenea și J. Palmer, utilizând un separator de tip zig-zag, a evidențiat importanța pe care o joacă dimensiunea particulei solide asupra randamentului separării;
 - e. Influența exercitată de către viteza curentului de aer, asupra eficienței separării unui amestec eterogen de particule solide, a fost evidențiată de către Panasiewicz Marian în cercetările sale efectuate pe un separator aerodinamic cu canal de aer vertical;
 - f. Prin folosirea unui separator în curenți de aer înclinați, Simonyan K.J. a demonstrat că atât proprietățile fizico-mecanice, respectiv densitatea în vrac a cerealelor și a paielor, umiditatea cerealelor și a paielor, cât și caracteristicile funcționale ale separatorului (viteza curentului de aer și debitul de alimentare cu amestec eterogen de particule solide) au un impact semnificativ asupra eficienței procesului de separare aerodinamică;
7. Pentru urmărirea procesului de separare aerodinamică a unui amestec eterogen de particule solide, pe lângă determinările experimentale, în literatura de specialitate există și o serie de cercetări teoretice care presupun:
 - a. Utilizarea unor modele matematice și prin folosirea unor soft-uri specializate, cum ar fi MATLAB și FORTRAN, s-au putut evidenția traiectoriile particulei solide la diferite viteze de deplasare și ponderea de particule colectate, în cazul unui separator aerodinamic în curenți de aer înclinați;
 - b. Utilizarea unor soft-uri în scopul simulării procesului de separare aerodinamică, cum este și cazul articolului conceput de Johanson Robert, care a evidențiat impactul pe care îl are diametrul particulei solide asupra eficienței separării aerodinamice pentru diferite moduri de funcționare al unui separator gravitațional;
8. În literatura de specialitate comportamentul unei particule solide într-un curent de aer este puțin studiat motiv pentru care se propune această temă de studiu.

CAPITOLUL NR. 3. BAZELE TEORETICE ALE PROCESULUI DE SORTARE AERODINAMICĂ A PRODUSELOR AGRICOLE

Pentru realizarea procesului de separare aerodinamică trebuie să se țină cont de o serie de factori care au un impact major asupra modului de desfășurare a acestuia, printre care amintim:

- proprietățile particulelor solide supuse separării aerodinamice;
- proprietățile curentului de aer:
 - o direcția curentului de aer;
 - o regimul de curgere;

- modul de realizare al amestecului bifazic gaz – solid (G-S).

3.2. Forțele care acționează asupra particulelor solide aflate într-un curent de aer

Conform literaturii de specialitate asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent acționează o serie de forțe. O parte din acestea sunt prezentate în figura 3.8 [48, 57, 66, 72, 116, 155].

Din analiza acestor forțe, care acționează asupra particulei solide într-un curent de aer, se observă că avem [81, 50]:

- forțe masice care sunt proporționale cu masa particulei;
- forțe de suprafață al căror modul este proporțional cu mărimea suprafeței particulei.

Principalele forțe masice sunt [116]:

- forța de greutate G ;
- forța Arhimedică A ;
- forța de inerție F_i .

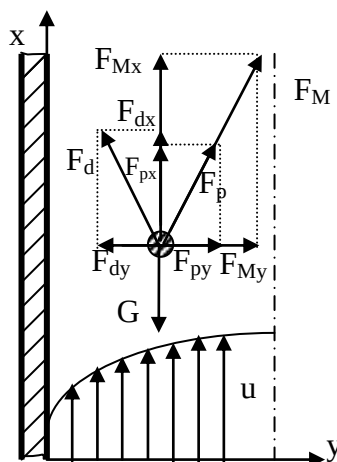


Fig. 3.8. Distribuția forțelor care acționează asupra particulei solide aflate într-un curent turbulent vertical [116].

Forțele de suprafață sunt:

- forța de presiune dinamică frontală F_d ;
- forța de rezistență la înaintare F_R ;
- forța portantă F_p ;
- forța Magnus F_M .

3.3. Comportamentul unei particule într-un curent de aer vertical

Principalele forțe care acționează asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer ascendent sunt prezentate în figura 3.9.

În funcție de raportul dintre cele două forțe (forța gravitațională G și forța portantă F_p), o particulă se poate situa în următoarele situații:

- plutește în curentul de aer ascendent când $G = F_p$;
- particula sedimentează sub acțiunea curentului de aer vertical ascendent pentru $G > F_p$;
- particula este antrenată de curentul de aer ascendent în cazul $G < F_p$.

3.3.1. Plutirea particulei solide în curentul de aer

Ecuția de mișcare a particulei solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent, conform figura 3.9 este [53, 47, 51, 30, 52]:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = G - F_R - A \quad (3.20)$$

unde:

$m \cdot \frac{dv}{dt}$ este forța de inerție;

G – greutatea proprie a particulei, N;

F_R – forța rezistentă opusă de curentul de aer, N;

A – forța lui Arhimede, egală cu masa volumului dislocuit de particulă, N.

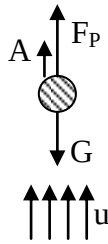


Fig. 3.9. Forțele care acționează asupra unei particule aflate într-un curent de aer ascendent [105].

Deoarece forța lui Arhimede are o valoare foarte mică, datorită masei specifice reduse a aerului și poate fi neglijată, relația (3.20) devine [29]:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = G - F_R \quad (3.21)$$

Pentru o particulă suspendată în curentul de aer, situație în care $v = 0$ și $u \equiv v_p$, ecuația (3.21) devine:

$$G = F_R \quad (3.23)$$

Admițând o masă specifică a aerului, la o temperatură de 20 °C și o presiune de 760 mm coloană de mercur, $\gamma_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$, atunci ecuația (3.23) se poate scrie:

$$0,5 \cdot k \cdot S_p \cdot v_p^2 = m \cdot g \quad (3.24)$$

Viteza curentului de aer, la care particula se găsește în starea de plutire (pentru $g = 9,81 \text{ m/s}^2$), se determină din relația (3.24) [31, 45, 99, 85]:

$$v_p = 4,429 \cdot \sqrt{\frac{m}{k \cdot S_p}}, \quad (\text{m/s}) \quad (3.25)$$

Prin rezolvarea ecuației (3.23), dar fără a înlocui valorile constantelor, se obține forma:

$$v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot G}{k \cdot S_p \cdot \gamma_a}}, \quad (\text{m/s}) \quad (3.26)$$

3.3.2. Antrenarea particulei solide de curentul de aer

În cazul antrenării unei particule solide într-un curentul de aer vertical ascendent, ecuația de mișcare este sub forma dată de relația [87]:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F_R - G - A \quad (3.29)$$

Din relația (3.37) obținem viteza de antrenare a particulei solide, care se deplasează în direcție opusă vectorului viteză:

$$v = u - v_p \cdot \frac{\left(1 + e^{\frac{2 \cdot g}{v_p} \cdot t}\right)}{\left(e^{\frac{2 \cdot g}{v_p} \cdot t} - 1\right)}, \quad (\text{m/s}) \quad (3.38)$$

Pentru t tinzând la infinit relația **Error! Reference source not found.** devine:

$$v = u - v_p, \quad (\text{m/s}) \quad (3.39)$$

unde:

u reprezintă viteza curentului de aer, m/s;

v_p – viteza de plutire, m/s.

3.3.3. Sedimentarea particulei solide în câmp gravitațional

Ținându-se cont de direcția de deplasare a particulei, ecuația de mișcare devine [84, 87]:

$$m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{G} - \vec{A} - \vec{F}_R \quad (3.40)$$

obținem [84, 87] relația de calcul a vitezei de sedimentare:

$$v = v_{sed} = e^{\left[\frac{\ln \left(\frac{2 \cdot v_p}{\frac{2 \cdot g \cdot t}{v_p} - 1} \right) \cdot v_p + 2 \cdot g \cdot t}{v_p} \right]} - v_p, \quad (\text{m/s}) \quad (3.49)$$

sau:

$$v_{sed} = v_p \cdot \frac{e^{\frac{2 \cdot g \cdot t}{v_p}} + 1}{e^{\frac{2 \cdot g \cdot t}{v_p}} - 1}, \quad (\text{m/s}) \quad (3.50)$$

Pentru $t = 0$, relația **Error! Reference source not found.** la limită devine $(2v_p/\infty)$, situație care nu are semnificație fizică (nu are loc fenomenul de plutire). Dimpotrivă, pentru $t = \infty$ relația **Error! Reference source not found.** devine $v_{sed} = v_p$

3.3.4. Sedimentarea particulei solide sub acțiunea curenului de aer

În aceste caz ecuația (3.39) devine [84]:

$$v = v_{sed} - u, \quad (\text{m/s}) \quad (3.51)$$

sau prin înlocuirea relației vitezei de sedimentare (3.50), obținem:

$$v = v_p \cdot \frac{\left(1 + e^{-\frac{t \cdot 2 \cdot g}{v_p}}\right)}{\left(e^{-\frac{t \cdot 2 \cdot g}{v_p}} - 1\right)} - u, \quad (\text{m/s}) \quad (3.52)$$

Pentru $t = 0$, relația **Error! Reference source not found.** la limită devine $(2v_p/\infty)$, situație care nu are semnificație fizică. Dimpotrivă, pentru $t = \infty$ relația **Error! Reference source not found.** devine $v_{sed} = v_p - u$.

Pentru verificarea corectitudinii relațiilor obținute se vor înlocui membri ecuațiilor (3.38), (3.50) și (3.52), respectiv:

- v_p – viteza de plutire și se calculează cu relația de calcul (3.35) pentru următorii parametrii:
 - o particulă de formă sferică având diametrul de 3 mm;
 - o densitatea particulei solide este de 1250 kg/m^3 ;
 - o coeficientul de rezistență la înaintare este de 0,47;
 obținându-se valoarea de 8,99 m/s;
- u reprezintă viteza curenului de aer și se aleg două valori:
 - o 7 m/s pentru sedimentarea particulei solide sub acțiunea curenului de aer ascendent;
 - o 10 m/s pentru antrenarea particulei solide de curenul de aer de curenul de aer ascendent.

Rezultatele obținute sunt prezentate în figura 3.10.

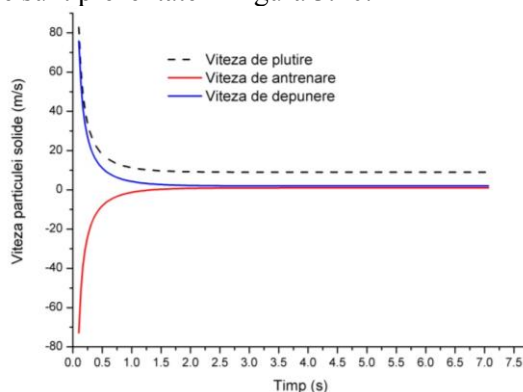


Fig. 3.10. Viteza particulei solide pentru cele trei situații.

3.4. Forța Magnus

Introducând în curenul de aer (fig. 3.13) o particulă solidă se constată că:

- indiferent de poziția ocupată de particula solidă în canalul de aer pe conturul acesteia nu există o distribuție uniformă a curenului de aer;
- valoarea cea mai mare a vitezei curenului de aer, pe conturul particulei solide, se găsește pe partea corespunzătoare axei de simetrie a canalului de aer;

- valoarea cea mai mică a vitezei curentului de aer, pe conturul particulei solide, se găsește pe partea corespunzătoare peretelui canalului de aer.

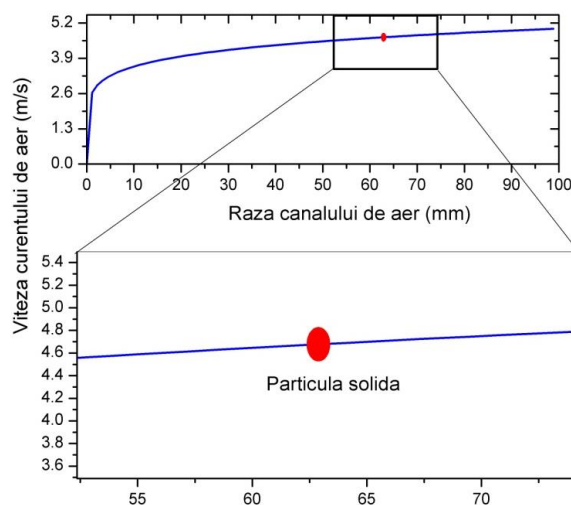


Fig. 3.13. Distribuția vitezei curentului de aer asupra unei particule solide.

Datorită acestei diferențe de viteze, respectiv de presiuni dinamice, care acționează asupra particulei solide, corpul solid își pierde poziția de echilibru și începe să se rotească.

Pentru exemplificare s-a ales o tubulatură cu diametrul de 400 mm străbătută de un curent de aer de 5 m/s. Particula utilizată are un diametru de 0,5 mm. Ținând cont de distribuția curentului de aer din interiorul tubulaturii (fig. 3.14) se poate calcula viteza de rotație a unei particule solide, respectiv turația acesteia (fig. 3.15).

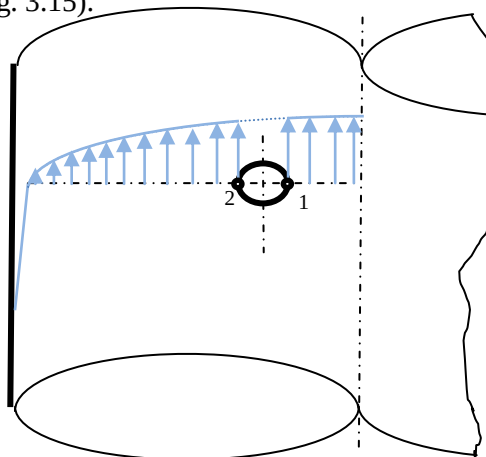


Fig. 3.14 Distribuția curentului de aer pe suprafața unei particule.

3.4.1. Considerații teoretice privind forța Magnus

Efectul Magnus descoperit de fizicianul german Heinrich Gustav Magnus, cu scopul de a descrie traiectoria corpurilor aflate în mișcare de rotație concomitent cu una de translație [177]. Fenomenul a fost descris pentru prima dată de către Magnus în 1852. Totuși, în 1672, Isaac Newton îl remarcă observând deplasarea mingii la partidele de tenis de la Universitatea Cambridge. De asemenea, în 1742, Benjamin Robins, specialist britanic în artilerie, studiază comportarea ghiulelelor și proiectilelor lansate în rotație.

Acest efect Magnus apare datorită frecării dintre particula solidă și aer.

Pentru a putea determina această forță considerăm o sferă care se rotește în raport cu axa proprie situată într-un fluid față de care are o mișcare de translație pe o direcție perpendiculară pe axă. Datorită forțelor de frecare (vâscozitate), sfera antrenează straturile de fluid din vecinătatea sa, în sensul mișcării sale de rotație [197] (fig. 3.16).

Presiunea exercitată de curentul de aer asupra particulei solide este:

$$\Delta p = p_A - p_B = \rho_a \cdot \frac{(u + \omega \cdot R)^2}{2} - \rho_a \cdot \frac{(u - \omega \cdot R)^2}{2} \quad (3.57)$$

sau

$$\Delta p = 2 \cdot R \cdot u \cdot \rho_a \cdot \omega \quad (3.58)$$

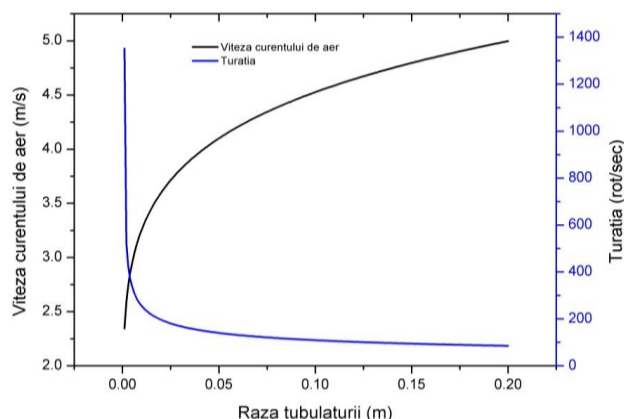


Fig. 3.15. Variația turației unei particule cilindrice în funcție de poziția ocupată de aceasta în interiorul tubulaturii.

Se observă că pe măsură ce raza tubulaturii devine comparabilă cu dimensiunea particulei solide, în curgerea fluidului apar efecte neliniare de tip strat-limită [101].

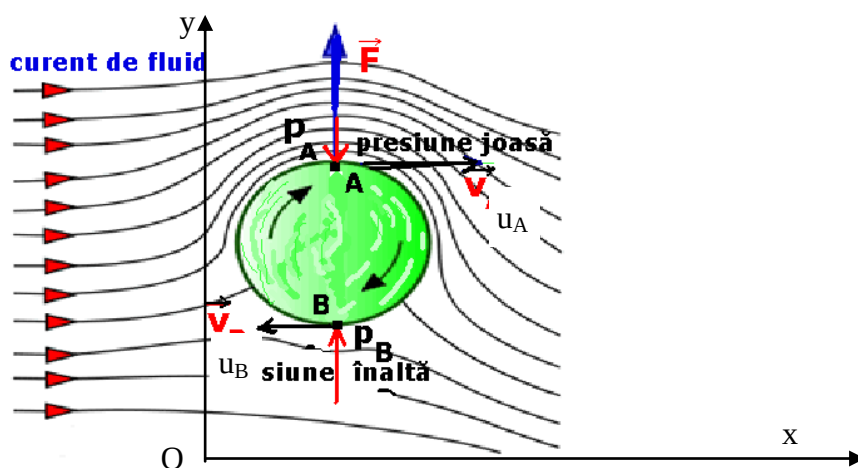


Fig. 3.16. Cilindrul este împins transversal din regiunea cu liniile de curent rare spre regiunea cu liniile de curent dese [177, 162, 208].

Înlocuind relația (3.58) în relația forței:

$$F = p \cdot S \quad (N) \quad (3.59)$$

unde S reprezintă suprafața cilindrului expusă curentului de aer, obținem [106]:

$$F_M = \int \Delta p dS = 4 \cdot \pi \cdot R^3 \cdot u \cdot \rho_a \cdot \omega \quad (N) \quad (3.60)$$

Datorită forțelor de frecare (vâscozității) particula antrenează straturile de aer din vecinătatea sa în sensul mișcării sale de rotație.

3.4.2. Stadiul actual al cercetărilor privind forța Magnus

După cum s-a menționat anterior, efectul Magnus a fost pus în evidență în diferite domenii, cum ar fi:

- sport;
- artilerie.

3.4.2.1. Aplicații ale cercetărilor privind forța Magnus în sport

Cele mai elocvente cercetări cu privire la influența forței Magnus asupra comportării unui corp au fost evidențiate în domeniul sportiv, respectiv [9, 25, 111, 14, 115, 64, 6, 7, 120, 62, 91, 59, 25, 2, 8, 136, 107, 135]:

- fotbal;
- tenis;
- ping-pong;
- baschet;
- baseball;
- golf.

Cea mai clară influență a rotației unui corp asupra traiectoriei acestuia se poate vizualiza în fotbal, unde în funcție de poziția și direcția de lovire a mingii, aceasta capătă o traiectorie (fig. 3.18) [175, 202, 22].

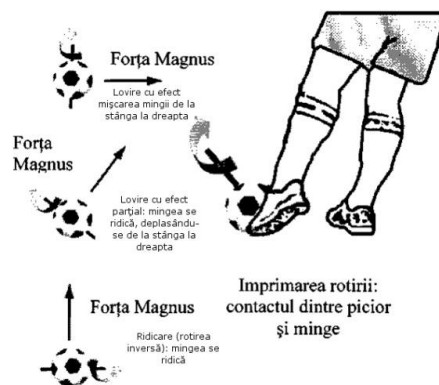


Fig. 3.18. Acțiunea forței Magnus asupra mingii de fotbal [202].

Un alt exemplu de folosire a efectului pe care îl are forța Magnus asupra traiectoriei unei particule solide îl reprezintă loviturile de corner (fig. 3.19).

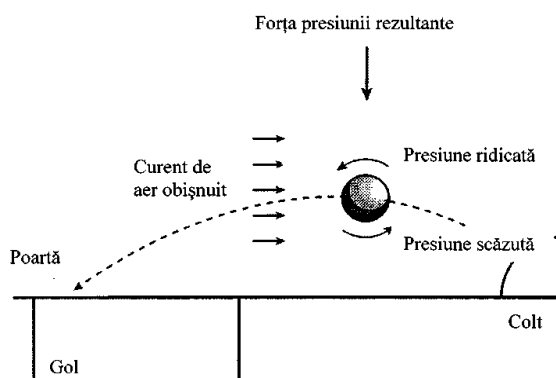


Fig. 3.19. Traiectoria unei mingii influențate de forța Magnus [202].

De asemenea s-au realizat o serie de experiențe cu privire la influența exercitată de forța Magnus asupra traiectoriei unui corp solid.

Experimental s-a imprimat unei mingii de baseball o viteză de rotație și un sens de rotație, urmărindu-se efectul acestora asupra traiectoriei.

În figura 3.23 sunt prezentate sensurile de rotație, vitezele de deplasare și vitezele de rotire ale mingii [10].

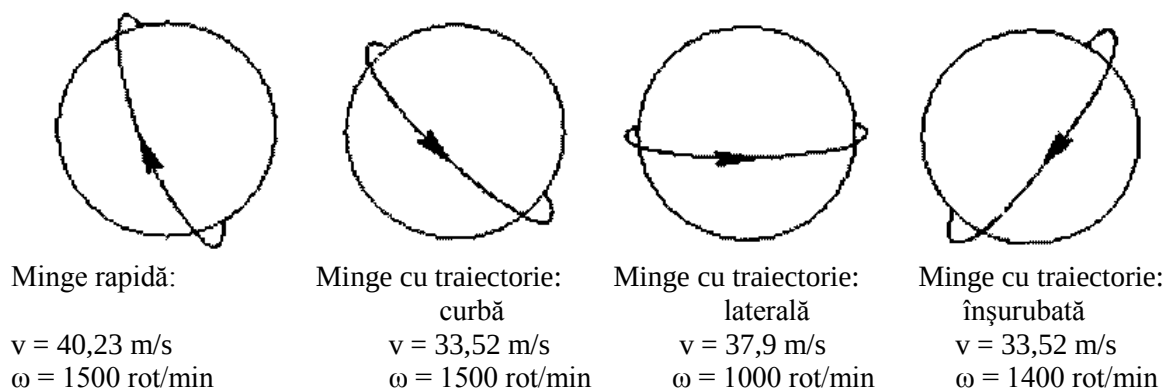


Fig. 3.23. Sensul de rotație al mingii [10].

În urma aruncării mingiei, pentru cele 4 situații, s-a constatat o diferență a curbei de mișcare parcursă de minge atât în modul de deplasare a mingii lateral dar și asupra distanței parcurse de particulă (fig. 3.24).

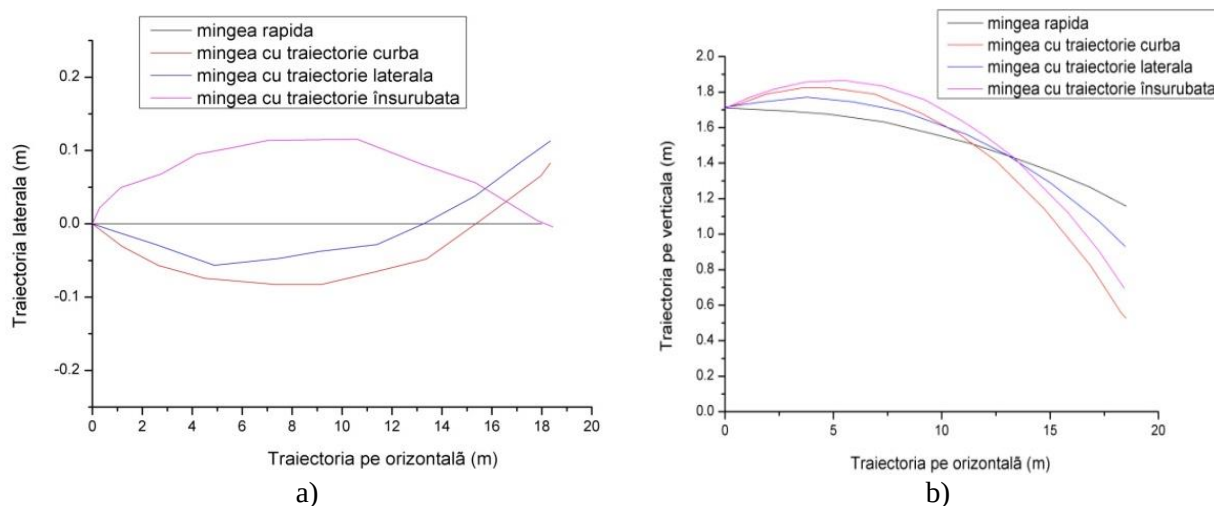


Fig. 3.24. Valorile obținute pentru diferite tipuri de mingi [10]:
a) deplasarea laterală; b) distanța parcursă.

3.5. Concluzii

1. Pentru realizarea procesului de separare aerodinamică pe lângă caracteristicile particulelor solide care intră în componența amestecului mai trebuie să se țină cont și de proprietățile curentului de aer și de modul de realizare al amestecului binar de tip gaz-solid;
2. Regimul de curgere al unui fluid este caracterizat de numărul lui Reynolds și în funcție de valoarea acestuia se poate identifica regimul de curgere laminar, tranzitoriu sau turbulent;
3. Asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent acționează o serie de forțe grupate în forțe masice și forțe de suprafață;
4. Dintre forțele masice cele mai importante sunt forța de greutate, forța Arhimedică și forța de inerție;
5. Cele mai semnificative forțe de suprafață sunt forța de presiune dinamică frontală, forța de rezistență la înaintare, forța portantă și forța Magnus;
6. În funcție de corelațiile existente între forța portantă și forța gravitațională o particulă solidă poate pluti, poate fi antrenată de curentul de aer sau poate să sedimenteze;
7. Datorită frecărilor existente dintre fluid, în cazul nostru aerul, și peretele tubulaturii, face ca viteza curentului de aer să nu aibă o distribuție uniformă în secțiunea tubulaturii, motiv pentru care presiunea dinamică exercitată asupra unei particule solide, aflate în canalul de aer, nu are aceeași

valoare în zonele extreme de contact, fapt care duce la apariția efectului de rotire ale particulei solide, respectiv apariția forței Magnus;

8. Efectul rotirii unei particule solide aflate într-un curent de aer este foarte puțin studiat în literatura de specialitate și din acest motiv nu se cunosc încă efectele acesteia asupra procesului de sortare aerodinamică a particulelor solide;

9. Majoritatea studiilor au avut drept scop punerea în evidență a rotirii particulelor solide, studii care au fost efectuate teoretic dar și prin simulare;

10. Aplicarea forței Magnus asupra unui corp are diverse aplicații, cele mai elocvente sunt cele din sport, respectiv din fotbal, tenis, baschet etc.;

11. Pentru determinarea valorii forței Magnus sau a unui alt parametru care descrie rotația unei particule solide într-un curent de aer, respectiv viteza unghiulară, au fost utilizate diferite experiențe:

a. o serie de experiențe sunt în strânsă legătură cu aplicațiile sportive cum ar fi: fotbal, tenis de masă, baseball, etc., în care s-a urmărit influența pe care o aer viteza unghiulară asupra traiectoriei particulei solide;

b. Primele studii teoretice efectuate au pus accent pe determinarea vitezei de rotație a particulelor solide, dar au pus în evidență rotirea particulelor solide în curentul de aer, acest lucru putând fi imortalizat cu ajutorul aparatului foto;

c. Odată cu creșterea nivelului tehnologic au apărut noi metode de vizualizare a rotirii particulelor solide aflate într-un curent de aer, respectiv camere de filmat performante, cu ajutorul cărora s-a putut extinde câmpul de observații;

d. Xuecheng Wu a conceput și realizat o serie de experiențe cu scopul de a determina rotația pe care o execută un corp solid (bile din sticlă) într-un curent de aer vertical ascendent și a determinat legătura dintre acest parametru și caracteristicile particulei solide (diametrul particule solide, densitatea acesteia) dar și caracteristicile constructive ale standului (înălțimea la care se realizează determinările experimentale în raport cu baza tubulaturii);

e. Cu toate acestea se cunosc puține date despre comportamentul particulelor solide aflate într-un curent de aer vertical, respectiv despre influența rotirii acestora asupra procesului de sortare aerodinamică. Până în prezent s-a putut observa variația vitezei de rotație a particulei solide în funcție de diametrul particulei solide, de poziția acesteia în secțiunea canalului de aer și în funcție de forma particulei.

CAPITOLUL NR. 4. CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND INFLUENȚA FORȚEI MAGNUS ASUPRA COMPORTAMENTULUI UNEI PARTICULE SOLIDE AFLATE ÎNTR-UN CURENT DE AER

Pentru a explica fenomenele din natură, fizica utilizează diverse modele (mecanica clasică, mecanica cuantică etc.). În cele mai multe cazuri, fenomenele naturale sunt simplificate presupunând că acestea pot fi reduse matematic la ecuații relativ simple, care implică funcții continue și diferențiabile. Realitatea este mult mai complexă, iar aceste ecuații liniare simplificate nu pot explica complexitatea fenomenelor din natură. În prezentul capitol s-a studiat mișcarea unei particule solide într-un fluid complex, având în vedere că dinamica particulelor fluidului are loc pe curbe continue, dar nediferențiabile, situație mult mai apropiată de realitatea fizică.

4.2.4. Forța Magnus

Mișcarea fluidului în jurul “particulei” are loc fără un gradient de presiune de-a lungul direcției de mișcare pentru că viteza curentului de-a lungul direcției de mișcare este constantă $V_0 = \text{const.}$. Experimental, o astfel de situație se realizează pentru mișcările unui fluid real cu $V_0 = \text{const.}$, în jurul unui ansamblu de particule de dimensiuni finite. Pentru ca rotația să existe este necesar ca $\nabla \times \mathbf{V}(x, y) \neq 0$.

În aceste condiții, viteza unghiulară ω poate fi determinată prin relația:

$$\omega = \omega_z \cdot \mathbf{k} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \cdot \mathbf{k} \quad (4.24)$$

unde $\mathbf{k}$ este vectorul unitate pentru direcția Oz.

Cum:

$$\left[\frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right] \neq 0 \quad (4.25)$$

unde:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} &= 2 \frac{1.5 \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{2/3}}{(\nu x)^{1/2}} \cdot \frac{0.5 \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} \operatorname{sech} \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} \cdot \frac{\sinh \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}}}{\cosh^2 \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}}} \\ \frac{\partial w(x, y)}{\partial y} &= -\frac{1}{3} \frac{0.15 \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{2/3}}{\nu^{1/3} x^{4/3}} \cdot \left(\frac{0.05y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} \operatorname{sech}^2 \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} - \tanh \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} \right) + \\ &+ \frac{0.15 \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{2/3}}{(\nu x)^{1/3}} \cdot \left(\frac{2}{3} \frac{0.05y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{\nu^{2/3} x^{5/3}} \operatorname{sech}^2 \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} + \frac{4}{3} \frac{0.05y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} \cdot \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{\nu^{2/3} x^{5/3}} \right. \\ &\left. \cdot \operatorname{sech} \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}} \cdot \frac{\sinh \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}}}{\cosh^2 \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}}} + \frac{2}{3} \frac{0.05y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{\nu^{2/3} x^{5/3}} \cdot \frac{1}{\cosh^2 \frac{0.5y \left(\frac{I}{6\rho} \right)^{1/3}}{(\nu x)^{2/3}}} \right) \end{aligned} \right. \quad (4.26)$$

rezultă $\omega_z \neq 0$

Conform teoremei lui Stokes [74]:

$$\Gamma = J_\Omega \quad (4.27)$$

unde Γ este circulația vitezei și J_Ω este intensitatea vortexului rezultă

$$\left\{ \begin{aligned} \Gamma &= \oint_{(C)} \mathbf{V}(x, y) d\mathbf{r} \\ J_\Omega &= \int_{(S)} \mathbf{n} \nabla \times \mathbf{V}(x, y) dA \\ \Gamma &= 2 \cdot \omega \cdot A, \quad A = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \end{aligned} \right. \quad (4.28)$$

cu $d_0 \geq d$.

Acum, conform teoremei Kutta-Jukovski [74] un contur închis (corp) plasat într-un jet de fluid caracterizat de viteza $V_0 = \text{const.}$ în secțiunea de la infinit în jurul căreia apare circulația Γ , dezvoltă o forță prin intermediul efectului Magnus (Forța Magnus):

$$F_M = \rho \cdot \Gamma \cdot V_0 = \rho \cdot 2 \cdot A |\nabla \times V(x, y)| \cdot V_0 \quad (4.29)$$

4.3.3. Forța Magnus generalizată la tranziția de scala fractal-nefractal

Dacă mișcările fluidului sunt irotaționale:

$$\nabla \cdot \tilde{V} = 0 \quad \nabla \cdot V_D = 0 \quad \nabla \cdot V_F = 0 \quad (4.52)$$

putem alege $\tilde{V}$ de forma:

$$\tilde{V} = -2i\mathcal{D}(dt)^{(2/D_F)-1} \nabla \cdot \ln \psi \quad (4.53)$$

Pentru $\psi = \sqrt{\rho} e^{iS}$, cu $\sqrt{\rho}$ amplitudinea și S faza lui ψ , câmpul complex de viteze (4.31) ia forma explicită:

$$\begin{cases} \tilde{V} = 2\mathcal{D}(dt)^{(2/D_F)-1} \nabla S - i\mathcal{D}(dt)^{(2/D_F)-1} \nabla \ln \rho \\ V_D = 2\mathcal{D}(dt)^{(2/D_F)-1} \nabla S \\ V_F = \mathcal{D}(dt)^{(2/D_F)-1} \nabla \ln \rho \end{cases} \quad (4.54)$$

În aceste condiții potențialul fractal specific (4.43) rezultă din nediferențiabilitate și trebuie tratat ca un termen cinetic și nu ca un termen potențial. Mai mult, potențialul fractal specific Q_1 poate genera un tensor al tensiunilor vâscoase. Într-adevăr, sub forma:

$$Q_1 = -\mathcal{D}^2(dt)^{(4/D_F)-2} \left[\frac{\nabla^2 \rho}{\rho} - \frac{1}{2} \left(\frac{\nabla \rho}{\rho} \right)^2 \right] \quad (4.55)$$

potențialul fractal specific induce tensorul simetric:

$$\sigma_{ik} = \mathcal{D}^2(dt)^{(4/D_F)-2} \rho \nabla_i \nabla_k \ln \rho = \mathcal{D}^2(dt)^{(4/D_F)-2} \left[\rho \nabla_i \nabla_k - \frac{(\nabla_i \rho)(\nabla_k \rho)}{\rho} \right] \quad (4.56)$$

Divergența acestui tensor este egală cu densitatea de forță asociată potențialului fractal specific Q_1 :

$$\nabla \cdot \bar{\sigma} = -\rho \nabla Q_1 \quad (4.57)$$

Mărimea $\bar{\sigma}$ poate fi identificată cu tensorul tensiunilor vâscoase ale unei ecuații de tip Navier – Stokes:

$$\rho \frac{dV_D}{dt} = \nabla \cdot \bar{\sigma} \quad (4.58)$$

Tensorul densității de impuls este:

$$\pi_{ik} = \rho V_{Di} V_{Dk} - \sigma_{ik} \quad (4.59)$$

și satisface ecuația de mișcare:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho V_D) = -\nabla \cdot \bar{\pi} \quad (4.560)$$

În scopul de a finaliza analogia cu mecanica clasică a fluidelor, se introduc vâscozitățile cinematică și dinamică:

$$\nu = \frac{1}{2} \mathcal{D}(dt)^{(2/D_F)-1} \quad (4.61)$$

$$\mu = \frac{1}{2} \rho \mathcal{D}(dt)^{(2/D_F)-1} \quad (4.62)$$

Cantitățile ν și μ sunt vâscozitățile formale, ambele fiind induse de scala fractală. Acum, tensorul σ_{ik} ia forma uzuală:

$$\sigma_{ik} = \mu \left(\frac{\partial v_{Fi}}{\partial x_k} + \frac{\partial v_{Fk}}{\partial x_i} \right) \quad (4.63)$$

Deși mișcarea este potențială, la limita de tranziție fractal-nefractal, limita la care **Error! Reference source not found.** își manifestă prezența, anizotropia tensiunilor vâscoase induce mișcări de rotație. În consecință, se poate defini forța portantă pe baza teoremei lui Kutta-Jukovski (forța Magnus generalizată) [101]:

$$\begin{cases} \overline{F_M} = \rho \cdot \Gamma_D \cdot v_{y\infty} + i \cdot \rho \cdot \Gamma_D \cdot v_{x\infty} = F_{Mx} - iF_{My} \\ F_{Mx} = \rho \cdot \Gamma_D \cdot v_{y\infty}, \quad F_{My} = -\rho \cdot \Gamma_D \cdot v_{x\infty} \end{cases} \quad (4.64)$$

unde $v_{x\infty} = V_{Dx\infty} - V_{Fx\infty}$ și $v_{y\infty} = V_{Dy\infty} - V_{Fy\infty}$, sunt componentele câmpului de viteze la infinit.

Se remarcă faptul că partea nediferențibilă a acestui câmp de viteze induce forța portantă.

4.4. Concluzii

Din analiza contribuțiilor teoretice se pot desprinde următoarele concluzii:

1. S-a analizat mișcarea în fluide pe curbe continue și diferențiable și s-a obținut expresia forței Magnus prin teoria stratului limită;
2. Se prezintă o generalizare a mișcării unei particule solide într-un fluid complex, având în vedere că dinamica particulelor fluidului are loc pe curbe continue și nediferențiable. Ecuația de mișcare a fost obținută considerând că fluidul are un comportament de tip vâsco-elastic sau histeretic, adică fluidul are memorie;
3. Analiza mișcării rotaționale și a forței portante arată că potențialul fractal specific este funcție numai de viteza fractală și, prin urmare, este o măsură a nediferențibilității traiectoriilor ale particulelor fluidului. De asemenea, dinamica diferențială depinde atât de convecția diferențibilă, cât și de potențialul fractal specific, în timp ce dinamica nediferențibilă depinde atât de convecția asociată tranziției scală diferențibilă – scală nediferențibilă, cât și de disiparea diferențibilă;
4. Se remarcă faptul că partea nediferențibilă a câmpului de viteze induce forța portantă.

CAPITOLUL NR. 5. PROIECTAREA ȘI REALIZAREA BAZEI TEHNICE DE CERCETARE A PROCESULUI DE SORTARE AERODINAMICĂ

5.1. Standul de laborator

În scopul determinării influenței rotirii unei particule solide asupra procesului de sortare aerodinamică s-a conceput și realizat un stand de laborator care realizează separarea unui amestec de particule solide, având un canal de aer vertical și trei camere de liniștire (fig. 5.1). Pentru urmărirea procesului de separare aerodinamică și de urmărire a rotirii particulelor solide, standul a fost realizat din plexiglass.



Fig. 5.1. Stand de laborator.

Standul este realizat din două tronsoane (fig. 5.4):

- un tronson cu secțiune constantă circulară a) ;
- un tronson cu secțiune variabilă prismatică b). În ultima zonă sunt amplasate trei casete de colectare a particulelor solide (I, II, III), poziționate la diferite înălțimi și secțiuni ale canalului de aer.

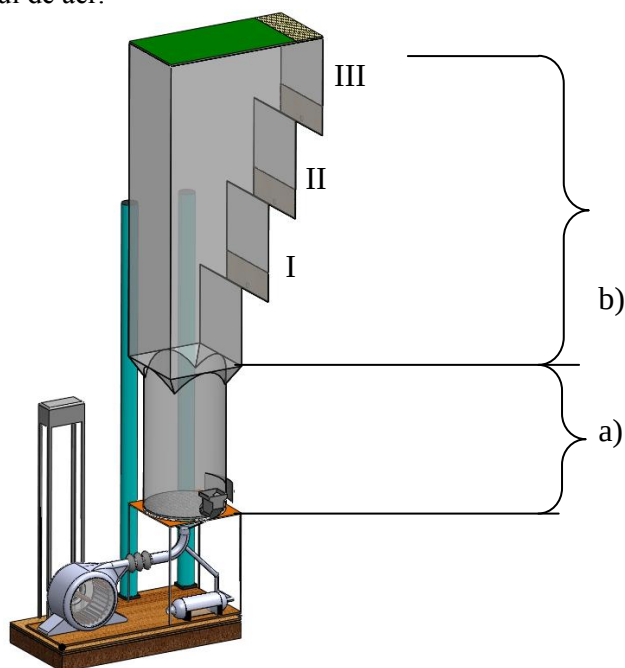


Fig. 5.4. Secțiunile standului de lucru:

a) secțiune constantă a canalului de aer; b) secțiunea variabilă a canalului de aer.

5.2. Echipamentele și softurile utilizate

Aparatele de măsură folosite la studiul acestui proces se împart în două categorii:

- a) aparate pentru determinarea caracteristicilor particulelor;
- b) aparate pentru urmărirea mișcării unei particule solide aflate în curentul de aer vertical ascendent.

Pentru determinarea caracteristicilor particulelor se folosesc următoarele aparate de măsură:

- a) micrometrul – folosit la determinarea dimensiunilor particulelor a, b, c – conform Capitolului 1;
- b) balanță analitică – folosită la măsurarea masei particulelor;
- c) standul pentru determinarea coeficientului de frecare;
- d) standul pentru determinarea vitezei de plutire.

5.2.1. Camera video

Pentru vizualizarea rotației particulei solide în canalul de aer și pentru urmărirea comportării particulelor solide în canalul de aer în timpul procesului de separare aerodinamică se va utiliza o cameră video de mare viteză (fig. 5.11).



Fig. 5.11. Camera video de mare viteză.

5.2.2. Softurile utilizate

Softurile utilizate pentru studiul comportamentului unei particule solide pe o suprafață plană oscilantă sunt:

- a) tri-plot_v1-4-2.xls – este utilizat pentru realizarea unui grafic de tip TRIPLLOT cu ajutorul căruia se poate identifica forma unei particule solide în funcție de corelațiile existente între elementele dimensionale ale acesteia (fig. 5.14) [210];
- b) SynthEyes 3-D Camera Tracker este un instrument care va analiza fișierul video cu scopul de a obține coordonatele particulei urmărite, acestea fiind utilizate pentru a putea reprezenta traiectoria spațială a acesteia [212, 205];
- c) Mathcad este un produs software foarte complex prin care se pot rezolva ecuații algebrice, sisteme de ecuații algebrice, se pot reprezenta grafice de funcții și multe alte operații. Softul Mathcad poate să recalculeze automat și să actualizeze ecuațiile și graficele ori de câte ori se efectuează o modificare, transformând calculatorul într-o foaie de calcul interactiv [203];
- d) OriginLab este un soft utilizat pe scară largă în multe domenii științifice și de inginerie, în special pentru crearea de grafice. Oferă un mod rapid și ușor pentru a efectua o analiză exploratorie a datelor reprezentate într-un grafic [204];
- e) TableCurve 3D este un soft care are ca scop găsirea de ecuației ideale care poate să descrie trei date empirice dimensionale[206].

5.3. Concluzii

1. Pentru studiul influenței forței Magnus asupra procesului de sortare aerodinamică s-a conceput și realizat un stand de laborator având un canal de aer vertical și trei camere de liniștire în cadrul căruia se pot modifica următorii parametri;

- a. Unghiul de înclinație al tubulaturii în raport cu orizontala;
- b. Variația curentului de aer din interiorul tubulaturii prin intermediul unui convertizor de frecvență;

2. Determinările caracteristicilor particulelor utilizate în cadrul determinărilor experimentale s-au realizat cu ajutorul următoarelor tipuri de aparate de măsură:

- a. Micrometru;
 - b. Stand pentru determinarea unghiului de frecare;
 - c. Balanță analitică;
3. Pentru urmărirea deplasării particulei solide în canalul de aer vertical s-a utilizat o cameră video de mare viteză;
4. Pentru studierea comportamentului particulei solide în canalul de aer vertical au fost folosite următoarele soft-uri:
- a. Tri_plot, soft utilizat pentru determinarea formei particulei solide;
 - b. SynthEyes, soft utilizat pentru analiza fișierelor video cu scopul obținerii coordonatelor punctelor urmărite;
 - c. Mathcad, soft utilizat cu scopul de a transforma valorile coordonatelor obținute din soft-ul SynthEyes în parametrii urmăriți;
 - d. TableCurve 3D, soft folosit pentru crearea modelelor matematice.

CAPITOLUL NR. 6. STABILIREA METODICII DE CERCETARE A PROCESULUI DE SEPARARE AERODINAMICĂ A AMESTECURILOR DE PARTICULE SOLIDE, STABILIREA INFLUENȚEI FORȚEI MAGNUS ÎN PROCESUL DE SORTARE

6.2. Metoda și materialul de cercetare

Cercetările au drept scop determinarea valorii forței Magnus care acționează asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent pentru diferite situații particularizate.

În cadrul determinărilor experimentale s-a ținut cont de următorii factori:

- dimensiunea particulei solide studiate - D - în 5 graduări, respectiv:
 - $\Phi 27$;
 - $\Phi 35$;
 - $\Phi 40$;
 - $\Phi 47$;
 - $\Phi 56$;
- forma particulei - F - în 3 graduări, respectiv:
 - particula de formă sferică;
 - 2 forme ale particulei diferite de cea sferică;
- densitatea particulei – DP - în 2 graduări:
 - particule pline;
 - particule goale
- viteza curentului de aer – V - în canalul de aer vertical, în 3 graduări (valorile curentului de aer sunt alese în funcție de tipul dimensiunii și densitatea particulei), putându-se utiliza următoare valori: 4,5 m/s; 4,9 m/s; 5,7 m/s; 6,3 m/s; 7,8 m/s

Din analiza factorilor care variază în cadrul determinărilor experimentale se obține un model polifactorial de forma:

$$D_5 \times F_3 \times DP_2 \times V_3 \text{ sau } 5 \times 3 \times 2 \times 3 \quad (6.1)$$

Numărul de determinări pentru fiecare factor în parte va fi suficient de mare pentru a elimina atât erorile de măsură și abaterile care pot apare în masa de particule, cât și pentru a rezulta un model matematic care să modeleze procesul de separare.

6.6. Concluzii

1. Metodica de cercetare dezvoltată cu scopul de evidențiere și de determinare a influenței forței Magnus asupra comportamentului unei particule solide aflate într-un canal de aer vertical ascendent, implică cunoașterea:
 - a. Parametrilor care țin cont de faza continuă pentru fiecare lot experimental, respectiv viteza curentului de aer;
 - b. Parametrii care țin cont de faza discontinuă (diametrul particulei solide, forma particulei solide);
 - c. Metodologia de lucru pentru prelucrarea datelor experimentale;
2. Pentru urmărirea rotirii particulei solide în canalul de aer pe suprafața particulei solide au fost poziționate marcaje speciale;
3. Datorită modului de colectare a datelor experimentale acestea au putu fi prelucrate pentru determinarea următorilor parametri:
 - a. Distanța pe care o parcurge particula solidă între două care, pe cele trei axe OX, OY și OZ;
 - b. Distanța totală parcursă de particula solidă;
 - c. Viteza liniară și cea instantanee a particulei solide;
 - d. Viteza unghiulară medie instantanee;
 - e. Turația particulei;
 - f. Numărul de rotații pe care particula le realizează pe distanța de 266 mm;
 - g. Forța Magnus.
4. De asemenea, pe lângă acești parametri, sa putu determina și traiectoria particulei solide în canalul de aer.

CAPITOLUL NR. 7. REZULTATE EXPERIMENTALE

7.1. Determinarea experimentală a caracteristicilor particulelor solide supuse procesului de separare aerodinamică

Pentru particulele utilizate în cadrul determinărilor experimentelor s-au determinat, cu ajutorul echipamentelor de laborator prezentate în Capitolul 5 următorii parametri:

- dimensiunea și forma particulelor solide. În cadrul determinărilor experimentale au fost utilizate mingi sferice din polistiren care au fost ulterior deformate;
- masa particulei solide;
- coeficientul de frecare.

Pentru a studia comportamentul unei particule solide într-un curent de aer vertical, în cadrul determinărilor experimentale au fost utilizate particule cu densități diferite, respectiv:

- bile pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3 ;
- bile realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3 .

7.2. Determinarea vitezei de plutire

Deoarece secțiunea canalului de aer corespunzătoare standului de laborator utilizat pentru determinarea acestui parametru (Capitolul 5 – fig. 5.10) este de $50 \times 50 \text{ mm}$, valoarea vitezei de plutire se determină analitic utilizând următoarea relație de calcul:

$$v_p = \sqrt{\frac{4 \cdot d_e \cdot \rho_p \cdot g}{3 \cdot k \cdot \Phi_s \cdot \gamma_a}} \quad (\text{m/s}) \quad (7.1)$$

în care:

d_e reprezintă diametrul echivalent al particulei, m;

ρ_p – densitatea particulei solide, kg/m³;
 g – accelerația gravitațională, m/s²;
 k – coeficient aerodinamic de rezistență care depinde de forma și starea suprafeței;
 γ_a – densitatea aerului, kg/m³;
 Φ_s – coeficient de sfericitate și se determină cu relația:

$$\Phi_s = \sqrt[3]{\frac{l \cdot b \cdot c}{l^3}} \quad (7.2)$$

în care:

l , b și c reprezintă dimensiunile particulei solide;

Valorile obținute, atât pentru coeficientul de sfericitate cât și pentru viteza de plutire, sunt prezentate în tabelul 7.4.

Tabelul 7.4.

Valorile vitezei de plutire.

Nr. crt.	Particula	Coeficient de sfericitate	Viteza de plutire, m/s
1.	dps1	1	3,176
2.	dpd2	0,90856	3,332
3.	dpd3	0,81781	3,512
4.	dps4	1	3,616
5.	dpd5	0,88118	3,852
6.	dpd6	0,82946	3,97
7.	dps7	1	4,19
8.	dpd8	0,94231	4,317
9.	dpd9	0,90911	4,395
10.	dps10	1	4,574
11.	dpd11	0,94433	4,707
12.	dpd12	0,85499	4,947
13.	dgs1	1	7,922
14.	dgd2	0,931	8,207

Între caracteristicile particulelor solide utilizate în cadrul determinărilor experimentale și parametrul principal al procesului de separare aerodinamic, respectiv viteza de plutire, există anumite corelații, respectiv:

- Influența exercitată de către coeficientul de sfericitate (fig. 7.3);
- Influența exercitată de către coeficientul de frecare (fig. 7.4).

Atât din reprezentările grafice din figura 7.3 și figura 7.4, dar și din tabelul 7.4 se pot desprinde următoarele concluzii:

- viteza de plutire a unei particule solide este influențată în mod direct de densitatea particulelor solide, acest lucru putându-se evidenția și din figura 7.5, unde au fost puse în evidență în mod elocvent grupa particulelor cu densitatea de 15 kg/m³ (albastru) și grupa particulelor cu densitatea de 84 kg/m³ (roșu);
- valoarea vitezei de plutire a unei particule solide este invers proporțională cu valoarea coeficientului de sfericitate al particulei solide, indiferent de valoarea densității particulei solide;
- viteza de plutire a unei particule solide variază în mod direct cu variația coeficientului de frecare al particulei solide studiate, indiferent de valoarea densității particulei solide.

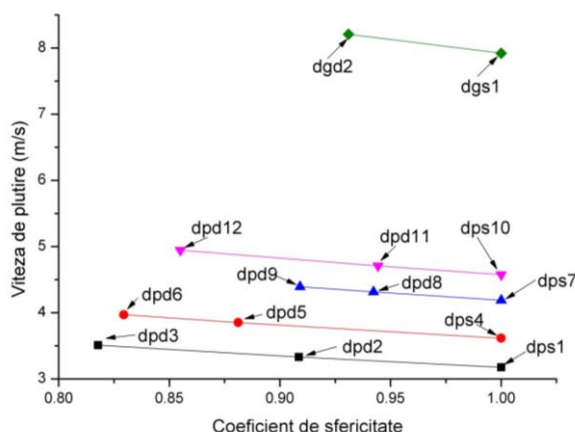


Fig. 7.3. Variația vitezei de plutire în funcție de coeficientul de sfericitate.

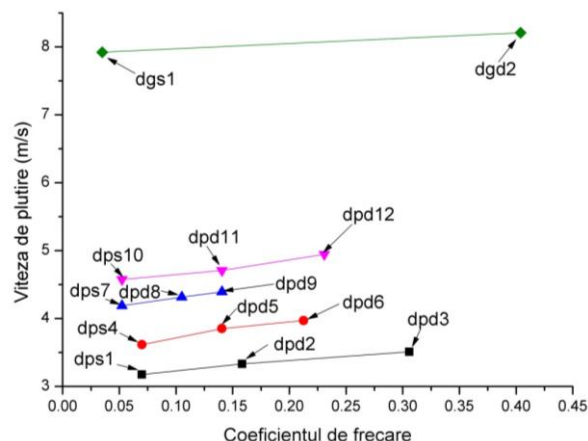


Fig. 7.4. Variația vitezei de plutire în funcție de coeficientul de frecare.

În urma determinărilor experimentale, datele obținute au fost prelucrate conform metodologiei prezentate la Capitolul 6.

Din analiza metodologiei de prelucrare a datelor experimentale se constată că se pot determina o serie de parametri:

1. ținându-se cont de perioadă:
 - a. valoarea instantanee;
 - b. valoarea totală;
2. ținând cont de caracteristica urmărită:
 - a. distanța parcursă de particula solidă;
 - b. timpul de urmărire a particulei solide;
 - c. viteza de deplasare;
 - d. viteza unghiulară a particulei solide;
 - e. turația particulei solide;
 - f. valoarea forței Magnus.

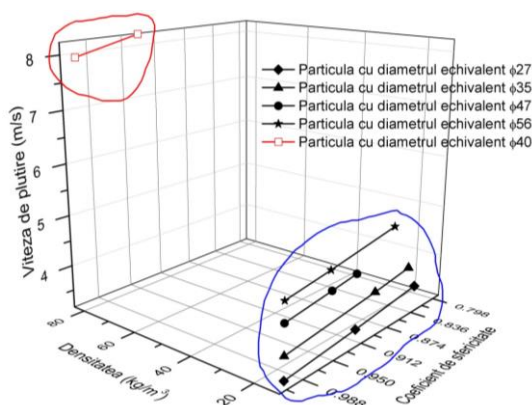


Fig. 4.5. Variația vitezei de plutire în funcție de densitatea particulei și de coeficientul de sfericitate.

7.3. Determinarea vitezei liniare pentru diferite tipuri de particule

7.3.1. Determinarea vitezei medii liniare instantanee

După prelucrarea valorilor experimentale au fost realizate o serie de reprezentări grafice ai parametrilor urmăriți, astfel în figurile 7.11÷7.15 sunt prezentate variațiile vitezei medii liniare instantanee pentru particulele studiate, parametru a cărei reprezentare a fost realizată ținând cont de influența sfericității particulelor și a vitezei curentului de aer.

Pentru diferențierea tipurilor de particule utilizate după structura lor (particule pline sau goale) și după densitatea lor (polistiren expandat sau celuloid), în continuare prezentarea rezultatelor experimentale se va realiza astfel:

- A. particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3 ;
- B. particule goale realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3 .

A. *Particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3*

Analizând variația vitezei medii liniare instantanee pentru particula a cărei diametru este de $\Phi 27$ (fig. 7.6) se constată că:

- valoarea vitezei medii liniare instantanee a variat în intervalul (1,61 - 3,58) m/s pentru o valoare a sfericității de 1, în intervalul (1,94 - 4,6) m/s la valoarea sfericității de 0,9, iar pentru sfericitatea de 0,81 avem o variație a acestui parametru în intervalul (2,38 - 4,61 m/s.
- indiferent de valoarea sfericității, se observă că viteza medii liniară instantanee, creștere semnificativ cu aproximativ 2 m/s în raport cu valoarea corespunzătoare celei mai mici viteze ale curentului de aer, urmată, în final, de o creștere lină de aproximativ 0,2 m/s.

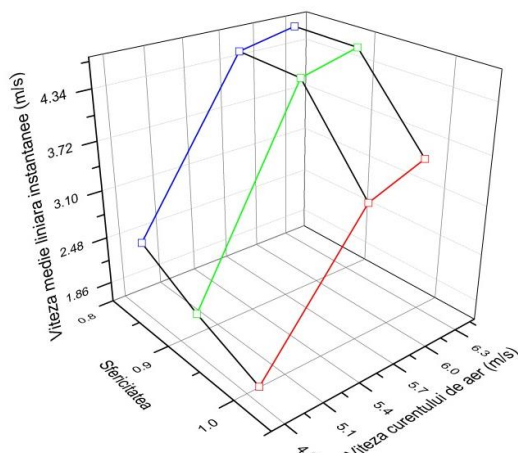


Fig. 7.6. *Variația vitezei medii liniare instantanee în funcție de variația sfericității și a vitezei curentului de aer pentru o particulă cu $\Phi 27$.*

În cazul particulei cu diametrul $\Phi 35$ (fig. 7.7), viteza medie liniare instantanee variază astfel:

- pentru o valoare a sfericității particulei solide de 1 și pentru o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s s-a obținut o valoare de 2,59 m/s. Aceasta crește gradual cu 1,61 m/s pentru viteza curentului de aer de 6,277 m/s și cu încă 0,2 m/s pentru viteza curentului de aer de 1,5 m/s;
 - se observă că pentru valoarea vitezei curentului de aer de 5,775 m/s, odată cu scăderea valorii sfericității particulei solide de la 1 la 0,82, valoarea vitezei medii liniare instantanee crește semnificativ de la 2,56 m/s la 3,3 m/s, ajungând în final la 3,83 m/s;
- în cazul în care viteza curentului de aer este de 6,277 m/s valoarea vitezei medii liniare instantanee crește gradual cu o medie de aproximativ 0,2 m/s. Aceeași diferență s-a obținut, pentru viteza curentului de aer de 7,784 m/s, între particulele cu sfericitatea de 1 și cea de 0,9. La particulele cu sfericitatea de 0,9 și 0,81 valoarea vitezei medii liniare instantanee s-a majorat cu 0,35 m/s.

Analizând graficul variației viteza medii liniare instantanee, pentru particula solidă cu diametrul de $\Phi 47$ (fig. 7.8), se pot desprinde următoarele concluzii:

- pentru aceeași formă a particulei solide se constată că variația vitezei medii liniare instantanee este direct proporțională cu variația vitezei curentului de aer;
- în cazul în care se consideră constantă valoarea vitezei curentului de aer și se variază forma particulei utilizată în cadrul determinărilor experimentale se observă că valoarea vitezei medii liniare instantanee crește odată cu scăderea sfericității.

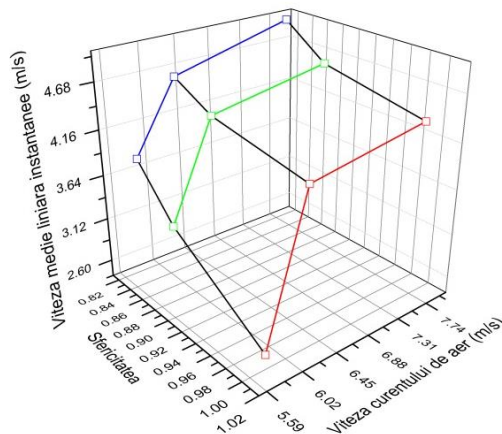


Fig. 7.7. Variația vitezei medii liniare instantanee în funcție de variația sfericității și a vitezei curentului de aer pentru o particulă cu $\Phi 35$.

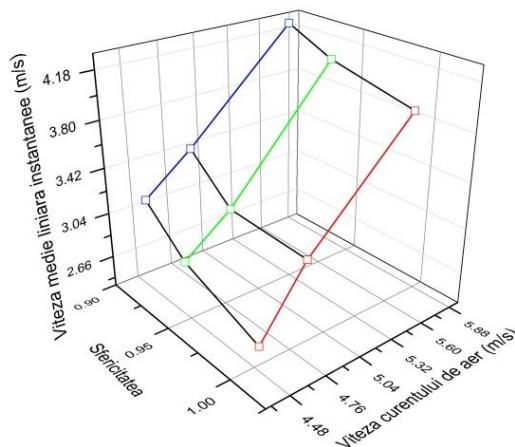


Fig. 7.8. Variația vitezei medii liniare instantanee în funcție de variația sfericității și a vitezei curentului de aer pentru o particulă cu $\Phi 47$.

Din analiza reprezentării grafice a variației vitezei medii liniare instantanee, ale particulei cu diametrul de $\Phi 56$ (fig. 7.9), se constată următoarele:

- pentru particula **dps7** se observă o creștere cu 0,13 m/s a valorii vitezei medii liniare instantanee, pentru o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s, în raport cu valoarea obținută la o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s, unde s-a obținut 2,795 m/s. Pentru **dpd8** avem o creștere valorică a vitezei medii liniare instantanee de la 3,05 m/s până la 3,84 m/s, pentru aceeași variație a vitezei curentului de aer. La particula **dpd9** diferența dintre valoarea obținută a vitezei medii liniare instantanee corespunzătoare vitezei curentului de aer de 5,775 m/s și cea corespunzătoare vitezei curentului de aer de 6,277 m/s crește cu 1,17 m/s în raport cu valoarea inițială de 3,28 m/s;

- pentru un curent al aerului care străbate tubulatura cu o viteză de 5,775 m/s, se constată că viteza liniară medie crește odată cu scăderea sfericității particulei solide, respectiv s-au obținut valorile de 3,28 m/s; 3,05 m/s și 2,66 m/s pentru următoarele sfericități: 0,85; 0,94 și 1. Și în cazul în care tubulatura este străbătută de un curent de aer cu o viteză de 6,277 m/s se observă aceeași dependență între sfericitatea particulei și valoarea obținută a vitezei liniare medii, respectiv 4,45 m/s; 3,84 m/s și 2,79 m/s corespunzătoare aceluiași tipuri de particule.

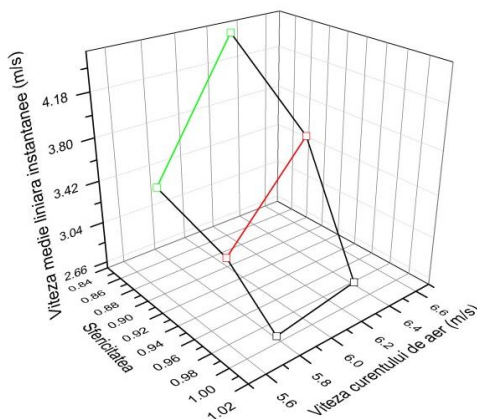


Fig. 7.9. Variația vitezei medii liniare instantanee în funcție de variația sfericității și a vitezei curentului de aer pentru o particulă cu $\Phi 56$.

B. Particule goale realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3
În urma studierii variației vitezei medii liniare instantanee corespunzătoare particulei cu diametrul $\Phi 40$ (fig. 7.10) se pot desprinde următoarele concluzii:

- pentru aceeași valoare a sfericității se constată că valoarea finală a vitezei medii liniare instantanee, obținută la cea mai mare valoare a vitezei curentului de aer, se multiplică în medie de 2,29 ori în raport cu cea mai mică valoare a vitezei medii liniare instantanee. Valoare intermediară corespunzătoare vitezei curentului de aer de $6,277 \text{ m/s}$, care este cu $0,4 \text{ m/s}$ mai mare decât valoarea obținută pentru particula sferică și cu $0,89 \text{ m/s}$ pentru particula cu sfericitatea de $0,93$;

- indiferent de valoarea vitezei curentului de aer, diferența dintre valorile obținute ale vitezei medii liniare instantanee, în raport cu particula de referință (cea sferică) poate fi considerată nesemnificativă

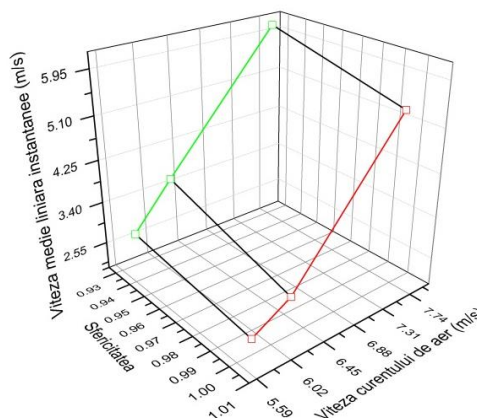


Fig. 7.10. Variația vitezei medii liniare instantanee în funcție de variația sfericității și a vitezei curentului de aer pentru o particulă cu $\Phi 40$.

7.3.2. Determinarea vitezei liniare

De asemenea, datorită faptului că s-a putut realiza o analiză complexă a rezultatelor experimentale, s-a putut determina viteza cu care particula solidă străbate regiunea în care este urmărită cu ajutorul camerei video, obținând astfel viteza cu care aceasta se deplasează în canalul de aer, respectiv viteza liniară. Variația acestui parametru este prezentată în figurile 7.11÷7.15.

A. Particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3

Analizând variația vitezei liniare, în cazul particulei cu diametrul $\Phi 27$ (fig. 7.11), rezultă următoarele:

- viteza liniară este direct proporțională cu viteza curentului de aer indiferent de forma pe care o are particula solidă;
- și în cazul în care avem aceeași viteză a curentului de aer se constată că viteza liniară este invers proporțională cu variația sfericității particulelor utilizate în cadrul determinărilor experimentale.

În cazul variației vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 35$ (fig. 7.12) se poate spune că avem aceeași dependență între parametrii de intrare și cei de ieșire ca și în cazul particulei cu diametrul $\Phi 27$.

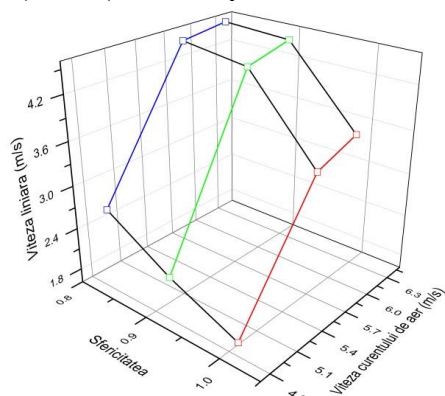


Fig. 7.11. Variația vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 27$.

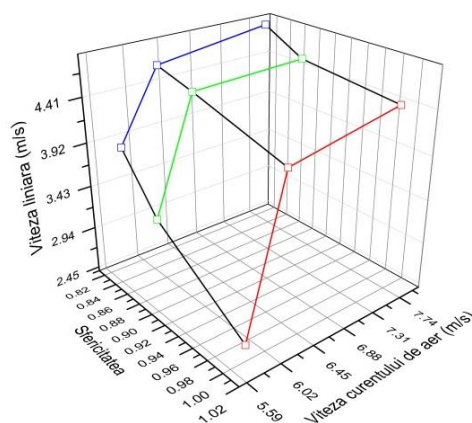


Fig. 7.12 Variația vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 35$.

În cazul variației vitezei liniare pentru particula $\Phi 47$ (fig. 7.13) se pot desprinde următoarele concluzii:

- pentru o valoare a vitezei curentului de aer de 4,519 m/s, în cazul particulei **dps7** s-a obținut o valoare a vitezei liniare de 2,55 m/s. Valoarea vitezei liniare crește gradual cu aproximativ 8,66% pentru particula **dps8** și valoarea se mărește de 1,22 ori față de valoarea inițială pentru particula **dps9**;

în cazul vitezei curentului de aer de 4,896 m/s, ca și în cazul precedent, se constată o creștere progresivă a vitezei liniare de aproximativ 0,94 m/s pentru fiecare variație a sfericității particulei solide;

- la o valoare a vitezei curentului de aer de 5,775 m/s în raport cu valoarea vitezei liniare de 3,572 m/s, obținută pentru particula **dps7**, se constată o majorare a vitezei liniare cu 0,65 m/s pentru particula **dps8**, iar pentru **dps9** creșterea este de aproximativ 5% față de valoarea precedentă;

- în cazul particulei de formă sferică sunt obținute următoarele valori ale vitezei liniare: 2,554 m/s, 2,93 m/s și 3,572 m/s, valori care sunt corespunzătoare vitezelor curentului de aer;
- pentru particula **dpd8** se constată că viteza liniară prezintă o creștere liniară în raport cu variația vitezei curentului de aer având valorile de 2,79 m/s, 3,08 m/s și 4,22 m/s, pentru aceleași valori ale vitezei curentului de aer;
- pentru o valoare a vitezei curentului de aer de 4,519 m/s s-a obținut o valoare a vitezei liniare de 3,12 m/s. Aceasta s-a mărit în cazul vitezei curentului de aer de 4,896 m/s ajungând la 3,418 m/s, iar la o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s s-a obținut o viteză liniară de 4,47 m/s. Aceste valori ale vitezei liniare corespund unei sfericități ale particulei solide de 0,9.

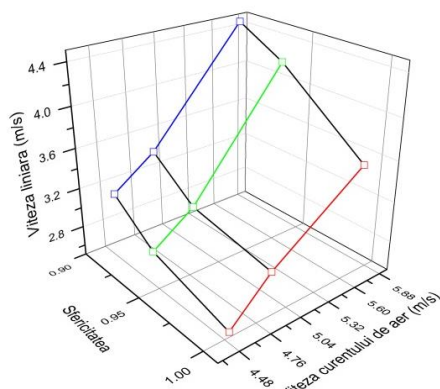


Fig. 7.13. Variația vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 47$.

Din analiza variației vitezei liniare a particulei $\Phi 56$ (fig. 7.14) se poate spune că:

- pentru aceeași valoare a sfericității s-a obținut:
 - o pentru particula **dps10** pentru o valoare a vitezei curentului de aer de 5,775 m/s viteza liniară este de 2,44 m/s, iar pentru o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s s-a obținut 2,75 m/s;
 - o pentru particula **dps11**, s-a obținut o viteză liniară de 3,07 m/s, iar când se mărește valoarea curentului de aer se constată o mărire valorică a parametrului studiat, ajungând la 3,11 m/s;
 - o de asemenea pentru particulele cu sfericitatea de 0,85 se constată că valoarea vitezei liniare crește de la 3,37 m/s la 3,6 m/s pentru o creștere a parametrului de intrare de la 5,775 m/s la 6,277 m/s;

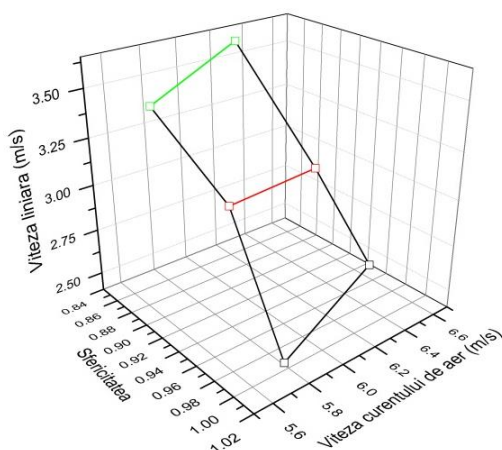


Fig. 7.14. Variația vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 56$.

- în cazul urmăririi influenței pe care o are sfericitatea particulei pentru diferite valori ale vitezei curentului de aer asupra vitezei liniare se observă că:

- pentru o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s, care străbate tubulatura, s-a obținut o valoare minimă a vitezei liniare de 2,44 m/s pentru particula **dps7**, pentru particulele **dpd8** și **dpd9** s-a obținut valoarea de 3,07 m/s și de 3,37 m/s;

- la o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s particulei de formă sferică îi corespunde o viteză liniară de 2,75 m/s, la sfericitatea de 0,94 s-a obținut o viteză liniară de 3,11 m/s, iar la sfericitatea de 0,85 valoarea de 3,6 m/s.

B. Particule goale realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3

Din analiza grafică a variației vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 40$ (fig. 7.15) se pot desprinde următoarele concluzii:

- valoarea vitezei liniare pentru o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s, atât pentru particula sferică cât și pentru particula cu sfericitatea de 0,931, crește cu 0,428 m/s și cu 0,88 m/s față de valorile obținute inițial, care corespund vitezei curentului de aer de 5,775 m/s, respectiv pentru 2,31 m/s și 2,68 m/s.

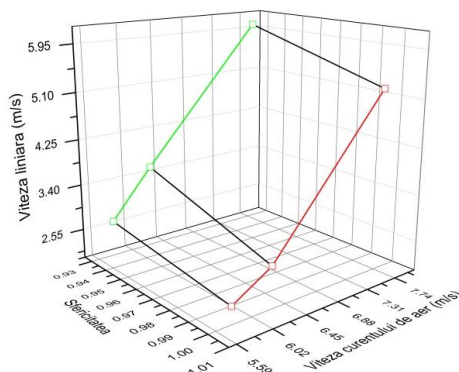


Fig. 7.15. Variația vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 40$.

- la o viteză a curentului de aer de 7,784 m/s se obține o creștere de 92,36% pentru particula **dgs1** și de 69,25% pentru particula **dgd2**;

- în raport cu valorile obținute ale vitezei liniare, corespunzătoare particulei sferice, respectiv pentru 2,31 m/s, 2,74 m/s și 5,27 m/s, se constată că valoarea parametrului urmărit se măresc cu 0,36 m/s, 0,82 m/s și cu 0,75 m/s în cazul particulei **dgd2**.

7.4. Determinarea vitezei unghiulare pentru diferite tipuri de particule

Variația valorică a vitezei medii unghiulare, pentru fiecare tip de particulă studiată, este prezentată în figurile 7.16÷7.20. Ca și în cazul variației vitezei liniare s-au ales sfericitatea particulei solide și viteza curentului de aer ca parametri în funcție de care au fost concepute reprezentările grafice.

A. Particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3

Analizând variația valorică a vitezei medii unghiulare corespunzătoare particulei cu $\Phi 27$ se poate spune că (fig. 7.16):

- pentru particulele cu aceeași formă:
 - în cazul particulei **dps1** s-au obținut următoarele valori pentru viteza unghiulară: 127,24 rad/sec; 318,83 rad/sec; 333,20 rad/sec, pentru o viteză a curentului de aer de 4,896 m/s; de 5,775 m/s și de 6,277 m/s;
 - pentru particula **dpd2** viteza unghiulară prezintă o creștere liniară de la valoarea minimă de 317,39 rad/sec (vitezei curentului de aer este de 4,896 m/s) la valoarea maximă de 414,46 rad/sec (viteza curentului de aer de 6,277 m/s), creșterea realizându-se cu un pas aproximativ constant de 28,14 rad/sec. Valoarea medie a vitezei unghiulare a fost obținută pentru viteza curentului de aer de 5,775 m/s;

○ la particula **dpd3**, se obține, ca și în cazul particulei **dpd2**, pentru o viteză a curentului de aer 4,89 m/s, o valoare minimă a vitezei unghiulare de 342,71 rad/sec, următoarea valoare obținută fiind cu 57,12 rad/sec mai mare, iar ultima valoare, cea mai mare, este cu 6,19% mai mare decât precedenta, pentru aceleași valori ale vitezei curentului de aer;

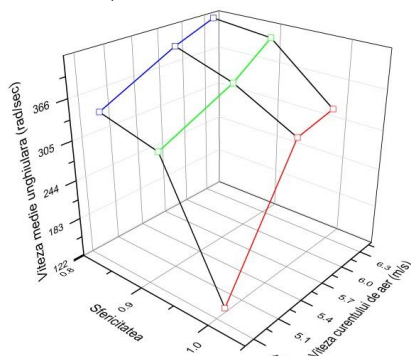


Fig. 7.16. Variația vitezei medii unghiulare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 27$.

- pentru aceeași valoare a vitezei curentului de aer avem:
 - la o viteză a curentului de aer de 4,895 m/s în cazul particulei **dps1** s-a obținut o viteză unghiulară de 127,24 rad/sec, valoare care s-a mărit cu 190,15 rad/sec pentru particula **dpd2**, ajungând ca la particula **dpd3** să se obțină o viteză unghiulară de 342,71 rad/sec;
 - în cazul vitezei curentului de aer 5,772 m/s variația dintre valorile obținute ale vitezei unghiulare nu este atât de semnificativă. Există o diferență medie de aproximativ 40,49 rad/sec între valorile obținute;
 - și în cazul vitezei curentului de aer de 6,277 m/s ca și în cele prezentate anterior există o dependență directă între viteza unghiulară și sfericitatea particulelor solide

Din analiza rezultatelor experimentale prezentate în figura 7.17, care corespund particulei cu diametrul de $\Phi 35$ mm se observă aceeași dependență între parametrii de intrare și parametrul urmărit, respectiv:

- valoarea vitezei unghiulare crește odată cu creșterea vitezei curentului de aer indiferent de forma particulei;
- valoarea vitezei unghiulare crește odată cu mărirea diferenței formei particulei solide față de particula sferică indiferent de valoarea vitezei curentului de aer.

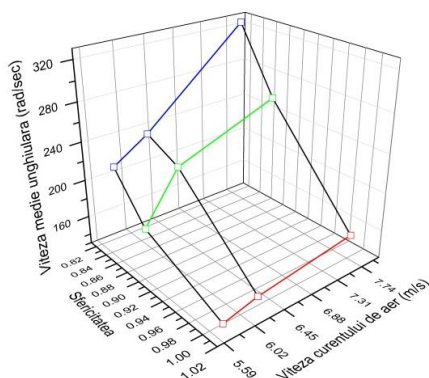


Fig. 7.17. Variația vitezei medii unghiulare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 35$.

Din studiul datelor experimentale obținute în urma determinării vitezei medii unghiulare corespunzătoare particulei solide cu $\Phi 47$ (fig. 7.18) se poate spune că:

- și în acest caz viteza curentului de aer joacă un rol important asupra variației vitezei unghiulare, respectiv se constată că parametrul urmărit este în strânsă legătură directă cu variația parametrului de intrare, indiferent de forma particulei;
- pentru particula **dps7**, pentru cele trei valori ale vitezei curentului de aer de 4,519 m/s, 4,896 m/s și de 5,775 m/s s-a obținut o valoare a vitezei medii unghiulare de 108,62 rad/sec, 175,78 rad/sec și 193,04 rad/sec;
- pentru particula **dpd8**, în cazul vitezei curentului de aer de 4,519 m/s s-a obținut o viteză unghiulară e 149,98 rad/sec, pentru o viteză a curentului de aer de 4,896 m/s avem 206,17 rad/sec și 218,52 rad/sec pentru 5,775 m/s;

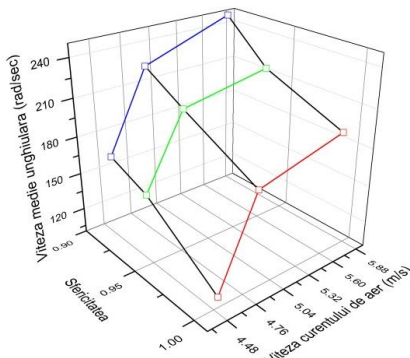


Fig. 7.18.. Variația vitezei medii unghiulare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 47$.

- pentru particula solidă **dps9** s-a obținut o viteză unghiulară de 162,48 rad/sec pentru cea mai mică valoare a vitezei curentului de aer, la viteza de 4,896 m/s viteza unghiulară a crescut cu 62,91 rad/sec, iar la valoarea maximă a vitezei curentului de aer corespunzătoare acestui lot experimental valoarea vitezei unghiulare s-a mărit de 1,5 ori în raport cu valoarea inițială;
- la o viteză a curentului de aer de 4,519 m/s, cea mai mică valoare a vitezei unghiulare este de 108,62 rad/sec corespunzătoare particulei **dps7**, iar valoarea maximă a parametrului studiat este de 162,48 rad/sec pentru particula **dps9**. Pentru particula solidă **dps8** valoarea vitezei unghiulare s-a mărit cu 32,85 rad/sec în raport cu valoarea minimă a acestui parametru;
- și pentru celelalte valori ale vitezei curentului de aer care străbate tubulatura există aceeași dependență între sfericitatea particulei solide și valoarea obținută pentru viteza unghiulară.

Din analiza variației vitezei medii unghiulare pentru particula $\Phi 56$ (fig. 7.19) rezultă că:

- pentru o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s s-a obținut o viteză unghiulară de 111,52 rad/sec pentru particula **dps10**, de 119,54 rad/sec pentru particula **dps11** și de 162,48 rad/sec pentru particula solidă **dps12**;
- când valoarea curentului de aer a fost mărită de la 5,775 m/s la 6,277 m/s se observă o mărire a valorii vitezei unghiulare cu 14,1%, 27,48% și cu 48,8% în raport cu valorile anterioare;
- în cazul particulei **dps10** diferența existentă dintre prima și cea de a doua valoare a vitezei unghiulare este de 15,73 rad/sec, valoarea minimă fiind de 111,52 rad/sec obținută pentru curentul de aer cu viteza de 5,775 m/s;
- la particula **dps11** viteza unghiulară a crescut cu 32,85 rad/sec pentru valoarea vitezei curentului de aer de 6,277 m/s în raport cu valoarea obținută pentru viteza curentului de aer de 5,775 m/s unde sa obținut 119,54 rad/sec;
- pentru ultimul tip de particulă valoarea vitezei unghiulare, la o viteză a aerului de 5,775 m/s este de 128,66 rad/sec, iar la 6,277 m/s valoarea vitezei unghiulare a crescut de aproximativ 1,5 ori față de valoarea inițială;

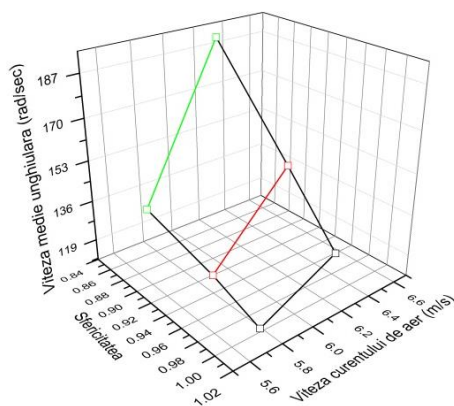


Fig. 7.19. Variația vitezei medii unghiulare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 56$.

B. Particule goale realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3

Pentru particulele cu diametrul de $\Phi 40$ (fig. 7.20) se poate spune că:

- viteza unghiulară, pentru particula **dgs1**, crește de la valoarea 163,38 rad/sec la 187,2 rad/sec, ajungând în final la 295,17 rad/sec, valori corespunzătoare unei viteze ale curentului de aer prin tubulatură de 5,775 m/s, 6,277 m/s și de 7,784 m/s;
- pentru particula **dgd2**, între valorile obținute pe cale experimentală și valoarea vitezei curentului de aer, există o dependență directă, obținându-se valoarea minimă de 174,75 rad/sec pentru 5,775 m/s, valoarea medie de 205,42 rad/sec pentru 6,277 m/s și valoarea maximă de 231,12 rad/sec pentru 7,784 m/s;
- dacă în cazul vitezei curentului de aer de 5,775 m/s și 6,277 m/s se observă că valorile obținute ale vitezei unghiulare cresc de la valoarea minimă 163,38 rad/sec și 174,75 rad/sec la 187,2 rad/sec și 205,42 rad/sec, ajungând 295,17 rad/sec și 231,12 rad/sec.

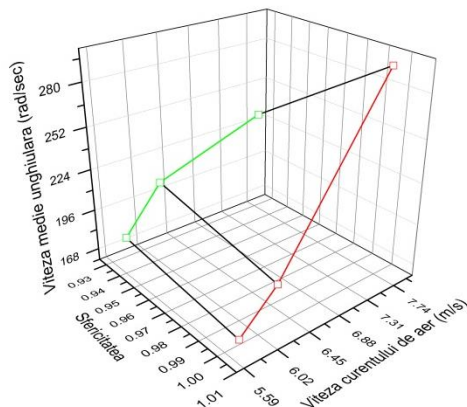


Fig. 7.20. Variația vitezei medii unghiulare în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 40$.

Cunoscându-se valoarea vitezei medii unghiulare s-a putut determina cu ajutorul relației de calcul (6.22) valoarea turației medii instantanee, variația acestui parametru fiind reprezentată în figurile 7.21÷7.25:

A. Particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3

La particula cu $\Phi 27$ (fig. 7.21) se observă că turației instantanee are următoarea variație:

- cea mai mică valoarea a turației instantanee s-a obținut pentru particula **dps1** pentru o viteză a curentului de aer de 4,89 m/s, respectiv de 20,25 rot/sec, iar cea mai mare valoare a parametrului studiat s-a obținut pentru particula **dpd3** la o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s, respectiv de 67,57 rot/sec;

- pentru valoarea vitezei curentului de aer de 4,89 m/s, pentru particula **dpd2**, s-a obținut o turație instantanee medie majorată de 2,5 ori față de valoarea minimă, iar pentru **dpd3** s-a mărit cu încă 4 rot/sec;

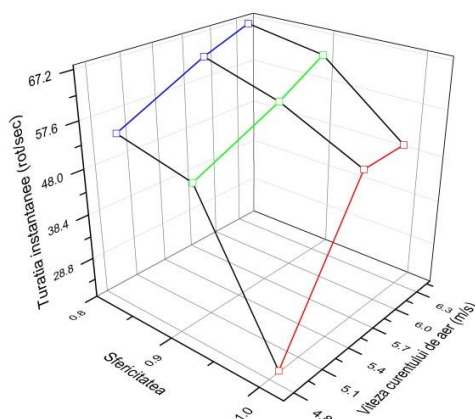


Fig. 7.21. Variația turației instantanee în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 27$.

- la o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s valoarea obținută pentru particula **dps1** este de aproximativ de 2,5 ori mai mare decât valoarea minimă a parametrului studiat, iar aceasta ajunge la 58,74 rot/sec, respectiv la 63,63 rot/sec la particulele **dpd2** și **dpd3**;
- când viteza curentului de aer a fost mărită la o valoare de 6,277 m/s s-a constatat că turația instantanee este de 51 rot/sec pentru particula **dps1**, valoare care se mărește ajungând la 64,69 rot/sec, respectiv la 67 rot/sec pentru **dpd2** și **dpd3**;
- pentru particula de formă sferică, la mărirea vitezei curentului de aer de la 4,89 m/s la 5,775 m/s se constată o mărire considerabilă a turației instantanee de aproximativ 2,5 ori, iar la o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s creșterea este nesemnificativă de 1 rot/sec în raport cu precedenta valoare;

pentru particula cu sfericitatea de 0,9 turația instantanee a crescut de la 50,6 rot/sec la 58,7 rot/sec ajungând ca în final valoarea să fie de 64,69 rot/sec;

- în cazul sfericității de 0,81 s-a obținut aceeași dependență între parametrii studiați, ca și în cazurile anterioare ale turației instantanee.

Analizând variația turației instantanee, pentru particula cu $\Phi 35$ (fig. 7.22) se constată că:

- în cazul în care viteza curentului de aer este constantă s-a obținut:
 - o la o valoarea a vitezei curentului de aer de 5,775 m/s la particula **dps4** s-a obținut turației instantanee de 20,7 rot/sec, aceasta s-a majorat doar cu 6,2 rot/sec la particula **dpd5**, iar în cazul particulei **dpd6** s-a obținut 34,12 rot/sec;
 - o la o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s la particula cu sfericitatea de 0,82 s-a obținut o valoare a turației instantanee de 37,8 rot/sec. Aceasta a scăzut cu 2,7 rot/sec la particula cu sfericitatea de 0,88, ajungând la 22,2 rot/sec pentru **dps4**;
 - o la viteza curentului de aer de 7,784 m/s particula **dpd6** a prezentat o valoare a turației scăzută cu 20,35% în raport cu valoarea de 52,09 rot/sec obținută la particula **dpd5**, iar la particula **dps4** scăderea parametrului studiat a continuat cu încă 40,73%;
- în cazul în care particula solidă are aceeași formă se poate spune că:
 - o valoarea minimă a turației instantanee de 20,7 rot/sec, este obținută la o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s, de 22,2 rot/sec la o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s și 24,56 rot/sec la o viteză a curentului de aer de 7,784 m/s, în cazul particulei **dps4**;
 - o pentru particula **dpd6** la viteza curentului de aer de 5,775 m/s s-a obținut o turație de 26,96 rot/sec, această valoare mărindu-se cu 14,51% la o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s și cu 57,67% la o viteză a curentului de aer de 7,784 m/s;

pentru ultima formă a particulei solide, utilizată în cadrul acestui lot de determinări experimentale, s-a obținut o turație instantanee de 34,12 rot/sec, acesta a crescut la 37,8 rot/sec ajungând în final la 52,02 rot/sec.

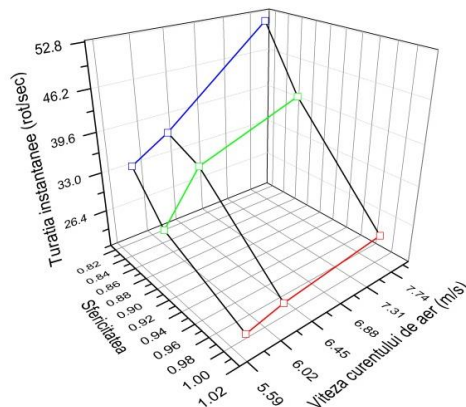


Fig. 7.22. Variația turației instantanee în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 35$.

Se poate spune că variația turației instantanee a particulei solide cu diametrul de $\Phi 47$ (fig. 7.23) este direct proporțională cu variația vitezei curentului de aer pentru orice tip de particulă solidă utilizată în cadrul experiențelor, respectiv:

- pentru o particulă solidă cu sfericitatea de 0,9 pentru o viteză a curentului de aer de 4,519 m/s s-a obținut valoarea de 25,87 rot/sec, la 4,896 m/s avem 35,89 rot/sec, iar la 5,775 m/s s-a obținut 39,8 rot/sec;
- la particula solidă **dpd8** s-au obținut următoarele valori ale turației instantanee: 23,8 rot/sec; 32,83 rot/sec și 34,79 rot/sec;
- la particula sferică au fost obținute cele mai mici valori ale turației instantanee, pentru aceleași valori ale vitezei curentului de aer, respectiv: 17,29 rot/sec; 27,99 rot/sec și 30,74 rot/sec;

Pentru aceeași valoare a vitezei curentului de aer variația turației instantanee este invers proporțională cu variația sfericității, respectiv:

- pentru o viteză a curentului de aer de 4,519 m/s, la particula **dps7**, turația instantanee este cea mai mică, respectiv 17,29 rot/sec, la schimbarea formei, mai exact pentru **dpd8**, parametrul urmărit se mărește cu 27,58%, iar la **dpd9** mărirea valorii turației instantanee este cu 7,69% față de cea precedentă;
- la viteza curentului de aer de 4,896 m/s, turația instantanee, pentru aceleași variații ale sfericității particulei solide, este de 27,9 rot/sec; 32,83 rot/sec și de 35,89 rot/sec;
- odată cu mărirea vitezei curentului de aer la 5,775 m/s se constată că și turația instantanee și-a mărit valoarea, obținându-se următoarele valori: 30,7 rot/sec; 34,79 rot/sec și 39,8 rot/sec.

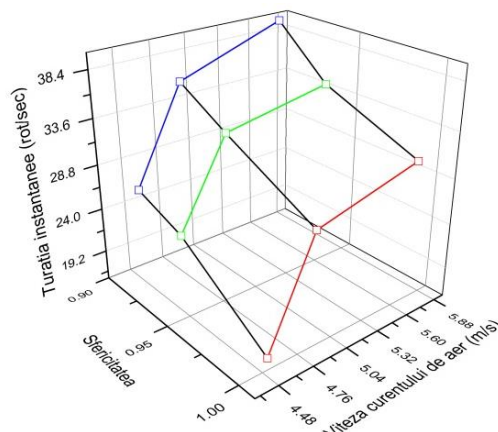


Fig. 7.23. Variația turației instantanee în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 47$.

Analizând variația turației instantanee în cazul particulei cu $\Phi 56$ (fig. 7.24) se constată că:

- turația instantanee crește gradual de la valoarea de 17,3 rot/sec la 19,025 rot/sec, ajungând la 20,47 rot/sec, valori corespunzătoare sfericității particulelor solide **dps10**, **dpd11** și **dpd12**, în cazul vitezei curentului de aer de 5,775 m/s;
- și în cazul în care viteza curentului de aer este de 6,277 m/s, variația turației instantanee are aceeași alură în raport cu sfericitatea particulelor solide, obținându-se următoarele valori: 20,25 rot/sec; 24,24 rot/sec și 30,48 rot/sec;

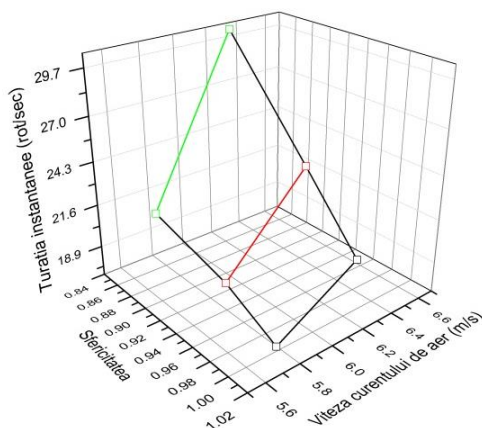


Fig. 7.24. Variația turației instantanee în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 56$.

- pentru particula solidă cu sfericitatea de 0,85 la viteza curentului de aer de 5,775 m/s, turația instantanee este de 20,47 rot/sec, iar la viteza curentului de aer de 6,277 m/s este de 30,48 rot/sec;
 - pentru particula solidă **dpd11** turația instantanee este de 19,052 rot/sec pentru o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s, valoarea parametrului urmărit se mărește cu 7 rot/sec atunci când viteza curentului de aer devine 6,277 m/s;
- pentru particula **dps10** sunt obținute cele mai mici valori ale turației instantanee, respectiv de 17,3 rot/sec, la un curent de aer cu viteză de 5,775 m/s, și de 20,25 rot/sec la viteza aerului de 6,277 m/s.

B. Particule goale realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3

Din analiza reprezentării grafice a variației turației instantanee pentru particula $\Phi 40$ (fig. 7.25) se pot desprinde următoarele concluzii:

- la particula **dgs1** se constată că valoarea turației instantanee crește odată cu creșterea vitezei curentului de aer, respectiv: 26 rot/sec, 29,7 rot/sec și de 46,97 rot/sec pentru următoarele valori ale vitezei curentului de aer: 5,775 m/s; 6,277 m/s și de 7,784 m/s;
- același lucru s-a întâmplat și în cazul particulei solide **dgd2**, numai că aici creșterea este mai mică, respectiv avem valorile 27,82 rot/sec; 32,69 rot/sec și 36,78 rot/sec corespunzătoare următoarelor valori ale vitezei curentului de aer: 5,775 m/s; 6,277 m/s și de 7,784 m/s;
- dacă în cazul vitezei curentului de aer de 5,775 m/s turația instantanee crește semnificativ de la 26,01 rot/sec la 27,82 rot/sec, valori obținute pentru **dgs1** și **dgd2**. La valoarea vitezei curentului de aer de 6,277 m/s diferența dintre valorile obținute ale turației instantanee, pentru cele două tipuri de particule crește, fiind obținute 29,79 rot/sec și de 32,69 rot/sec. În cazul vitezei curentului de aer de 7,784 m/s în loc să se obțină o creștere valorică a turației instantanee s-a obținut o scădere a acesteia de la 46,97 rot/sec la 36,78 rot/sec în raport cu aceleași tipuri de particule.

Deoarece a existat posibilitatea de a se putea determina numărul de rotații pe care le execută particula solidă în timpul cât a fost urmărită, în cadrul reprezentărilor grafice din figurile 7.26÷7.30 este prezentată variația acestui parametru în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer

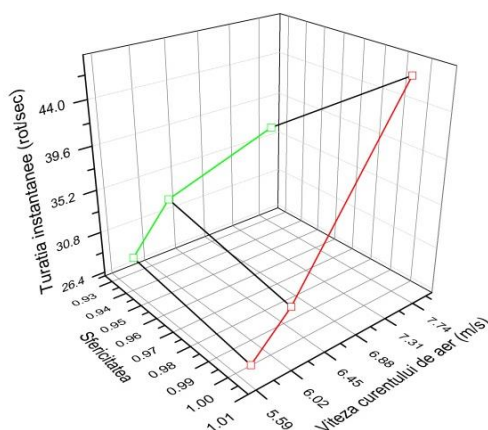


Fig. 7.25. Variația turației instantanee în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 40$.

A. Particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3

Pentru particula $\Phi 27$ (fig. 7.26) la analiza variației numărului de rotații se pot desprinde următoarele concluzii:

- La valoarea vitezei curentului de aer de $4,89 \text{ m/s}$ în cazul particulei **dps1** se obține un număr de $4,79 \text{ rot/266 mm}$, la particula cu **dpd2** s-a obținut $9,59 \text{ rot/266 mm}$, iar la particula **dpd3** avem $16,04 \text{ rot/266 mm}$;
- În cazul în care viteza curentului de aer s-a mărit la $5,775 \text{ m/s}$ se constată că și numărul de rotații executate de particula solidă în canalul de aer a crescut, respectiv: $1,74 \text{ rot/266 mm}$, $4,65 \text{ rot/266 mm}$ și $6,86 \text{ rot/266 mm}$;
- La viteza curentului de aer de $6,277 \text{ m/s}$, de la valoarea corespunzătoare particulei sferice, s-a obținut $6,74 \text{ rot/266 mm}$. Această valoare s-a mărit cu $3,87 \text{ rot/266 mm}$ respectiv de $5,39 \text{ rot/266 mm}$ pentru celelalte tipuri de particule;
- Pentru particula solidă **dps1** se constată că la viteza curentului de aer de $4,896 \text{ m/s}$ numărul de rotații este de $4,792 \text{ rot/266 mm}$, la $0,879 \text{ m/s}$ numărul de rotații s-a mărit cu $2,073 \text{ rot/266 mm}$, dar la cea de a doua majorare a vitezei curentului de aer cu $0,502 \text{ m/s}$ se constată o scădere cu $0,122 \text{ rot/266 mm}$;
- Și în cazul particulei cu sfericitatea de $0,94$ s-a obținut aceeași variație, ca în cazul anterior, respectiv s-a obținut: $9,595 \text{ rot/266 mm}$; $11,52 \text{ rot/266 mm}$ și $10,617 \text{ rot/266 mm}$ pentru aceleași valori ale vitezei curentului de aer;
- La particula **dpd3** numărul de rotații pe care le face particula solidă pe distanța de 266 mm este invers proporțională cu variația valorii vitezei cu care curentul de aer străbate tubulatura.

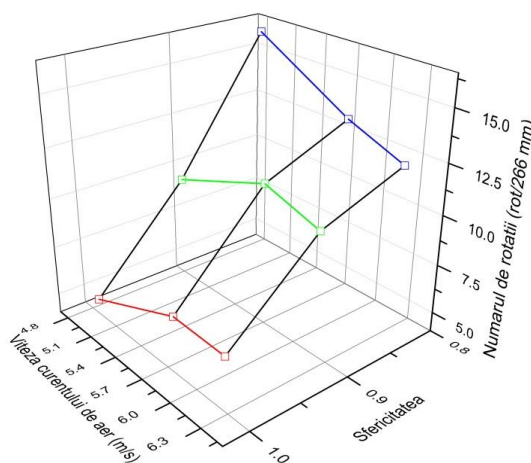


Fig. 7.26. Variația numărului de rotații în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 27$.

În cazul particulei cu $\Phi 35$ (fig. 7.27) variația numărului de rotații a fost următoarea:

- în cazul particulei **dps4** numărul de rotații crește de la 2,41 rot/266 mm, la 4,17 rot/266 mm, ajungând la 4,418 rot/266 mm. Aceste valori s-au obținut pentru o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s; 6,277 m/s și de 7,784 m/s;
- pentru particula **dps5**, în cazul aceleași valori ale vitezei curentului de aer s-au obținut următoarele valori: 3,1 rot/266 mm; 4,69 rot/266 mm și de 7,27 rot/266 mm;
- odată cu mărirea deformării particulei solide, respectiv particula **dps6**, se observă că numărul de rotații s-au mărit cu 0,65 rot/266 mm; 0,96 rot/266 mm și cu 0,21 rot/266 mm, în raport cu precedentele valori ale aceluiași parametru;
- în cazul în care se face o analiză a influenței exercitate de sfericitatea particulei solide asupra numărului de rotații pe care le execută particula solidă în zona de urmărire, se constată că valorile obținute sunt influențate în mod direct de variația vitezei curentului de aer;

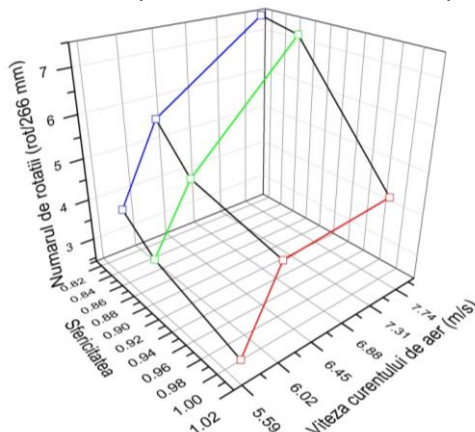


Fig. 7.27. Variația numărului de rotații în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 35$.

Conform reprezentării grafice din figura 7.28 numărul de rotații pe care o particulă solidă cu diametrul de $\Phi 47$ le realizează pe o distanță de 266 mm sunt de 3,17 rot/266 mm și de 4,002 rot/266 mm pentru o viteză a curentului de aer de 4,519 m/s și pentru particula cu sfericitatea de 1; 0,94 și de 0,9. Când s-a mărit valoarea vitezei curentului de aer la 4,896 m/s se constată și o mărire a numărului de rotații cu 1,1 rot/266 mm; cu 0,63 rot/266 mm și cu 1,14 rot/266 mm. Pentru ultima valoare a vitezei curentului de aer, de 5,775 m/s, parametrul studiat s-a mărit valoarea cu doar 2,25%, 7,49% și de 10,01% în raport cu valorile precedente.

Dacă se realizează o analiză din punct de vedere al influenței exercitate de către forma particulei solide asupra numărului de rotații efectuate de particulă pe distanța de 266 mm se observă că pentru particula **dps7** sunt obținute cele mai mici valori, mai exact avem 3,179 rot/266 mm; 4,27 rot/266 mm și de 4,375 rot/266 mm, în cazul vitezei curentului de aer de 4,519 m/s; de 4,896 m/s și de 5,775 m/s. Odată cu modificarea formei particulei solide, pentru particula **dps8**, valorile corespunzătoare parametrului urmărit s-au modificat, mărindu-se cu 0,65 rot/266 mm; 0,18 rot/266 mm și cu 0,42 rot/266 mm. Pentru ultimul tip de particulă solidă **dps9**, numărul de rotații au crescut cu 0,82 rot/266 mm; 0,87 rot/266 mm și cu 1,29 rot/266 mm, în raport cu valorile obținute pentru particula sferică.

Pentru cea mai mare particulă utilizată în cadrul determinărilor experimentale, cea de $\Phi 56$ (fig. 7.29), au fost realizate determinări experimentale pentru două valori ale vitezei curentului de aer, cea de 5,775 m/s și de 6,277 m/s și pentru trei forme ale particulei solide, particula sferică, particula cu sfericitatea de 0,94 și cu sfericitatea de 0,85.

Din analiza reprezentării grafice din figura 7.29 se constată că particula **dps10**, antrenată de curentul de aer cu viteza de 5,775 m/s, se rotește de 2,7 ori și de 3,39 ori mai mult la viteza curentului de aer de 6,277 m/s. Odată cu micșorarea sfericității, pentru **dps11**, numărul de rotații se mărește doar cu 0,5 rot/266 mm și cu 0,85 rot/266 mm. Pentru particula **dps12** s-au obținut cele mai mari valori ale rotației respectiv de 3,86 rot/266 mm și de 5,58 rot/266 mm pentru cele două valori ale vitezei curentului de aer.

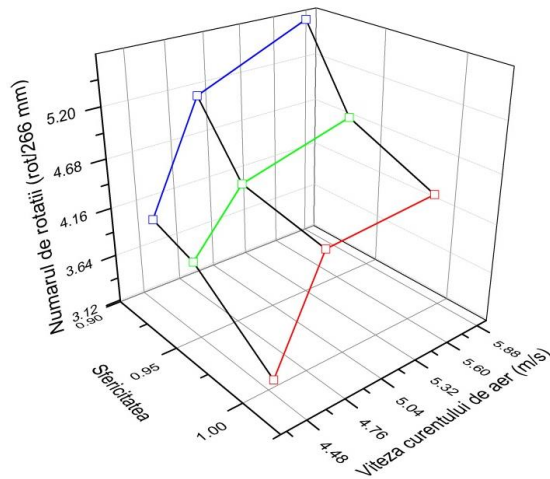


Fig. 7.28 Variația numărului de rotații în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 47$.

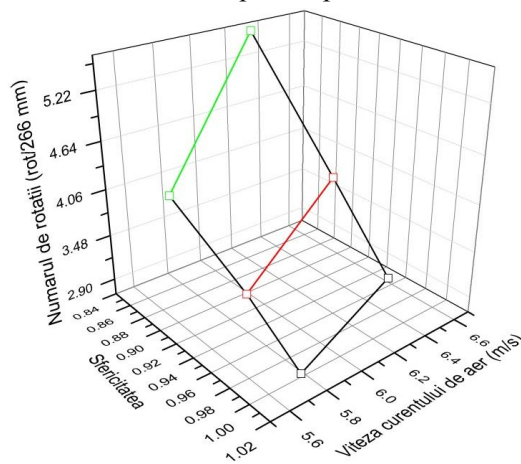


Fig. 7.29. Variația numărului de rotații în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 56$.

Pentru o valoare a vitezei curentului de aer de 5,775 m/s, numărul de rotații a crescut de la particula **dps10** la **dpd12**, respectiv de la 2,74 rot/266 mm, la 3,25 rot/266 mm ajungând la 3,86 rot/266 mm. Când viteza curentului de aer se mărește cu 0,5 m/s se constată și o creștere a numărului rotații executate de particula solidă cu 0,65 rot/266 mm, 0,65 rot/266 mm și 1,12 rot/266 mm pentru aceeași particulă.

B. Particule goale realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3

Și în cazul particulei cu $\Phi 40$ (fig. 7.30), pentru același parametru, s-a obținut aceeași alătură a reprezentării grafice, respective:

- în cazul particulei de ping-pong se observă că indiferent de valoarea vitezei curentului de aer, numărul de rotații realizate de particula solidă pe distanța de 266 mm variază în mod direct cu sfericitatea particulei utilizate în cadrul determinărilor experimentale, respectiv s-au obținut următoarele valori:

- o Pentru viteza curentului de aer de 5,775 m/s pentru particula **dgs1** s-a obținut 9,3 rot/266 mm și la particula **dgd2** s-au obținut 7,15 rot/266 mm;

- o la o viteză a curentului de aer de 6,277 m/s pentru aceleași tipuri de particule solide s-au obținut 5,09 rot/266 mm și 6,63 rot/266 mm;

- o iar la valoarea vitezei curentului de aer de 7,784 m/s, pentru aceleași particule solide s-au obținut 4,66 rot/266 mm și 2,96 rot/266 mm;

- dacă se ia în considerare doar forma particulei solide atât în cazul particulei sferice dar și pentru cea deformată, numărul de rotații executate de particula solidă pentru distanța de 266 mm scade odată cu mărirea vitezei curentului de aer.

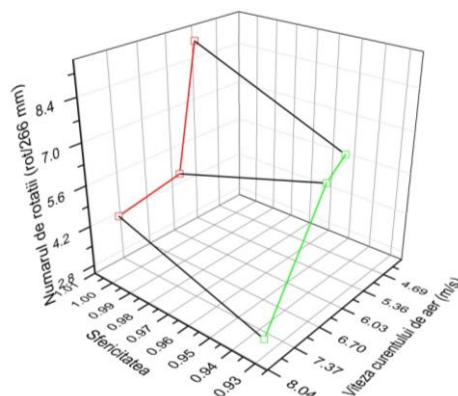


Fig. 7.30. Variația numărului de rotații în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 40$.

7.5. Determinarea forței Magnus pentru particule reale

Utilizând relația de calcul a forței Magnus (3.60) s-a realizat reprezentarea grafică a variației acestei forțe în raport cu sfericitatea particulei solide și cu viteza curentului de aer din tubulatura de lucru (figurile 7.31÷7.35).

A. Particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3

Din analiza reprezentării grafice din figura 7.31, corespunzătoare particulei cu $\Phi 27$, se pot desprinde următoarele concluzii:

- asupra particulei solide de formă sferică forța Magnus variază în mod direct cu variația vitezei curentului de aer, mai exact la valoarea vitezei curentului de aer de:

- 4,896 m/s s-a obținut o forță Magnus de 0,019 N;
- 5,775 m/s s-a obținut o forță Magnus de 0,045 N;
- 6,277 m/s s-a obținut o forță Magnus de 0,077 N.

La particula **dpd2** valoarea forței Magnus se mărește cu 0,0015 N; 0,011 N și 0,019 N pentru aceleași caracteristici ale curentului de aer. Și pentru ultimul tip de particulă utilizată, cea cu sfericitatea de 0,81, se constată o mărire a forței Magnus, în comparație cu particula sferică, cu 0,0175 N, 0,0218 N și de 0,0217 N.

- dacă se realizează o analiză ținându-se cont de variația vitezei curentului de aer care străbate tubulatura se poate spune că în cazul vitezei de 4,896 m/s forța Magnus scade cu cât forma particulei devine sferică. Se observă că la mărirea vitezei curentului de aer s-a obținut și o valoare mărită a forței Magnus cu 0,026 N; 0,035 N și cu 0,03 N față de precedentele valori. Și în cazul vitezei curentului de aer de 6,277 N valorile obținute ale forței Magnus s-au mărit, această majorare fiind în medie de aproximativ 0,035 N pentru fiecare variabilă și a păstrat dependența în raport cu sfericitatea particulei solide.

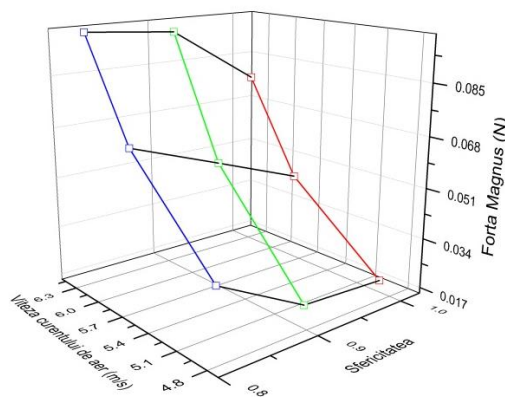


Fig. 7.31. Variația forței Magnus în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 27$.

Ca și în cazul precedent, și pentru particula cu diametrul de $\Phi 35$ (fig. 7.32), forța Magnus a avut aceeași formă a variației, respective:

- valoarea forței Magnus obținută pentru particula **d_{pd6}** este de 0,098 N, la 0,88 de 0,79 N și pentru particula sferică de 0,061 N. Valorile corespunzătoare unei viteze a curentului de aer de 5,775 m/s, 6,277 m/s și 7,784 m/s. Pentru particula cu sfericitatea de 0,88 forța Magnus s-a micșorat în proporție de 20% pentru o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s și de 7,784 m/s, iar pentru viteza curentului de aer de 6,277 m/s de doar 6,94%. La particula sferică diminuarea valorică a forței Magnus s-a realizat cu 22%, 36,9% și de 40,6% în raport cu valorile corespunzătoare particulei cu sfericitatea de 0,88;

- pentru aceeași valoare a vitezei curentului de aer se constată că forța Magnus crește odată cu micșorarea valorii sfericității particulei, spre exemplificare se ia viteza curentului de aer de 6,277 m/s unde sunt obținute valorile forței Magnus de 0,071 N, 0,112 N și de 0,121 N corespunzătoare valorii sfericității de 1; 0,88 și de 0,82.

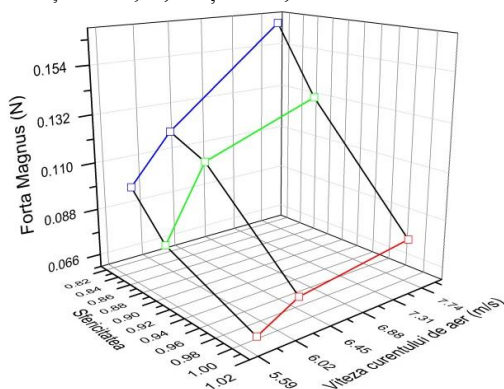


Fig. 7.32. Variația forței Magnus în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 35$.

Potrivit variației forței Magnus prezentată în figura 7.33 se poate spune că:

- viteza curentului de aer de 4,518 m/s generează o forță Magnus de 0,096 N pentru o particulă sferică, de 0,133 N pentru o particulă cu sfericitatea de 0,94, iar la sfericitatea de 0,9 s-a obținut o valoare de 0,144 N;

- când viteza curentului de aer se mărește cu 0,377 m/s se constată și o mărire a forței Magnus cu 0,029N și 0,048N;

- la o mărire a vitezei curentului de aer cu 15,22 % și forța Magnus se mărește cu următoarele ponderi 29,58%; 25,25% și de 30,41% pentru tipurile de particule studiate, în raport cu valorile precedente;

- la analiza variației forței Magnus în raport cu forma particulei solide, se constată că pentru diferite valori ale vitezei curentului de aer, indiferent de tipul particulei, avem o majorare a valorii forței Magnus.

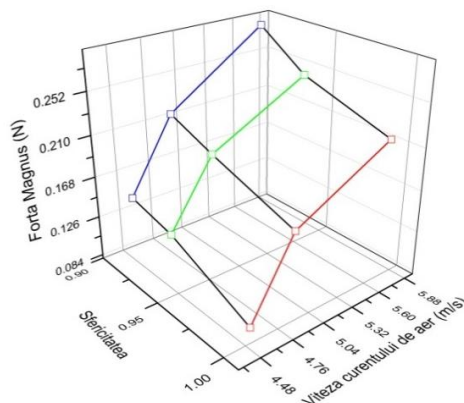


Fig. 7.33. Variația forței Magnus în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 47$.

Din analiza reprezentării grafice a variației forței Magnus pentru particular cu diametrul $\Phi 56$ (fig. 7.34) se desprind următoarele concluzii:

- variația forței Magnus este direct proporțională cu variația vitezei curentului de aer indiferent de tipul particulei solide utilizate în cadrul determinărilor experimentale;
- variația forței Magnus este invers proporțională cu variația sfericității particulei solide pentru toate valorile vitezei curentului de aer folosite în determinările experimentale.

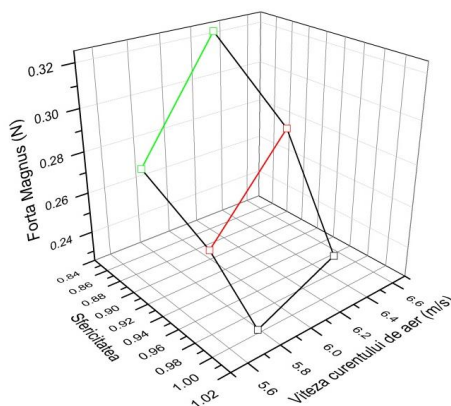


Fig. 7.34. Variația forței Magnus în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 56$.

- B. Particule goale realizate din celuloid umplute cu aer a căror densitate este 84 kg/m^3
- În cazul particulei de ping-pong (fig. 7.35) se constată că dependența dintre parametrii de intrare, sfericitatea particulei solide și viteza curentului de aer, este aceeași ca și în cazul vitezei unghiulare instantanee (fig. 7.18) și a turației instantanee (fig. 7.23).

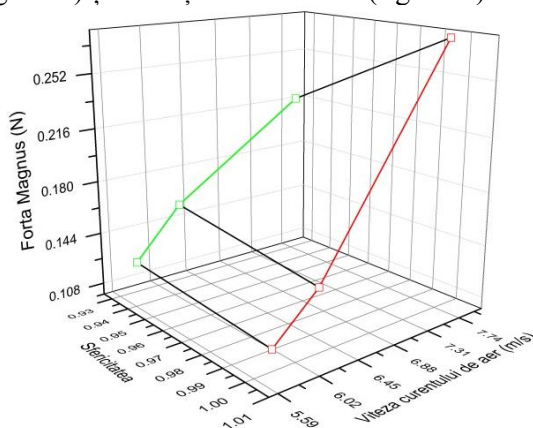


Fig. 7.35. Variația forței Magnus în funcție de sfericitatea particulei solide și de viteza curentului de aer pentru particula $\Phi 40$.

Din analiza reprezentărilor grafice din figurile 7.31÷7.35 se constată că studiul comportamentului unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent a fost realizat pentru valori comune ale vitezei curentului de aer care străbate canalul de aer.

De aceea, în cadrul reprezentărilor grafice din figura 7.36, au fost prezentate variația pe care o exercită diametrul particulei solide și sfericitatea acesteia asupra valorii forței Magnus, pentru particule solide care fac parte din aceeași categorie (particule pline din polistiren expandat cu densitatea de 15 kg/m^3).

Din analiza reprezentărilor grafice din figura 7.36 se pot desprinde următoarele concluzii:

- valoarea forței Magnus este direct proporțională cu variația diametrului particulei solide;
- deoarece nu se poate realiza o analiză în care să se prezinte influența exercitată de sfericitate, deoarece particulele utilizate în cadrul determinărilor experimentale au sfericități

diferite, dar se poate spune că valoarea forței Magnus este influențată invers proporțional de către sfericitate.

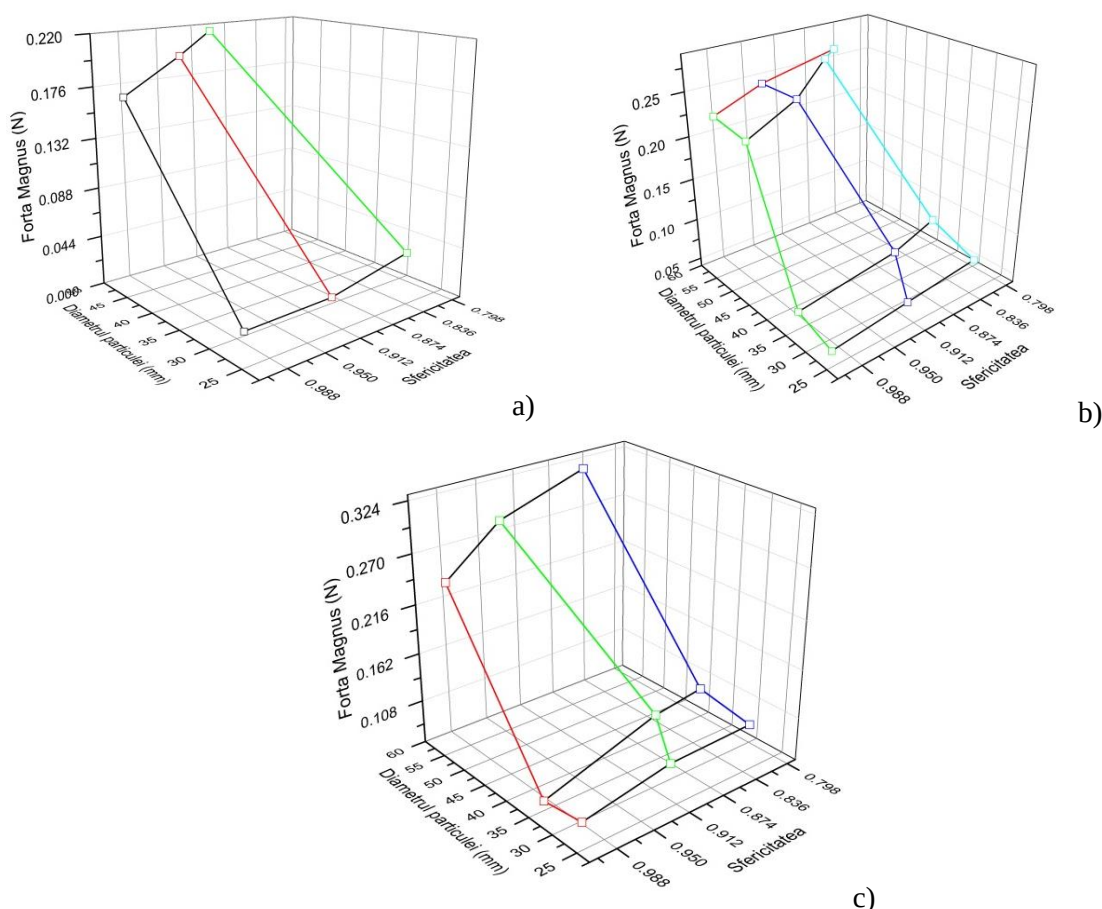


Fig. 7.36. Variația forței Magnus în funcție de diametrul particulei solide și sfericitatea acesteia pentru o viteză a curentului de aer de: a) 4,893 m/s; b) 5,775 m/s; c) 6,277 m/s.

De asemenea, plecând de la reprezentările anterioare s-a trasat grafic valoarea forței Magnus în funcție de diametrul particulei pentru același tip de particule (particula cu sfericitatea 1) și pentru aceeași valoare comună a vitezei curentului de aer, respectiv 5,775 m/s (fig. 7.37).

Din analiza graficului din figura 7.37 se poate spune că între variația diametrului particulei solide și valoarea forței Magnus există o dependență directă. Dacă se face o analiză în care să se țină cont și de influența pe care o are și densitatea particulei solide asupra forței Magnus nu se pot desprinde concluzii elocvente datorită numărului mic de experiențe, acest lucru putându-se realiza într-o altă teză de doctorat.

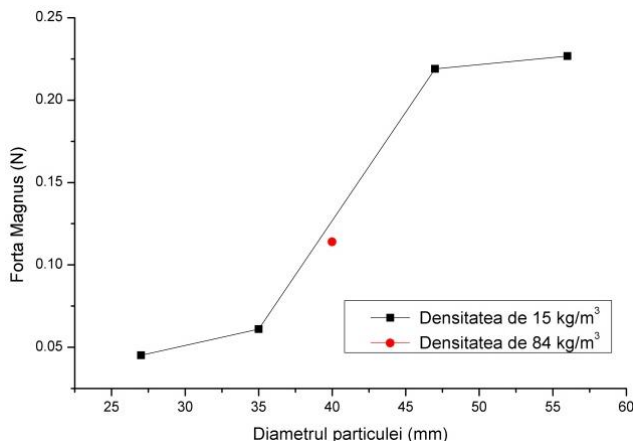


Fig. 7.37. Variația forței Magnus în funcție de diametrul particulei solide pentru sfericitatea 1 și o viteză a curentului de aer de 5,775 m/s.

7.6. Concluzii

1. Studiul realizat în cadrul determinărilor experimentale a avut drept scop punerea în evidență a influenței exercitate de către proprietățile fizico-mecanice ale particulei solide, dar și ai parametrilor cinematici ai standului, asupra comportamentului unei particule solide în canalul de aer, respectiv determinarea forței Magnus;

2. În cadrul determinărilor experimentale s-au utilizat particule reale ale căror caracteristici, care influențează comportamentul acestora în canalul de aer, au fost determinate cu ajutorul aparaturii prezentate în Capitolul 5, obținându-se:

a. particulele utilizate în cadrul determinărilor experimentale nu au aceeași dimensiune, formă, masă și coeficient de frecare, respectiv:

i. intervalul dimensional al particulelor solide a fost între 20 mm și 60 mm;

ii. ca formă particulele solide au avut formă sferică dar și diferită de aceasta, identificarea s-a realizat folosind relația de calcul a sfericității (obținându-se valori cuprinse între 0,81 - 0,94) sau prin folosirea foii de calcul din excel `tri_plot` în care particula care iese în evidență este cea care are forma puțin plată (fig. 7.2.b);

iii. particulele utilizate au fost concepute din diferite materiale a căror densitate a fost de 15 kg/m^3 și 84 kg/m^3 ;

iv. de asemenea particule alese în cadrul determinărilor experimentale au fost diferite din punct de vedere al structurii acestora, respectiv utilizându-se particule goale și particule pline;

v. masa particulelor solide a variat în intervalul 0,225 g – 2,41 g;

vi. prin utilizarea standului de determinare a coeficientului de frecare (fig. 5.9) s-a determinat valoarea acestuia, valoarea minimă fiind de 0,069 pentru particula **dps1** și maximă de 0,4 pentru particula **dgd2**, adică particula plină sferică cu $\Phi 27$ și particula goală deformată cu $\Phi 40$;

b. datorită imposibilității de determinare practică a vitezei de plutire, acesta a fost determinată matematic folosind relațiile de calcul consacrate în literatura de specialitate și s-au obținut valori cuprinse în intervalul 3,17 m/s – 8,2 m/s.

3. Din analiza parametrilor fizico-mecanici în raport cu parametrul care caracterizează procesul de separare aerodinamic, respectiv viteza de plutire, se constată că:

a. viteza de plutire a unei particule solide este influențată în mod direct de densitatea particulelor solide, acest lucru putându-se evidenția și din figura 7.5, unde au fost puse în evidență în mod elocvent grupa particulelor cu densitatea de 15 kg/m^3 (albastru) și grupa particulelor cu densitatea de 84 kg/m^3 (roșu);

b. variația vitezei de plutire a unei particule solide este invers proporțională cu variația coeficientului de sfericitate al particulei solide, indiferent de valoarea densității particulei solide;

c. viteza de plutire a unei particule solide variază în mod direct cu variația coeficientului de frecare al particulei solide studiate, indiferent de valoarea densității particulei solide.

4. Folosind metodologia de prelucrare a datelor experimentale, prezentată în Capitolul 6, pe lângă faptul că s-a putut determina traiectoria pe care particula solidă o are în canalul de aer a fost posibilă identificarea valorică a o serie de parametri cum ar fi: viteza medie liniară instantanee; viteza medie liniară; viteza medie unghiulară; turația instantanee; numărul de rotații; forța Magnus;

5. În urma analizei rezultatelor experimentale se pot desprinde următoarele concluzii:

a. atât parametri cinematici ai standului de laborator utilizat cât și caracteristicile fizico-mecanice ale particulelor solide utilizate în cadrul determinărilor experimentale au exercitat o influență semnificativă asupra comportamentului unei particule solide aflate în canalul de aer vertical ascendent;

b. în cazul influenței exercitate de către sfericitatea particulei solide și a vitezei curentului cu care aerul străbate tubulatura în raport cu parametrii urmăriți, se poate spune că:

i. variația vitezei medii liniare instantanee este direct proporțională cu variația vitezei curentului de aer și invers proporțională cu variația sfericității particulei solide. Cea

mai mică valoare a vitezei medii liniare instantanee a fost obținută pentru particula **dps1** de 1,61 m/s, iar cea mai mare valoare s-a obținut la particula **dgd2** (goală deformată) de 6,12 m/s;

ii. următorul parametru urmărit în cadrul determinărilor experimentale a fost viteza liniară a cărei dependență, în raport cu parametrii care influențează procesul de separare aerodinamică, este identică cu cea prezentată la viteza medie liniară instantanee. Valoarea maximă a acestui parametru a fost obținută în cazul particulei **dgd2**, obținându-se valoarea de 6 m/s (pentru o sfericitate de 0,93 și o viteză a curentului de aer de 7,784 m/s), iar valoarea minimă a fost de 1,62 m/s în cazul particulei **dps1** (pentru o sfericitate de 1 și o viteză a curentului de aer de 4,896 m/s). S-a analizat diferența existentă între valorile minime și maxime ale parametrului urmărit, pentru fiecare lot experimental, și s-a constatat că cea mai mică diferență există la particula de $\Phi 56$ cu valoarea de 1,159 m/s, iar valoarea maximă a diferenței este de 3,71 m/s corespunzătoare particulei cu diametrul de $\Phi 40$.

iii. analizând diferența dintre valorile obținute pentru viteza medie liniară instantanee și valorile obținute corespunzătoare vitezei liniare se constată că este nesemnificativă, cea mai mică diferență apare în cazul particulei cu $\Phi 27$, fiind de 0,009 m/s, iar cea mai mare, care este de 0,29 m/s, în cazul particulei cu $\Phi 56$;

iv. în cazul vitezei medii unghiulare se constată că și aceasta este direct proporțională cu variația vitezei curentului de aer și invers proporțională cu variația sfericității. Excepție de la această regulă o face particula **dgs1** care la viteza curentului de aer de 7,784 m/s s-a obținut valoarea de 295,7 rad/sec, iar la **dgd2** valoarea parametrului urmărit a scăzut la valoarea de 231,12 rad/sec. Valoarea maximă a vitezei medii unghiulare, de 424,6 rad/sec, s-a obținut pentru particula **dps3** și valoarea minimă, de 108,6 rad/sec, s-a obținut pentru particula **dps7**. Analizând influența pe care o exercită forma particulei solide se constată că pentru particulele sferice la valorile minime ale vitezei curentului de aer, sunt obținute cele mai mici valori ale vitezei medii unghiulare, aceste fiind cuprinse în intervalul de 108,6 rad/sec (particula cu diametrul de $\Phi 47$ și viteza curentului de aer de 4,519 m/s) și 163,38 rad/sec (particula cu diametrul de $\Phi 40$ și viteza curentului de aer de 5,775 m/s), iar pentru particulele a căror sfericitate este cea mai diferită de cea sferică, respectiv de 0,81 (în cazul particulei cu $\Phi 27$) sau 0,82 (în cazul particulei cu $\Phi 35$) sunt obținute cele mai mari valori ale vitezei medii unghiulare, respectiv 424,6 rad/sec și de 326,91 rad/sec.

v. și turația instantanee medie prezintă aceeași alură a dependenței dintre parametrii de intrare și cel urmărit ca în cazul precedent, acest lucru se datorează dependenței dintre cele două mărimi;

vi. analizând valorile corespunzătoare forței Magnus se poate spune că între acestea și parametrii care influențează procesul aerodinamic există o anumită interacțiune. Valoarea forței Magnus crește odată cu creșterea valorii vitezei curentului de aer, și odată cu scăderea valorii sfericității particulei solide se constată că valoarea parametrului urmărit crește. Pentru aceasta s-a determinat valoarea medie obținută a forței Magnus pentru fiecare lot de experiențe dar și a vitezei curentului de aer care străbate tubulatura constatându-se că:

1. pentru particula cu diametrul de $\Phi 27$, valoarea medie a forței Magnus este de 0,057 N la o viteză medie a curentului de aer de 5,65 m/s;
2. la diametrul de $\Phi 35$ valoarea medie a forței Magnus este de 0,102 N la o viteză medie a curentului de aer de 6,612 m/s;
3. pentru particula cu diametrul de $\Phi 40$, valoarea medie a forței Magnus este de 0,171 N la o viteză medie a curentului de aer de 6,612 m/s;
4. pentru particula cu diametrul de $\Phi 47$, valoarea medie a forței Magnus este de 0,189 N la o viteză medie a curentului de aer de 5,06 m/s;
5. pentru particula cu diametrul de $\Phi 56$, valoarea medie a forței Magnus este de 0,267 N la o viteză medie a curentului de aer de 6,026 m/s.

Ca și în cazul celorlalți parametri urmăriți în cadrul determinărilor experimentale, s-a determinat diferența între valorile minime și maxime ale parametrului urmărit, pentru fiecare lot experimental. S-a obținut cea mai mare diferență în cazul particulei cu diametrul de $\Phi 47$, având valoarea de 0,187 N, iar cea mai mică, care este de 0,08 N, pentru particula cu diametrul de $\Phi 27$.

vii. pentru cazul în care se face o analiză a valorii forței Magnus în funcție doar de caracteristicile fizico-mecanice, pentru aceeași valoare a vitezei curentului de aer, se constată că valoarea forței Magnus este direct proporțională cu variația diametrului particulei solide și invers proporțional cu sfericitatea particulei solide;

viii. influența exercitată de către diametrul particulei solide asupra valorii forței Magnus este evidențiată și în reprezentarea grafică din figura 7.37, constatându-se că fața Magnus crește o dată cu creșterea în diametru a particulei solide.

6. Au fost prelucrate un număr mare de fișiere video din care au rezultat:

- a. 1288 de imagini care au fost prelucrate cu scopul de a obține coordonatele pe axa OZ;
- b. 11747 de cadre care au fost prelucrate pentru a obține coordonatele pe axa OX și OY;

în urma cărora au fost obținute date corespunzătoare unui număr de 126 de traiectorii. Aceste date sunt tabelate în Anexele tezei;

7. Între parametrii urmăriți în cadrul determinărilor experimentale și factorii care influențează procesul de sortare aerodinamică a particulelor solide trebuie să fie găsi corelații care au drept scop definirea cât mai exactă a legăturilor existente între aceștia.

CAPITOLUL NR. 8. INTERPRETAREA REZULTATELOR OBȚINUTE

8.1.1. Elaborarea modelului matematic pentru viteza medie liniară instantanee

În figura 8.1 este prezentată variația vitezei medii liniare instantanee pentru particulele solide **dps1**, **dpd2** și **dpd3** în funcție de sfericitatea acestora și de viteza cu care curentul de aer străbate tubulatura.

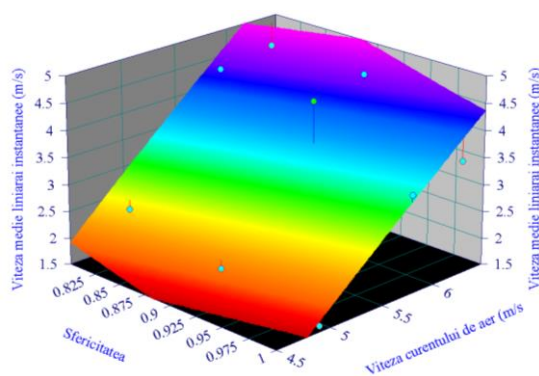


Fig. 8.1. Variația vitezei medii liniare instantanee pentru particulele **dps1**, **dpd2** și **dpd3**.

Suprafața obținută este caracterizată de ecuația de forma:

$$z = a + b \cdot x^c \cdot y^d \quad (8.1)$$

în care:

- x reprezintă sfericitatea particulei solide;
- y – viteza curentului de aer în tubulatură, m/s;
- a, b, c, d – constante.

Valorile coeficienților sunt prezentate în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1

Valorile constantelor care descriu modelul matematic corespunzător variației vitezei medii liniară instantanee.

Nr. crt.	Particulele	Coeficientul de corelație, r^2	Valorile constantelor			
			a	b	c	d
1.	dps1, dpd2 și dpd3	0,9	-10,194084	3,8172995	-0,3551292	0,71513849
2.	dps4, dpd5 și dpd6	0,69	-7,5621513	5,9490179	-0,3347677	0,33852327
3.	dgs1 și dgd2	0,99	-2,0793913	0,17820596	-1,5063777	1,8162936
4.	dps7, dpd8 și dpd9	0,98	-6,0775119	3,8644309	-0,44979816	0,5377769
5.	dps10, dpd11 și dpd12	0,84	-8,7903573	3,2998544	-0,57293603	0,70058481

8.1.2. Elaborarea modelului matematic pentru viteza liniară

În figura 8.2 este prezentată suprafața de răspuns a modelului matematic a variației vitezei liniare în funcție de sfericitatea particulei și de viteza curentului de aer, corespunzătoare particulelor **dps1**, **dps2** și **dps3**.

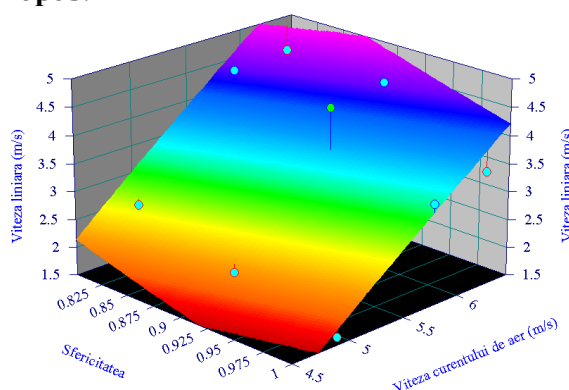


Fig. 8.2. Variația vitezei liniare pentru particulele **dps1**, **dps2** și **dps3**.

Acestei suprafețe îi corespunde același tip de ecuație ca în cazul anterior, respectiv:

$$z = a + b \cdot x^c \cdot y^d$$

unde componentele ecuației sunt descrise la relația (8.1).

În tabelul 8.2 sunt prezentate valorile coeficienților corespunzătoare parametrului studiat, respectiv variației vitezei liniare.

Tabelul 8.2.

Valorile constantelor care descriu modelul matematic corespunzător variației vitezei liniare.

Nr. crt.	Particulele	Coeficientul de corelație, r^2	Valorile constantelor			
			a	b	c	d
1.	dps1, dpd2 și dpd3	0,89	-10,1972	4,216377	-0,38646	0,656485
2.	dps4, dpd5 și dpd6	0,61	-7,79964	6,460754	-0,29647	0,308135
3.	dgs1 și dgd2	0,99	-2,00766	0,181226	-1,55007	1,796233
4.	dps7, dpd8 și dpd9	0,98	-1,42451	0,76232	-1,45819	1,083854
5.	dps10, dpd11 și dpd12	0,93	-60,2118	58,93758	-0,08673	0,036066

8.2. Dezvoltarea modelului matematic pentru viteza unghiulară și forța Magnus

8.2.1. Elaborarea modelului matematic pentru viteza medie unghiulară

În etapa de creare a modelului matematic s-a urmărit generarea unui model matematic care să fie general pentru toți parametrii urmăriți. Și în cazul variației vitezei medii unghiulare s-a putut utiliza aceeași relație, respectiv relația (8.1), a cărei reprezentare se regăsește în figura 8.3.

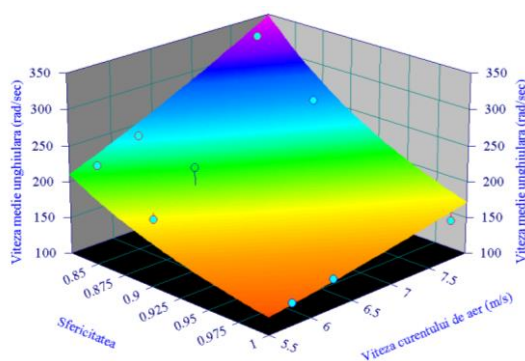


Fig. 8.3. Variația vitezei medii unghiulare pentru particulele **dps4**, **dpd5** și **dpd6**.

În tabelul 8.3 sunt prezentate valorile coeficienților corespunzătoare parametrului studiat, respectiv variației vitezei medii unghiulare.

Tabelul 8.3.

Valorile constantelor care descriu modelul matematic corespunzător variației vitezei medii unghiulare.

Nr. crt.	Particulele	Coeficientul de corelație, r^2	Valorile constantelor			
			a	b	c	d
1.	dps1, dpd2 și dpd3	0,79	-1080,68	715,0081	-0,43511	0,371385
2.	dps4, dpd5 și dpd6	0,97	77,7781	1,778678	-5,51324	1,907084
3.	dgs1 și dgd2	0,86	99,95828	0,674107	2,772513	2,724071
4.	dps7, dpd8 și dpd9	0,81	-394,719	248,9793	-0,96494	0,493691
5.	dps10, dpd11 și dpd12	0,89	-201,131	29,81901	-0,77435	1,322738

8.2.2. Elaborarea modelului matematic pentru turația instantanee medie

Și în cazul modelului matematic pentru determinarea corelației dintre turația instantanee medie și parametrii de intrare, respectiv sfericitatea particulei și viteza curentului de aer, s-a putut utiliza relația (8.1).

Reprezentarea grafică a suprafeței de răspuns este prezentată în figura 8.4.

Valorile constante a, b, c și d sunt prezentate în tabelul 8.4.

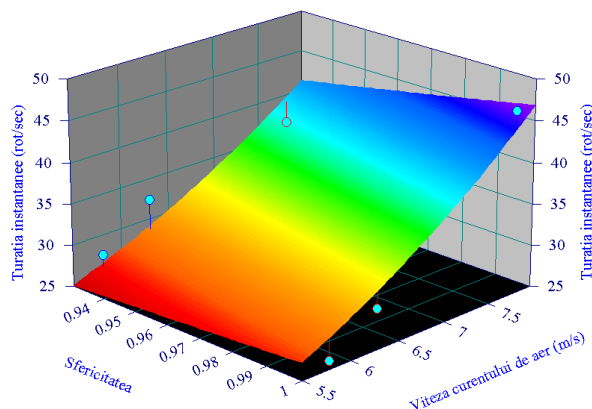


Fig. 8.4. Variația turația instantanee medie pentru particulele **dgs1** și **dgd2**.

Tabelul 8.4.

Valorile constantelor care descriu modelul matematic corespunzător variației turației instantanee.

Nr. crt.	Particulele	Coeficientul de corelație, r^2	Valorile constantelor			
			a	b	c	d
1.	dps1, dpd2 și dpd3	0,79	-171,554	116,3733	-0,45293	0,355318
2.	dps4, dpd5 și dpd6	0,97	12,38449	0,282064	-5,51565	1,908589
3.	dgs1 și dgd2	0,86	16,01647	0,103874	2,793474	2,738125
4.	dps7, dpd8 și dpd9	0,81	-62,8534	39,64639	-0,96494	0,493691
5.	dps10, dpd11 și dpd12	0,9	-41,0534	7,446613	-0,68113	1,161388

8.2.3. Elaborarea modelului matematic pentru numărul de rotații executate în timpul de urmărire

Ca și în cazul vitezei medii unghiulare s-a putut alege aceeași ecuație matematică și pentru a descrie dependența dintre sfericitatea particulei solide și viteza cu care curentul de aer străbate canalul de aer și numărul de rotații pe care le execută particula solidă în timpul urmăririi acesteia.

Această dependență este prezentată în figura 8.5, iar valorile constantelor sunt prezentate în tabelul 8.5.

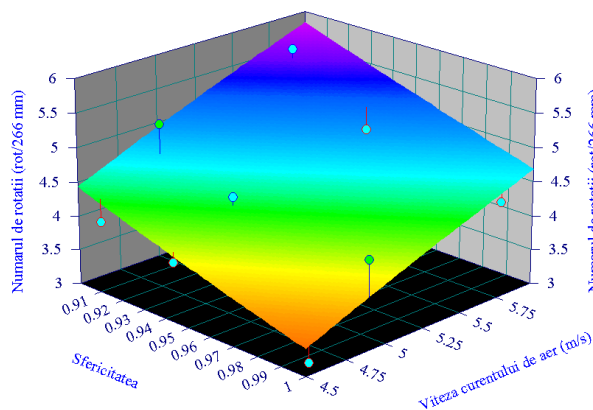


Fig. 8.5. Variația numărul de rotații executate în timpul de urmărire pentru particulele dps7, dpd8 și dpd9.

Tabelul 8.5.

Valorile constantelor care descriu modelul matematic corespunzător variației numărului de rotații executate în timpul de urmărire.

Nr. crt.	Particulele	Coeficientul de corelație, r^2	Valorile constantelor			
			a	b	c	d
1.	dps1, dpd2 și dpd3	0,86	-722,815	730,5321	-0,05192	-0,00104
2.	dps4, dpd5 și dpd6	0,88	-2,13419	0,392102	-1,63775	1,421597
3.	dgs1 și dgd2	0,82	2,656406	90001,13	2,6468	-5,50615
4.	dps7, dpd8 și dpd9	0,81	-9,28205	7,606318	-0,74767	0,339374
5.	dps10, dpd11 și dpd12	0,95	-5,65598	0,670749	-1,10455	1,430438

8.2.4. Elaborarea modelului matematic pentru forța Magnus instantanee

În cazul forței Magnus s-au conceput două modele matematice pentru fiecare tip de dependență urmărită, respectiv pentru următorii parametrii de intrare:

1. Sfericitatea particulei solide și viteza curentului de aer în secțiunea de lucru;
2. Diametrul particulei solide și sfericitatea acesteia.

8.2.4.1. Modelul matematic 1

În figura 8.6 este reprezentată suprafața de răspuns a dependenței dintre sfericitatea particulei solide și viteza curentului de aer pentru fiecare tip de particulă solidă în parte, suprafață a cărei model matematic este prezentat în relația (8.2):

$$z = \frac{a + b \cdot \ln x + c \cdot y}{1 + d \cdot \ln x + e \cdot y} \quad (8.2)$$

unde:

x reprezintă sfericitatea particulei solide

y – viteza cu care curentul de aer străbate tubulatura, m/s.

a, b, c, d, e – valori constante care sunt prezentate în tabelul 8.6.

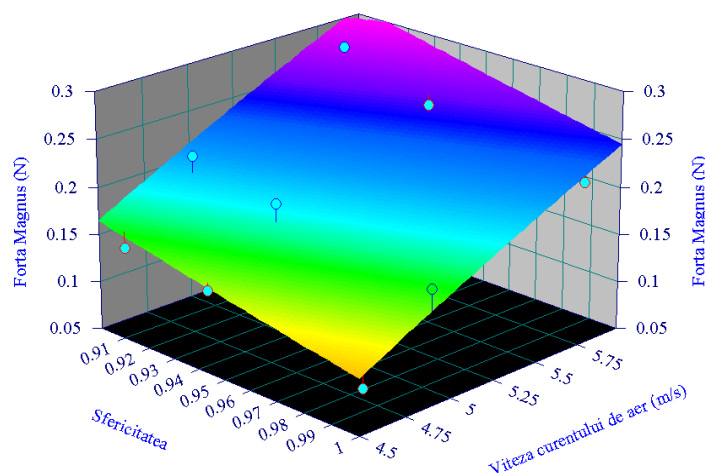


Fig. 8.6. Variația vitezei medii unghiulare pentru particulele **dps10**, **dpd11** și **dpd12**.

Tabelul 8.6.

Valorile constantelor care descriu modelul matematic corespunzător forței Magnus.

Nr. crt.	Particulele	Coeficientul de corelație, r^2	Valorile constantelor			
			a	b	c	d
1.	dps1 , dpd2 și dpd3	0,98	-0,01181	-0,03442	0,003516	-0,19956
2.	dps4 , dpd5 și dpd6	0,86	0,065547	-0,05436	-0,00735	0,099404
3.	dgs1 și dgd2	0,96	0,097715	-0,12429	-0,01062	-0,68155
4.	dps7 , dpd8 și dpd9	0,94	0,336866	-0,1574	-0,07927	-1,71888
5.	dps10 , dpd11 și dpd12	0,99	0,225582	-0,10191	-0,03523	-0,28631

8.2.4.2. Modelul matematic 2

Modelul matematic care prezintă dependența dintre parametrii care au variat în cadrul determinărilor experimentale, diametrul particulei solide și sfericitatea acesteia, și parametrul urmărit forța Magnus, pentru fiecare valoarea a vitezei curentului de aer este descris de ecuația neliniară de tip Lorentzian (8.3), a cărei suprafață de răspuns este prezentată în figura 8.7.

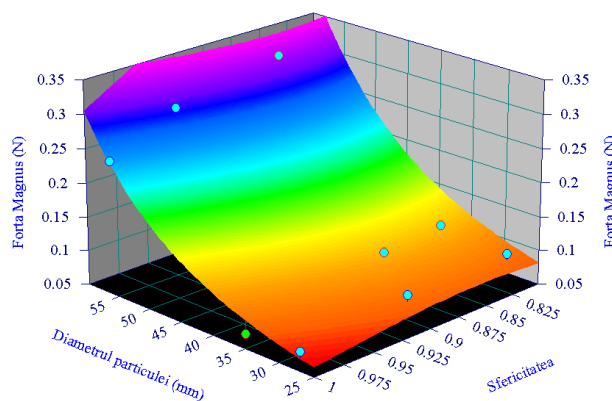


Fig. 8.7. Variația Forței Magnus pentru viteza curentului de aer de 6,277 m/s.

$$z = a + \frac{b}{\left[1 + \left(\frac{x-c}{d}\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{y-e}{f}\right)^2\right]} \quad (8.3)$$

unde:

x reprezintă diametrul particulei solide, mm;

y – sfericitatea particulei solide;

a, b, c, d, e – valori constante care sunt prezentate în tabelul 8.7.

Tabelul 8.7.**Valorile constantelor care descriu modelul matematic corespunzător variației forței Magnus.**

Nr. crt.	Viteza curentului de aer, m/s	Coeficientul de corelație, r^2	Valorile constantelor				
			a	b	c	d	e
1.	4,896	0,99	0,656533	46,88581	7,156266	0,454682	0,319999
2.	5,775	0,98	0,335994	51,32326	10,20041	0,834032	0,318515
3.	6,277	0,99	1,027116	80,51836	16,74571	0,854325	0,247253

8.4. Concluzii

1. Pentru realizarea modelului matematic, indiferent de parametrul urmărit, s-a utilizat soft-ul specializat TableCurve 3D;

2. Cu ajutorul soft-ului TableCurve 3D s-au conceput ecuațiile care descriu dependența dintre parametrii variabili și cei urmăriți. S-a urmărit ca ecuațiile obținute să facă parte din aceeași categorie și în cel mai fericit caz să fie același model matematic. Acest lucru s-a putut îndeplini pentru majoritatea parametrilor urmăriți, excepție făcând modelele matematice corespunzătoare forței Magnus;

3. Coeficienții de corelație corespunzători ecuațiilor alese sunt:

- pentru modelul matematic corespunzător variației vitezei medii liniare instantanee gradul de corelație este cuprins între 0,69 – 0,99;
- pentru modelul matematic corespunzător variației vitezei liniare gradul de corelație este cuprins între 0,61 – 0,99;
- pentru modelul matematic corespunzător variației vitezei medii unghiulare gradul de corelație este cuprins între 0,79 – 0,97;
- pentru modelul matematic corespunzător variației turației instantanee gradul de corelație este cuprins între 0,79 – 0,97;
- pentru modelul matematic corespunzător variației numărului de rotații executate de particulă în timpul urmăririi acesteia gradul de corelație este cuprins între 0,81 – 0,95;
- pentru modelul matematic corespunzător variației forței Magnus pentru modelul 1 gradul de corelație este cuprins între 0,86 – 0,99;
- pentru modelul matematic corespunzător variației forței Magnus pentru modelul 2 gradul de corelație este cuprins între 0,98 – 0,99;

4. Pentru validarea ecuațiilor generate de soft-ul TableCurve 3D acestea au fost verificate și s-a constatat că doar un număr de 3 valori au erori mai mari de 30 % din totalul de 258 de valori.

CONCLUZII GENERALE

Lucrarea constituie o încercare de a oferi, printr-o analiză detaliată, relațiile de dependență între caracteristicile fizico-mecanice ale particulelor solide și regimurile cinematische de funcționare ale unui separator aerodinamic cu scopul de a oferi noi informații care pot sta la baza unor noi generații de instalații de separare aerodinamică.

Din analiza studiului teoretic cât și al rezultatelor experimentale se pot desprinde o serie de concluzii care pot fi grupate după cum urmează.

Cu privire la oportunitatea tezei

1. În urma studierii materialelor documentare oferite de literatura de specialitate, cu privire la procesul de separare aerodinamică, se poate afirma că:

a. marea majoritatea a produselor obținute din agricultură, dar și o parte din cele rezultate din diferite industrii sunt amestecuri formate din particule cu proprietăți diferite, iar pentru a putea alege un procedeu sau o metodă de separare eficientă a acestor amestecuri, aceste proprietăți trebuie cunoscute;

b. una dintre cele mai vechi metode de curățire a produselor obținute din agricultură o reprezintă separarea aerodinamică, procedeu care creat o serie de instalații care funcționează pe diferite principii;

c. procesul de separare aerodinamică reprezintă un proces complex datorită faptului că este influențat de o serie de factori:

i. caracteristicile fizico-mecanice ale particulelor solide care intru în componența amestecului eterogen supus procesului de separare aerodinamică;

ii. direcția curentului de aer;

iii. caracteristicile constructive și funcționale ale instalației în care se realizează separarea aerodinamică;

d. în literatura de specialitate există o serie de experiențe care au fost realizate în scopul optimizării procesului de separare aerodinamică

2. cu privire la influența exercitată de către forța Magnus asupra comportamentului unei particule solide aflate într-un curent de aer se poate spune că:

a. asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent acționează o serie de forțe care pot fi grupate în forțe masice și forțe de suprafață;

b. deoarece procesul de sortare aerodinamică a unui amestec de particule solide este un proces care se realizează în intervale de timp foarte scurt, până la ora actuală nu au existat metode tehnice de studiere a comportamentului particulei solide în canalul de aer, de aceea efectul rotirii unei particule solide aflate într-un curent de aer este foarte puțin studiat în literatura de specialitate și din acest motiv nu se cunosc încă efectele acesteia asupra procesului de sortare aerodinamică a particulelor solide;

c. orice fluid în interiorul unei tubulaturi nu are o distribuție uniformă a viteza curentului de aer în secțiunea canalului, motiv pentru care presiunea dinamică exercitată asupra unei particule solide, aflate în canalul de fluid, nu are aceeași valoare în zonele extreme de contact, fapt care duce la apariția efectului de rotire ale particulei solide, respectiv apariția forței Magnus;

d. cu toate acestea forța Magnus este aplicată foarte mult în sport cu scopul de a modifica traiectoria particulei solide

e. aplicabilitatea forței Magnus în cadrul procesului de separare aerodinamică se rezumă doar la determinarea valorică a acesteia, mai exact determinarea vitezei unghiulare a particulei solide în funcție de diametrul particulei solide, de poziția acesteia în secțiunea canalului de aer și în funcție de forma particulei.

3. Aceste aspecte au stat la baza deciziei de a studia comportamentul unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent, pentru anumite caracteristici fizico-mecanice ale acesteia.

Cu privire la fundamentarea teoretică a procesului de sortare aerodinamică

1. Pentru studiul comportamentului unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent s-a studiat dinamica acestuia în fluide pe curbe continue și nediferențiabile și s-a obținut expresia forței Magnus prin teoria stratului limită;

2. S-a generalizat ecuația de mișcare a unei particule solide într-un fluid complex considerând că fluidul are un comportament de tip vâsco-elastic sau histeretic, adică fluidul are memorie;

3. Din analiza mișcării de rotație a unei particule solide aflate într-un fluid complex s-a arătat că potențialul fractal specific este funcție numai de viteza fractală și, prin urmare, este o măsură a nediferențiabilității traiectoriilor ale particulelor fluidului;

4. Pentru mișcări irotaționale, în cazul tensorului diagonal al tensiunilor vâscoase, s-a calculat forța portantă generalizată.

Cu privire la verificarea experimentală a teoriei abordate

1. Pentru identificarea factorilor care generează rotirea particulei solide care se află în canalul de aer vertical ascendent s-a studiat sistematic, în condiții de laborator, influența exercitată de caracteristicile aerodinamice ale particulei solide și parametrii cinematici ai standului.

2. S-a urmărit comportamentul unei singure particule solide, pentru a se studia evoluția acesteia fără influența celorlalți factori (ciocniri cu alte particule solide și cu peretele tubulaturii);

3. Metodologia de lucru utilizată pentru realizarea traiectoriei de deplasare a unei particule solide în canalul de aer a generat date care descriu într-un mod fidel comportamentul real al particulei;

4. Baza de date generată în cadrul determinărilor experimentale este de un real folos putându-se ajuta să extindem nivelul de înțelegere comportamentului unei particule solide într-un canal de aer;

5. Reprezentările grafice și relațiile matematice alese pentru a defini cât mai exact variațiile studiate au scos în evidență influența exercitată de către caracteristicile fizico-mecanice ale particulei solide (dimensiunile și forma particulei solide) și parametrii cinematic ai standului (viteza curentului de aer) asupra comportamentului particulei solide și mai ales asupra valorii forței Magnus.

Cu privire la caracterul original al lucrării

1. Pe baza studiului bibliografic privind comportamentul unei particule solide într-un curent de aer vertical ascendent au fost evidențiate următoarele:

a. caracteristicile aerodinamice ale particulei solide și metoda de determinare a acestora;

b. tendințele actuale utilizate pentru urmărirea comportamentului unei particule solide într-un curent de aer, respectiv pentru identificarea valorică a forței Magnus;

c. relațiile matematice care descriu comportamentul unei particule solide aflate într-un canal de aer;

2. S-a aprofundat studiile asupra instalațiilor de sortare aerodinamică, respectiv asupra comportamentului particulei solide în canalul de aer, având în vedere tendințele actuale de folosire a acestor instalații;

3. Pornind de la constatarea că în literatura de specialitate influența exercitată de către caracteristicile fizico-mecanice ale particulei solide asupra comportamentului acesteia într-un canal de aer vertical ascendent este puțin studiată, a fost realizat acest studiu în cazul unui model de laborator de instalație de separare aerodinamică;

4. Pentru realizarea studiului teoretic, datorită complexității acestuia, s-au propus o serie de ipoteze simplificatoare, în urma cărora s-a putut realiza o analiză dinamică complexă asupra particulei solide aflate într-un curent de aer;

5. În urma determinărilor experimentale au fost stabilite o serie de corelații, sub formă de relații matematice, între parametri urmăriți și factorii de influență aleși în cadrul programului de lucru;

6. O parte din rezultatele obținute au fost prezentate la diferite consfătuiri și manifestări științifice și au fost publicate în diferite reviste de specialitate.

Cu privire la căile de dezvoltare ulterioară a cercetării

1. Având în vedere că tendința actuală este de a se folosi instalații de separare aerodinamică este necesară în continuare să se studieze comportamentul particulei solide;

2. Deoarece s-a putut identifica influența exercitată de către caracteristicile fizico-mecanice ale particulei solide și de către parametrii cinematici ai instalației, utilizate în cadrul determinărilor experimentale, este necesară continuarea cercetărilor experimentale de laborator la diferite tipuri de instalații de separare aerodinamică și pentru diferite caracteristici aerodinamice ale particulei solide;

3. Baza teoretică și datele experimentale din cadrul acestei lucrări pot constitui un material util și totodată indispensabil în abordarea altor teme similare din domeniu, pentru identificarea influenței pe care o poate avea o anumită forță asupra comportamentului unei particule solide aflate într-un curent de aer;

4. În lucrarea de față s-a studiat comportamentul unei singure particule solide în canalul de aer, fără a ține cont de comportamentul său în masa de particule. Acest lucru poate genera în viitor o diversitatea de teme de cercetare.

Valorificarea cercetărilor realizate

Cercetările efectuate în cadrul lucrării au fost publicate în articole și susținute la diferite conferințe, sau sunt în curs de apariție:

Lucrări publicate în reviste cotate ISI:

1. Nedeff Valentin, Moşneguţu Emilian, Panainte Mirela, **Ristea Mihail**, Lazăr Gabriel, Scurtu Dan, Ciobanu Bogdan, Timofte Adrian, Toma Ştefan, Agop Maricel, Dynamics in the boundary layer of a flat particle, Powder Technology, 2012, Vol. 221, pp. 312-317, FI 2,080, SRI 1.654

Lucrări publicate în reviste şi Proceeding-uri înregistrate în baze de date internaţionale (BDI):

1. Moşneguţu Emilian Florin, Nedeff Valentin, Baisan Ioan, Panainte Mirela, Savin Carmen, **Ristea Mihai** - Study concerning the forms of solid particles, Optimization in the Machines Building Fields MOCM, 2007, Vol. 3, no. 13, pp. 73- 78, ISSN 1224-7480.

Lucrări publicate în Procedeingurile unor conferinţe internaţionale (indexate BDI):

1. Moşneguţu Emilian, Nedeff Valentin, **Ristea Mihail**, Panainte Mirela, Savin Carmen, Research on Aerodynamic Separation of Mixtures Solids, Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi Tomul LVI (LX), Fasc. 4B, Secţia Construcţii de Maşini, 2010, pp. 401-410, ISSN 1011-2855

2. Nedeff Valentin, Panainte Mirela, Macarescu Bogdan Constantin, Mosnegutu Emilian, **Ristea Mihail**, Reducing pollution from electricity-dusting facility modernization from endowment a large combustion plants, 10th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI, Serbia 2010, pp. 366-371, ISBN 86-6075-017-6

3. Nedeff Valentin, Panainte Mirela, Măcărescu Bogdan, Moşneguţu Emilian, Savin Carmen, **Ristea Mihail**, Research on the Environmental Impact Caused by Emissions of particulate Matter (PM10), Produced by the Activity of Plants Producing Concrete, Proceedings of the Union of Scientists Energy Efficiency and Agricultural Engineering, Bulgaria, 2009, pp. 703-709, ISSN 1311-9974.

Referate:

1. **Ristea Mihail**, Referatul nr. 1, *Stadiul actual al realizărilor şi cercetărilor privind sortarea aerodinamică a produselor alimentare*, Universitatea "Vasile Alecsandri" din Bacău;

2. **Ristea Mihail**, Referatul nr. 2, *Stabilirea bazei tehnice de cercetare a procesului de sortare a produselor alimentare*, Universitatea "Vasile Alecsandri" din Bacău;

3. **Ristea Mihail**, Referatul nr. 3, *Date parţiale ale cercetărilor influenţei forţei Magnus în procesul de sortare aerodinamică*, Universitatea "Vasile Alecsandri" din Bacău;

BIBLIOGRAFIA

1. Abramovici G.L., Teoria turbulenii struit, Mashkiz, Moscow, 1980;
2. Adair Robert K., The physics of basaball, American Institute of Physics, 1995
3. Adewumi B., Ademosun O. şi Ogunlowo A., Preliminary Investigation on the Distribution and Spread Pattern of Cowpea in a Cross Flow Grain Separator, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 06 020. October 2006, vol. VIII. <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/677/671>;
4. Adewumi B., Ogunlowo A. şi Ademosun C., Investigating Particle Trajectory as a Parameter for Selecting the Dimensions of Cross Flow Grain Classifier, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 06 007, July, 2006, vol. VIII. <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/666/660>;
5. Afonso Junior P.C., Correa P.C., Pinto F.A.C., Queiroz D.M., Aerodynamic properties of coffee cherries and beans, biosystems engineering, 2007, vol. 98, pag. 39 – 46;
6. Alam F., Tio W., S. Watkins, Subic A. şi Naser J., Effects of Spin on Tennis Ball Aerodynamics: An Experimental and Computational Study, 16th Australasian Fluid Mechanics Conference Crown Plaza, Gold Coast, Australia 2-7 December 2007, pag. 324 – 327;
7. Alam F., Watkins S. şi Subic A., The Aerodynamic Forces on a Series of Tennis Balls, 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, The University of Sydney, Sydney, Australia, 13-17 December 2004;

8. Alam Firoz, Subic Aleksandar, Naser Jamal, Rasul M.G. și Khan M.M.K., A study of spin effects on tennis ball aerodynamics, WSEAS transactions on fluid mechanics, Issue 3, July 2008, ISSN: 1790-5087, Volume 3, pag. 271 – 278;
9. Alan M. Nathan, The effect of spin on the flight of a baseball, American Association of Physics Teachers, Am. J. Phys. 76, 2, February 2008, pag. 119 – 124;
10. Alek Jezoriek și Scott Moura, Motions of Baseballs and Footballs, Mechanical Engineering 170, <http://www-personal.umich.edu/~sjmoura/files/ME170.pdf>;
11. Amin Allah Masoumi, Ali Rajabipour, Lope Tabil, Asad Allah Akram, Terminal velocity and frictional properties of garlic (*Allium sativum* L.), presentation at the CSAE/SCGR, July 6 - 9, 2003, Meeting Montréal, Québec, pag. 03-330;
12. Andreas Hölzer, Martin Sommerfeld, Lattice Boltzmann simulations to determine drag, lift and torque acting on non-spherical particles, Computers și Fluids, pag. 572– 589;
13. Andrew W. Nowicki, Forces that govern a baseball's flight path, Physics Department, The College of Wooster, Ohio 44691, April 21, 1999;
14. Bahill A. Terry, Baldwin David G., Describing baseball pitch movement with right-hand rules, Computers in Biology and Medicine, 2007, vol. 37, pag. 1001–1008;
15. Barsky E. și Barsky M., Master curve of separation processes, Physical Separation in Science and Engineering, 2004, Vol. 13, pag. 1–13, https://www.google.com/url?sa=t&irct=j&siq=şiesrc=sşisource=web&icd=1&icad=rjaşived=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fdownloads.hindawi.com%2Farchive%2F2004%2F596283.pdf&iei=KEgDUP_mDsWo4gSjoiGQDw&usg=AFQjCNHvtoHUFwxOhWmTKozrnGg4__6KfA&sig2=JDfSzEDTGKiSgN5IltmgkA&ibvm=bv.50500085,d.bGE;
16. Barsky E. și Barsky M., Relationship between fractional separation curves and quantitative optimization criteria in the separation of pourable materials, Physical Separation in Science and Engineering, June 2004, vol. 13, pag. 41–51;
17. Bates, R. L. și Jackson, J. A., Glossary of Geology, 2nd Edition. Falls Church, Virginia, American Geological Institute, 1980, pag. 751;
18. Boggs S., Principles of Sedimentology and Stratigraphy, 4th ed., 2006, pag. 66;
19. Bontaș Ovidiu, Nedeff Valentin, Moșneguțu Emilian Florin, Panainte Mirela, Study of factors influencing the solid particles on a flat inclined surface, JESR, Number 1, Volume XVIII, pag 39 – 46;
20. Brennen Christopher E., Fundamentals of Multiphase Flows, Cambridge University Press, 2005;
21. Brett Burglund, Ryan Street, Golf Ball Flight Dynamics, 2011, http://home2.fvcc.edu/~dhicketh/DiffEqns/Spring11projects/Brett_Burglund_Ryan_Street/DiffQ/pdfscreens/projectoutline.pdf;
22. Briggs Lyman J., Effect of spin and speed on the lateral deflection (curve) of a baseball; and the Magnus effect for smooth spheres, National Bureau of standards, Washinton, D.C., 1959;
23. Broday David, Fichman Mati, Shapiro Michael and Gutfinger Chaim, Motion of spheroidal particles in vertical shear flows, American Institute of Physics, vol. 10, no. 1, January 1998, pag. 86 – 100, http://www.technion.ac.il/technion/agr/members/broday/phys_fluids_98.pdf;
24. Bruce R. White and Jan C. Schulz, Magnus effect in saltation, J . Fluid Mech., 1977, vol. 81, part 3, pag. 497-512;
25. Carre´ M. J., Asai T., Akatsuka T., The curve kick of a football II: flight through the air, Blackwell Science Ltd., Sports Engineering, 2002, pag. 193–200;
26. Catherine Driussi, Janis Jansz, Technological options for waste minimization in the mining industry, Journal of Cleaner Production, 2006, Volume 14, Issue 8, Pag. 682–688;
27. Chiroiu V., Stiucă P., Munteanu L., Danescu S., Introduction in Nanomechanics, Romanian Academy Publishing House, București, 2005;
28. Costin Ionel, 1983, Tehnologii de prelucrarea a cerealelor în industria morăritului, Ed. Tehnică, București;
29. Csizmazia Zoltan și Polyak N. Ilona, Movement of Particles in the Air, University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences, Debrecen, 2001, pag. 1-5, <http://www.date.hu/acta-agraria/2001-01i/csizmazia.pdf>;

30. Csizmazia Zoltan și Polyak N. Ilona, Movement of particles in the air, University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences;
31. David L. și alții, Sisteme de transport în agricultură - Îndrumar de proiect, Institutul Politehnic București, Facultatea de Mecanică Agricolă, 1992;
32. Demski A. Și Galperin G., Mașina separatoare de uruit pentru morile complexe, Mokomolno-elevatornaia Promîşlennost, 1962, pag. 23 – 25;
33. Deutsche Muller-Zeitung, Curățirea și sortarea grişurilor și dunsturilor, Morărit și Panificație, Caiet selectiv, Institutul de documentare Tehnică, nr. 3, 1962;
34. El Naschie M.S., Rössler O.E., Prigogine I., Quantum Mechanics, Diffusion and Chaotic Fractals, Elsevier, Oxford, 1995;
35. El-Sayed A.S., R. Yahaya, P. Wacker și H.D. Kutzbach, Characteristic attributes of the peanut (*Arachis hypogaea* L.) for its separation, Int. Agrophysics, 2001, vol. 15, pag. 225-230;
36. Erdoğan S.T. , X. Nie, P.E. Stutzman, E.J. Garboczi, Micrometer-scale 3-D shape characterization of eight cements: Particle shape and cement chemistry, and the effect of particle shape on laser diffraction particle size measurement, Cement and Concrete Research, May 2010, vol. 40, Issue 5, pag. 731–739;
37. Eric K.W. Poon, Andrew S.H. Ooi, Matteo Giacobello, Raymond C.Z., Cohen, Hydrodynamic forces on a rotating sphere, International Journal of Heat and Fluid Flow, August 2013, Volume 42, Pag. 278–288;
38. Ferry D.K., Goodnick S.M., Transport in Nanostructures, Cambridge University 648 Press, Cambridge, 1997;
39. Feynman R.P., Hibbs A.R., Quantum Mechanics and Path Integrals, McGraw-Hill, New York, 1965;
40. Garavand A. Taheri, S. Rafiee, A. Keyhani și E. Mirzaee, Mathematical Modeling of Tomato Terminal Velocity in Water, Advance Journal of Food Science and Technology, 2010, vol. 2, pag. 100-103;
41. Gary W. Beehag, Sand Research Shaping Up, Sportsturf Products Manager for M. Collins și Sons (Contractors) Pty Ltd (Sydney) Australian Turfgrass Management Volume 2.4 (August - September 2000), http://www.agcsa.com.au/static/atm_articles/html/2_4f.html;
42. Geert Craessaerts, Wouter Saeys, Bart Missotten, Josse De Baerdemaeker, Identification of the cleaning process on combine harvesters. Part I: A fuzzy model for prediction of the material other than grain (MOG) content in the grain bin, Biosystems Engineering, 2008, vol. 101, pag. 42 – 49;
43. Ghamari S., A. M. Borghei, H. Rabbani, J. Khazaei și F. Basati, Modeling the terminal velocity of agricultural seeds with artificial neural networks, African Journal of Agricultural Research, 4 March, 2010, vol. 5, pag. 389-398;
44. Gouyet J.F., Physique et Structures Fractals, Masson, Paris, 1992;
45. Gradison A.S. și Lewis M.J., Separation process in the food and biotechnology industries, Principles and application, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 1996;
46. Gupta R.K., Gopika Arora, Sharma Rajiv, Aerodynamic properties of sunflower seed (*Helianthus* L.), Journal of Food Engineering, 2007, vol. 79, pag. 899–904;
47. Harada Syusaku, Tanaka Toshitsugu și Tsuji Yutaka, Fluid force acting on a falling particle toward a plane wall, Proceedings os ASME FEDSM'00, Fluids Engineering Division Summer Meeting, Boston , Massachusetts, June 11-15, 2000;
48. Hilton James E., Cleary Paul W., The role of particle shape in pneumatic conveying, Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries , CSIRO, Melbourne, Australia, 9-11 December 2009;
49. Hölzer Andreas, Sommerfeld Martin, Lattice Boltzmann simulations to determine drag, lift and torque acting on non-spherical particles, Computers și Fluids 38, 2009, pag. 572–589;
50. Hopkins Joe, Nathan Alan, Chong Lance, Kaczmariski Hank, Aerodynamics in Baseball;
51. Housner George W. și Hudson Donald E., Applied mechanics dynamics, Division of Engineering California Institute of Technology, 1980;
52. Huang P. Y. 1, Feng J., Hu H. H. și Joseph D. D., Direct simulation of the motion of solid particles in Couette and Poiseuille flows of viscoelastic fluids, J. Fluid Mech., 1997, vol. 343, pag. 73–94;

53. Iliescu L. și alții, *Procese și utilaje în industria alimentară*, E.D.P., București, 1971;
54. Ioan Țenu, *Tehnologii, mașini și instalații pentru industrializarea produselor vegetale. Partea a II – a Curățirea, spălarea și condiționarea*, Ed. Junimea, Iași, 1999;
55. Santamarina J.C. și G.C. Cho, Soil behavior, The role of particle shape, Proc. Skempton Conf., March, London, pag. 1-04, http://pmrl.ce.gatech.edu/tools/santamarina_cho_2004.pdf;
56. Jalaal M., Ganji D.D. and Ahmadi G., Analytical investigation on acceleration motion of a vertically falling spherical particle in incompressible Newtonian media, *Advanced Powder Technology*, 28 December 2009;
57. Jefferey R.C. și Pearson J. R. A., Particle motion in laminar vertical tube flow, *Journal of Fluid Mechanics*, August 1965, Volume 22, Issue 04, pag. 721-735;
58. Johansson Robert, Evertsson Magnus, CFD simulation of a gravitational air classifier, *Minerals Engineering*, no. 33, 2012, pag. 20–26;
59. John Eric Goff, Matt J. Carré, Trajectory analysis of a soccer ball, *American Association of Physics Teachers*, vol. 77, nr. 11, November 2009, pag. 1020 – 1027;
60. Joseph D. și Ocando D., Slip velocity and lift, *J. Fluid Mech.*, 2002, vol 454, pag. 263-286;
61. Joseph D. și Ocando D., Slip velocity and lift, *J. Fluid Mech.*, 2002, vol. 000, pag. 1-24;
62. Josué Njock Libii, Design of an experiment to test the effect of dimples on the magnitude of the drag force on a golf ball, *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 5, no.3, 2006, pag. 20 – 24;
63. Kensrud Jeffrey R., Smith Lloyd V., In situ drag measurements of sports balls, *Procedia Engineering*, 2009;
64. Kharlamov A., Chara Z., Vlasak P., Magnus and drag forces acting on golf ball, *Colloquium fluid dynamics*, October 24 - 26, 2007, Institute of Thermomechanics AS CR, v. v. i., Prague;
65. Kiknadze L., Mamaladze Yu., The Magnus (Kutta-Jukovskii) Force Acting on a Sphere, E. Andronikashvili Institute of Physics, Tbilisi, Georgia Tamarashvili 6, Tbilisi, 0177 Georgia;
66. Kim Seyun, Kye Bock Lee; Chung Gu Lee, Theoretical approach on the turbulence intensity of the carrier in dilute two-phase flows, *International communications in heat and mass transfer*, 2005, vol. 32, nr. 3-4, pag. 435-444;
67. Klinzing George E., *Gas-solid transport*, McGraw-Hill Book Company, 1981;
68. Klumpar Ivan V., Currier Fred N., Ring Terry A, Air Classifiers, *Chemical Engineering*, March 3 1986, pag. 77 – 92, <http://www.che.utah.edu/~ring/Papers/Air Classifier Article.pdf>;
69. Krause Egon, *Fluid Mechanics With Problems and Solutions and an Aerodynamic Laboratory*, Springer Berlin Heidelberg New York, 2005;
70. Krumbein, W. C. și L. L. Sloss, *Stratigraphy and Sedimentation*. 2nd. Ed. W. H. Freeman și Company. London, 1951;
71. Krumbein, W. C., și Sloss, L. L., *Stratigraphy and Sedimentation*, Second Edition, W. H. Freeman și Company, San Francisco, 1963, pag. 660;
72. Kuan Benny și Schwarz Philip, Numerical Prediction of dilute flows in horizontal and vertical ducts, *Third International Conference on CFD in the Mineral and Process Industries*, CSIRO, Melbourne, Australia, 2003, pag. 135-140;
73. Nottale L., *Fractal Space-Time and Microphysics: Towards a Theory of Scale Relativity*, World Scientific, Singapore, 1993;
74. Landau L., Lifchitz E., *Physique theoretique. Mecanique des fluides*, Mir, Moscow, 1898;
75. Lăcătușu Vasile, Cercetări privind sortarea după dimensiuni a semințelor de orz cultivate în R.S.R., Teză de doctorat, Universitatea Politehnică București, 1985, Facultatea de Mecanică Agricolă, Catedra de Mașini Agricole;
76. Lin C.L., J.D. Miller, 3D characterization and analysis of particle shape using X-ray microtomography (XMT), *Powder Technology*, 15 June 2005, vol. 154, issue 1, Pag. 61–69;
77. Mandelbrot B.B., *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, San Francisco, 1983;
78. Martin Steuer, Serial classification, A new highly efficient process for sorting particles by shape, http://www.at-online.info/download/215793/1_Technical_Solutions_1_2.pdf;
79. Matei Paul, *Mecanica fluidelor și mașini hidraulice*, Facultatea de Mecanică, Curs, Institutul Politehnic Iași, 1980, pag. 173, 175;
80. Milne-Thomson L. M., *Theoretical aerodynamics*, Dover Publications, Inc. New York, 1966;

81. Mortensen P. H., Andersson H. I., Gillissen J. J. J. și Boersma B. J., Particle spin in a turbulent shear flow, *Physics of fluids*, 2007, vol. 19;
82. Mortensen P. H., Andersson H. I., Gillissen J. J. J. and Boersma B. J., Particle spin in a turbulent shear flow, *Physics of fluids*, 2007, vol. 19, pag. 1-4;
83. Mostoufi N și Chaouki J, Prediction of effective drag coefficient in fluidized beds, *Chemical Engineering Science*, April 1999, Volume 54, Issue 7, Pag. 851–858;
84. Moșneguțu Emilian, Contribuții privind sortarea aerodinamică a produselor agricole, Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” Iași, 2006, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra Mașini Agricole;
85. Moșneguțu Emilian, Neculăiaș Vasile, Nedeff Valentin, Panainte Mirela, The determination speeds of float for real particle, *MOCM* 10, 2004, pag. 78;
86. Moșneguțu Emilian, Nedeff Valentin, Materii prime pentru industria alimentară. Îndrumar de lucrări practice, Universitatea din Bacău, 2000;
87. Moșneguțu Emilian, Panainte Mirela, Savin Carmen, Măcărescu Bogdan și Nedeff Valentin (coordonator), Separarea amestecurilor de particule solide în curenți de aer verticali, Ed. Alma Mater Bacău, 2007;
88. Moșneguțu Emilian, Teză de doctorat, Contribuții privind sortarea aerodinamică a produselor agricole, 2006;
89. Murilo D.M. Innocentini, Wellington S. Barizan, Maicon N.O. Alves a , Reinaldo Pisani Jr., Pneumatic separation of hulls and meats from cracked soybeans, *Food and bioproducts processing*, no. 87, 2009, pag. 237–246;
90. Muto Masaya, Tsubokura Makoto și Oshima Nobuyuki, Negative Magnus lift on a rotating sphere at around the critical Reynolds number, *Phys. Fluids*, 2012, vol. 24, http://pof.aip.org/resource/1/phfle6/v24/i1/p014102_s1?isAuthorized=no;
91. Nakashima Akira, Kobayashi Yosuke, Ogawa Yuki and Hayakawa Yoshikazu, Modeling of Rebound Phenomenon between Ball and Racket Rubber with Spinning Effect, *Icros-sice International Joint Conference*, August 18-21, 2009, Fukuoka International Congress Center, Japan, pag. 2295 – 2300;
92. Nakashima Akira, Tuda Yoji, Liu Chunfang, Hayakawa Yoshikazu, A Real-Time Measuring Method of Translational/Rotational Velocities of a Flying Ball, *Preprints of the 5th IFAC Symposium on Mechatronic Systems*, Marriott Boston Cambridge, Cambridge, MA, USA, September 13-15 2010, pag. 732 – 738;
93. Naschie M.S. El, Rössler O.E., Prigogine I., *Quantum Mechanics, Diffusion and Chaotic Fractals*, Elsevier, Oxford, 1995;
94. Nathan Alan M., Hopkins Joe, Chong Lance, Kaczmariski Hank, The effect of spin on the flight of a baseball, *The Engineering of Sport*, 2006, vol. 6, pag. 23-28;
95. Nedeff V., Moșneguțu E., Panainte M., **Ristea M.**, Lazăr G., Scurtu D., Ciobanu B., Timofte A., Toma Ș., Agop M., Dynamics in the boundary layer of a flat particle, *Powder Technology* 221, 2012, pag. 312–317;
96. Nedeff Valentin, Mașini și instalații pentru industria alimentară, Bacău, 1997, vol. I;
97. Nedeff Valentin, Moșneguțu Emilian și Băisan Ioan, Separarea mecanică a produselor granulometrice și pulverulente din industria alimentară, Ed. Tehnica-Info, Chișinău, 2001;
98. Nedeff Valentin, Moșneguțu Emilian și Panainte Mirela, Study and research concerning to influence of particles size and form mixture, towards separation degree in vertical flow air, *The 14th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing și Automation, Focus on Reconstruct Development”*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina 2003;
99. Nedeff Valentin, Moșneguțu Emilian și Panainte Mirela, The properties of particles mixtures, which influence of aerodynamic separation, *DAAAM*, Viena, 23 – 26 oct. 2002;
100. Nedeff Valentin, Moșneguțu Emilian, Panainte Mirela, Study of factors which influence the solid particles separation in air current, *7th International Research/expert conference, Trends in the development of machinery and associated technology*, TMT 2003, Lloret de Mar, Barcelona, Spain, pag. 881-884;
101. Nedeff Valentin, Moșneguțu Emilian, Panainte Mirela, **Ristea Mihail**, Lazăr Gabriel, Scurtu Dan, Ciobanu Bogdan, Timofte Adrian, Toma Ștefan, Agop Maricel - Dynamics in the boundary layer of a flat particle, *Powder Technology*, mai 2012, vol. 221, pag. 312–317;

102. Nottale L., *Fractal Space-Time and Microphysics: Towards a Theory of Scale Relativity*, World Scientific, Singapore, 1993;
103. Nottale L., *Fractals and the quantum theory of spacetime*, *International Journal of Modern Physics A* 4 (1989) 5047–5117;
104. Nottale L., *Scale Relativity and Fractal Space-Time, A New Approach to Unifying Relativity and Quantum Mechanics*, Imperial College Press, London, 2011;
105. Ogawa Akira, *Separation of particles from air and gases*, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1987, vol. I;
106. Oliver M. O'Reilly., *Lecture Notes on the Dynamics of Particles and Rigid Bodies*. Berkeley: Copy Central, 2004;
107. Pahinkar D G, Srinivasan J, *Simulation of Reverse Swing of the Cricket Ball*, *International Journal of Sports Science and Engineering*, Vol. 04, No. 01, 2010, pag. 053-064;
108. Palmer J., Ghita O.R., Savage L., Evans K.E., *Successful closed-loop recycling of thermoset composites*, *Composites: Part A* no. 40, 2009, pag. 490–498;
109. Panasiewicz Marian, Zawislak Kazimierz, Kusińska Elżbieta, Sobczak Paweł, *Purification and separation of loose materials in a pneumatic system with vertical air stream*, *Teka Kom. Mot. Energ. Roln., OL PAN*, 2008, vol. 8, pag. 171–176, http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot8/22_Panasiewicz.pdf;
110. Pedro Couto, *Studying dynamics and kinematics of a soccer ball in a computer*, Universidade do Minho, Departamento de Física 4710-057 Braga, Portugal;
111. Pijucsh K. Kundu și Ira M. Cohen, *Fluid Mechanics*, Academic Press, 2002, pag. 349 – 355;
112. Powers, M. C., *A new roundness scale for sedimentary particles*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 1953, vol. 23, pag. 117-119;
113. Puchalski C., Brusewitz G., și 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*, Manuscript FP 03 002, December 2003, Vol. V;
114. Qianlong Liu și Andrea Prosperetti, *Wall effects on a rotating sphere*, *Journal of Fluid Mechanics*, 2010, vol. 657, pag. 1-21;
115. Rabindra D. Mehta, *Sports ball aerodynamics: effects of velocity, spin and surface roughness*, *Materials and Science in Sports*, Edited by F.H. (Sam) Froes, TMS (The Minerals, Metals și Materials Society), 2001;
116. Robescu Dan Niculae, Lanyl Szabolcs, Robescu Lăcrămioara Diana, Constantinescu Ionel, *Fluide polifazare*, Ed. TEHNICĂ, București, 2000;
117. Rosendahl Lasse, *Extending the modelling framework for gas-particle systems, Applications of multiparameter shape descriptions to non-conventional solid fuels in reacting and non-reacting environments*, Institute of Energy Tehnology, Aalborg University, Denmark, Lasse Rosendahl, 1998, ISBN 87-89179-25-O;
118. Rumpf H., *Fortschritte und probleme auf dem gebiete der windsichtung*, Staub, 1956, vol. 47;
119. Ryoichi Kurose și Satoru Komori, *Drag and lift forces on a rotating sphere in a linear shear flow*, *Journal of Fluid Mechanics*, April 1999, vol. 384, pag. 183-206;
120. Ryutaro Himeno, Hideki Matsumoto și Shun Doi, *A numerical analysis of flows around a rotating baseball*, *Riken Review* No. 30 (September, 2000): Focused on High Performance Computing in RIKEN 1999, pag. 477 – 480;
121. Salman A.D., Gorham D.A., Szabó M., Hounslow M.J., *Spherical particle movement in dilute pneumatic conveying*, *Powder Technology*, Issue 1, 3 May 2005, Volume 153, pag. 43–50;
122. Savu I. Teodor, *Mașini și tulijale pentru industria materialelor de construcții*, Universitatea din Craiova, Facultatea de Mecanică, Craiova, 1979, vol. I;
123. Savulescu S.N., Dumitrescu H., Georgescu A., Bucur M., *Cercetări matematice în teoria modernă a stratului limită*, Ed. Academiei, București, 1981;
124. Schlichting H., *Boundary layer theory*, McGraw-Hill, New York, 1970;
125. Seyed M. A. Razavi*, A. Rafe și R. Akbari, *Terminal velocity of pistachio nut and its kernel as affected by moisture content and variety*, *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2010, vol. 2, pag. 100-103;

126. Silva J. P. and Tavares J. M., On the relation between angular momentum and angular velocity, American Association of Physics Teachers, Am. J. Phys. 75 1, January 2007, pag. 53 – 55;
127. Simonyan K.J., Yiljep Y. D. și Mudiare O. J., Modeling the Grain Cleaning Process of a Stationary Sorghum Thresher, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript P M 06 012. August 2006, Vol. VIII, http://ecommons.library.cornell.edu/bitstream/1813/10589/1/PM_06_012_Simonyan_final_7Aug2006.pdf;
128. Smiadak David M., Drag Coefficient of a Sphere, EGR 365, Fluid Mechanics, July 8 2008, <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~smiadakd/EGR365-Lab8.pdf>;
129. Smiadak David M., Drag coefficient of a sphere, EGR 365, Fluid Mechanics, July 8, 2008;
130. Sneed E.D. și Folk R.L., Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis, Journal of Geology, 1958, vol. 66, pag. 114-150;
131. Spathopoulos Vassilios M, Simulating Key Aspects of the Game of Soccer by Use of a Mathematical Model, e-Journal of Science și Technology (e-JST), pag. 57 – 65;
132. Stauffer D., Stanley H.E., From Newton to Mandelbrot, Academic Press, New York, 1996.
133. Tanaka T, Tsuji Y., Numerical simulation of gas-solid two-phase flow in a vertical pipe: On the effect of inter-particle collision, The American Society of Mechanical Engineers, 1991, pag. 123;
134. Terence Allen, Particle size measurement. Powder sampling and particle size measurement, Fifth edition, Ed. Chapman și Hall, 1997 vol. I;
135. Theobalt Christian, Albrecht Irene, Haber Jörg, Magnor Marcus, Seidel Hans-Peter, Pitching a Baseball, Tracking High-Speed Motion with Multi-Exposure Images, MPI Informatik, Saarbrücken, Germany, <http://www.mpi-inf.mpg.de/~theobalt/Baseball/>;
136. Thorsten Kray, Untersuchungen über die Strömungsvorgänge bei rotierenden glatten Kugeln und Fußbällen, Tag der mündlichen Prüfung, 1. Dezember 2008.
137. Triplett Angie, Finding the spin of a softball pitch, Physics Department, The college of Wooster, Ohio 44691;
138. Țenu Ioan, Tehnologii, mașini și instalații pentru industrializarea produselor vegetale. Partea a II-a Curățirea, spălarea și condiționarea, Ed. Junimea, 1999;
139. Wadell H., Journal of geology, 1932, vol. 40, pag. 250 – 280;
140. Wadell H., Journal of geology, 1935, vol. 43, pag. 459;
141. Wadell H., Journal of the Franklin Institute, 1934, vol. 217, pag. 459;
142. Wadell, Hakon, Volume, Shape and Roundness of Quartz Particles, Journal of Geology, 1935, pag. 250–280;
143. Weibel Ord P., G., Rösler O.E., Space Time Physics and Fractality, Springer, New York, 2005;
144. Weibel P., Ord G., Rösler O.E., Space Time Physics and Fractality, Springer, New York, 2005;
145. Wen-Ching Yang, Handbook of fluidization and fluid-particle systems, Siemens Westinghouse Power Corporation Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A., Marcel Dekker, INC., 2003;
146. Xuecheng Wu AE Kefa Cen AE Zhongyang Luo AE, Qinhuai Wang AE Mengxiang Fang, Measurement on particle rotation speed in gas–solid flow based on identification of particle rotation axis, Exp Fluids, 2008, vol. 45, pag. 1117–1128;
147. Xue-cheng WU, Qin-hui WANG, Zhong-yang LUO, Meng-xiang FANG, Ke-fa CEN, Experimental study on the spatial distribution of particle rotation in the upper dilute zone of a cold CFB riser, Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2008, vol. 9, pag. 922-931;
148. Xuecheng Wu, Qinhuai Wang, Zhongyang Luo, Mengxiang Fang, Kefa Cen, Experimental study of particle rotation characteristics with high-speed digital imaging system, Powder Technology, 2008, vol. 181, pag. 21– 30;
149. Xuecheng Wu, Qinhuai Wang, Zhongyang Luo, Mengxiang Fang, Kefa Cen, Rotation speed measurement of moving particles in a CFB riser, Particuology 7, 2009, pag. 238–244;
150. Xuecheng Wu, Qinhuai Wang, Zhongyang Luo, Mengxiang Fang, Kefa Cen, Theoretical and experimental investigations on particle rotation speed in CFB riser, Chemical Engineering Science, 2008, vol. 63;

151. Xue-Yong Zou, Hong Cheng, Chun-Lai Zhang, Yan-Zhi Zhao, Effects of the Magnus and Saffman forces on the saltation trajectories of sand grain, *Geomorphology*, 2007, vol. 90, pag. 11–22;
152. Yonghao Zhang și Jason M. Reese, The drag force in two-fluid models of gas-solid flows, *Chemical Engineering Science* 58, Pergamon, 2002, pag. 1641 – 1644;
153. Zewdu A.D., Aerodynamic properties of tef grain and straw material, *biosystems engineering*, 2007, vol. 98, pag. 304 – 309;
154. Zhang Yonghao, Reese Jason M., The drag force in two- uid models of gas–solid ows, *Chemical Engineering Science*, 2003, vol. 58, pag. 1641–1644;
155. Zhou Z.Y. și alții, Discrete particle simulation of gas-solid flow in a blast furnace, *Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries*, CSIRO, Melbourne, Austria, 2003, pag. 455 - 460;
156. ***, *Dicționarul de mecanica agricolă*, Ed. Ceres, 1972;
157. ***, Flow Conditioning for Natural Gas Measurement, http://www.flowmeterdirectory.com/flowmeter_artc/flowmeter_artc_04031102.html;
158. ***, *Flow of fluids in pipes*, pag. 213;
159. ***, Flow Velocity Profiles, http://www.tpub.com/content/doe/h1012v3/css/h1012v3_40.htm;
160. ***, *Fluid Mechanics, Review Period: Figures of External Flow, and Lift and Drag Coefficients for Various Bodies, with Brief Descriptions*, [http://fmeabj.lecturer.eng.chula.ac.th/2103-351 HP/351 Course Materials/Review Sheet/2145-213, 2008, Review Sheet, Figures of External Flow, and Lift and Drag Coefficients for Various Bodies, with Brief Descriptions.pdf](http://fmeabj.lecturer.eng.chula.ac.th/2103-351%20HP/351%20Course%20Materials/Review%20Sheet/2145-213,2008,Review%20Sheet,Figures%20of%20External%20Flow,%20and%20Lift%20and%20Drag%20Coefficients%20for%20Various%20Bodies,%20with%20Brief%20Descriptions.pdf);
161. ***, Hristev, *Mecanică și acustică*, E.D.P., București, pag. 259;
162. ***, <http://antikforever.com/Egypte/Villes/elkab.htm>;
163. ***, http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient;
164. ***, http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_agriculture;
165. ***, http://en.wikipedia.org/wiki/Sphericity#cite_note-1;
166. ***, <http://english-blog.xlabon.com.ar/2009/03/computed-fluid-simulations-and-cyclonic.html>;
167. ***, <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/shaped.html>;
168. ***, <http://jeanpierrejeannin.wordpress.com/2010/12/02/le-tarare-ou-machine-a-fabriquer-le-vent/>;
169. ***, <http://jfbradu.free.fr/egypte/LE%20NIL/L'AGRICULTURE/L'AGRICULTURE.php3>;
170. ***, <http://jfbradu.free.fr/egypte/LES%20TOMBEAUX/LES%20HYPOGEES/VALLEE-DES-NOBLES/menna/menna2.php3>;
171. ***, <http://jfbradu.free.fr/egypte/SIXIEMES/agriculture/agriculture.html>;
172. ***, <http://lawson-taylor.ca/aircleaning.htm>;
173. ***, <http://mammaecasalinga.altervista.org/conosciamo-le-figure-geometriche-la-sfera/>;
174. ***, <http://plus.maths.org/issue40/features/bray/>;
175. ***, <http://quercus.canalblog.com/archives/2009/07/21/14475782.html>;
176. ***, http://ro.wikipedia.org/wiki/Efectul_Magnus;
177. ***, http://urrg.eng.usm.my/index.php?option=com_content&view=article&id=345:drag-coefficient-șicatid=31:articles&Itemid=70;
178. ***, http://www.bubastis.be/art/musee/limoges/nakht_003.html;
179. ***, <http://www.dmm-gallery.org.uk/colleng/3201-01.htm>;
180. ***, <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/dry-electro-filter?language=en>;
181. ***, <http://www.endress.com/eh/home.nsf/#page/~power-energy-processes-coal-fired-power-plants-electrostatic-precipitator>;
182. ***, <http://www.fao.org/docrep/X5415F/x5415f04.htm>;
183. ***, http://www.fastonline.org/CD3WD_40/CD3WD/APPRTECH/G10TOE/EN/B1125_23.HTM#B1125_23_9;
184. ***, <http://www.flickr.com/photos/85890438@N05/8231261814/>;
185. ***, <http://www.freesoulblog.net/jID/jIDtv.html>;

186. ***,
http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/scrubbers;
187. ***,
http://www.imagogroup-benelux.com/vim/PDF/FastecImaging_HiSpec3_Datasheet_Mar2010_LowRes.pdf;
188. ***,
<http://www.jeanpierrejeannin.fr/articles/9-pantheonesques/14-le-tarare-ou-machine-a-fabriquer-le-vent>;
189. ***,
<http://www.letravet.org/histoire.htm>;
190. ***,
http://www.osirisnet.net/tombes/nobles/nakht52/nakht_01.htm;
191. ***,
http://www.policom-prim.com/catalog_ro/?action=display_products&items%5B33252%5D=1;
192. ***,
<http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/SEDIMENT/sedreactors.html>;
193. ***,
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270104000984>;
194. ***,
<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/11699919/Areas-de-figuras-geometricas.html>;
195. ***,
<http://www.wynnenv.com/WynnDec/multicyclone.jpg>;
196. ***,
<http://www-solar.mcs.st-and.ac.uk/~andy/LectureNotes/Fundamentals1/node67.html>;
197. ***,
<http://xa.yimg.com/kq/groups/23251651/566175914/name/Mecanic>;
198. ***,
<https://forum.solidworks.com/message/369502>;
199. ***,
[https://www.google.com/url?sa=t&irct=j&siq=\\$iesrc=\\$sisource=\\$web\\$icd=1&icad=rja\\$ived=0CCgQFjAA\\$uurl=http%3A%2F%2Fceeserver.cee.cornell.edu%2Fmw24%2Fcee331%2Ftools%2Fmoody.xls&iei=NkUXUt3pM4bWtQbW8oCoCQ\\$iusg=AFQjCNGqBgVvF3gdINqclgCuSxIYDRwVuw\\$isig2=jM4w2m319tM0cm2kl5bQ0A\\$ibvm=bv.51156542,d.Yms](https://www.google.com/url?sa=t&irct=j&siq=$iesrc=$sisource=webicd=1&icad=rja$ived=0CCgQFjAA$uurl=http%3A%2F%2Fceeserver.cee.cornell.edu%2Fmw24%2Fcee331%2Ftools%2Fmoody.xls&iei=NkUXUt3pM4bWtQbW8oCoCQ$iusg=AFQjCNGqBgVvF3gdINqclgCuSxIYDRwVuw$isig2=jM4w2m319tM0cm2kl5bQ0A$ibvm=bv.51156542,d.Yms);
200. ***,
[Laminar and turbulent flow,
http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/Physics/Mechanics/FluidMechanics/RealFluids/Laminar/Laminar.htm](http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/Physics/Mechanics/FluidMechanics/RealFluids/Laminar/Laminar.htm);
201. ***,
Magnus effect, <http://sports.jrank.org/pages/9512/Magnus-effect.html>;
202. ***,
Mathcad,
<http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/courses/egr345/media/mathcad.pdf>;
203. ***,
<http://www.originlab.com/>;
204. ***,
SynthEyes™ 2008 + 1.1025 User Manual,
<http://stuff.mit.edu/afs/athena/course/4/4.562/demo-syntheyes2011/SynthEyesUM.pdf>;
205. ***,
TabelCurve 3D, <http://www.sigmaplot.com/products/tablecurve3d/tablecurve3d.php>;
206. ***,
The Effects of Air on the Balls - Bernouilli's Principle and Magnus Effect,
http://library.thinkquest.org/C0115986/magnus_ingles.html;
207. ***,
The Magnus force FM, <http://www.nennstiel-ruprecht.de/bullfly/magnusf.htm>;
208. ***,
The mechanics of a curve ball, <http://prizedwriting.ucdavis.edu/past/1998-1999/seely.html>;
209. ***,
Triplot,
[https://www.google.com/Url?Sa=T\\$irct=\\$jsiq=\\$iesrc=\\$sisource=\\$web\\$icd=1&icad=Rja\\$ived=0ccgqfja\\$uurl=Http%3A%2F%2Fwww-Staff.Lboro.Ac.Uk%2F~Gydjg2%2Fdownloads%2Ftri-Plot_V1-4-2.Xls&iei=Ooapuumnd8abtqa40ogqag\\$iusg=AFqjcnngntiq4yo8xxshoxpofv3h8pttlg\\$isig2=A1s7hs9n8b_Njxpw2xz4hq\\$ibvm=Bv.51773540,D.Yms](https://www.google.com/Url?Sa=T$irct=$jsiq=$iesrc=$sisource=webicd=1&icad=Rja$ived=0ccgqfja$uurl=Http%3A%2F%2Fwww-Staff.Lboro.Ac.Uk%2F~Gydjg2%2Fdownloads%2Ftri-Plot_V1-4-2.Xls&iei=Ooapuumnd8abtqa40ogqag$iusg=AFqjcnngntiq4yo8xxshoxpofv3h8pttlg$isig2=A1s7hs9n8b_Njxpw2xz4hq$ibvm=Bv.51773540,D.Yms);
210. ***,
[www.f1technical.net/ article10.html](http://www.f1technical.net/article10.html);
211. ***,
<http://www.ssontech.com/index.html>.