

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA " DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA INGINERIA SISTEMELOR BIOTEHNICE
CATEDRA DE SISTEME BIOTEHNICE



Autor:
ing. Gabriel-Alexandru CONSTANTIN

**CERCETĂRI PRIVIND PROCESUL DE CERNERE ȘI
SORTARE A FRAȚIILOR DE MĂCINIȘ ÎNTR-O
MOARĂ INDUSTRIALĂ**

***RESEARCHES ON THE SIFTING AND SORTING PROCESS OF
GRIST FRACTIONS IN A INDUSTRIAL MILLING PLANT***

- REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT -

Conducător științific:
Prof.univ.dr.ing. VOICU Gheorghe

București
- 2014 -

REZUMAT

Studiul procesului de cernere și sortare a fracțiilor de măcinș într-o moară industrială are ca obiectiv principal cunoașterea și înțelegerea factorilor ce influențează procesul de separare, în primul rând după dimensiuni, în compartimentele blocurilor de site plane, cunoașterea utilajelor de separare pe fracții a măcinșurilor, astfel încât să se poată stabili corect parametrii constructivi și funcționali ai utilajelor de cernere în vederea obținerii unor randamente ridicate de extracție a făinii, precum și economii însemnate de consumuri de energie.

Teza de doctorat cuprinde cercetări experimentale asupra caracteristicilor fizice și granulometrice ale măcinșurilor și fracțiilor de măcinș pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit, ca principali factori care influențează atât procesul de sortare după dimensiuni, cât și stabilirea corespunzătoare a caracteristicilor suprafețelor de separare (suprafață liberă, mărime orificii, regim de lucru)

Au fost analizate probe de material de la intrarea și ieșirile compartimentelor de sită plană (pentru amestecuri tehnologice de grâu din doi ani de cultură, echivalând 2x69 probe) de pe fluxul tehnologic al unei unități industriale de morărit pentru care s-au determinat atât caracteristicile fizice, cât și caracteristicile granulometrice.

Analiza distribuției după dimensiuni a fracțiilor de măcinș s-a făcut prin analiză de regresie, cu legi de distribuție cunoscute. Utilitatea practică a curbelor obținute constă în posibilitatea alegerii caracteristicilor țesăturilor suprafețelor de separare, dacă se dorește încadrarea dimensiunilor unei fracții într-un anumit interval de dimensiuni.

Au fost efectuate cercetări experimentale pentru estimarea influenței regimului cinematic și cantității de material pe site asupra eficienței procesului de separare a particulelor de dimensiuni mici din măcinșul inițial.

S-au făcut determinări experimentale privind consumul de energie al sitelor plane, în gol și în sarcină, pentru estimarea consumului de energie specific cernerii și sortării pe fracții. Cercetările au fost completate cu determinări în laborator pentru estimarea consumului de energie pentru cantități diferite de material la turații diferite.

S-a făcut analiza complexă (dinamică și cu element finit) a mecanismului de acționare cu contragreutăți al sitelor plane în vederea îmbunătățirii dimensionale a unor componente ale acestuia.

Au fost propuse și dezvoltate două modele matematice pentru estimarea coeficienților de extracție a cernuturilor din fracțiile de măcinș, atât în cazul separării ideale, cât și al separării incomplete (reale), pe baza rezultatelor obținute la experimentări.

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE	7
LISTĂ DE SIMBOLURI ȘI NOTAȚII	10
1. IMPORTANȚA TEMEI ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	13
1.1. Importanța temei abordate.....	13
1.2. Obiectivele tezei de doctorat	15
2. ASPECTE PRIVIND PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE SEMINȚELOR DE GRÂU ȘI PRODUSELOR INTERMEDIARE DE MĂCINIȘ	16
2.1. Structura anatomico - morfologică a semințelor de grâu.....	16
2.2. Caracteristicile fizice ale semințelor de grâu și ale produselor intermediare de măcinș	17
2.3. Concluzii	24
3. ASPECTE PRIVIND TEHNOLOGIILE DE PRELUCRARE A GRÂULUI ÎN UNITĂȚILE DE MORĂRIT	25
3.1. Noțiuni generale privind procesul de măcinare	25
3.2. Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit de diferite capacități	30
3.2.1 Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit de capacitate mică.....	30
3.2.2 Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit de capacitate medie.....	32
3.2.3 Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit de capacitate mare.....	34
3.3. Locul și rolul sitelor plane pe fluxul tehnologic al unităților de morărit	36
3.4. Construcția sitei plane	39
3.4.1 Clasificarea sitelor plane.....	39
3.4.2 Corpuri și compartimente de sită plană.....	42
3.4.3 Mecanisme de acționare a sitelor plane.....	44
3.4.4 Construcția ramelor sitelor plane.....	46
3.4.5 Sisteme de alimentare și evacuare.....	52
3.4.6 Sisteme de suspendare.....	53
3.5. Concluzii	54
4. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE SORTARE PE FRACȚII A MĂCINIȘURILOR ÎN UNITĂȚILE DE MORĂRIT	57
4.1. Influența principalilor factori ce intervin în procesul de cernere.....	57

4.2.	Influența tensionării ramelor de cernere asupra procesului de cernere	61
4.3	Influența caracteristicilor constructive și funcționale ale sitelor plane asupra procesului de cernere.....	63
4.4	Influența stratificării materialului pe rame asupra procesului de cernere	72
4.5	Influența caracteristicilor fizice ale semințelor și măcinșului asupra procesului de cernere	75
4.6	Concluzii privind cercetările asupra procesului de cernere	76
5.	ASPECTE TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE CERNERE A MĂCINIȘURILOR ÎN COMPARTIMENTELE DE SITE PLANE.....	78
5.1.	Studiul traiectoriilor particulelor pe rama de sită plană și calculul razei traiectoriei	78
5.2.	Elemente teoretice și experimentale privind studiul mișcării sitelor plane.....	80
5.3.	Studiul modificării traiectoriei cu unghiul de înclinare al ramei de cernere	83
5.4.	Elemente de calcul cinematic al sitelor plane și mecanismului de acționare	87
5.4.1	Problema echilibrării sitelor plane și calculul contragreutăților de echilibrare	87
5.4.2	Turația mecanismului de acționare a sitelor plane.....	90
5.5.	Studiul procesului de cernere cu ajutorul sitelor plane	90
5.5.1	Studiul procesului de cernere cu ajutorul sitelor plane	90
5.5.2	Problema particulelor cu dimensiuni mai mari decât orificiile țesăturii, dar de dimensiuni apropiate cu acestea	91
5.6.	Calculul capacității de cernere a unei rame de sită.....	93
5.7	Elemente generale privind coeficienții de extracție a cernutului la compartimentele de sită plană.....	94
5.8	Elemente generale privind puterea de acționare a a sitelor plane.....	96
5.9	Modele matematice care apreciază procesul de cernere.....	97
5.9.1	Modele matematice utilizate pentru descrierea unei țesături folosite la simularea procesului de cernere.....	98
5.9.2	Model matematic pentru predicția separării particulelor.....	101
5.10	Concluzii.....	106
6.	CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE CERNERE ÎN COMPARTIMENTELE DE SITE PLANE.....	107
6.1.	Constatări privind studiile teoretice efectuate până în prezent	107
6.2.	Teoria mișcării vibratorii a sitelor plane	107
6.3.	Analiza unui sistem de acționare a sitelor plane fără contragreutăți	113
6.4.	Estimarea coeficienților de extracție pentru cazuri reale de compartimente de sită plană	118
6.4.1.	Fără luarea în considerare a cernutului pierdut în refuz (cernere ideală).....	118
6.4.2.	Cu luarea în considerare a cernutului blocat în refuz (cernere incompletă).....	124
6.5.	Utilizarea funcțiilor de distribuție granulometrică pentru estimarea debitelor de refuzuri și cernuturi ale pachetelor de rame din compartimentele de sită plană	127
6.6	Îmbunătățirea dimensională a mecanismului de acționare utilizând un program de analiză asistată de calculator.....	131
6.7	Propuneri de modele matematice care apreciază procesul de cernere.....	143
6.8	Concluzii privind contribuțiile teoretice.....	145
7.	CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CARACTERISTICILE GRANULOMETRICE ȘI PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE FRAȚIILOR DE MĂCINIȘ PE FLUXUL TEHNOLOGIC AL UNEI UNITĂȚI DE MORĂRIT	147
7.1.	Obiectivele cercetărilor experimentale	147
7.2.	Metodica determinărilor experimentale și materialele utilizate	147
7.2.1	Analiza fazei de șrotare la unitatea de morărit Spicul Roșiori.....	151
7.2.2	Analiza fazei de măcinare la unitatea de morărit Spicul Roșiori.....	153
7.3.	Aparatura de cercetare pentru determinarea caracteristicilor măcinșurilor	157
7.4.	Cercetări privind proprietățile granulometrice ale măcinșurilor	159
7.4.1	Variația caracteristicilor granulometrice ale măcinșurilor în faza de șrotare la o moară de 100t/24h	159
7.4.2	Variația caracteristicilor granulometrice ale măcinșurilor în faza de măcinare la o moară de 100t/24h ...	171
7.4.3	Influența regimului cinematic a cantității de material asupra eficienței procesului de cernere.....	179
7.4.4	Utilizarea curbelor de distribuție granulometrică în alegerea țesăturilor ramelor de cernere.....	184
7.4.5	Studiu de caz privind aplicarea modelului matematic pentru determinarea coeficienților de extracție.....	187
7.5.	Cercetări privind proprietățile fizice ale măcinșurilor	189
7.5.1	Variația caracteristicilor fizice ale măcinșurilor în faza de șrotare la o moară de 100t/24h.	189
7.5.2	Variația caracteristicilor fizice ale măcinșurilor în faza de măcinare la o moară de 100t/24h.....	195
7.5.3	Studiu de caz privind aplicarea modelului matematic pentru parametri cinematici ai mișcării particulelor de	202

măciniiș la sitele plane ale unei unități de morărit.....	
7.6. Analiza corelației proprietăților granulometrice ale fracțiilor de măciniiș cu caracteristicile țesăturilor ramelor de sită plană	204
7.7 Concluzii privind cercetările experimentale.....	208
8. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CONSUMUL DE ENERGIE LA CERNEREA MĂCINIȘURILOR CU AJUTORUL SITELOR PLANE	211
8.1 Obiectivele cercetărilor experimentale	211
8.2 Metodica determinărilor experimentale și materialele utilizate	211
8.3 Descrierea aparaturii utilizată la cercetările experimentale	212
8.4 Determinări experimentale pe fluxul tehnologic al unei mori de 100 t / 24 h	215
8.5 Determinări experimentale pe un echipament de cernere de laborator	218
8.6 Concluzii privind consumul de energie	161
9 CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII. PERSPECTIVE	223
9.1 Concluzii privind cercetările teoretice și experimentale	223
9.2 Contribuții personale.....	226
9.3 Direcții viitoare de cercetare.....	227
BIBLIOGRAFIE	228
ANEXE.....	236

Cuvânt înainte

Într-un clasament al celor mai importante sectoare de prelucrare a produselor agroalimentare, industria de morărit și panificație ocupă un loc important. Aici sunt prelucrate sortimente de un larg consum, care datorită valorii lor nutritive, dar și calității, ocupă un loc important în alimentația umană. Știind că măcinarea semințelor cerealiere, împreună cu sortarea pe clase de dimensiuni a măciniișului, sunt cele mai vechi operații de prelucrare a cerealelor, se poate spune că industria morăritului este strâns legată de istoria alimentației umane.

În prezent, pe plan național și internațional, sunt efectuate în mod continuu studii teoretice și experimentale asupra dezvoltării tehnologice a industriei morăritului, incluzând aici și cercetările asupra semințelor de cereale și ale produselor intermediare de măciniiș ale acestora, dar și factorii ce influențează procesul de cernere și sortare în compartimentele de sită plană.

Cunoașterea caracteristicilor granulometrice și fizice ale produselor de măciniiș de pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit este utilă pentru toți specialiștii din industria morăritului. Totodată, aceste caracteristici pot influența atât alegerea corespunzătoare a schemelor tehnologice optime pentru unitățile de morărit și schemelor interioare ale compartimentelor de sită plană, cât și parametrii optimi ai regimului de lucru al sitelor plane și caracteristicile țesăturilor ramelor de sită plană (suprafață liberă, latura orificiilor)

Teza de doctorat „Cercetări privind procesul de cernere și sortare a fracțiilor de măciniiș într-o moară industrială” este structurată pe 9 capitole, dezvoltate pe un număr de 281 pagini, cuprinzând 202 figuri și grafice, 52 tabele, 274 relații matematice, precum și o listă bibliografică alcătuită din 236 referințe. Această lucrare mai conține o listă de notații și simboluri (3 pagini), iar, la final, sunt prezentate o serie de anexe (41 pagini) ce prezintă materiale și date informative sub formă de tabele sau grafice, referitoare la studiile și cercetările prezentate în lucrarea de față.

Prezenta lucrare este o sinteză a cercetărilor teoretice și experimentale referitoare la caracteristicile măciniișurilor și fracțiilor sortate în compartimentele de cernere, dar și la utilajele de cernere și sortare cu site plane din unitățile de morărit și sistemele de acționare a acestora.

Obiectivul principal al cercetărilor teoretice și experimentale îl reprezintă studiul procesului de sortare prin cernere a măciniișurilor în unitățile de morărit și stabilirea corelațiilor principale între parametrii de proces ai sitelor plane și parametrii constructivi și funcționali ai acestora, precum și evidențierea influenței principalilor factori asupra procesului de cernere.

În **capitolul 1** al acestei lucrări este prezentată importanța temei abordate și obiectivele urmărite în elaborarea tezei.

Capitolul 2 intitulat „Aspecte privind proprietățile fizice ale semințelor de grâu și produselor intermediare de măcinș”, conține referiri la importanța alimentară a grâului, tot aici, fiind prezentate unele caracteristici fizice ale semințelor de grâu și ale produselor de măcinș, împreună cu unele metode de determinare ale acestora, pe alocuri fiind prezentate rezultate obținute de cercetători în domeniu.

În **capitolul 3**, denumit „Aspecte privind tehnologiile de prelucrare a grâului în unitățile de morărit”, sunt prezentate tipuri de diagrame tehnologice utilizate de unități de morărit cu diverse capacități. Tot aici, s-a prezentat locul și rolul sitelor plane în fluxurile tehnologice de morărit, împreună cu un studiu referitor la noutăți în construcția acestor utilaje. Capitolul se încheie cu concluzii referitoare la importanța cunoașterii și elaborării fluxurilor tehnologice ale unităților de morărit în vederea studiului procesului de cernere, dar și concluzii referitoare la construcția sitelor plane.

În **capitolul 4**, intitulat „Stadiul actual al cercetărilor experimentale privind procesul de sortare pe fracții a măcinșurilor în unitățile de morărit” au fost prezentați și analizați factorii care influențează procesul de cernere și sortare în compartimentele de site plane (durata cernerii, efectul sistemelor de scuturare, tensionarea țesăturilor, caracteristicile constructive și funcționale ale utilajului de cernere, stratificarea materialului, caracteristicile fizice ale semințelor de grâu și ale măcinșului) pe baza unor studii realizate de cercetătorii din domeniu. Acest capitol se încheie cu unele concluzii referitoare la importanța cunoașterii factorilor ce influențează procesul de cernere și sortare a măcinșurilor.

Capitolul 5, denumit „Aspecte teoretice privind procesul de cernere a măcinșurilor în compartimentele de site plane” prezintă unele modele matematice pentru calculul traiectoriei particulelor pe ramele de cernere, al echilibrării sitelor plane și calculul contragreutăților, vitezei limită de deplasare a particulelor, turației și accelerației critice, puterii necesare acționării sitelor plane, dar și unele modele matematice care apreciază procesul de cernere prin coeficienții de extracție ai ramelor de sită și pachetelor din care fac parte. Capitolul se încheie cu concluzii referitoare la aplicabilitatea și utilizarea acestor modele matematice.

În **capitolul 6**, intitulat „Contribuții teoretice privind procesul de cernere în compartimentele de site plane”, conține dezvoltarea unor modele matematice privind: mișcarea vibratoare a sitelor plane; analiza structurală și cinematică a unui sistem nou de acționare a sitelor plane fără contragreutăți; analiza cu un program de proiectare parametrizată asistată de calculator (dinamica sitei plane și analiză cu element finit) a componentelor mecanismului de acționare cu contragreutăți; estimarea coeficienților de extracție pentru compartimentele de sită plană (pentru cernere ideală și cernere incompletă); utilizarea legilor de distribuție granulometrică în aprecierea debitelor teoretice de cernuturi și refuzuri. În subcapitolul de concluzii al acestui capitol sunt prezentate principalele idei legate de studiile teoretice proprii și aplicabilitatea lor.

Capitolul 7, intitulat „Cercetări experimentale privind caracteristicile granulometrice și proprietățile fizice ale fracțiilor de măcinș pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit” cuprinde cercetări experimentale asupra caracteristicilor fizice și granulometrice ale produselor de măcinș prelevate de pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit de 100 t/24h. Prima parte a acestui capitol prezintă metodologia experimentelor, echipamentele folosite și diagramele tehnologice pentru cele două faze tehnologice ale unității de morărit. În continuare sunt prezentate caracteristicile granulometrice (distribuția după dimensiuni și diametrul mediu al particulelor fracțiilor) pentru măcinș de grâu din producția anului 2009 și măcinș de grâu din producția anului 2011, datele experimentale fiind corelate cu legi de distribuție cunoscute. Sunt prezentate apoi unele caracteristici fizice (masa volumică, densitatea, unghiul de taluz natural, coeficientul de frecare pe trei tipuri de suprafețe, suprafața specifică și porozitatea) împreună cu variația lor pe fluxul tehnologic. Tot în acest capitol sunt prezentate unele studii de caz pentru determinarea coeficienților de extracție și a mișcării particulelor pe rame, variația eficienței procesului de cernere cu turația și cantitatea de material ce alimentează rama, dar și un exemplu de utilizare a curbelor de distribuție granulometrică. Capitolul se încheie cu o secțiune de concluzii cu privire la rezultatele cercetărilor experimentale.

În **capitolul 8**, denumit „*Cercetări experimentale privind consumul de energie la cernerea măcinșurilor cu ajutorul sitelor plane*” sunt prezentate rezultatele obținute la determinarea puterii și consumului specific de energie la cernere în faza de șrotare și faza de măcinare a unității de morărit analizată, dar și pe un echipament de cernere de laborator cu mișcare similară cu cea a sitelor plane. Capitolul se încheie cu concluzii referitoare la consumul specific de energie al sitelor plane și variația consumului de energie specific în funcție de turația mecanismului de acționare și cantitatea de material ce alimentează pachetul de site.

Ultimul capitol, **capitolul 9**, denumit „*Concluzii finale. Contribuții. Perspective*” prezintă concluziile finale referitoare la cercetările teoretice și experimentale expuse în teză. Sunt expuse sintetic contribuțiile proprii, dar și direcțiile viitoare de cercetare în domeniul temei.

Ținând cont de cele prezentate, apreciez că tema tezei de doctorat este de actualitate și abordează un domeniu important, cel al procesării industriale a produselor cerealiere și prezintă o deosebită importanță tehnico-științifică.

CAPITOLUL 1 IMPORTANȚA TEMEI ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

1.1. Importanța temei abordate

În industria morăritului, grâul reprezintă principala cereală industrializată din care se obține prin măcinare, făina, ca produs principal și tăratele, germenii de grâu, grișul ca produse secundare de măcinș.

Procesul de mărunțire a semințelor de grâu, în vederea obținerii făinii de calitate, este un proces complex, realizându-se prin două operații care formează un ciclu repetabil, în mod iterativ: măcinarea și sortarea.

Principalele utilaje din cadrul fluxului tehnologic al unei unități de morărit sunt morile cu cilindrii de măcinare, care realizează mărunțirea semințelor și a produselor de măcinș și sitele plane împreună cu mașinile de griș care realizează împărțirea pe fracții a măcinșului obținut și separarea făinii de celelalte produse.

Cunoașterea caracteristicilor fizice și mecanice ale semințelor de grâu și produselor intermediare de măcinș influențează în mare măsură alegerea adecvată a tehnologiilor de prelucrare a acestora, a reglajelor corespunzătoare a organelor de lucru, a regimurilor de lucru optime ale acestora și ale utilajelor aflate pe fluxul tehnologic al unității de morărit.

Având în vedere importanța celor specificate mai sus au fost inițiate, la Departamentul de Sisteme Biotehnice, din cadrul Universității Politehnica din București, cercetări metodice privind caracteristicile fizice ale produselor intermediare de măcinș de pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit cu mori cu cilindri, modelarea matematică a procesului de cernere și sortare a produselor intermediare de măcinș în compartimentele de sită plană și simulări pe calculator ale comportării mecanice a mecanismului de acționare al sitelor plane

1.2. Obiectivele tezei de doctorat

Obiectivul general al cercetărilor teoretice și experimentale este ***studiul procesului de sortare prin cernere a măcinșurilor în unitățile de morărit și stabilirea corelațiilor principale între parametrii de proces ai sitelor plane și parametrii constructivi și funcționali ai acestora, precum și evidențierea influenței principalilor factori asupra procesului de cernere.***

Pentru îndeplinirea obiectivului principal al lucrării este necesară parcurgerea mai multor etape:

- Analiza stadiului actual al tehnologiilor de cernerere a măcinșurilor utilizate în unitățile de morărit;
- Analiza stadiului actual al cercetărilor privind construcția și funcționarea sitelor plane; locul și rolul lor pe fluxul tehnologic al unităților de morărit;
- Studiul cercetărilor asupra caracteristicilor fizice ale semințelor de grâu și produselor de măcinș din unitățile de industrializare a grâului;

- Studiul aspectelor referitoare la elementele teoretice privind procesul de lucru al sitelor plane din unitățile de morărit, contribuții originale;
- Analiza mecanismelor de acționare a sitelor plane;
- Modelarea matematică a procesului de cernere a măcinșurilor cu ajutorul sitelor plane;
- Simularea cu elemente finite a unui mecanism de acționare a sitelor plane;
- Cercetări experimentale privind caracteristicile fizice și granulometrice ale produselor de măcinș pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit;
- Stabilirea măsurilor de creștere a performanțelor sitelor plane.

CAPITOLUL 2

ASPECTE PRIVIND PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE SEMINTELOR DE GRÂU ȘI PRODUSELOR INTERMEDIARE DE MĂCINIȘ

2.1. Structura anatomo - morfologică a semințelor de grâu

Importanța grâului în alimentație este conferită de conținutul în glucide (reprezentate în cea mai mare parte de amidon - 90% și în cantități mai reduse de glucoză, maltoză, rafinoză), lipide (lecitine, gliceride, steroli), substanțe minerale (calciu, magneziu, fier, sulf, potasiu, fosfor, sodiu), vitamine (B₁, B₂, B₆, PP, conținut ridicat în vitamina E, acid pantotenic, acid folic, biotina) și a unui raport echilibrat între conținutul de hidrați de carbon și cel de substanțe proteice, corespunzător metabolismului organismului uman, [76,193].

2.2. Caracteristicile fizice ale semințelor de grâu și ale produselor intermediare de măcinș

În acest subcapitol sunt prezentate succint principalele caracteristici fizice (dimensiunile, forma, masa relativă a 1000 de semințe, densitatea, porozitatea, sticlozitatea, etc.) ale semințelor de grâu și produselor de măcinș.

2.3. Concluzii

1. Caracteristicile fizice ale semințelor și produselor intermediare de măcinș determină caracteristicile constructive și funcționale ale echipamentelor din pasaje tehnologice (de șrotare sau măcinare) din morile de grâu și regimul de lucru adoptat. De asemenea, ele influențează și gradul de extracție a făinii.

2. Porozitatea cerealelor prezintă importanță în lucrările de tratare și conservare a cerealelor, cum ar fi aerarea activă, uscarea lor, dar și în procesul de mărunțire, precum și la depozitarea sub formă de vrac a produselor finite din procesul de mărunțire a semințelor (făină, tărațe, griș, germeni).

3. Caracteristicile fizice ale semințelor de grâu și ale măcinșurilor sunt influențate de conținutul lor de umiditate. Masa a 1000 de semințe, dimensiunile, coeficientul de frecare, porozitatea cresc pe măsură ce conținutul de umiditate crește, în timp ce masa volumică și densitatea descresc.

CAPITOLUL 3

ASPECTE PRIVIND TEHNOLOGIILE DE PRELUCRARE A GRÂULUI ÎN UNITĂȚILE DE MORĂRIT

3.1. Noțiuni generale privind procesul de măcinare

Diagrama tehnologică este definită ca fiind o reprezentare grafică, prin semne convenționale, a tuturor operațiilor de prelucrare, a utilajelor și instalațiilor de pe fluxul tehnologic al unei mori.

Deoarece o fază completă de prelucrare a produselor în secția de măcinare este dată de mărunțirea acestora la o pereche sau la mai multe perechi de cilindri de măcinare, urmată imediat de cernerea într-un compartiment sau în mai multe compartimente de site plane, s-a stabilit ca un astfel de cuplu (de măcinare și cernere) să se denumească pasaj tehnologic.

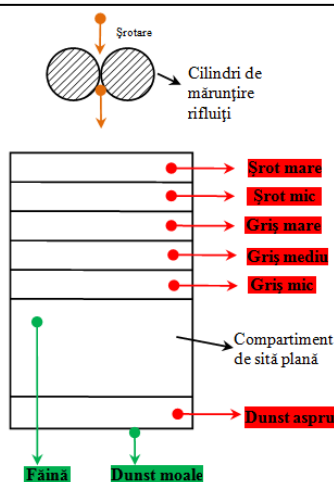


Fig. 3.1. Produsele intermediare de măcinăș care sunt obținute la un pasaj tehnologic de șrotare, [41]

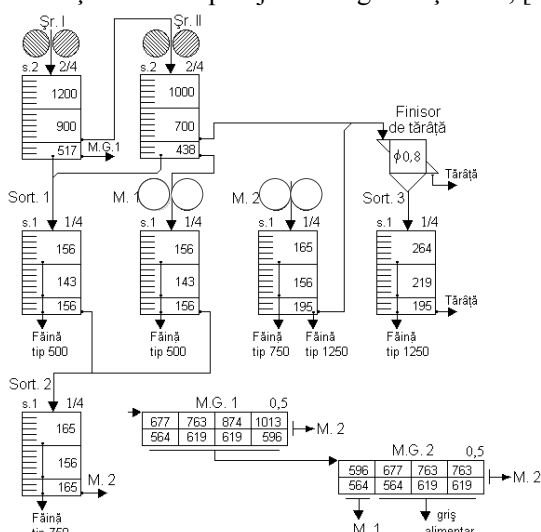


Fig. 3.6. Diagrama tehnologică a unei mori de capacitate mică, [15]

lipsește utilajele de mărunțire (divizoare-sortatoare), două mașini de griș și un finisor de tărățe.

3.2.2. Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit de capacitate medie

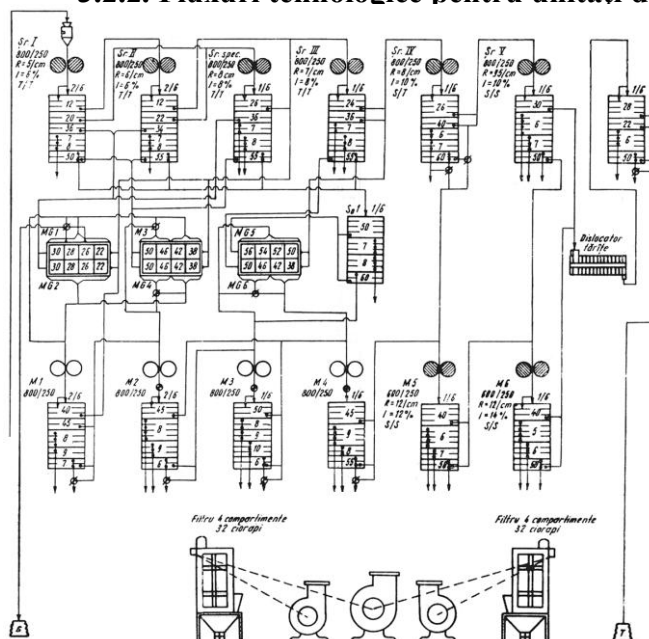


Fig. 3.8. Diagrama tehnologică a secției de măcinare a unei unități de morărit cu capacitatea de 50 t / 24 h, [126]

Fiecare pasaj poartă o denumire precisă. Astfel, la liniile de șrotare, acesta poartă denumirea de șrotul unu, șrotul doi etc. și se scrie lângă desenul convențional sub forma prescurtată a cuvântului *șrot* – Șr., urmat de numărul de ordine, care la șroturi, se scrie cu cifre romane (Șr. I, Șr. II, Șr. III etc). Deoarece pentru o prelucrare mai precisă produsele se împart în două, după granulozitate, chiar pentru același pasaj rezultând o granulație mai mare și una mai mică, se adaugă la denumirea șrotului respectiv și inițiala adjectivului mare sau mic și se scrie astfel: Șr.II M, Șr. II m, ceea ce înseamnă că primul este „șrotul doi mare” și următorul este „șrotul doi mic”, [17,126].

3.2. Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit de diferite capacități

3.2.1. Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit de capacitate mică

Acest subcapitol cuprinde trei exemple de reprezentare a unei diagrame tehnologice pentru unități de morărit de capacitate mică. Un alt exemplu de diagramă tehnologică al unei mori de capacitate mică este prezentat în fig. 3.6, [15]. Această unitate de morărit este construită pe 4 nivele și are o înălțime totală de 20,4 m. Diagrama tehnologică a acestei unități de morărit cuprinde două perechi de valțuri în faza de șrotare și două perechi de valțuri în faza de măcinare, completate cu câte un compartiment de sită plană, alte trei compartimente de sită plană la care

Un exemplu de diagramă tehnologică pentru unități de morărit de capacitate medie este prezentat în fig. 3.8. În această figură se prezintă diagrama tehnologică a unei unități de morărit cu capacitatea de 50 t / 24 h.

Această variantă de diagramă tehnologică cuprinde 6 mori cu cilindri, 14 compartimente de sită plană, 3 mașini duble de griș și un finisor de tărățe, împreună cu circuitele pneumatice corespunzătoare transportului și filtrării aerului de transport al materialului (produselor intermediare) mărunțit. Astfel, diagrama are în componență șase pasaje tehnologice de șrotare, dintre care unul special, șase pasaje tehnologice de măcinare, dintre care două sortatoare

(pasaje tehnologice fără secțiune de mărunțire).

3.2.3. Fluxuri tehnologice pentru unități de morărit capacitate mare

În subcapitolul 3.3 este prezentată diagrama tehnologică a secției de măcinare pentru unitatea de morărit echipată cu utilaje de tip Buhler, cu capacitate de $200\text{ t} / 24\text{ h}$, a S.C. Spicul București. Diagrama tehnologică a unității de morărit cuprinde 9 valțuri duble, dintre care primul prelucreează pe ambele secțiuni același material, două site plane (de șase și, respectiv, opt compartimente), însumând împreună un număr de 14 compartimente, trei mașini de griș duble și cinci perii și finisoare de tărățe.

3.3. Locul și rolul sitelor plane pe fluxul tehnologic al unităților de morărit

În morile de grâu toate pasajele tehnologice (de șrotare sau de măcinare) sunt compuse din o treaptă de mărunțire și o treaptă de cernere/sortare într-un compartiment de sită plană.

Sitele plane sunt utilajele principale de sortare pe fracții a măcinșurilor în unitățile de morărit. În majoritatea cazurilor, aceste utilaje complexe au două corpuri, fiecare cu unul, două, trei sau patru compartimente de sită plană, în interiorul cărora ramele de cernere suprapuse sunt dispuse pe pachete. De la fiecare pachet de rame se obține cel puțin o fracție de măcinș care poate fi un șrot (refuz), un griș, un dunst, făină sau tărățe.

Din punct de vedere al numărului de corpuri, sitele plane pot fi cu un singur corp și site plane cu două corpuri. Sitele plane cu două corpuri sunt împărțite în mai multe compartimente (2, 4, 6, 8 sau 10 compartimente), în fiecare compartiment fiind dispuse un anumit număr de rame suprapuse, asigurând astfel o suprafață mare de cernere într-un spațiu relativ mic. Cu cât numărul de compartimente și numărul de rame în compartiment este mai mare, cu atât suprafața de cernere va fi mai mare. Cele mai utilizate site plane în unitățile de morărit sunt cele cu șase sau opt compartimente (vezi fig. 4.8).



Fig. 3.17. Sită plană cu opt compartimente (4×2 , așezate spate în spate), [250]

3.4. Construcția sitei plane

În acest subcapitol sunt prezentate: clasificarea sitelor plane (subcapitolul 3.4.1), corpuri și compartimente de sită plană (3.4.2), mecanisme de acționare a sitelor plane (3.4.3), construcția ramelor sitelor plane (3.4.4), sisteme de alimentare și evacuare (3.4.5) dar și sisteme de suspendare ale sitelor plane (3.4.6).

3.5. Concluzii

1. Diagramele tehnologice ale unităților de morărit sunt întocmite și trasate în funcție de: capacitatea de prelucrarea a unității, tipul și calitatea cerealelor ce urmează să fie prelucrate, regimul de măcinș adoptat, tipurile de utilaje care echipează unitatea de morărit.

2. Locul sitelor plane în diagrama tehnologică de mărunțire este în faza de șrotare, unde au rolul de a elimina rapid fracțiile de refuz din amestec (semințe întregi sau spărturi de semințe cu endosperm aderent la înveliș) și a-l redirecționa către un nou pasaj de șrotare, dar și în faza de măcinare, unde au rolul de sorta fracțiile de făină din amestecurile ce le alimentează. Sita plană, prin procesul de cernere și sortare pe fracții, completează efectul de mărunțire a semințelor de grâu.

CAPITOLUL 4

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE SORTARE PE FRAȚII A MĂCINIȘURILOR ÎN UNITĂȚILE DE MORĂRIT

4.1. Influența principalilor factori ce intervin în procesul de cernere

Dintre toate elementele operației de cernere, obturarea orificiilor sitei este considerată cea mai importantă fiind și un factor de control. Obturarea orificiilor are loc atunci când particulele se blochează în suprafața sitei. Aceasta reduce suprafața de transfer efectiv, conducând la reducerea performanțelor cernerii, [12,18,89,128,137].

În prelucrarea cerealelor, distribuția după dimensiuni a făinii a intrigat mulți cercetători, în principal datorită efectului pe care îl are asupra calității făinii, [109]. Făina este un amestec de particule, făinurile cu clase de mărimi de particule diferite, având proprietăți fizice și compoziție chimică diferită, [149,176]. Aceste proprietăți pot afecta făina ca produs finit, [68,149]. Deși distribuția după dimensiuni a făinii poate fi modificată prin re-măruntire, aceasta afectează amidonul din aceasta, influențând negativ calitatea făinii ca produs finit, [183]. O metodă alternativă de a separa făina pe clase de dimensiuni poate fi separarea după dimensiuni utilizând viteza de plutire a particulelor. Frațiile de făinuri sunt caracterizate nu numai de compoziția chimică și caracteristicile fizice diferite, [149,176,181], dar și de conținutul de amidon deteriorat din acestea, [68]. Totuși, sortarea pe fracții prin cernere a măcinișurilor, deși simplă, este limitată de obturarea orificiilor țesăturii.

4.2. Influența tensionării ramelor de cernere asupra procesului de cernere

Țesăturile care se mișcă liber (nu sunt întinse suficient) tind să obosească și să se rupă datorită solicitărilor, [120]. Dacă țesăturile nu sunt tensionate (astfel încât să stea întinse), viteza stratului de măciniș este mică, sistemul de curățire nu este suficient de eficient, gradul de separare este mic, iar riscul ca particulele să se blocheze în orificiile sitei este mare, [45,120]. Particulele de dimensiuni mai mici decât orificiile, care nu vor fi cernute, datorită condițiilor de mai sus, vor conduce la scăderea extracției de făină, [62].

În lucrarea [96], autorii au analizat cât de tensionate sunt țesăturile la o moară de laborator ce are în componența sa și partea de cernere. Moara analizată de autori în această lucrare este de tipul Brabender Quadrumat Senior, care are cea mai largă răspândire în laboratoarele de cercetare pentru industria morăritului, [119,133].

Rezultatele obținute de R. Miller în lucrarea [96] sunt conforme cu literatura de specialitate. Posner și Hibbs, în lucrarea [120], recomandau ca țesăturile să fie tensionate la o valoare de 4-5 N/cm. Tensionarea țesăturilor și conținutul de proteine al semințelor de grâu nu a afectat randamentul în produse tărate și făinuri. Totuși, setul de rame cu țesăturile tensionate a extras mai puțină făină în faza de șrotare și mai multă în faza de măcinare, deci făină de o calitate superioară. În concluzie, tensionarea țesăturilor afectează proporțiile de făină extrase în fazele de șrotare și măcinare. Atunci când cele două făinuri (din fazele de șrotare și de măcinare) sunt colectate împreună (sunt amestecate), tensionarea țesăturilor nu este o problemă majoră. Însă atunci când sunt colectate separat, sau când proporțiile lor sunt importante, tensionarea țesăturilor ar trebui monitorizată.

4.3. Influența caracteristicilor constructive și funcționale ale sitelor plane asupra procesului de cernere

a. Influența turației mecanismului de acționare

Turația mecanismului de acționare are o influență destul de mare asupra eficienței procesului de cernere. Dacă turația este prea mare rata de separare a particulelor va scădea și reduce probabilitatea ca particulele de cernut să treacă prin orificiile țesăturii. Pe de altă parte, nu ar trebui nici ca turația să fie prea mică deoarece crește probabilitatea ca particulele nedorite de cernut să rămână în fracțiile de refuz ale fiecărei site, vezi fig. 4.11.

Turația mecanismului de acționare trebuie astfel aleasă încât sortarea pe fracții să fie cât mai eficientă, particulele de cernut să aibă timpul necesar pentru a se cerne și să nu rămână neseperate în

fracțiile de refuz ale sitelor, iar particulele cu dimensiuni mai mari dar apropiate de orificiile țesăturii să nu rămână blocate în orificii.

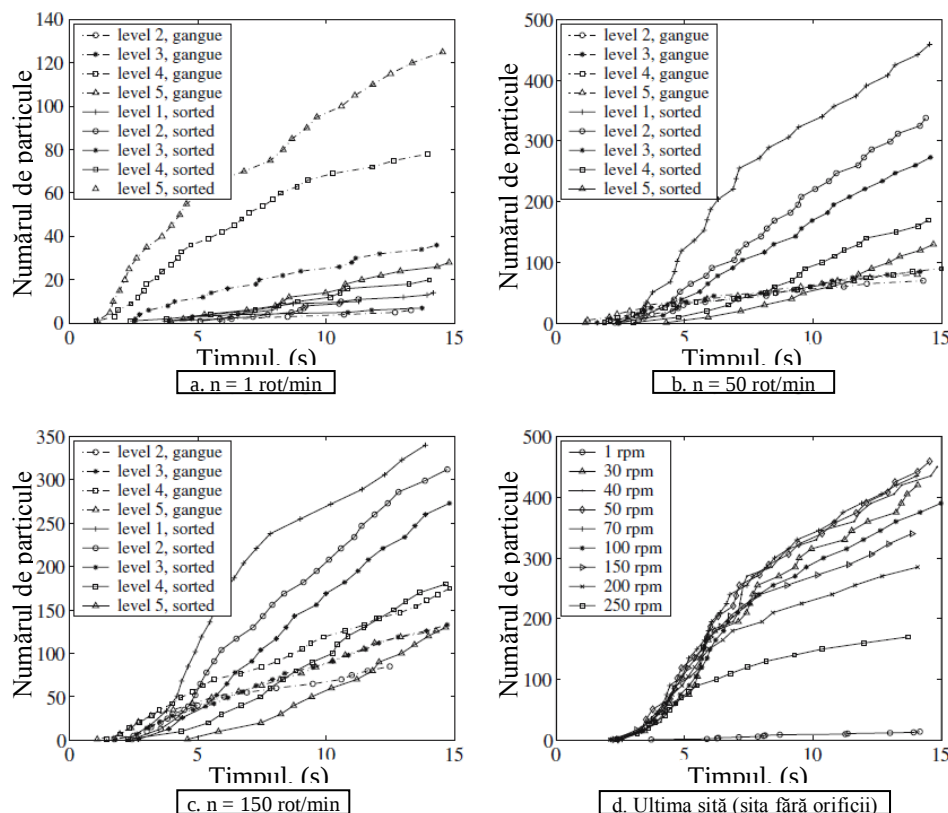


Fig. 4.11. Influența turației mecanismului de acționare asupra eficienței de cernere a particulelor pe diferite site (level 1 – 5) ale mașinii la alimentare continuă, $\alpha = 1^\circ$, $\beta = 0,65^\circ$, $w/g = 1$, $b = 0,8w$ și alimentare de 147 particule/s, gangue – particule de cernut ce au rămas în fracția de refuz, sorted – particule de cernut care s-au sortat prin ochiurile țesăturii, [7]

b. Influența debitului de alimentare

Ca indicator al eficienței de cernere, autorii lucrării [7] au înregistrat, în timpul simulării, numărul de particule pe ultima sită (sita cu orificii de 0 mm). Particulele de pe ultima sită sunt supuse multor ciocniri și au de trecut multe obstacole în timpul traseului lor de pe prima până la ultima sită. Creșterea debitului va crește eficiența echipamentului. Deși alimentarea discontinuă poate conduce la o eficiență mai bună în comparație cu alimentarea continuă, obturarea orificiilor este mai frecventă în astfel de cazuri, de aceea majoritatea proceselor de sortare pe fracții sunt realizate la alimentare continuă. Există numeroase cercetări ce tratează influența dintre orificiile de alimentare și debit, dintre acestea, de referință este lucrarea [20].

c. Influența unghiului de înclinare al sitelor

Înclinațiile unghiurilor α și β ale dispozitivului de cernere, din lucrarea [7], au un efect important asupra eficienței de cernere. Pentru a studia efectul lor autorii au păstrat unul la o valoare constantă și l-au modificat pe celălalt. S-a observat că regimul optim de cernere este atins la 13 s de la începutul simulării. Pentru unghiul $\alpha = 0^\circ$, se observă că mărirea unghiului β îmbunătățește performanțele de cernere ale mașinii. Eficiența maximă ($c = 76\%$) este obținută când $\beta = 0,65^\circ$. Unghiurile de înclinare ar trebui alese pentru a atinge cel mai eficient proces de sortare. Pentru o alimentare continuă de 147 particule/s și turația de 50 rot/min, unghiurile la care s-a atins eficiența maximă ($c = 78,2\%$) au fost $\alpha = 1^\circ$ și $\beta = 0,65^\circ$.

4.4. Influența stratificării materialului pe rame asupra procesului de cernere

Multe dintre lucrările recente abordează factorii ce influențează eficiența cernerii, [78,138,120], dar și cinetica cernerii, [81]. Astfel, majoritatea acestor lucrări, care abordează procesul de cernere, sunt empirice la rădăcină, [78].

În lucrarea [90] se prezintă efectul pe care îl are stratificarea materialului pe sită asupra procesului de cernere. Kelly și Spottiswood, [82], susțin că deși o anumită înălțime a stratului de material pe sită este greu de specificat, există o anumită înălțime optimă care produce maximul eficienței de cernere. Astfel au fost diferențiate trei regiuni pentru care încărcarea cu particule este crescută. Regiunea I care se caracterizează prin insuficiența particulelor de a forma un strat uniform pe suprafața sitei, ceea ce va duce la o rată de cernere redusă, deoarece particulele tind să se miște

haotic iar suprafața de cernere este incomplet utilizată. În Regiunea II, este cel puțin un strat uniform de particule conducând la maximul eficienței de cernere. În această regiune particulele au o mișcare controlată, iar particulele de cernut au o probabilitate mai mare de trecere prin ochiurile țesăturii. Cea mai mică eficiență a cernerii apare în Regiunea III, când stratul de particule este excesiv de înalt.

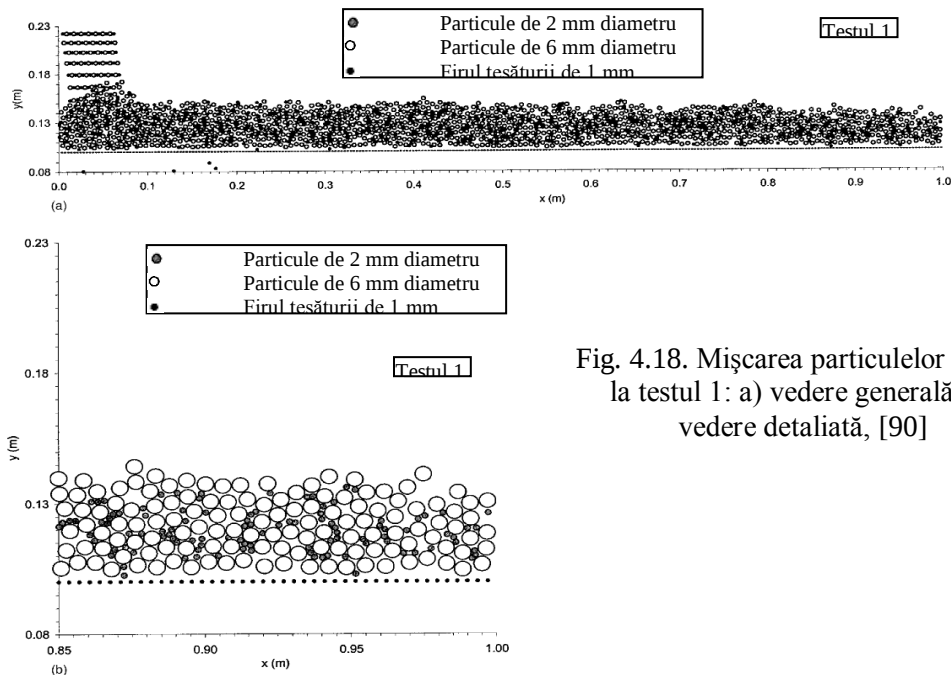


Fig. 4.18. Mișcarea particulelor pe sită la testul 1: a) vedere generală; b) vedere detaliată, [90]

4.5. Influența caracteristicilor fizice ale semințelor și măcinșului asupra procesului de cernere

Forma, dimensiunea, și masa fiecărei particule de măcinș, precum și distribuția amestecului de semințe pe clase de dimensiuni este important a fi cunoscute pentru a putea determina eficiența utilajului de cernere utilizat pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit. Aceste caracteristici influențează performanțele procesului de cernere (productivitatea și calitatea produselor de măcinș obținute).

Porozitatea semințelor este în cea mai mare măsură influențată de forma și mărimea acestora. Atunci când semințele au o dimensiune uniformă, porozitatea lor este mai mare decât atunci când semințele nu au o dimensiune uniformă. Semințele de dimensiuni mici ocupă spațiile rămase libere între semințele de dimensiuni mari, porozitatea fiind mai mică, [100]. Porozitatea fracțiilor de măcinș influențează modul de stocare al produselor finite ale procesului de mărunțire precum și stratificarea materialului pe ramele de cernere.

Masa volumică a unui amestec granular reprezintă masa materialului raportată la volumul total pe care acesta îl ocupă în stare naturală. Această însușire este considerată ca unul din indicii calitativi de bază folosindu-se în stabilirea extracției de făină, [33]. Randamentul de făinuri de grâu este strâns legat de valoarea masei volumice.

Cunoașterea valorii *coeficientului de frecare* a cerealelor pe diferite materiale (metal, plastic, sticlă, cauciuc, lemn, etc.), are o importanță deosebită în procesul deplasării acestora pe diferite suprafețe, atât în cazul transportului, cât și în procesul de separare, precum și pentru caracterizarea proprietăților de curgere și depozitare în vrac, [100]. Valoarea coeficientului de frecare depinde de natura materialelor celor două corpuri, de starea suprafețelor, de presiunea de contact dintre ele.

4.6. Concluzii privind cercetările asupra procesului de cernere

1. KeShun Liu a arătat că cernerea fără sistemul de curățare a sitelor nu este influențată de timpul de cernere, însă cernerea cu sistem de curățare a sitelor este influențată de perioada de cernere, influențând pozitiv eficiența cernerii.

2. Conținutul de proteine, în general, crește cu descreșterea dimensiunilor particulelor. În lucrarea [84], atât particulele mici ($<38 \mu\text{m}$) cât și mari ($<250 \mu\text{m}$) au un conținut mai ridicat de

proteine decât fracțiile de măcinș aflat într-un interval mediu.

3. Tensionarea țeșăturilor afectează proporțiile de făină extrasă în fazele de șrotare și măcinare. Atunci când cele două făinuri (din fazele de șrotare și de măcinare) sunt colectate împreună (sunt amestecate), tensionarea țeșăturilor nu este o problemă majoră. Însă atunci când sunt colectate separat, sau când proporțiile lor sunt importante, tensionarea țeșăturilor ar trebui monitorizată.

4. Turația mecanismului de acționare trebuie astfel aleasă încât sortarea pe fracții să fie cât mai eficientă, particulele de cernut să aibă timpul necesar pentru a se cerne și să nu rămână blocate în fracțiile de refuz ale sitelor, iar particulele cu dimensiuni mai mari dar apropiate de orificiile țeșăturii să nu rămână blocate în orificii.

5. Debitul de alimentare, unghiul de înclinare a sitelor și excentricitatea mecanismului de acționare au o influență destul de pronunțată asupra procesului de cernere. Sunt recomandate unghiurile mici, între $0,5^\circ$ și 1° , precum și excentricitățile între 25 și 50 mm. Pentru aceleași condiții de cernere alimentarea discontinuă arată rezultate mai bune decât alimentarea continuă, dar nu este recomandată deoarece prezintă o rată mai mare de obturare a orificiilor țeșăturilor cu particule, acest fapt reducând eficiența cernerii.

CAPITOLUL 5

ASPECTE TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE CERNERE A MĂCINIȘURILOR ÎN COMPARTIMENTELE DE SITE PLANE

5.1. Studiul traiectoriilor particulelor pe rama de sită plană și calculul razei traiectoriei

În acest subcapitol, plecând de la ipotezele simplificatoare ale lui Jucovski, se prezintă calculul razei cercului pe care se deplasează o particulă dar și cu ce viteză, relațiile de calcul fiind, [101,115,155,165]:

$$r_p = r_1 \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \quad (5.1)$$

$$v_p = \omega \cdot r_p \quad (5.3)$$

5.2 Elemente teoretice privind studiul mișcării sitelor plane

Mișcarea sitelor plane, respectiv a materialului de pe suprafețele de separare, este asigurată de un dispozitiv de antrenate cu masă neechilibrată, poziționat central față de blocurile de site. Acesta este acționat în mișcare de rotație de un motor electric fixat pe unul din blocurile de separare, prin intermediul unei transmisii cu curele trapezoidale. În lucrarea [111] se propune studiul mișcării compartimentelor de cernere într-o nouă abordare, datorită faptului că sita, considerată ca un întreg, este un corp legat elastic ce poate avea o mișcare cu două grade, mișcare generată de dispozitivul de acționare cu o masă neechilibrată. Plecând de la ecuațiile lui Lagrange sunt prezentate ecuațiile diferențiale ale mișcării sitei plane, împreună cu o aplicație de calcul pentru sita plană SPP 420.

5.3. Studiul modificării traiectoriei cu unghiul de înclinare al ramei de cernere

Dacă în lucrarea [161] au fost clarificate noțiunile legate de traiectoriile particulelor pe site și viteza de cernere, în lucrarea [164] au fost analizate timpul de staționare a materialului (reprezentat de refuz) pe sită, traiectoriile reale sau debitul sitei, funcție de unghiul de înclinare al ramei. După calcule elementare s-a ajuns la ecuațiile diferențiale de mișcare ale particulei M în planul sitei xOy, [164]:

$$\begin{cases} \ddot{x} + \mu g \cos \alpha \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} = r_1 \omega^2 \cos \alpha \cos \omega t \\ \ddot{y} + \mu g \cos \alpha \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} = r_1 \omega^2 \cos \alpha \sin \omega t - g \sin \alpha \end{cases} \quad (5.17)$$

De asemenea, au fost prezentate și elemente teoretice legate de ciocnirea particulelor cu pereții ramelor.

5.4. Elemente de calcul cinematic al sitelor plane și mecanismului de acționare

5.4.1. Problema echilibrării sitelor plane și calculul contragreutăților de echilibrare

Plecând de la forțele ce acționează asupra sitei plane în impulsul funcționării, în acest subcapitol este prezentat un calcul pentru echilibrarea sitelor plane dar și un calcul al contragreutăților mecanismului de acționare.

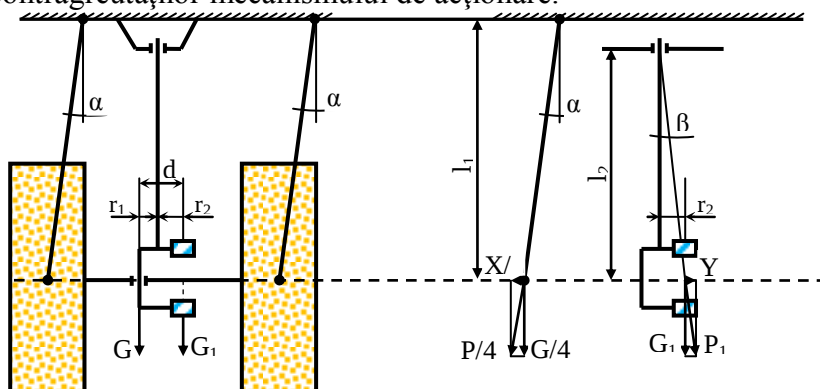


Fig. 5.13. Forțele ce apar la acționarea unei site plane, (adaptată după [101,155])

Greutatea contragreutății poate fi determinată cu relația, [101,155]:

$$G_1 = G \cdot \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{l_2}{l_1} \quad (5.32)$$

5.4.2. Turația mecanismului de acționare a sitelor plane

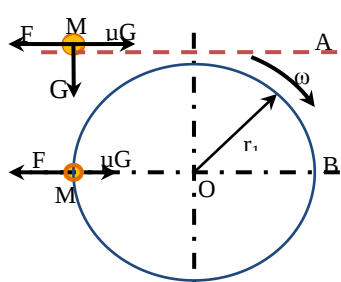


Fig. 5.18. Schema de calcul pentru turația $n_{\min}$ a blocului cu site [101,115,155,165]

Condiția de cernere necesară sitelor plane este ca particulele de material să aibă o mișcare relativă față de sită și să se afle în contact cu suprafața de cernere un timp optim și să se deplaseze cu o viteză optimă astfel încât particulele mici să nu sară peste orificiile sitei. La sitele plane particulele parcurg traiectorii circulare pe suprafața de cernere deplasându-se de la un capăt la altul al sitei. Relația de calcul pentru turația minimă este:

$$n_{\min} = 30 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{r}} \cdot \left(\frac{\text{rot}}{\text{min}} \right) \quad (5.37)$$

5.5. Studiul procesului de cernere cu ajutorul sitelor plane

5.5.1. Viteza limită de deplasare a particulelor pe sită

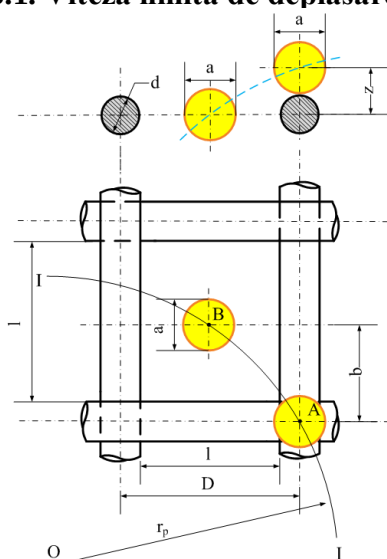


Fig. 5.19. Schema de calcul pentru viteza particulei; cazul $a \leq 1$ (adaptată după [101,115,155,165])

După efectuarea calculului, expresia vitezei limită a particulei $v_{p,\lim}$ pe suprafața sitei:

Viteza limită de deplasare a particulelor pe suprafața sitei se determină pentru cazul particulelor de cernut (cu dimensiunea $a \leq 1$).

În acest caz ($a \leq 1$ – fig. 5.19), pentru ca cernerea să se poată realiza trebuie să fie îndeplinite condițiile [101,115,155,165]:

- particula de cernut să ajungă deasupra orificiului sitei;
- odată ajunsă deasupra orificiului particula trebuie să aibă timpul necesar să cadă prin acesta (pe verticală) pe înălțimea $z=(d+a)/2$, altfel ea nu va fi angajată în trecerea prin orificiu, [165].

$$v_{p.lim.} = \sqrt{\frac{g \cdot \left(\frac{D^2}{4} + b^2 \right)}{d + a}} \quad (5.39)$$

unde d este grosimea firelor sitei, iar a este diametrul particulei de cernut.

Cazul cel mai defavorabil este când particula se deplasează pe suprafața sitei paralel cu firul, adică $b=0$, și în această situație viteza limită a particulei va avea expresia:

$$v_{p.lim.} = \sqrt{\frac{g \cdot \left(\frac{D^2}{4} \right)}{d + a}} = \sqrt{\frac{g \cdot \left(\frac{d+l}{2} \right)^2}{d + a}} \quad (5.40)$$

5.5.2. Problema particulelor cu dimensiuni mai mari decât orificiile țesăturii, dar de dimensiuni apropiate cu acestea

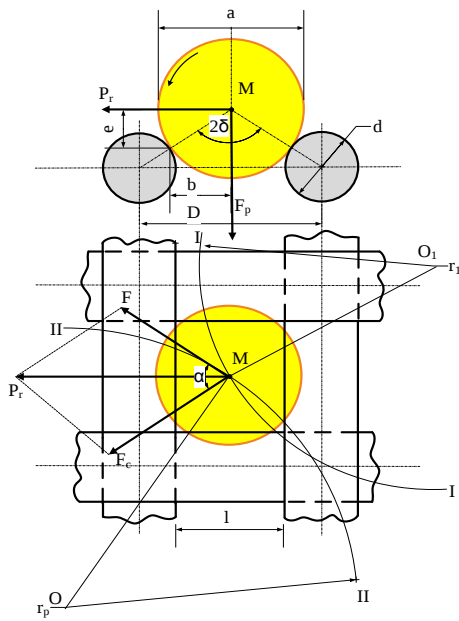


Fig. 5.20. Schema de calcul pentru turația critică (adaptată după [101,115,155,165])

Particulele de refuz au tendința de obturare a orificiilor sitei. Pentru ca procesul de cernere să poată continua și refuzul să fie evacuat de pe sită, trebuie ca forțele de inerție care acționează asupra particulei de refuz blocată în orificiu să fie suficient de mari încât să determine scoaterea acesteia din orificiu pentru ca procesul de cernere să poată continua. Accelerația critică poate fi calculată cu relația, [101,115,155,165]:

$$a_k = g \cdot \operatorname{tg} \delta \sqrt{1 + \beta_0 \left(1 - \frac{\mu^2}{\tan^2 \delta} \right)} \quad (5.46)$$

unde:

$$\beta_0 = \frac{3 \cdot \rho \cdot h}{\rho_0 \cdot a} + \frac{9 \cdot \rho^2 \cdot h^2}{4 \cdot \rho_0^2 \cdot a^2} \quad (5.47)$$

iar turația critică este [101,115,155,165]:

$$n_{cr} = \frac{30}{\pi^2} \cdot \sqrt{\frac{a_k}{r_1}} \quad (5.48)$$

5.6. Calculul capacității de cernere a unei rame de sită

Probabilitatea de trecere a unei particule prin orificiile sitei este probabilitatea ca o particulă de material de dimensiune $a < l$ (l – latura orifiului sitei) să se găsească ulterior unui anumit moment dat în spațiul de sub sită [101,115,155]. Probabilitatea de trecere reprezintă raportul dintre suprafața necesară de separare și suprafața totală a orificiului sitei [101,115,155]:

$$P_t = \frac{(l_1 - a) \cdot (l_2 - a)}{l_1 \cdot l_2} = \left(1 - \frac{a}{l_1} \right) \cdot \left(1 - \frac{a}{l_2} \right) \quad (5.49)$$

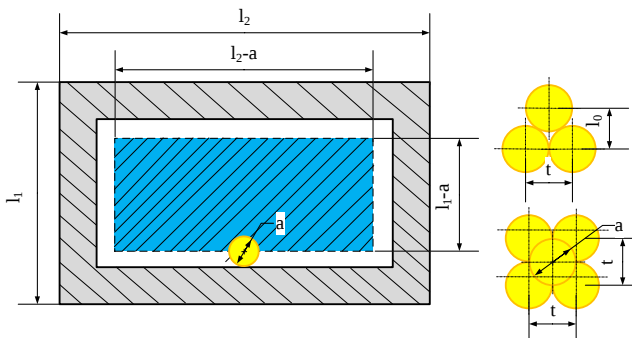


Fig. 5.21. Schema pentru calculul spațiului necesar de trecere (adaptată după [101,115,155])

5.7. Elemente generale privind coeficienții de extracție a cernutului la compartimentele de sită plană

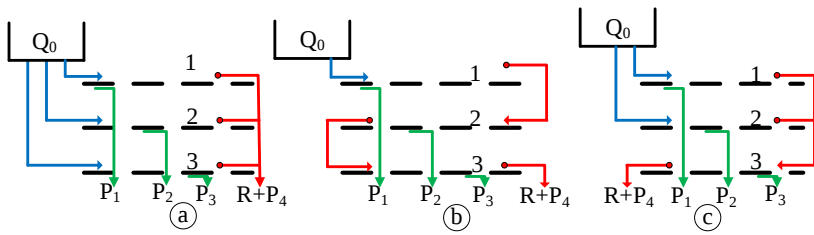


Fig. 5.23. Dispunerea sitelor în cadrul compartimentelor de cernere (adaptată după [101,115,155,165])

a. așezare în paralel; b. așezare consecutivă; c. așezare combinată; Q_0 , debit de alimentare; $P_1...P_3$, cernuturi; P_4 , Particule de cernut blocate în refuz; R , refuzuri.

a. Coeficienți de extracție pe rame de sită și pe pachete.

Toate variantele de așezare a sitelor, indiferent de numărul lor, au la bază trei modalități de așezare: așezare în paralel, așezare consecutivă sau așezare combinată (fig. 5.23).

La așezarea în paralel (fig. 5.23,a), materialul se alimentează și se distribuie în mod egal pe toate sitele pachetului. Coeficientul de extracție al unei site arată gradul de separare a particulelor de cernut din materialul inițial care alimentează sita respectivă. În această situație coeficienții de extracție medii ai sitelor sunt egali [101,115,155]:

$$\eta_{med} = \eta_1 = \eta_2 = \eta_3 \quad (5.52)$$

$$\eta_{med} = A \cdot e^{-b \cdot \frac{Q_0}{3}} \quad (5.54)$$

unde Q_0 este debitul de alimentare cu material.

Așezarea consecutivă a sitelor (fig. 5.24,b). În acest caz cantitatea totală de material separat prin site (cernut) este [101,115,155]:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (5.59)$$

$$Q_0 = P + R \quad (5.60)$$

unde R este cantitatea de refuz la capătul ultimei site.

Coeficientul de extracție, pentru sita 1 este [101,115,155]:

$$\text{Sita 1: } \eta_1 = \frac{P_1}{P} \Rightarrow P_1 = \eta_1 \cdot P \quad (5.61)$$

Coeficientul de extracție mediu, al întregului pachet de site, va fi egal cu [101,115,155]:

$$\eta_{med} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P} \quad (5.64)$$

$$\eta_{med} = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 - \eta_1 \cdot \eta_2 - \eta_2 \cdot \eta_3 - \eta_1 \cdot \eta_3 + \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (5.65)$$

La așezarea combinată a sitelor (fig. 5.24,c), dacă vom considera că sitele 1 și 2 lucrează în paralel și împreună lucrează în serie cu sita 3, atunci pentru sitele 1 și 2 cantitatea de material care ajunge pe site, respectiv coeficienții de extracție sunt egali [101,115,155]:

$$Q_{o1} = Q_{o2} = \frac{Q_o}{2} \quad (5.66)$$

$$\eta_1 = \eta_2 = \frac{2 \cdot P_1}{P} \quad (5.67)$$

Pentru sita 3, coeficientul de extracție este [101,115,155]:

$$\eta_{med} = \frac{2 \cdot P_1 + P_3}{P} \quad (5.69)$$

5.8. Elemente generale privind puterea de acționare a a sitelor plane

Puterea necesară de acționare a sitei plane, se poate calcula cu relația:

$$P_{ME} = \frac{P_0 \cdot c_s}{\eta_{TCT} \cdot \eta_{rul}^2} \quad (5.83)$$

unde: P_0 = puterea necesară acționării la mersul în gol; $c_s = 1,3$ - coeficient de suprasarcină; $\eta_{TCT} = 0,95$ - pierderea de putere prin transmisia cu curea trapezoidală; $\eta_{rul} = 0,99$ - pierderea de putere

printr-o pereche de rulmenți.

5.9. Modele matematice care apreciază procesul de cernere

5.9.1. Modele matematice utilizate pentru descrierea unei țesături folosite la simularea procesului de cernere

Descrierea efectivă și eficientă a țesăturilor de cernere este o problemă ce rămâne deschisă abordării specialiștilor, fiind abordată în diferite lucrări din literatura de specialitate, [6,7,8,44,55], în lucrarea [8] făcându-se o investigație numerică a unui dispozitiv înclinat de cernere. În acest subcapitol este prezentată o analiză comparativă între două abordări diferite (probabilistică și detaliată) a țesăturilor folosite la simularea procesului de cernere.

a. Abordarea probabilistică

În metoda probabilistică o particulă de cernut trece prin orificiu dacă centrul ei se află în interiorul orificiului 5-6-7-8 (vezi fig. 5.26). Dacă centrele lor de greutate se află deasupra graniței orificiului sau deasupra părții solide a țesăturii, aceasta nu se cerne fiind reflectată. Grosimea firului țesăturii b se folosește pentru a ajusta mărimea $2w$ a orificiului sitei. Se ia în considerare că particulele pot lovi firul țesăturii în diferite puncte și pot trece prin orificiu sau pot fi respinse, în funcție de unghiul traiectoriei. Pentru raze similare ale particulelor de cernut se poate scrie:

$$b = \zeta \cdot w, \quad 0 \leq \zeta \leq 1 \quad (5.84)$$

unde ζ este un factor de scalare non-dimensional.

Pentru punctele A și B de pe granițele a două orificii succesive de pe suprafața sitei (vezi fig. 5.26) se poate scrie:

$$x_A = w + j \cdot (2 \cdot w + g), \quad x_B = x_A + g \quad (5.85)$$

unde: j este o constantă ce contorizează spațiile dintre orificii pe direcția x , iar g este distanța dintre două orificii.

Pentru a verifica poziția particulei ținând cont de orificiul sitei pe direcția x , un operator Boolean este definit:

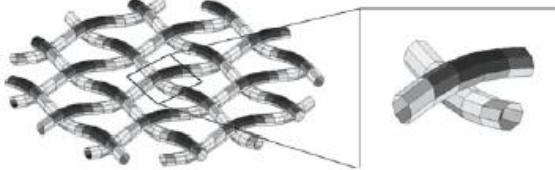
$$c_x = \begin{cases} 0 & \text{if } (x_A - b) \leq r_x \leq (x_B - b) \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (5.86)$$

unde: r_x este coordonata pe x a centrului particulei. În același fel, pentru direcția y se investighează randamentul c_y , obținându-se:

$$c_x c_y = \begin{cases} 0 & \text{particula este refuzată} \\ 1 & \text{particula este cernută} \end{cases} \quad (5.87)$$

b. Abordarea detaliată a țesăturii

În a doua abordare, țesătura este modelată cu fire sinusoidale așa cum se arată în partea stângă a fig. 5.28. Ecuația axelor din centrul firelor țesăturii pe direcția x este:



$$r_{Dx}(s) = \begin{bmatrix} s \\ y_x \\ 0,5 \cdot g \cdot \cos((\pi / w) \cdot (s + y_x)) \end{bmatrix} \quad (5.88)$$

Fig. 5.28. Decupaj din țesătură, [8]

unde: y_x arată poziția lor pe direcția y . Distanța W dintre două fire adiacente reprezintă suma orificiilor țesăturii $2w$ și diametrul firului g , așa cum se arată în fig. 5.29.

5.9.2. Model matematic pentru predicția separării particulelor

În acest subcapitol este prezentat un model matematic pentru predicția separării particulelor pe ramele din compartimentele sitelor plane, [142]. Sortarea ce are loc pe o sită poate fi considerată ca o serie de separări succesive a unui amestec binar. Cea mai simplă configurație pentru cernere este cea făcută dintr-o singură sită (vezi fig. 5.33) pe care materialul alimentat este divizat într-o fracție de cernut și una de refuz, [206].

Bilanțul total de material din procesul de cernere poate fi scris:

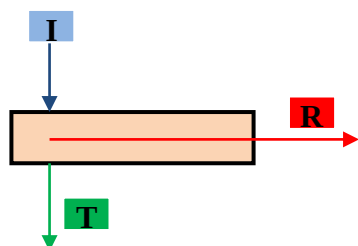


Fig. 5.33. Separarea materialului pe o sită cu cernere continuă, (adaptată după [142])

I, fracția ce alimentează sita,
R, fracția refuzată de sită, *T*, fracția cernută de sită

Site ce lucrează în serie

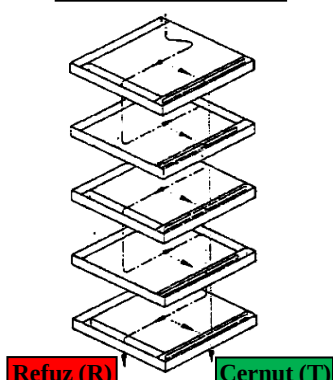


Fig. 5.34. Set de site dintr-un compartiment de sită plană ce lucrează în serie, [142]

5.10. Concluzii

1. În lucrarea [111] a fost ales un model matematic pentru studiul dinamicii sitei plane și au fost determinate ecuațiile diferențiale ale mișcării sitei atât pentru fazele de tranziție, cât și pentru mișcarea permanentă. După cum se poate remarca, dinamica unei astfel de site este ușor de încadrat în zona vibrației sistemelor cu două grade de libertate.

2. Reducerea lungimii sitei și creșterea vitezei de deplasare are o influență negativă asupra coeficientului de extracție, ceea ce impune găsirea unor valori optime ale acestora astfel încât să se obțină capacități mari de prelucrare și un efect bun al separării.

3. Capacitatea de prelucrare a unei site depinde de cantitatea de material care se separă prin orificii în unitatea de timp. Ea crește cu creșterea vitezei de deplasare și a grosimii stratului de material și cu reducerea lungimii sitei, dar acestea trebuie stabilite experimental.

4. Un debit mare de alimentare și o circulație mai rapidă a materialului pe sită duc la creșterea capacității de prelucrare, dar scade randamentul de separare a cernutului, operația de cernere trebuind să fie repetată pentru a nu pierde cernutul rămas în refuz, încărcându-se în mod inutil treptele tehnologice următoare.

CAPITOLUL 6

CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE CERNERE ÎN COMPARTIMENTELE DE SITE PLANE

6.1. Constatări privind studiile teoretice efectuate până în prezent

În acest subcapitol sunt prezentate constatările proprii legate de aspectele teoretice dezvoltate de alți autori în cadrul procesului de cernere. Astfel, mi-am propus să analizez mișcarea

$$I = R + T \quad (5.96)$$

Un bilanț de masă pentru o singură fracție de cernut conduce la:

$$I \cdot x = R \cdot y + T \quad (5.97)$$

unde: x este fracția de cernut din fracția ce alimentează sita și y este cantitatea de particule de cernut din fracția de refuz extinse pentru un set de site suprapuse din compartimentul unei site plane. Dacă sitele au aceleași dimensiuni ale orificiilor, una dintre posibilele configurații ale sitelor este așezarea în serie. În acest aranjament cernuturile sunt evacuate la fiecare sită, iar refuzurile alimentează sita următoare din set. Această configurație este arătată în fig. 5.33.

În fig. 5.34. este prezentat fluxul de material din setul de n site ce lucrează în serie. Bilanțul de material al particulelor de cernut de la prima sită va fi:

$$y_1 = \frac{I_1}{R_1} \cdot x_0 - \left(\frac{I_1}{R_1} - 1 \right) \quad (5.98)$$

Deoarece $q_1 \equiv q_2 \equiv \dots \equiv q_i \equiv \dots \equiv q_n$, ecuația (5.98) nu poate fi generală pentru un set de site suprapuse. O linie de operare este, deci, necesară pentru fiecare sită și fiecare tip de amestec binar. Limitele x_{i-1} , y_i și q_i din linia de operare trebuie detaliate.

vibratorie a unui model de sită plană (SPP 420), sistemul de acționare a unei site plane fără contragreutăți, să prezint modelele matematice pentru calculul coeficienților de extracție (corespunzătoare a două ipoteze de cernere – ipoteza unei cerneri complete și ipoteza unei cerneri incomplete), să prezint un studiu de îmbunătățire dimensională a arborelui unui mecanism de acționare, să arăt modul de utilizare a funcțiilor de distribuție pentru determinarea debitelor de cernuturi și refuzuri, precum și modele matematice statistice ce pot reprezenta cu un grad de corelație ridicat procesul global de cernere.

6.2. Teoria mișcării vibratorii a sitelor plane

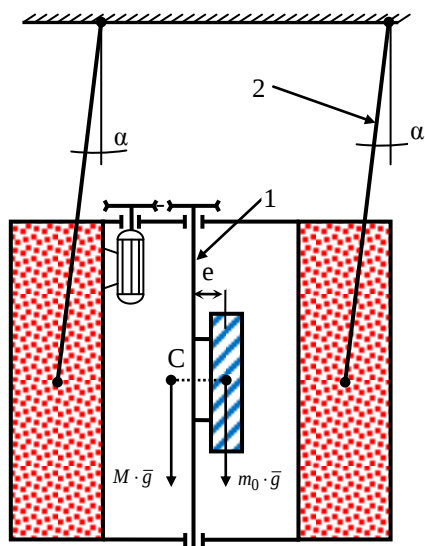


Fig. 6.3. Mecanismul de acționare al unei site plane

Plecând de la următoarele ipoteze simplificatoare:

- Mașina vibratoare constituie un sistem complet centrat, adică rezultanta forțelor perturbatoare, elastice și disipative trece prin centrul de masă al sistemului. Consecința acestei ipoteze este că organele de lucru realizează mișcări de translație.
- Motorul electric are o putere suficient de mare astfel încât interacțiunea motor-mașină vibratoare este neglijabilă. Rezultă că funcționarea mașinii în regim staționar se face cu viteză constantă.
- Se neglijează efectul masei elementelor și efectelor neliniare ale acestora.
- Se neglijează efectul greutății și deplasării mediului aflat în contact cu organele de lucru. Acest lucru se poate face când greutatea materialului este mai mică decât cea a organului de lucru.
- Mișcarea sistemului are loc în jurul poziției de echilibru stabil.

Și utilizând ecuația lui Lagrange de ordinul doi, s-au obținut ecuația pentru amplitudinea mișcării și forța exercitată de arborele mecanismului de acționare asupra sitei plane.

$$F_o = m_0 \cdot e \cdot \Omega^2 ; A_0 = \frac{F_0 / k}{|1 - r^2|}$$

unde m_0 – masa contragreutăților, e – excentricitatea, Ω – viteza unghiulară a mecanismului de acționare, F_0 – forța exercitată de arbore asupra sitei plane, k – constanta de rigiditate din suporturile elastice de susținere a sitei plane, A_0 – amplitudinea mișcării.

6.3. Analiza unui sistem de acționare a sitelor plane fără contragreutăți

Pentru a evita echilibrarea statică și dinamică, în ultimul timp a apărut o nouă soluție constructivă [221], al cărui mecanism l-am analizat în detaliu în lucrarea [40] (fig. 6.7).



Fig. 6.7. Sita plană cu corpuri circulare și mecanismul de acționare a acestora (vederi) [221].

Sistemul are patru blocuri de site, două câte două fiind fixate diagonal opus pe câte un cadru

(jug) suspendat de tavan prin patru suporți elastici din material plastic ranforsat cu fibră de sticlă. Cele două juguri care fixează cele patru blocuri de sită plană sunt unite în zona de intersecție cu patru dublu-rulmenți pentru scopul de a absorbi forțele centrifugale din mișcarea circulară a sitei plane. Transmiterea mișcării se efectuează printr-un arbore de antrenare cu două excentrice (manetoane), de la un motor electric de 1,5–2,2 kW. În partea centrală a jugurilor de prindere există poziționate două lagăre, pentru cele două manetoane ale arborelui de acționare, decalate între ele la 180° . Cele două unități se echilibrează una pe cealaltă, în mișcarea circulară oscilantă, dirijată prin intermediul suporților elastici.

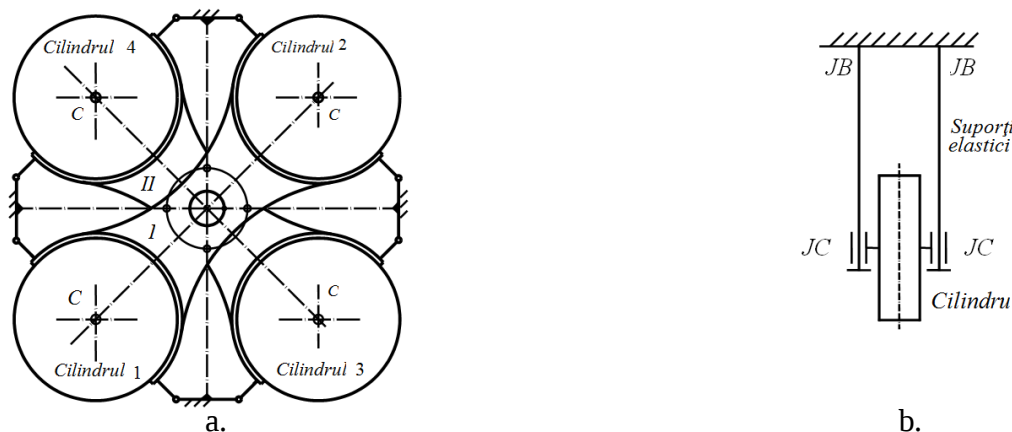


Fig. 6.8. Sita plană cu patru unități de cernere (a) și modul de suspendare (b).

Fiecare compartiment de sită plană constă dintr-un cilindru din două piese, închizând o stivă de rame pătrate de cernere. Între carcasă și stiva de site se pot aranja între 4–12 canale, pentru circulația produselor de măcinș, putându-se astfel obține o varietate de fracții.

În interiorul stivei de site, sitele pot fi dispuse în serie sau în paralel, formând scheme interioare de site plane din cele mai complexe care să răspundă cerințelor procesului tehnologic.

O baterie de cernere se compune din patru cilindri solidarizați, doi câte doi pe diagonală, de platformele (jugurile) I și II (fig. 6.8,a).

Pentru determinarea gradului de mobilitate al mecanismului, legătura elastică poate fi echivalată printr-un cilindru pneumatic. În fig. 6.13 (a,b,c,d) sunt prezentate schemele cinematice ale paralelogramelor de acționare în 4 poziții diferite (poziția manetonului B la unghiurile 45° , 135° , 225° și 315° , față de sensul pozitiv al axei Ox).

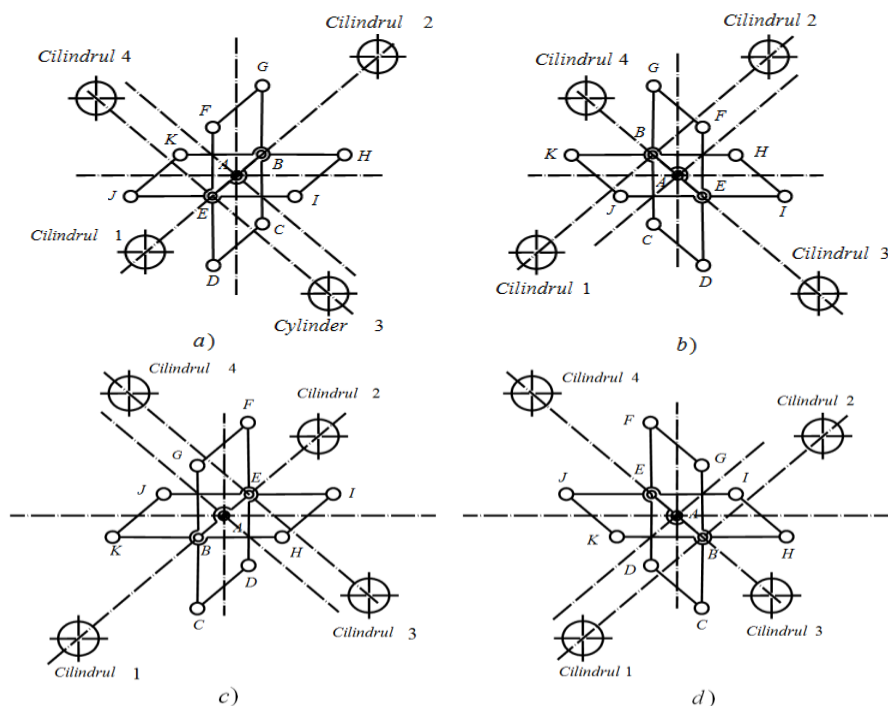


Fig. 6.13. Schema cinematică a paralelogramelor de articulare în patru poziții distincte

Dacă nu se ia în considerare mișcarea de oscilație a celor două perechi de cilindri 1-2 și 3-4 în jurul punctelor B și E, mecanismul este complet echilibrat (static și dinamic).

Studiul poate fi util constructorilor de echipamente din industria morăritului la aprecierea cinematicii acestui tip de sită plană, dar și pentru tehnologi la echilibrarea lor. Acest model funcționează corect doar dacă blocurile cilindrice sunt alimentate uniform.

6.4. Estimarea coeficienților de extracție pentru cazuri reale de compartimente de sită plană

6.4.1 Fără luarea în considerare a cernutului pierdut în refuz (cernere ideală)

Eficiența separării pe o suprafață de cernere se poate aprecia prin coeficientul de extracție al suprafeței respective. În cadrul unui compartiment de sită plană, ramele sunt dispuse pe pachete (având fiecare aceleași caracteristici ale țesăturii). În cadrul pachetului ramele lucrează în general în serie (consecutiv), în timp ce pachetele de rame pot lucra atât în paralel cât și în serie. La modul general coeficientul de extracție al unei rame de cernere reprezintă raportul între cantitatea de material cernută și cantitatea de material care alimentează rama de cernere respectivă, în ipoteza unei cernerii complete. Prin extindere, coeficienții de extracție pot fi calculați și la fiecare pachet de rame sau la fiecare compartiment de sită plană, care este alcătuit din mai multe pachete de rame suprapuse.

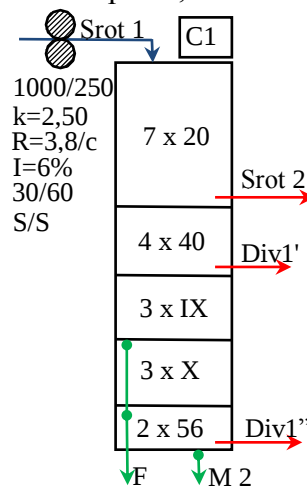


Fig. 6.15. Diagrama compartimentului șrotului 1 a morii de 100 t / 24 h

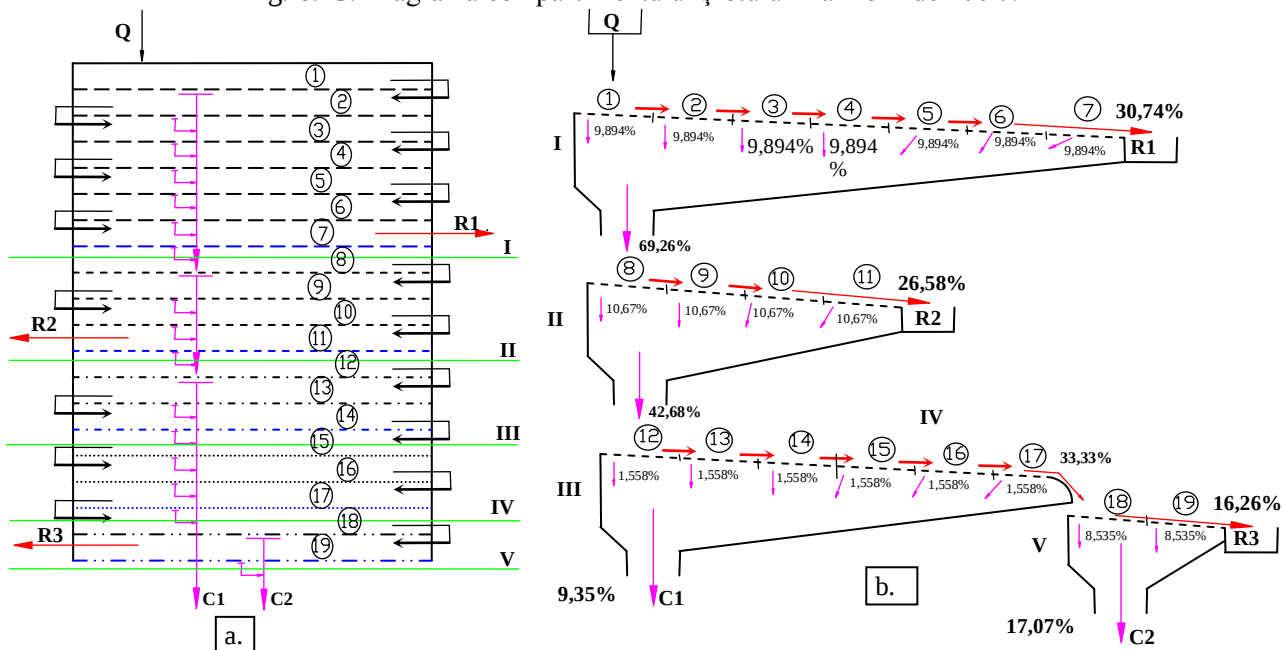


Fig. 6.16. Schema interioară a compartimentului de sită plană analizat (a) și schema de calcul pentru coeficienții de extracție pe rame și pe pachete la același compartiment de sită plană (b)

Cunoscând debitele de material care intră la fiecare compartiment de sită plană, precum și debitele fiecărei fracții de material care se separă la compartimentul respectiv (apreciate prin ieșirile acestuia), se pot determina coeficienții de extracție pe pachete și pe compartimente.

În lucrarea [175] am publicat un algoritm de calcul pentru coeficienții de extracție pe pachete și pe rame la primul compartiment de sită plană din faza de șrotare a unei unități de morărit de 100 t/24 h Spicul Roșiori. Diagrama acestui compartiment fiind prezentată în fig. 6.15. În acest scop au fost prelevate probe de pe fluxul tehnologic al unității și au fost determinate debitele la intrarea în compartiment și la cele cinci ieșiri. În fig. 6.16 este prezentată schema interioară a compartimentului și schema de calcul pentru coeficienții de extracție.

Din fig. 6.15 se observă că primul compartiment de sită plană al unității de morărit analizate este format din 5 pachete de rame. Primul pachet are șapte rame de sită numărul 20 (cu latura orificiului de 1050 μm) și al doilea pachet - patru rame numărul 40 (orificiul cu latura de 470 μm). Pachetele III și IV au câte trei rame de cernere pentru separarea făinii, pachetul III conține rame numărul IX (cu dimensiunea unui orificiu de 170 μm), iar pachetul IV conține rame numărul X (cu dimensiunea unui orificiu de 150 μm). Ultimul pachet, pachetul V, are două rame cu țesătură metalică numărul 56 (orificiul fiind de 310 μm). În cadrul pachetelor ramele lucrează consecutiv, iar în cadrul compartimentului primele trei pachete lucrează în paralel, iar al treilea pachet, al patrulea pachet și al cincilea pachet lucrează consecutiv.

Potrivit datelor din tabelul 6.1, la primul pachet, pe cele șapte rame, se cern 69,26% din material, iar 30,74% se constituie în refuzul R1. La pachetul II din 69,26% material se cern 42,68%, iar 26,58% se constituie în refuzul R2. La pachetul III și IV, din cele 42,68% care ajung, 9,35% constituie cernutul C1, iar refuzul acestor 2 pachete, 33,33%, ajunge pe pachetul V, unde 16,26% este evacuat ca refuz R3, în timp ce 17,07% constituie cernutul C2.

Tabelul 6.1. Debitele la intrare (Q) și la cele 5 ieșiri (R1,R2,R3,C1,C2) ale compartimentului de sită plană

Fracția de măcinș	Q	R1	R2	R3	C1	C2
Cantitatea de măcinș, [g]	7294,6 g (100%)	2242,6 g (30,74%)	1939 g (26,58%)	1186,4 g (16,26%)	681,7 g (9,35%)	1244,9 g (17,07%)

Notațiile din fig. 6.16,a au următoarea semnificație:

Q – debitul de alimentare al compartimentului de sită plană al unității analizate, egal cu cantitatea de măcinș care iese din moara cu cilindri

R1 – primul refuz al compartimentului de sită plană și este acea fracție de măcinș cu diametrul particulei mai mare de 1050 μm care va ajunge la pasajul de șrotare 2 pentru o nouă mărunțire;

R2 – al doilea refuz al compartimentului de sită plană, fracție care va ajunge la un compartiment de divizare-sortare;

R3 – al treilea refuz al compartimentului de sită plană, fracție care va ajunge la un compartiment de divizare-sortare;

C1 – primul cernut al compartimentului de sită plană, care reprezintă o făină de calitate a doua;

C2 – al doilea cernut al compartimentului de sită plană, reprezentând un dust care este direcționat către un pasaj tehnologic de măcinare.

În analiza efectuată s-a considerat că ramele unui pachet nu cern toate în mod egal, și că procentul de material cernut în cadrul fiecărui pachet urmărește o distribuție exponențială, procentul de material cernut scăzând de la prima la ultima ramă a pachetului.

Astfel, relația care exprimă debitul de material refuzat de un pachet este următoarea, [175]:

$$R_i = Q_i \cdot e^{-b \cdot L} \quad (6.34)$$

în care: R_i este refuzul pachetului i ; Q_i – debitul de material care alimentează pachetul i ; L – lungimea totală a ramelor pachetului (care este suma lungimilor ramelor pachetului analizat – $L=n \cdot l$; l – lungimea unei rame); b – exponent (coeficient de neuniformitate la alimentare).

Cunoscând lungimea unei rame și cantitățile de material Q_i și R_i se poate determina coeficientul b pentru fiecare pachet, utilizând relația, [175]:

$$b = -\frac{1}{L} \cdot \ln \left(\frac{R}{Q_i} \right) \quad (6.35)$$

Astfel, la pachetul III, cele trei rame de făină (numărul IX) au dimensiunile ochiurilor de 170 μm , iar la pachetul IV ramele de făină numărul X au dimensiunile ochiurilor de 150 μm . Se poate scrie, deci raportul dimensiunilor:

$$C_{III} = C \cdot \frac{170}{150+170} = 0,531 \cdot C \quad ; \quad C_{IV} = C - C_{III} = 0,469 \cdot C \quad (6.36)$$

unde: C este cernutul total al celor două pachete cu rame de făină (III și IV); $C_{III} + C_{IV} = C$.

În concluzie, pe pachetul III se apreciază că se cerne 53,1% din cernutul C (al celor două pachete), iar pe pachetul IV se cerne 46,9% din întregul cernut.

Cunoscând relația de calcul pentru refuzul fiecărei rame, procentele pentru refuzurile R1, R2, R3, procentele pentru cernuturile C1 și C2, se pot determina coeficienții de extracție pe pachete și pe rame pentru compartimentul de sită plană utilizând ipoteza că măcișul nu este cernut în mod egal de fiecare ramă.

1. Pentru pachetul I

a. Având în vedere cele prezentate anterior, pe baza datelor experimentale se poate calcula coeficientul de neuniformitate la alimentare al ramelor, b, din relația refuzului R1:

$$R1 = Q \cdot e^{-b_I \cdot 7l} \Rightarrow \frac{R1}{Q} = e^{-b_I \cdot 7l} \Rightarrow \ln\left(\frac{R1}{Q}\right) = -b_I \cdot 7l \Rightarrow b_I = -\frac{1}{7l} \cdot \ln\left(\frac{R1}{Q}\right) \quad (6.37)$$

b. Cunoscând exponentul b_I se determină relația de calcul a refuzurilor fiecărei rame.

$$R_{I,i} = Q_{I,i} \cdot e^{-b_I \cdot i \cdot l} = Q_{I,i} \cdot e^{-\left[-\frac{1}{7l} \ln\left(\frac{R1}{Q}\right)\right] \cdot i \cdot l} = Q_{I,i} \cdot e^{\frac{i}{7} \ln\left(\frac{R1}{Q}\right)} \quad (6.38)$$

unde $i = 1 \div 7$.

c. În continuare, debitele de alimentare a ramelor pachetului și cernuturile acestora, se determină cu relația:

$$Q_{I,i} = R_{I,i-1} \Rightarrow P_{I,i} = Q_{I,i} - R_{I,i} \quad (6.39)$$

unde $Q_{I,1} = Q$ și $i = 1 \div 7$.

d. Cunoscând debitele de alimentare și cernuturile ramelor se pot scrie relațiile pentru coeficienții de extracție pe fiecare ramă:

$$\eta_{I,m} = \begin{cases} \frac{P_{I,1}}{Q_{I,1}}, & \text{dacă } m = 1 \\ \frac{P_{I,m}}{Q_{I,1} - \sum_{i=1}^{m-1} P_{I,i}} = \frac{P_{I,m}}{R_{I,m-1}}, & \text{dacă } m \geq 2 \end{cases} \quad (6.40)$$

unde $m = 1 \div 7$ și $i > 1$.

e. Cunoscând coeficienții de extracție ai ramelor se calculează coeficientul de extracție al pachetului:

$$\begin{aligned} \eta_I &= \sum_{1 \leq i_1 \leq 7} \eta_{i_1} - \sum_{1 \leq i_1 < i_2 \leq 7} \eta_{i_1} \cdot \eta_{i_2} + \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < i_3 \leq 7} \eta_{i_1} \cdot \eta_{i_2} \cdot \eta_{i_3} - \\ &- \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < i_3 < i_4 \leq 7} \eta_{i_1} \cdot \eta_{i_2} \cdot \eta_{i_3} \cdot \eta_{i_4} + \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < i_3 < i_4 < i_5 \leq 7} \eta_{i_1} \cdot \eta_{i_2} \cdot \eta_{i_3} \cdot \eta_{i_4} \cdot \eta_{i_5} - \\ &- \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < i_3 < i_4 < i_5 < i_6 \leq 7} \eta_{i_1} \cdot \eta_{i_2} \cdot \eta_{i_3} \cdot \eta_{i_4} \cdot \eta_{i_5} \cdot \eta_{i_6} + \\ &+ \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < i_3 < i_4 < i_5 < i_6 < i_7 \leq 7} \eta_{i_1} \cdot \eta_{i_2} \cdot \eta_{i_3} \cdot \eta_{i_4} \cdot \eta_{i_5} \cdot \eta_{i_6} \cdot \eta_{i_7} = \\ &= \sum_{k=1}^7 (-1)^{k-1} \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < i_3 < i_4 < i_5 < i_6 < i_7 \leq 7} \eta_{i_1} \cdot \eta_{i_2} \cdot \eta_{i_3} \cdot \eta_{i_4} \cdot \eta_{i_5} \cdot \eta_{i_6} \cdot \eta_{i_7} \end{aligned} \quad (6.41)$$

unde $\eta_{i_1} = \eta_{I,1}$, $\eta_{i_2} = \eta_{I,2}$, $\eta_{i_3} = \eta_{I,3}$, $\eta_{i_4} = \eta_{I,4}$, $\eta_{i_5} = \eta_{I,5}$, $\eta_{i_6} = \eta_{I,6}$ și $\eta_{i_7} = \eta_{I,7}$.

Pentru celelalte patru pachete se procedează în mod similar.

6.4.2. Cu luarea în considerare a cernutului blocat în refuz (cernere incompletă)

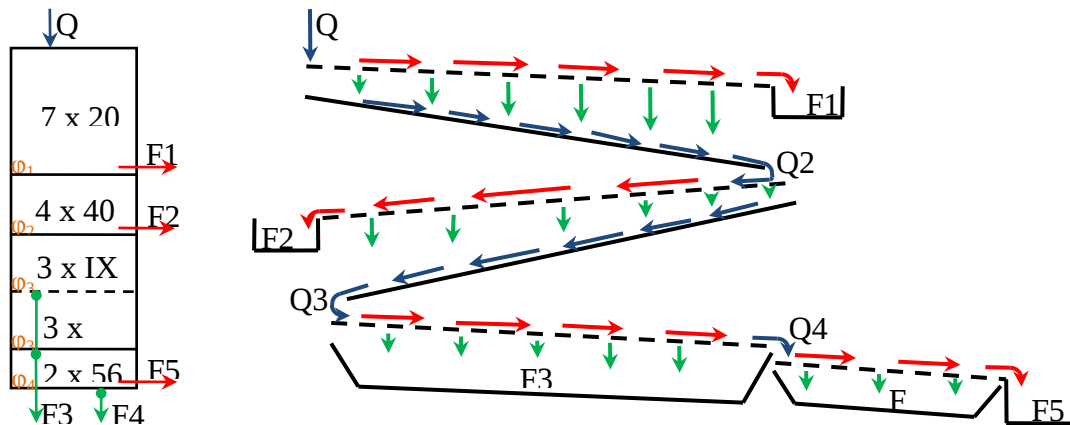


Figura 6.17. Schema interioară a compartimentului de sită plană analizat și schema de calcul pentru precizia de sortare

În această situație:

Q – debitul de alimentare al compartimentului de sită plană al unității analizate, egal cu cantitatea de măcinș care iese de la moara cu cilindri;

Q_2 – debitul de alimentare al pachetului 2 (cantitatea de material ce s-a separat prin orificiile ramelor pachetului 1);

Q_3 – debitul de alimentare al pachetului 3 (cantitatea de material ce s-a separat prin orificiile ramelor pachetului 2);

Q_4 – debitul de alimentare al pachetului 5 (cantitatea de material ce a fost refuzată de ramele pachetelor 3 și 4);

F_1 – (primul refuz al compartimentului de sită plană) este alcătuit din particule cu dimensiunea mai mare decât orificiile țesăturii primului pachet ($1050 \mu m$) dar și din subfracții care ar fi trebuit să se separe dar nu s-au separat; această fracție va ajunge la pasajul de șrotare 2 pentru o nouă mărunțire;

F_2 – (al doilea refuz al compartimentului de sită plană) ca și F_1 este alcătuit și din subfracții, fracție care va ajunge la un compartiment de divizare-sortare;

F_3 – (primul cernut al compartimentului de sită plană) singura fracție separată în acest compartiment ce nu conține particule din celelalte fracții; ea reprezintă o făină de calitate a doua;

F_4 – (al doilea cernut al compartimentului de sită plană), reprezentând un dunst care este direcționat către un pasaj tehnologic de măcinare; este alcătuită și din subfracții.

F_5 – (al treilea refuz al compartimentului de sită plană), fracție care va ajunge la un compartiment de divizare-sortare; de asemenea, este alcătuită din subfracții.

Q reprezintă debitul specific total ce alimentează compartimentul de sită plană C_1 și poate fi calculat cu relația:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (6.64)$$

Mărimile q_1 , q_2 , q_3 , q_4 și q_5 sunt debite specifice fiecărei fracții, exprimate în (g/s), și pot fi calculate cu relațiile, pe baza datelor din tabelul 6.1:

$$\begin{aligned} q_1 &= 0,3074 \cdot Q \\ q_2 &= 0,2658 \cdot Q \\ q_3 &= 0,0935 \cdot Q \\ q_4 &= 0,1707 \cdot Q \\ q_5 &= 0,1626 \cdot Q \end{aligned} \quad (6.65)$$

Indicele de separare este definit ca fiind raportul dintre masa componentelor din fracția „i” ale căror dimensiuni se încadrează în limitele impuse de fracția respectivă, m_i , și masa totală de material din fracția considerată, m și poate fi calculată cu relația:

$$P_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, (\%) \quad (6.66)$$

În analiza noastră am considerat că intensitatea separării în cadrul fiecărui pachet urmărește

o distribuție exponențială și poate fi exprimată prin coeficientul:

$$\varphi_i = e^{-\mu_i \cdot L_i} \quad (6.67)$$

în care: μ_i – coeficienți de separare pentru ramele pachetului „i”, L_i – lungimea totală a ramelor din pachetul „i”.

Cantitatea de material din categoria „i” care nu se separă prin sită este calculată cu relația:

$$q_{iL} = \varphi_i \cdot q_i, \quad (6.68)$$

iar produsele separate prin cernere pe pachetul „i” pot fi calculate cu relația:

$$\Delta q_i = q_i \cdot q_{iL} = q_i(1 - \varphi_i) \quad (6.69)$$

Inițial se calculează intensitatea separării pentru fiecare pachet de rame în parte, astfel:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= e^{-\mu_1 \cdot L_1} \\ \varphi_2 &= e^{-\mu_2 \cdot L_2} \\ \varphi_3 &= e^{-\mu_3 \cdot L_3} \\ \varphi_4 &= e^{-\mu_4 \cdot L_4} \end{aligned} \quad (6.70)$$

Coeficienții de separare pot fi calculați cu relația:

$$\mu_i = \frac{x_i}{Q}, \quad (6.71)$$

unde: x_i – toate cantitățile cu dimensiuni mai mici decât orificiile sitei pachetului „i” care ar trebui să se cearnă dar nu se cern datorită (poate fi scos prin interpolare din tabelele de analiză granulometrică), Q – debitul specific ce alimentează întregul compartiment de sită plană.

Având în vedere cele prezentate anterior, pe baza datelor experimentale se poate calcula precizia de sortare pentru fiecare pachet din cadrul compartimentului de sită plană C1. Pentru a ușura urmărirea algoritmului de calcul pentru precizia de sortare, pachetele 3 și 4 au fost grupate, cernutul acestora fiind recoltat împreună (cernutul F3), iar refuzul acestora alimentând ramele pachetului 5 al compartimentului de sită plană.

1. Frația F1

a. Se determină componența fracției F1 utilizând schema de calcul din fig. 6.17.

$$F_1 = q_1 + (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \cdot \varphi_1 \quad (6.72)$$

Fracțiile F2, F3, F4 și F5, teoretic, ar trebui să fie cernute în totalitate pe ramele pachetului 1, dar datorită stratificării măcinșului pe sită, o parte din acestea ajunge în componența fracției F1. Acea parte, matematic, se scrie ca fiind suma debitelor specifice fiecărei fracții înmulțită cu intensitatea de separare a ramelor pachetului 1 ($(q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \cdot \varphi_1$).

b. Se calculează indicele de separare pentru fracția F1:

$$P_1 = \frac{q_1}{F_1} \cdot 100, (\%) \quad (6.73)$$

c. Se determină debitul de material cernut la pachetul 1, debit ce alimentează ramele pachetului 2:

$$Q_2 = (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \cdot (1 - \varphi_1) \quad (6.74)$$

Debitul Q_2 reprezintă suma debitelor specifice ale fracțiilor F2, F3, F4 și F5, fără acea parte din fracțiile respective ce nu a reușit să se separe prin cernere la ramele pachetului 1 și a ajuns în componența fracției F1.

6.5. Utilizarea funcțiilor de distribuție granulometrică pentru estimarea debitelor de refuzuri și cernuturi ale pachetelor de rame din compartimentele de sită plană

Funcțiile de distribuție granulometrică pot fi utilizate și pentru estimarea debitelor de cernuturi și refuzuri ale pachetelor de rame, acest lucru fiind prezentat în acest subcapitol.

6.6. Îmbunătățirea dimensională a mecanismului de acționare utilizând un program de analiză asistată de calculator

Studiul de îmbunătățire dimensională a mecanismului de acționare a fost efectuat în programul de proiectare tridimensională parametrizată Solid Works Premium 2013 S.P. 3.0. în primă fază a fost modelat parametrizat fiecare piesă componentă a mecanismului de acționare a sitei plane, vezi fig. 6.23, și au fost asamblate prin introducerea de relații geometrice între entitățile pieselor.

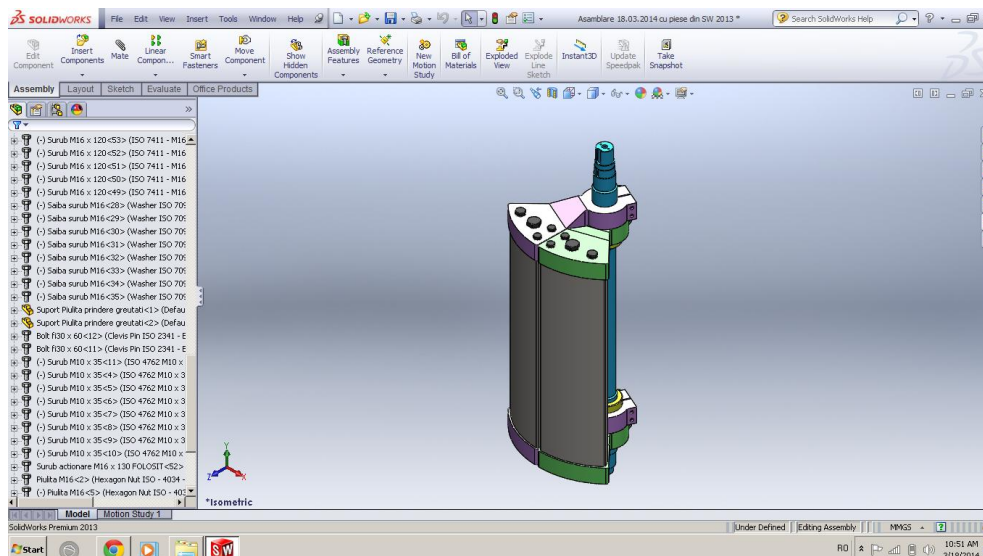


Fig. 6.23. Interfața grafică a programului Solid Works utilizat pentru proiectarea parametrizată a mecanismului de acționare

Apoi, ansamblul a fost introdus în modulul de analiză dinamică Motion Study din programul SolidWorks pentru a simula dinamica acestuia. După stabilirea setărilor legate de mișcarea materialului pe site și de motorul de acționare a fost efectuată simularea.

Stabilind momentele de timp la care apar solicitările maxime din arbore, s-a putut trece la analiza cu elemente finite a acestuia, în modulul „Simulation” al programului Solid Works pentru momentul de timp stabilit. În acest modul s-a făcut o analiză statică cu elemente finite, încărcările pe piese fiind importate din modulul de analiză a dinamicii (Motion Study). Totodată, a fost calculat și un calcul analitic pentru determinarea deformației arborelui mecanismului de acționare dar și a tensiunii din el în timpul funcționării, acest calcul fiind efectuat pentru a putea compara datele obținute la simulare.

În fig. 6.33 este prezentat rezultatul pentru tensiunea echivalentă Von Mises din arbore, iar în fig. 6.34 este prezentat scalat modul în care se deformează arborele sub acțiunea solicitărilor maxime.

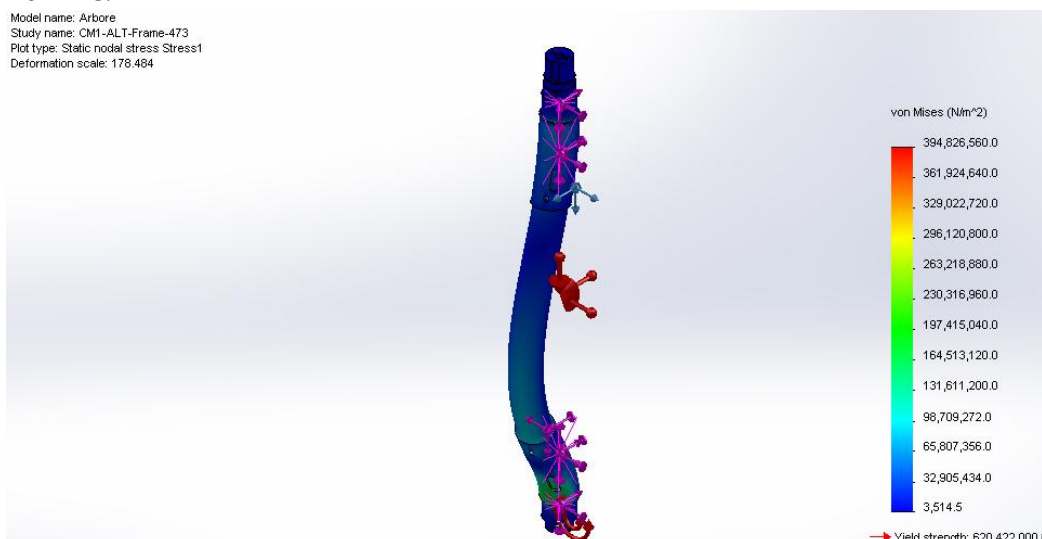


Fig. 6.33.
Tensiunea echivalentă Von Mises din arborele mecanismului de acționare la SPP-420

Din fig. 6.33 se poate observa că tensiunea echivalentă din arbore are valori între 65 și 98 MPa ceea ce se încadrează în valorile obținute la calculul analitic. Se menționează că în cazul calculului analitic s-au făcut ipoteze simplificatoare, iar în cazul analizei cu elemente finite a fost analizat modelul nesimplificat. Punctual a apărut însă un concentrator de tensiuni (în zona razei de racordare dintre două trepte ale arborelui) în care tensiunea echivalentă atinge valoarea maximă de 394 MPa, aflată însă sub limita de elasticitate. Creșterea razei de racordare va avea ca efect reducerea acestei tensiuni maxime.

Se observă (fig. 6.34) că deformarea maximă de 0,79 mm corespunde cerințelor de rezistență materialelor care impun ca aceasta să fie de maxim $L/2000$, unde L este lungimea totală a arborelui, arborele analizat având lungimea totală de 1450 mm. De asemenea, se poate spune că se corelează și cu valoarea obținută la calculul analitic (1,07 mm), simplificatoare conform căreia arborele are un diametru constant de 80 mm.

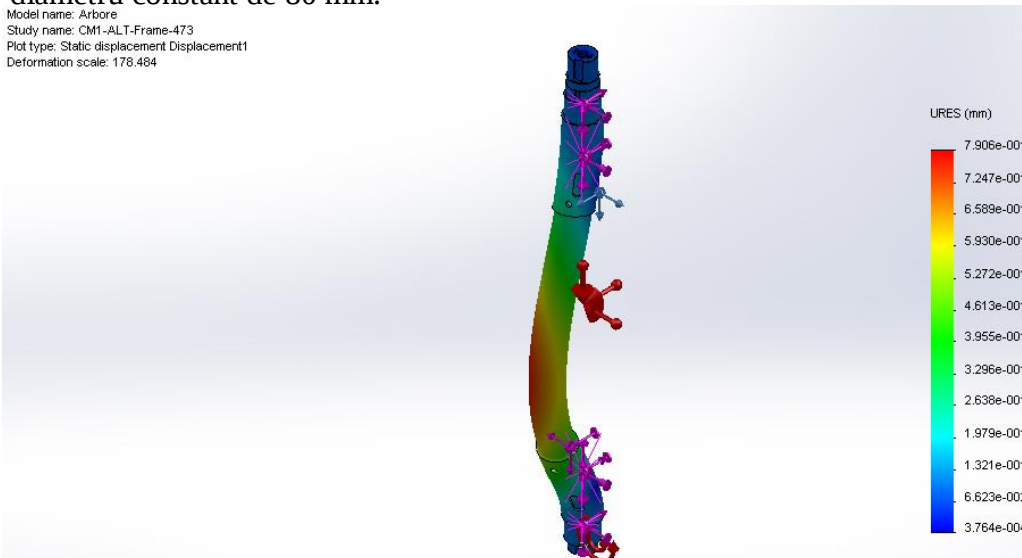


Fig. 6.34.
Deplasarea
arborelui
mecanismului de
acționare la SPP-
420

Astfel, în condițiile date, s-a considerat că îmbunătățirea dimensională trebuie făcută în sensul reducerii tensiunii echivalente din arbore. În acest scop, în modulul „Design Study”, s-au selectat cotele care pot fi variabile, în cazul de față cotele de lungime ale treptelor (superioare și inferioare) de pe arbore pe care sunt fixate suporturile pentru contragreutăți dar și raza de 40 mm a treptei centrale, dintre cele două trepte de care se face prinderea

De asemenea, constrângerile setate au fost: masa arborelui – monitorizată; deplasarea – valoare maxima de 0,8 mm. Obiectivul studiului consta in minimizarea tensiunii echivalente Von Mises.

După precizarea tuturor parametrilor și setărilor, programul utilizat a stabilit 180 de scenarii posibile, obținute prin combinarea celor 3 cote variabile în domeniile impuse și luând în considerare pasul setat.

După rularea simulării programul a stabilit combinația optimă dintre valorile celor trei cote variabile, ținând cont de constrângeri și de obiectivul declarat.

În fig. 6.36 este prezentat un extras din rezultatele simulării. Se poate observa că, în condițiile simulării, programul utilizat sugerează a fi păstrate neschimbate cotele pentru raza treptei mediane a arborelui mecanismului de acționare (40 mm) și pentru lungimea treptei inferioare de care se face prinderea contragreutăților. În schimb, pentru reducerea tensiunilor echivalente, se sugerează ca treapta superioară să fie modificată la o lungime de 282 mm (de la 247 mm, cât era inițial).

		Current	Initial	Optimal (30)	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7
Raza		40mm	40mm	40mm	40mm	20mm	25mm
Isus		282mm	247mm	282mm	247mm	254mm	254mm
Ljos		242mm	242mm	242mm	242mm	242mm	242mm
Mass1	Monitor Only	57853.5 g	57493.6 g	57853.5 g	57493.6 g	38809 g	42335.5 g
Displacement1	(0mm ~ 0.8mm)	0.79313mm	0.79056mm	0.79313mm	0.79056mm	1.15176mm	1.08577mm
Stress1	Minimize	367.83 N/mm^2	394.83 N/mm^2	367.83 N/mm^2	394.83 N/mm^2	587.36 N/mm^2	519.93 N/mm^2

Fig. 6.36.
Rezultatele
simulării
pentru
îmbunătățirea
dimensională

Pentru asigurarea siguranței în funcționare se recomandă efectuarea unui calcul la oboseală ciclică a modelului nou obținut cu datele obținute în cadrul studiului de optimizare.

De asemenea, pentru micșorarea momentului de încovoiere se recomandă ca suporturile pentru contragreutăți să fie montate cât mai aproape de cei doi rulmenți oscilanți. Reducând astfel brațul forței, momentul va fi preluat de lagăre.

Studiul prezentat poate fi util constructorilor de utilaje în industria morăritului, ca metodologie de proiectare, analiză dinamică, analiză cu element finit și optimizare dimensională a diferitelor părți constructive.

6.7. Propuneri de modele matematice care apreciază procesul de cernere

În acest subcapitol sunt prezentate diferite legi de distribuție granulometrică, preluate din statistica matematică, ce pot fi utilizate cu bune rezultate pentru distribuția granulometrică a fracțiilor de măcinș sortate în cadrul compartimentelor de site plane. Dintre acestea sunt enumerate Rosin-Rammler, Schuhman, log-normală, logistic cu doi parametri, ș.a., prezentate exact în această ordine mai jos.

$$T(x) = 100 \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot x^\beta}\right); T(x) = 100 \cdot \left(1 - \frac{x}{\alpha}\right)^\beta; T(x) = \frac{\alpha}{x} \cdot e^{-\beta(\ln x - \gamma)^\beta}; T(x) = 100 \cdot \frac{e^{\alpha + \beta x}}{1 + e^{\alpha + \beta x}}$$

6.8. Concluzii privind contribuțiile teoretice

1. Acționarea sistemului printr-un arbore cu două excentrice a simplificat construcția mecanismului de acționare și a eliminat din componența utilajului contragreutățile care au fost înlocuite prin alte două corpuri de sită plană, crescând astfel suprafața de cernere a unui singur utilaj (care are în construcție patru compartimente). Prin dispunerea corespunzătoare a jugurilor de fixare a blocurilor de site și a suportilor elastici acestea se echilibrează reciproc și funcționarea devine mai sigură.

2. Utilizând algoritmul de calcul pentru determinarea debitelor cu funcțiile de distribuție granulometrică se poate determina relația (legătura) dintre valorile refuzurilor și cernuturilor fiecărei rame dintr-un pachet al unui compartiment de sită plană pentru a se stabili distribuția procentului de material cernut de la prima până la ultimă ramă a pachetului.

3. Utilizarea funcțiilor granulometrice pot fi utile pentru aprecierea teoretică a debitelor de cernuturi și refuzuri, însă în cazurile reale valorile sunt ușor diferite datorită regimului funcțional al sitelor plane, dar și caracteristicilor constructive ale acestora.

4. Pe baza modelelor matematice propuse în literatura de specialitate pentru distribuția materialului cernut pe site cu mișcare de oscilație, în lucrarea [175] am propus o distribuție de tip exponențial presupunând că ramele unui pachet ar fi dispuse una după alta. Este posibil ca această distribuție să urmeze o altă lege dar pentru aceasta sunt necesare determinări experimentale pe fluxul de material al oricărui compartiment de sită plană.

5. Cunoașterea metodei de calcul a coeficienților de extracție este importantă pentru specialiștii din industria morăritului pentru aprecierea rapidă a randamentului cernuturilor sitei plane, precum și pentru proiectanți. Astfel, se poate utiliza cu încredere algoritmul de calcul pentru coeficienții de extracție propus.

CAPITOLUL 7

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CARACTERISTICILE GRANULOMETRICE ȘI PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE FRAȚIILOR DE MĂCINIȘ PE FLUXUL TEHNOLOGIC AL UNEI UNITĂȚI DE MORĂRIT

7.1. Obiectivele cercetărilor experimentale

Cercetările experimentale, efectuate în cadrul tezei de doctorat, cu privire la caracteristicile fizice și granulometrice ale produselor de măcinș obținute pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit, au avut ca **obiectiv principal** studiul modificărilor granulometrice și fizice suferite de

semințele de grâu pe traseul parcurs de acestea pe întreg fluxul tehnologic, prin trecerea de la un pasaj tehnologic la altul al unității de morărit.

7.2. Metodica determinărilor experimentale si materialele utilizate

Pentru realizarea cercetărilor experimentale privind determinarea caracteristicilor produselor de măcinș dintr-o unitate de morărit, au fost efectuate deplasări la Societatea Comercială "Spicul" S.A. Roșiori de Vede, la secția de măcinare a acesteia. Au fost extrase probe de material (șroturi, grișuri mari, mijlocii, mici, dunsturi, produse tărătoase) atât de la intrarea cât și de la fiecare ieșire a compartimentelor de sită plană (aproximativ 200...250 g pentru fiecare probă), în pungi de plastic pentru uz alimentar. Produsele de măcinș au fost obținute din semințe de grâu de panificație din soiuri cultivate în zona de Sud-Est a României din producția anilor 2009 și 2011.

7.2.1. Analiza fazei de șrotare la unitatea de morărit Spicul Roșiori

7.2.2. Analiza fazei de măcinare la unitatea de morărit Spicul Roșiori

În aceste două subcapitole au fost prezentate cele două diagrame tehnologice ale fazelor de șrotare și de măcinare din unitatea de morărit analizată. unitatea de morărit Spicul Roșiori de Vede dispune de două site plane cu șase compartimente pentru cernerea și sortarea pe fracții a amestecurilor de măcinșuri obținute în cele două faze de mărunțire a semințelor de grâu

7.3. Aparatura de cercetare pentru determinarea caracteristicilor măcinșurilor

În vederea realizării cercetărilor experimentale asupra caracteristicilor granulometrice și fizice ale produselor intermediare de măcinș au fost folosite următoarele instrumente și aparate de lucru: balanța electronică Kern, clasificatorul cu site model Analysette 3 Spartan, clasificator VIPO, pahar Berzelius de laborator cu volumul de 200 cm³, cilindru gradat, picnometru de 25 ml cu tub capilar, aparat cu cilindru pentru determinarea unghiului de taluz natural, dispozitivul înclinat pentru determinarea coeficientului de frecare static.

7.4. Cercetări privind proprietățile granulometrice ale măcinșurilor

7.4.1. Variația caracteristicilor granulometrice ale măcinșurilor în faza de șrotare la o moară de 100t/24h

Dimensiunile orificiilor sitei utilizate la experimentări și ponderea fracțiilor de material pe fiecare sită (individual și cumulativ pentru materialul separat) sunt prezentate în tabelele 7.2, a și b

Tabelul 7.2.a Valorile ponderilor p_i (%) ale fracțiilor de pe sitele compartimentelor de cernere și ale ponderilor cumulative T_i (%) pentru produsele mărunțite colectate la intrări și la cele 5 ieșiri ale celor 5 compartimente de cernere C1, C2, C3, C4 și C6 precum și la intrarea în divizor (C5) și cele 4 ieșiri din acesta, pentru grâu din producția anului 2009.

	m	C1 Intrare	m	C1 Break 2	m	C1 DIV1'	m	C1 F	m	C1 DIV1''	m	C1 M2
	(mm)	p(%)	T(%)	(mm)	P (%)	T(%)	(mm)	p(%)	T(%)	(mm)	p(%)	T(%)
0	0,000	24,20	0,00	0,000	10,20	0,00	0,000	1,10	0,00	0,000	4,20	0,00
1	1,000	8,20	24,20	1,000	21,30	10,20	0,180	2,30	1,10	0,045	45,10	4,20
2	1,400	15,10	32,40	1,400	14,60	31,50	0,250	5,00	3,40	0,063	24,30	49,30
3	2,000	20,20	47,50	2,000	21,60	46,10	0,400	51,70	8,40	0,090	18,80	73,60
4	2,800	27,10	67,70	2,500	20,70	67,70	0,630	28,60	60,10	0,125	6,30	92,40
5	4,000	5,20	94,80	4,000	11,60	88,40	0,710	11,30	88,70	0,160	1,30	98,70
	d_m	$d_{IE}=2,13$ mm		$d_{IBreak2}=2,27$ mm			$d_{IDIV1'}=0,58$ mm			$d_{IF} = 0,08$ mm	$d_{IDIV1''}=0,31$ mm	$d_{IM2} = 0,19$ mm

După cum se observă din analiza datelor din tabelele 7.2, la fiecare fracție există un procent de material care are dimensiuni sub latura (deschiderea) orificiului țesăturii ramei de cernere, ceea ce înseamnă că cernerea este incompletă, chiar dacă numărul ramelor este destul de mare. Totuși, dimensiunea medie a particulelor fracției C1 Break 2 este de 2.27 mm pentru grâul mărunțit din producția anului 2009 și de 1,76 mm pentru cel din producția anului 2011, mult mai mari decât deschiderea orificiilor sitelor pachetului respectiv (1.05 mm). Aceasta arată că aici se obțin părți ale seminței cu dimensiuni destul de mari care trebuie reintroduse în procesul de mărunțire la pasajul Break 2.

La al doilea pachet de rame de cernere al compartimentului de sită plană C1, deschiderea orificiilor țesăturii este de 470 μm (nr. 40), dar dimensiunea medie a particulelor fracției C1-DIV1'

este de 0.58 mm – 2009 și 0,55 mm - 2011, deci cu puțin mai mare decât deschiderea orificiilor. Se observă că și aici sunt particule cu dimensiuni mai mici decât mărimea orificiilor rămase neseperate (cel puțin un procent de 8.4%). Acest fenomen este valabil pentru toate pachetele de site din cadrul compartimentelor sitei plane, așa cum se poate vedea din analiza rezultatelor prezentate în tabelele 7.2. Componenta fracției C1-DIV1” a compartimentului de sită plană C1 este alcătuită din refuzul ramelor de sită nr. 56 (cu deschiderea orificiilor 0.31 mm), după ce din cernutul pachetului al doilea (constituit din particule care au trecut prin sita nr. 40 (cu deschiderea orificiilor 0.47 mm) a fost extrasă făina F (cu particule de dimensiuni medii 0.08 mm – 2009 și 0,10 mm - 2011). Această fracție împreună cu fracția C1-DIV1’ și cu cele două fracții C2-DIV1 ale celui de-al doilea compartiment de sită plană sunt dirijate împreună către compartimentul de sortare-divizare DIV1 (compartimentul C5). Dimensiunile medii ale particulelor fracției DIV1”, de la compartimentul C1, sunt de 0.31 mm - 2009 (egală cu cea a deschiderii orificiilor sitei care le-a refuzat, demonstrând că și aici cernerea este incompletă) și 0,29 mm – 2011 (ceea ce indică o cernere și mai incompletă decât în cazul grâului mărunțit din producția anului 2009).

Este de remarcat, totuși, că ultimele componente ale compartimentelor de sită plană la pasajele de șrotare au un conținut mai ridicat de particule de înveliș care se situează în straturile superioare ale materialului de pe rame, astfel că este recomandat ca ele să nu se separe prin orificii, chiar dacă au dimensiuni aproximativ egale cu particulele de endosperm, pentru a putea fi îndepărtate în mașinile de griș (prin mișcarea de cernere se realizează stratificarea componentelor unui amestec după densitate). Se mai poate remarca faptul că particulele de făină au dimensiuni medii sub 0.18 mm la toate compartimentele sitei plane, în timp ce particulele ultimului refuz de la cele cinci pasaje prevăzute cu perechi de cilindri de măcinare au dimensiuni medii peste 0.37 mm (vezi tabelul 7.2).

Pentru evaluarea ponderii fracțiilor formate din particule cu dimensiuni într-un domeniu fixat (conform anumitor cerințe – utile în cazul mașinilor de separare cu site, a calității produsului, a evaluării consumului de energie, ș.a.), și pentru estimarea valorilor mărimilor din modelele matematice de calcul a energiei necesare operației de cernere interesează cunoașterea celei mai adecvate legi a distribuției granulometrice pentru produsul mărunțit, [167].

Exprimarea matematică a distribuției granulometrice în cazul materialelor biologice mărunțite are la bază, legi bazate pe metoda statistică matematică a particulelor mici, [69,156,158,159,165,167,173].

În acest sens, în lucrarea [36], am testat valabilitatea a patru tipuri de legi de distribuție cumulată (Schuhman, Rosin-Rammler, Gauss și log-normală) pentru alegerea legii celei mai potrivite de utilizat la descrierea distribuției granulometrice reale, pentru fracțiile care sunt sortate în interiorul compartimentului de sită plană și pentru fracția ce alimentează acest compartiment, în **faza de șrotare** a fluxului tehnologic al morii cu valțuri menționată.

Cele patru tipuri de legi de distribuție granulometrică cumulativă testate sunt următoarele:

- *Distribuția de tip Rosin-Rammler*, pentru particule de material cu dimensiuni mai mari decât orificiile sitei, se exprimă prin relația:

$$T(x) = 100 \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot x^\beta} \right) \quad (7.8)$$

unde: $T(x)$ reprezintă ponderea procentuală masică a fracției cu particule cu dimensiuni mai mici decât x (care au rămas pe sita cu orificii cu dimensiunea x); x – dimensiunea orificiilor sitei prin care nu au trecut particulele; iar b și n sunt coeficienți proprii materialului mărunțit.

unde $T(x)$ și x au semnificația de la relația (7.8), β – modulul dimensiunii particulelor produsului (dimensiunea orificiului sitei prin care trec teoretic toate particulele probei (100%)); α – modulul de distribuție.

Relația (7.9), ca și în cazul precedent, reprezintă legea de distribuție cumulativă a ponderii procentuale a fracției separate prin orificiile de dimensiune x ale sitei, în funcție de x .

Se poate constata că relația (7.9) reprezintă așa numita lege de distribuție cumulativă a ponderii procentuale a fracției separate prin orificiile de dimensiune x ale sitei, în funcție de x , [167].

- Distribuția de tip Gauss este definită prin relația:

$$T(x) = y_0 + A \cdot e^{-\frac{(x-x_c)^2}{2 \cdot w^2}} \quad (7.10)$$

unde x_c , y_0 , A și w sunt coeficienți.

- Distribuția de tip log-normală este descrisă de relația:

$$T(x) = \frac{\alpha}{x} \cdot e^{-\beta(\ln x - \gamma)^2} \quad (7.11)$$

unde α , γ și β sunt coeficienții proprii materialului mărunțit, determinați experimental.

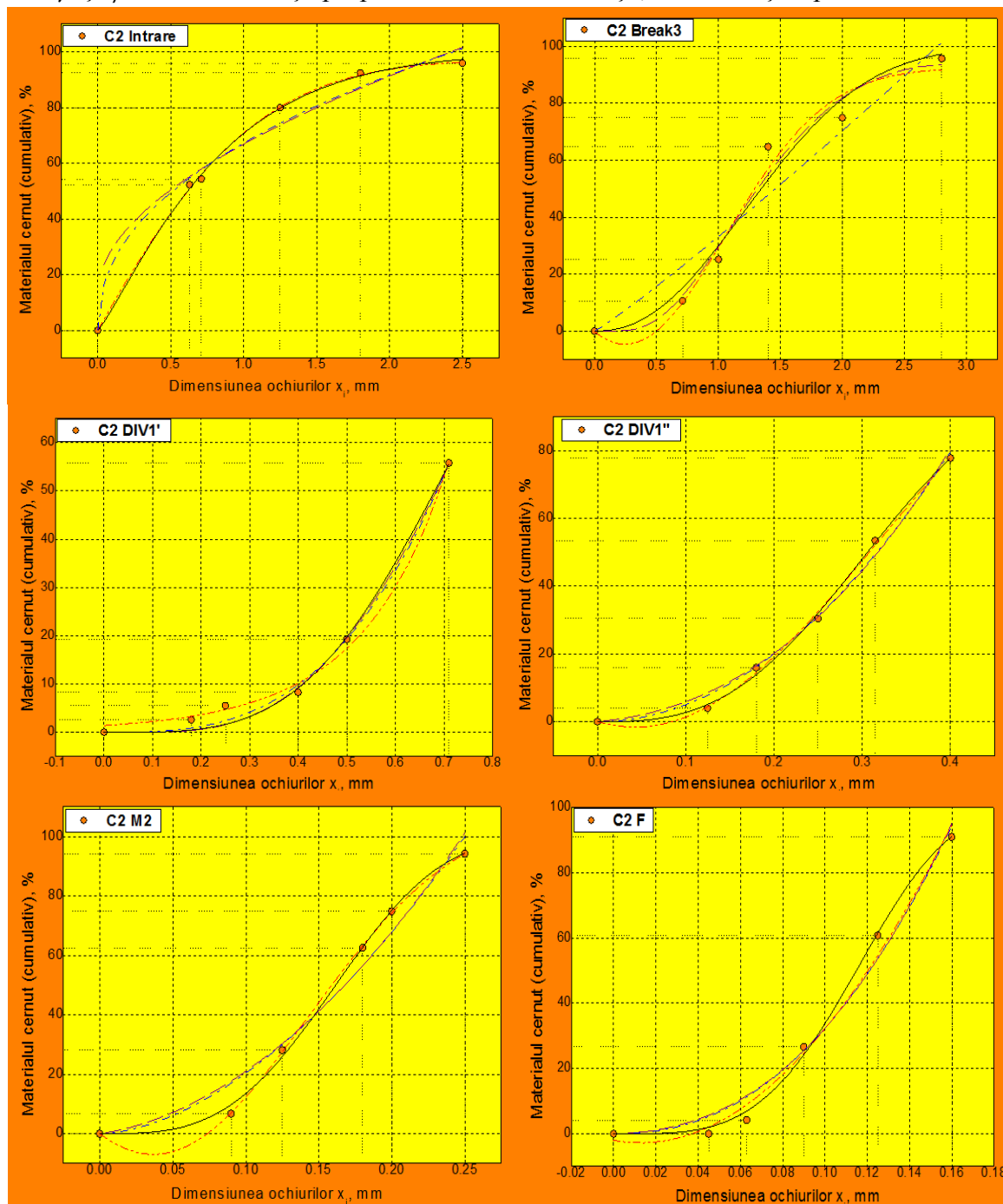


Fig. 7.12. Curbele de distribuție granulometrică date de ecuațiile (7.8 – 7.11) în corelație cu datele experimentale pentru fracțiile de măcinș din compartimentul de sită plană C2 în faza de șrotare la o moară de 4,2 t/h, pentru grâu mărunțit din producția anului 2011, [167];

(— - Rosin-Rammler; - - - - Schuhman; Log-normală; - . - . - Gauss)

- Distribuția de tip Schuhman este definită prin relația:

$$T(x) = 100 \cdot \left(\frac{x}{\alpha} \right)^{\beta} \quad (7.9)$$

Aceste patru legi de distribuție cumulativă pentru refuzul sitelor R(%) (funcția Rosin-Rammler, funcția Schuhman, funcția Gauss și funcția log-normală) au fost testate prin analiză de regresie neliniară cu ajutorul programului Microcal Origin vers.6.0.

Punctele experimentale și curbele de distribuție cumulativă pentru refuzul sitelor (R (%)), pentru cele patru tipuri funcții testate (ec. 7.8 – 7.11), sunt prezentate în fig. 7.12.

Tabelul 7.4. Valorile coeficienților α și β din ecuațiile 7.8, 7.9 și 7.11 și ale coeficienților y_0 , x_c , w și A din ecuația 7.10 precum și ale coeficientului de corelație R^2 din cele patru relații:

Legea de distribuție cumulativă	Coeficienți	C2 Entrance	C2 Break3	C2 DIV1'	C2 F	C2 M2	C2 DIV 1''
Rosin-Rammler	α	1,227	0,357	2,886	$2,387 \cdot 10^3$	265,685	21,183
	β	1,178	2,246	3,711	3,763	3,264	2,890
	R^2	0,999	0,970	0,991	0,997	0,998	0,998
	χ^2	1,891	55,945	5,075	4,517	3,573	2,034
Schuhman	α	2,439	2,766	0,862	0,164	0,250	0,448
	β	0,445	1,082	3,014	2,271	1,737	1,996
	R^2	0,984	0,926	0,99313	0,980	0,969	0,992
	χ^2	25,527	138,247	3,771	35,100	56,561	8,664
Log-normală	α	$4,639 \cdot 10^{-6}$	340,665	$12,057 \cdot 10^3$	$8,390 \cdot 10^{-12}$	$7,226 \cdot 10^{-8}$	$9,766 \cdot 10^{-6}$
	β	-0,031	1,036	0,616	-0,099	-0,100	-0,161
	γ	-23,082	1,533	2,704	-18,721	-15,395	-10,568
	R^2	0,928	0,966	0,989	0,974	0,948	0,986
	χ^2	61,489	85,314	10,674	79,118	129,315	24,110
Gauss	y_0	97,314	92,467	102,894	93,569	108,927	143,798
	x_c	-1,360	0,246	-0,762	-0,056	0,037	0,042
	w	1,196	0,812	0,725	0,962	0,209	0,284
	A	-185,709	-97,059	-82,671	-102,653	-30,481	-145,403
	R^2	0,999	0,979	0,995	0,988	0,999	0,998
	χ^2	2,628	78,722	3,356	42,856	0,602	4,172

Cele patru tipuri de legi de distribuție granulometrică aplicate în analiza de regresie sunt bazate pe metoda statistică matematică a particulelor mici pentru materiale biologice mărunțite [69,70].

Valorile coeficienților din relațiile de distribuție cumulativă Rosin –Rammler, Schuhman, Gauss și funcția log-normală, precum și valorile coeficientului de corelație R^2 (care probează gradul de adecvanță al distribuțiilor exprimate prin relațiile (7.8), (7.9), (7.10) și (7.11), corespunzătoare pentru cele șase probe analizate (fracția ce alimentează compartimentul C2 și cele cinci fracții ce sunt sortate în cadrul acestuia – fracții de măcinș obținute din mărunțirea grâului din producția anului 2011) sunt prezentate în tabelul 7.4.

Așa cum se observă din graficele din fig. 7.12, există fracții care au majoritatea particulelor cu dimensiuni către valoarea minimă a orificiilor sitelor clasificatorului, dar există și componente care au particule cu dimensiuni medii spre valoarea maximă a orificiilor sitelor utilizate în analiza granulometrică.

Alura curbelor de regresie este în corelație cu datele experimentale obținute, fiind ori concave ori convexe, sau cu punct de inflexiune central depinzând de cantitatea de material colectată pe fiecare sită a clasificatorului.

În fig. 7.13 sunt prezentate variațiile diametrelor medii ale celor 70 de fracții provenite de la grâu mărunțit din producția anilor 2009 și 2011 din faza de șrotare a morii analizate.

Din analiza și interpretarea datelor obținute pentru cele 6 probe, care provin de la intrarea și cele 5 ieșiri ale compartimentului de sită plană C2 (fig. 7.12.), se constată următoarele:

- pentru legea de distribuție Schuhman, coeficientul de corelație R^2 prezintă valori apropiate de cele obținute pentru funcția Rosin-Rammler, iar legea de distribuție log-normală prezintă valorile cele mai mici ale coeficienților dintre toate cele patru legi testate;

• coeficientul β din ecuațiile 7.8, 7.9 și 7.11 este un coeficient ce indică gradul de neuniformitate al fracțiilor de măcină. Se poate observa că valorile acestuia se încadrează într-un interval destul de restrâns pentru fiecare de lege de distribuție în parte, ceea ce înseamnă că fracțiile analizate au fost destul de uniforme, ca mărime a particulelor.

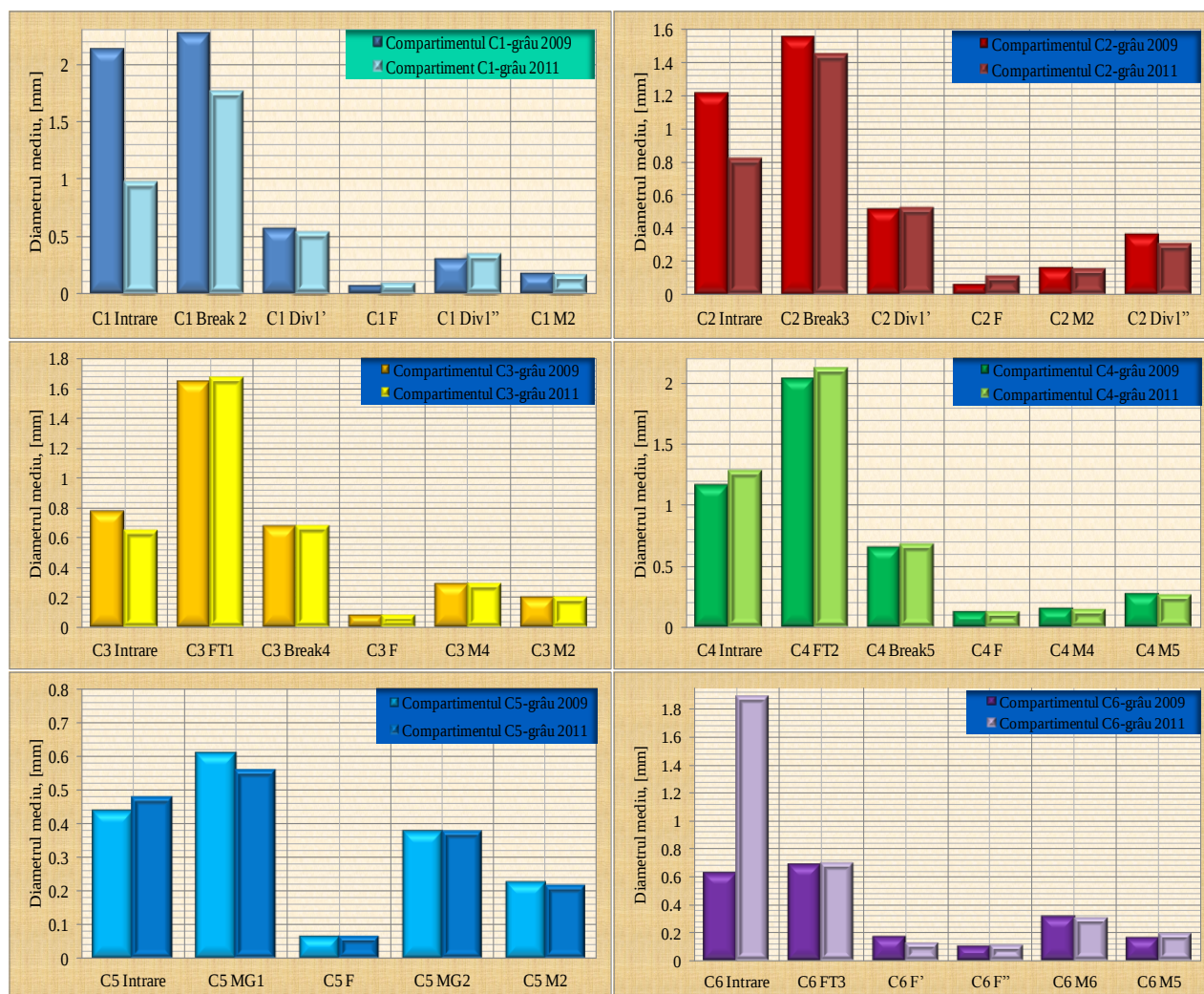


Fig. 7.13. Variația diametrului mediu pentru cele 70 de fracții din faza de șrotare (35 de fracții obținute din mărunțirea grâului din producția anului 2009 și 35 de fracții din producția anului 2011)

Din cercetările prezentate se constată că, în cazul celui de-al doilea pasaj tehnologic de șrotare al unei mori de grâu distribuția granulometrică poate fi descrisă, în toate cazurile, cu cele mai bune rezultate de legea de tip Gauss, ($R^2 \geq 0,979$).

De asemenea, se evidențiază faptul că se poate folosi cu bune rezultate și legea de distribuție de tip Rosin-Rammler, la care valorile coeficientului de corelație au fost preponderent peste valoarea $R^2 = 0,970$.

Pentru toate compartimentele de sită plană ale unei mori, din faza de șrotare a grâului este important a se cunoaște dimensiunile medii ale particulelor fracțiilor separate, distribuția după dimensiuni și compoziția fizică a acestora, deoarece ele reintră în procesul de mărunțire, iar caracteristicile constructive ale riflurilor cilindrului de măcinare, precum și parametrii funcționali ai cilindrului trebuie să fie corelate cu acestea.

Legile de distribuție granulometrică utilizate în lucrare arată o foarte bună corelație cu datele experimentale privind dimensiunile particulelor fracțiilor la intrarea și cele cinci ieșiri al compartimentului de sită plană C2 din faza de șrotare a grâului. Cunoașterea dimensiunilor medii și a distribuției după mărime, precum și a celorlalte caracteristici fizice ale particulelor fracțiilor de măcină constituie, totodată, cerințe în alegerea țesăturilor ramelor de cernere ale compartimentelor sitei plane, de la intrarea în compartiment și până la ieșirea fiecărei fracții de material.

La moara analizată, dimensiunile medii ale particulelor fracțiilor la compartimentele sitei plane și distribuția după mărime a acestora se încadrează în limitele prezentate și în alte lucrări științifice de specialitate.

7.4.2. Variația caracteristicilor granulometrice ale măcinșurilor în faza de măcinare la o moară de 100t/24h

Dimensiunile orificiilor sitei utilizate la experimentări și ponderea fracțiilor de material pe fiecare sită (individual și cumulativ pentru materialul separat) sunt prezentate în tabelele 7.8, a și b.

Tabelul 7.8,a. Valorile ponderilor p_i (%) ale fracțiilor de pe sitele compartimentelor de cernere și ale ponderilor cumulative T_i (%) pentru produsele mărunțite colectate la intrări și la cele 5 ieșiri ale celor 6 compartimente de cernere C1÷6, în faza de măcinare, pentru grâu din producția anului 2009.

Comparativitatea deosebirilor C1-F, în funcție de mărime, pentru gradul de producție anuală 200%																							
m		C1 Intrare		m		C1 M3		m		C1 M1B		m		C1 M2		m		C1 Fgrif		m		C1 F	
(mm)		p(%)	T(%)	(mm)		p(%)	T(%)	(mm)		p(%)	T(%)	(mm)		p(%)	T(%)	(mm)		p(%)	T(%)	(mm)		p(%)	T(%)
0	0,000	34,40	0,00	0,000	0,10	0,00	0,000	0,40	0,00	0,000	0,20	0,00	0,000	0,60	0,00	0,000	1,30	0,00					
1	0,180	16,30	34,40	0,100	0,30	0,10	0,100	7,90	0,40	0,063	4,20	0,20	0,063	9,30	0,60	0,090	35,30	1,30					
2	0,250	10,30	50,70	0,125	19,40	0,40	0,125	8,70	8,30	0,090	10,10	4,40	0,090	25,70	9,90	0,125	17,50	36,60					
3	0,315	15,80	61,00	0,180	50,80	19,80	0,180	30,70	17,00	0,125	33,50	14,50	0,125	38,60	35,60	0,160	22,90	54,10					
4	0,500	12,50	76,80	0,250	25,50	70,60	0,250	45,30	47,70	0,160	40,70	48,00	0,160	20,10	74,20	0,180	15,60	77,00					
5	0,710	10,70	89,30	0,315	3,90	96,10	0,315	7,00	93,00	0,180	11,30	88,70	0,180	5,70	94,30	0,200	7,40	92,60					
d _m		d _{IE} =0,33mm		d _{M3} =0,23 mm		d _{M1B} =0,24 mm		d _{M2} = 0,16 mm		d _{Fgrif} =0,14 mm		d _F = 0,15 mm											

În fig. 7.16 sunt prezentate variațiile diametrelor medii ale celor 37 de fracții analizate din faza de măcinare.

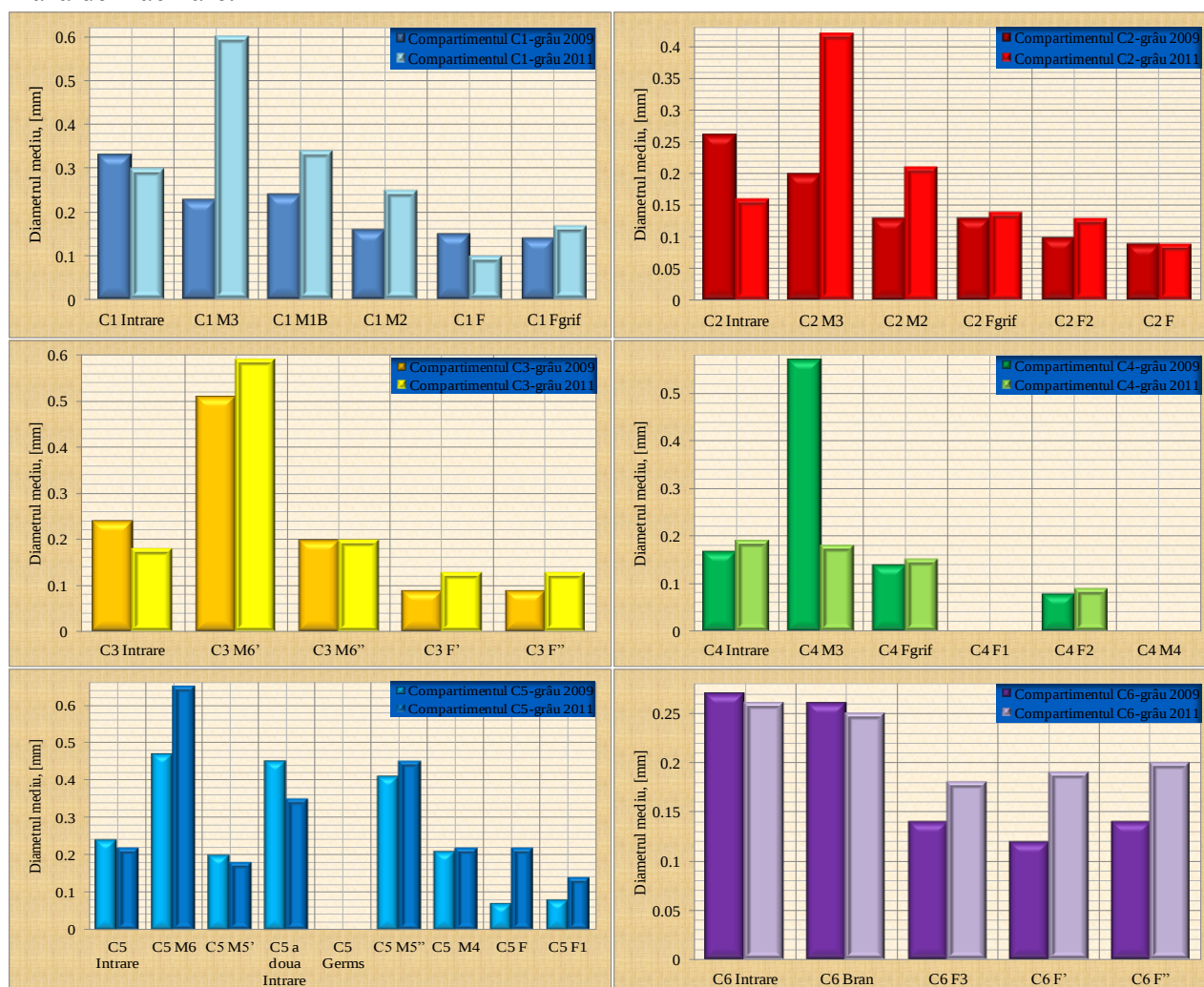


Fig. 7.16. Variația diametrului mediu pentru cele 74 de fracții din faza de șrotare (37 de fracții obținute din mărunțirea grâului din producția anului 2009 și 37 de fracții din producția anului 2011)

Din analiza tabelului 7.8, a dimensiunilor orificiilor sitelor clasificatorului și a procentelor de material rămas pe fiecare sită se constată că măcinșul care ajunge la compartimentul de sită

plană al pasajului tehnologic M1A este un amestec de particule cu dimensiuni foarte variate, cea mai mare parte având valori peste 0,25 mm (circa 65%), reprezentând atât categoriile de griș (griș mijlociu – circa 10,8% și griș mic – aproximativ 28,5%) cât și dunsturi (dunsturi aspre – circa 25,6%). În cazul mărunțirii grâului din producția anului 2011 în amestecul inițial există și particule cu dimensiuni sub 0,18 mm (aproximativ 14%) reprezentate de fracțiile C1F și C1Fgrif. În urma cernerii și sortării în cadrul compartimentului de sită plană, la compartimentul C1, fracțiile rezultate au dimensiunea medie a particulelor corespunzătoare tabelelor 7.8, însă și acestea la rândul lor reprezintă amestecuri de particule cu dimensiuni foarte variate în limitele categoriilor amintite.

Prima fracție extrasă în cadrul compartimentului C1 reprezintă un refuz cu conținut ridicat de înveliș, dimensiunea medie a particulelor fiind de 0,6 mm, dar în cadrul acestei fracții circa 65% din particule au dimensiuni de peste 0,5 mm. Această fracție reîntră în procesul de mărunțire la măcinătorul M3.

Cea de-a doua fracție extrasă în cadrul compartimentului este de asemenea un refuz (al pachetului 2 de rame) cu dimensiunea medie a particulelor de 0,34 mm, cu conținut ridicat de endosperm și cu un procent de peste 70 % cu particule de peste 0,315 mm. Această fracție reîntră în procesul de mărunțire la măcinătorul M1B.

A treia fracție rezultată la compartimentul de sită plană C1 este de asemenea un refuz (al ultimului pachet de rame) care se încadrează la categoria de produse de tip dunsturi, având cea mai mare parte a particulelor (peste 73%) cu dimensiuni mai mari de 0,2 mm. Și această fracție este dirijată la mărunțire în cadrul măcinătorului M2 al unității de morărit, având un conținut ridicat de endosperm. Dimensiunea medie a particulelor fracției C1 M2 este însă de 0,25 mm, valoare obținută prin utilizarea relației (7.1).

Cele două făinuri extrase în cadrul compartimentului (cernuturile pachetelor 3 și 4 ale compartimentului) au dimensiunea medie a particulelor de 0,1 mm (C1F), respectiv de 0,17 mm (C1 Fgrif). Frația C1 Fgrif este o făină grifică și are cea mai mare parte a particulelor (peste 82%) cu valori mai mari de 0,14 mm.

7.4.3. Influența regimului cinematic a cantității de material asupra eficienței procesului de cernere

Se știe că, în practică, cernerea nu este niciodată completă, în sensul că în refuzul sitei se va regăsi de fiecare dată un procent de particule de cernut, care n-au ajuns în totalitate să realizeze condițiile de cernere și nu s-au separat. Pentru o cernere cât mai completă este necesară, fie o sită cu o lungime foarte mare, fie repetarea de mai multe ori a cernerii pe o suprafață de separare identică, ceea ce conduce la creșterea timpului de lucru. Astfel, în acest subcapitol am analizat influența pe care o are regimul cinematic al sitei dar și cantitatea de material ce alimentează sita asupra eficienței procesului de cernere.

La determinarea experimentală s-a folosit o probă de măciniș din fracția ce alimentează compartimentul de sită plană al pasajului măcinătorului M1 al unei unități de morărit. Testele au fost efectuate la patru turații diferite (115, 125, 136, 150 rot/min) și trei cantități diferite de material (100, 200 și 300 g) pe un clasificator cu mișcare de translație circulară, utilizând o sită din țesătură metalică cu latura orificiului de 315 μ m și suprafața vie de 30,86%. Pentru toate probele s-a cântărit sita (cu refuzul pe ea) din minut în minut, pe o perioadă de test de 9 minute, pentru a monitoriza cantitatea de cernut ce a rămas blocată în refuz. S-a considerat că cernutul s-a separat în totalitate (cu aproximație) când la trei determinări succesive diferența a fost mai mică de 0,1 g. Curbele trasate prin analiză de regresie pe baza punctelor experimentale prezintă o variație asimptotică, în sensul că cea mai mare parte a cernutului a fost separat (vezi fig. 7.19).

Din fig. 7.19 se poate observa că în cazul probelor de 100 g eficiența maximă a cernerii a fost obținută pentru turația $n_1 = 115$ rot/min, deși și turațiile $n_2 = 125$ rot/min și $n_3 = 136$ rot/min au avut rezultate destul de bune. În cazul primei turații s-a obținut cel mai mare procent de cernut după primul minut. Se poate spune, în cazul turației $n_4 = 150$ rot/min, că datorită frecvenței de oscilație prea mari particulele tind să se miște necontrolat după traiectorii proprii pe sită, împiedicând astfel separarea. Probabil că dacă timpul de cernere ar fi fost mai mare de 9 minute, particulele de cernut s-ar fi separat totuși din fracția de refuz. Pentru datele experimentale obținute la turația n_4 , cantitatea

de particule de cernut blocate în refuz s-a calculat prin scăderea valorii 21,9 % (aferentă turației n_1 și obținută la timpul de cernere de 8 minute) din valorile refuzurilor sitei la fiecare determinare (în procente).

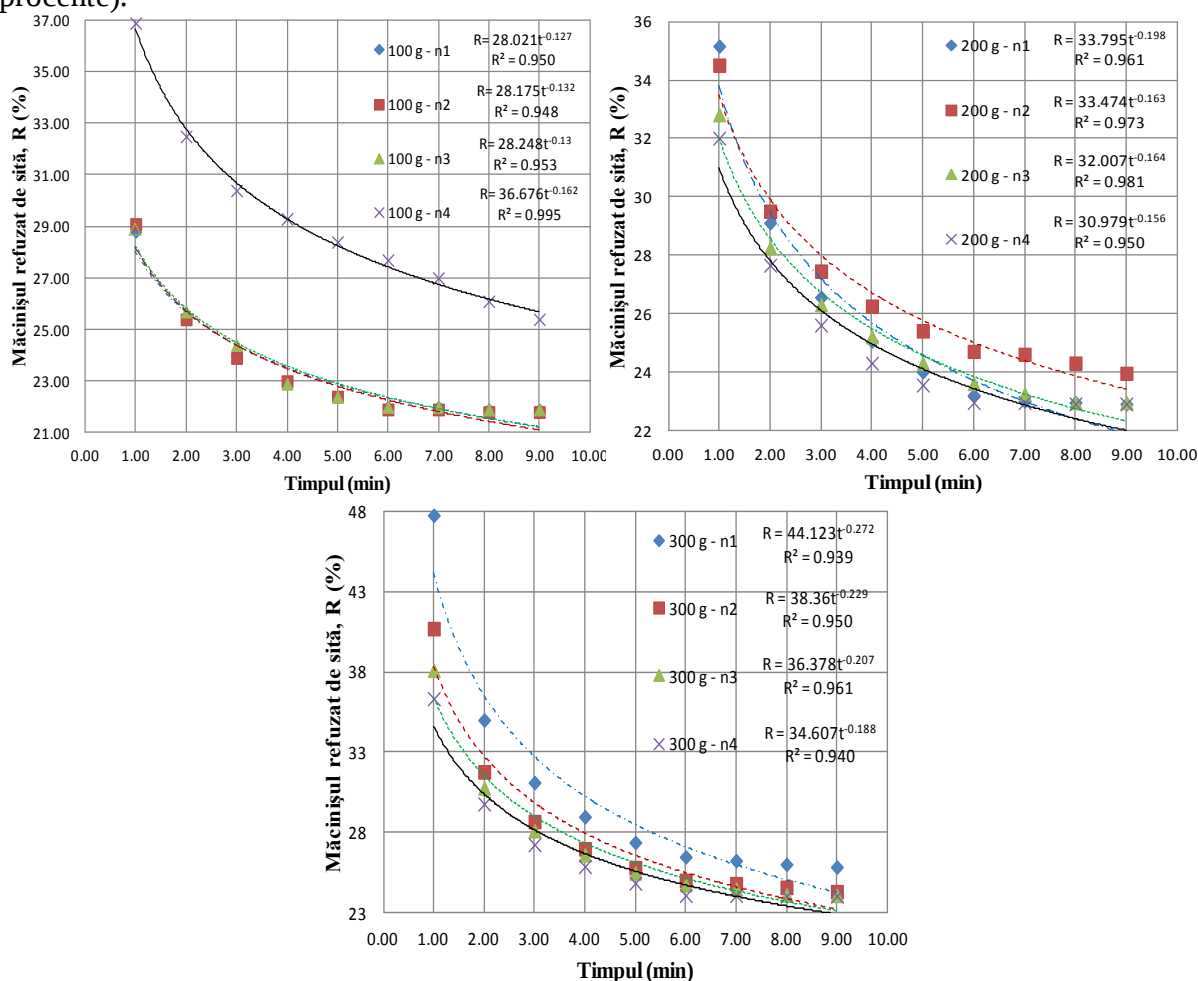


Fig. 7.19. Influența turației asupra eficienței procesului de cernere pentru trei cantități diferite de material (100 g, 200g și 300 g)

În cazul probelor de 200 g eficiența maximă a fost atinsă pentru turația $n_4 = 150$ rot/min, deși se poate observa (tabelul 1 și fig. 1) că rezultatele sunt bune pentru toate celelalte trei turații. La turația de 150 rot/min particulele mici s-au separat în timpul cel mai scurt, astfel că se poate spune că în condițiile experimentului, particulele de cernut s-au separat din fracția de refuz și au reușit să treacă repede prin orificiile sitei. Ca și în cazul probelor de 100 g, pentru cantitatea de 200 g prelucrată la turația $n_2 = 125$ rot/min este incompletă, fiind necesar un timp mai mare de cernere (probabil încă 1 – 2 minute). Pentru această probă, cantitatea de particule de cernut blocate în refuz a fost calculată prin scăderea valorii 22,95 % din valorile refuzurilor pentru fiecare dintre cele 9 minute de test.

Pentru probele de 300 g separarea totală și într-un timp cât mai scurt a particulelor de cernut din masa probei s-a realizat tot în cazul turației $n_4 = 150$ rot/min, separarea obținându-se în intervalul 5-6 minute de la începutul cernerii. Rezultate bune au fost obținute și în cazul turației $n_3 = 136$ rot/min, dar în intervalul 8-9 minute de la începutul cernerii. Pentru turațiile $n_1 = 115$ rot/min și $n_2 = 125$ rot/min, timpul de cernere a fost prea mic, iar cernerea a fost incompletă. Pentru aceste două turații cantitățile de cernut blocate în refuz au fost obținute prin scăderea valorii 24,10 % din valorile refuzurilor sitei la fiecare minut pentru cele 9 minute de test.

7.4.4. Utilizarea curbelor de distribuție granulometrică în alegerea țesăturilor ramelor de cernere

Curbele de distribuție granulometrică pentru fracțiile de măcinș arată modul în care particulele unui amestec se distribuie după dimensiuni. Trasarea acestor curbe necesită mai întâi realizarea analizei granulometrice cu un clasificator cu site, aranjate în ordinea descrescătoare a mărimii orificiilor. Apoi, ponderile procentuale ale refuzurilor sau ale cernuturilor sunt analizate prin regresie neliniară pe calculator, în programe specializate, pentru a găsi legea de distribuție granulometrică ce reprezintă cel mai bine datele. După găsirea acestei legi de distribuție, adecvată fracției analizate, sunt trasate curbele de distribuție granulometrică.

Aceste curbe pot fi folosite pentru mărirea gradului de extracție al sitelor unui anumit pachet prin alegerea țesăturii adecvate care să corespundă procentului de cernut dorit, dacă se consideră curba granulometrică pentru cernutul sitei respective. De asemenea, utilizând curbele granulometrice se poate impune intervalul în care să se încadreze particulele unei fracții de cernut, alegând țesăturile corespunzătoare.

În fig. 7.22 este prezentată o curbă de distribuție granulometrică pentru o fracție de măcinș obținută la un compartiment din faza de șrotare (C1 Div1' 2011) la o unitatea de morărit de 100 t/24h.

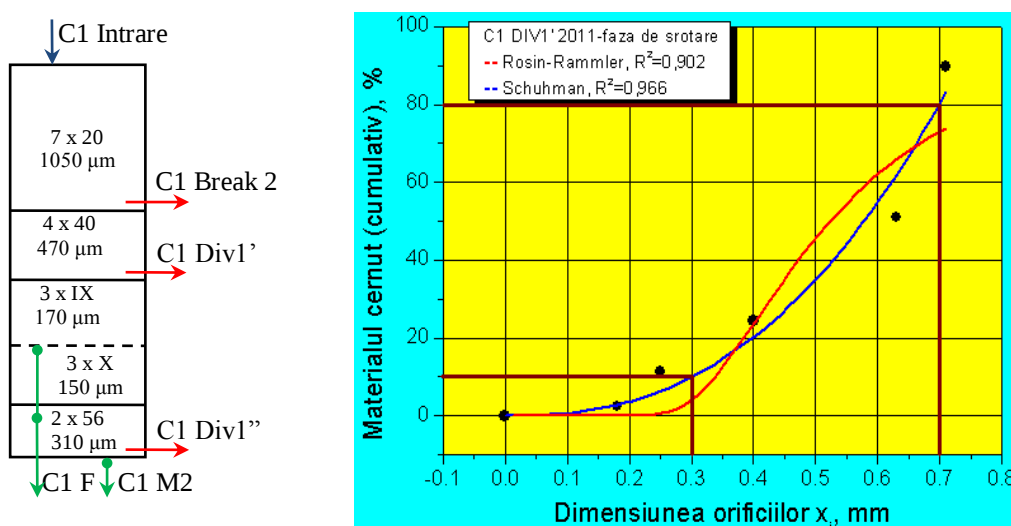


Fig. 7.22. Utilizarea curbelor de distribuție granulometrice

Se observă pe schemele interioare ale compartimentului C1 (fig. 7.22) din faza de șrotare că fracția de măcinș C1 Div1' 2011 este un refuz al celui de-al doilea pachet, alcătuit din 3 rame cu dimensiunea orificiului de 470 μm. Această fracție trebuie să aibă teoretic particule cu dimensiuni în intervalul 470 – 1050 μm, ea fiind cernută de ramele primului pachet, ce au țesături cu dimensiunea orificiilor de 1050 μm, dar fiind refuzată de ramele pachetului al doilea, cu țesături ce au dimensiunea orificiilor de 470 μm. Însă se observă, pe curba de distribuție granulometrică faptul că această fracție conține și particule cu dimensiuni situate sub 470 μm ce ar fi trebuit să se cearnă dar nu reușesc, ceea ce reduce eficiența procesului de cernere. De asemenea, se observă pe curba de distribuție granulometrică că prima sită utilizată în analiză are dimensiunea de 710 μm prin care este cernut aproximativ 90 % din proba analizată, ceea ce înseamnă că 10 % din probă are valori între 710 și 1050 μm.

Astfel, se poate observa (fig. 7.22), în legenda graficului, că legea ce reprezintă cel mai bine datele experimentale pentru fracția C1 Div1' 2011, obținută la primul compartiment de sită plană din faza de șrotare, este de tip Schuhman, cu un coeficient de corelație de 0,966 față de a doua lege testată, Rosin-Rammler, care are un coeficient de corelație de 0,902. Astfel, analiza se va face pentru curba de distribuție granulometrică Schuhman.

Fiind determinată legea cu ajutorul căreia se trasează curba care corelează cel mai bine datele experimentale se pot face analize pe curbă pentru determinarea procentului de cernut, dorit pentru fracția analizată.

Astfel, analizând curba din figură, dacă se dorește ca din cantitatea totală a fracției respective un procent de material de 20% să fie refuzat (și 80% să fie cernut) de rama/ramele pachetului de cernere, se impune utilizarea unei țesături de 710 μm . Dacă se dorește ca 90% din măcinș să fie refuzat (10% cernut), din cantitatea totală ce alimentează ramele pachetului respectiv, se impune utilizarea unei țesături de 300 μm .

În practică este posibil să se ceară ca o fracție de măcinș să aibă o anumită valoare a mărimii amestecului de particule ($K=a/b$, unde a este latura orificiului prin care au trecut toate particulele fracției, iar b – latura orificiului care refuză toate particulele). În această situație, măcinșul trebuie cernut cu ambele site (țesături). Pe schema din figură, dacă se dorește ca particulele fracției analizate să se situeze în domeniul 300 – 710 μm se pot utiliza două pachete de rame, primul cu țesătură cu orificiile de 710 μm . iar al doilea cu rame cu țesătură cu orificii de 300 μm , refuzul celui de-al doilea pachet fiind evacuat separat.

7.4.5. Studiu de caz privind aplicarea modelului matematic pentru determinarea coeficienților de extracție

Pe baza datelor experimentale (prezentate în tabelul 7.14) și utilizând algoritmul matematic prezentat la subcapitolul 6.4.1 s-au obținut următoarele valori pentru refuzurile, debitele de alimentare, cernuturile și coeficienții de extracție pe fiecare ramă a pachetului, pentru coeficientul de extracție al fiecărui pachet, precum și pentru întregul compartiment.

1. Pentru pachetul 1

Utilizând relațiile (6.37), (6.38) și (6.39) au fost determinate cantitățile de refuz și cernut la fiecare ramă din cadrul pachetului I al compartimentului de sită plană. Valorile acestora sunt prezentate în tabelul 7.15.

Tabelul 7.15. Valorile refuzurilor și cernuturilor ramelor din cadrul pachetului I, determinate cu relațiile (6.37), (6.38) și (6.39), [175]

$R_{I,i}$ ($i = 1 \div 7$)	$R_{I,1}$	$R_{I,2}$	$R_{I,3}$	$R_{I,4}$	$R_{I,5}$	$R_{I,6}$	$R_{I,7}$
Refuzul, [g]	6163,4	5207,6	4400,1	3717,8	3141,3	2654,2	2242,6
$P_{I,i}$ ($i = 1 \div 7$)	$P_{I,1}$	$P_{I,2}$	$P_{I,3}$	$P_{I,4}$	$P_{I,5}$	$P_{I,6}$	$P_{I,7}$
Cernutul, [g]	1130,2	955,8	807,5	682,3	576,5	487,1	411,6

Se poate observa că refuzul $R_{I,7}$ este egal cu refuzul R_1 al compartimentului, refuz determinat experimental (tabelul 6.1). De asemenea, se observă că rama 1 a pachetului I este alimentată direct de întreaga cantitate de măcinș ce vine de la cilindri șrotului 1 (fig. 6.15), și că refuzul $R_{I,1}$ al primei rame a pachetului I reprezintă cantitatea de material ce alimentează rama 2 și așa mai departe.

Având valorile cernuturilor și refuzurilor pe fiecare ramă în parte, cu relația (6.40) s-a determinat coeficienții de extracție pe fiecare ramă a pachetului I. Pentru fiecare dintre cele șapte rame ale pachetului I valoarea coeficientului de extracție a fost 0,155.

Coeficientul de extracție al pachetului I a fost determinat cu relația (6.41) și are valoarea $\eta_I = 0,692$.

7.5. Cercetări privind proprietățile fizice ale măcinșurilor

7.5.1. Variația caracteristicilor fizice ale măcinșurilor în faza de șrotare la o moară de 100t/24h

Rezultatele cercetărilor experimentale privind determinarea caracteristicilor fizice (masa volumică, densitatea, porozitatea, unghiul de taluz natural și suprafața specifică) ale produselor intermediare de măcinș preluate de pe fluxul tehnologic al morii cu cilindri cu capacitatea de 100t/24h S.C. Spicul S.A. Roșiori de Vede în faza de șrotare, sunt prezentate în tabelul 7.25. și în tabelul 7.26.

Cunoașterea proprietăților fizice ale produselor intermediare de măcinș ocupă un loc de o importanță deosebită în industria morăritului. Proprietățile fizice influențează atât parametrii de lucru ai echipamentelor de pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit cât și alegerea corespunzătoare a țesăturilor sitelor de cernere ale sitelor plane sau ale mașinilor de griș.

Tabelul 7.25. Valorile coeficientului de frecare static și ale unghiului de taluz natural pentru fracțiile de măcinș rezultate în faza de șrotare.

Fracția de măcinș	Coeficientul de frecare static, μ			Unghiul de taluz natural, ψ
	Tablă din oțel	Pânză bumbac	Fibră de sticlă	
C1 Intrare	0,341÷0,423	1,129÷1,741	0,458÷0,658	37,760
C1 Break 2	0,294÷0,370	1,382÷>1,760	0,358÷0,629	37,060
C1 Div1'	0,423÷0,511	1,482÷>1,760	0,529÷0,929	45,000
C1 F	0,853÷1,117	>1,760÷>1,760	>1,760÷>1,760	43,962
C1 Div1''	0,564÷0,888	1,735÷>1,760	0,635÷1,294	36,186
C1 M2	0,723÷1,076	>1,760÷>1,760	0,800÷1,341	41,582

Tabel 7.26. Valorile masei volumice, densității, suprafeței specifice și a porozității pentru fracțiile de măcinș rezultate în faza de șrotare.

Fracția de măcinș	Diametrul mediu	Masa volumică	Densitatea	Suprafața specifică	Porozitatea
	[mm]	[g/dm ³]	[g/dm ³]	x 10 ³ [m ² /kg]	[%]
C1 Intrare	0,98	381,500	1250,681	4,895	69,497
C1 Break 2	1,76	482,000	1218,781	2,797	60,452
C1 Div1'	0,55	505,000	1262,145	8,643	59,989
C1 F	0,10	411,000	1385,334	43,311	70,332
C1 Div1''	0,36	527,500	1329,167	12,539	60,313
C1 M2	0,17	496,000	1370,857	25,746	63,818

Astfel, coeficientul de frecare static, precum și unghiul de taluz natural al măcinșului, intervin în mișcarea particulelor de măcinș pe diferite tipuri de suprafețe, în procesul de sortare pe fracții și în caracterizarea procesului de separare pe fracții, [32].

De asemenea, proprietățile fizice a semințelor de grâu și ale produselor intermediare de măcinș (forma și mărimea particulelor, proprietățile mecanice, masa volumică, densitatea, precum și duritatea semințelor de grâu) influențează procesele de măcinare și cernere, după cum se arată în [52]. Dintre acestea, cele mai importante sunt duritatea semințelor de grâu care impune caracteristicile funcționale și constructive ale cilindrilor de măcinare și forma și mărimea particulelor de măcinș care influențează alegerea sitelor pe care are loc sortarea fracțiilor de măcinș.

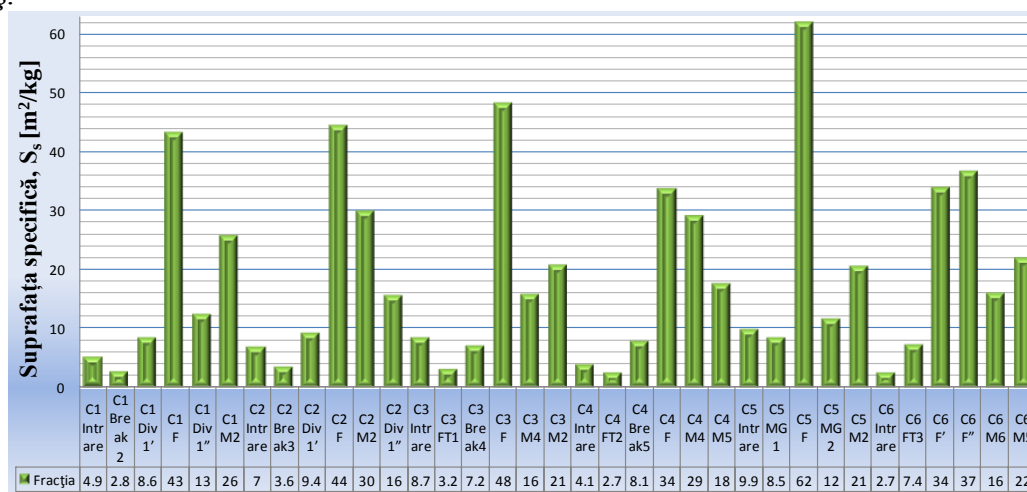


Fig. 7.28. Variațiile suprafeței specifice pentru fracțiile sortate în cadrul compartimentelor de sită plană din faza de șrotare

Porozitatea semințelor de grâu și a măcinșului prezintă o importanță practică în procesele de uscare, ventilare, încălzire și răcire, în procesul de modelare a fluxului de aer prin masa de particule de material, precum și în ocuparea eficientă a locurilor de depozitare (în special la semințele de grâu și produsele finale ale procesului de măcinare), [80]. Totodată se poate spune că porozitatea materialului și densitatea particulelor influențează și stratificarea măcinșului pe ramele din interiorul compartimentelor de sită plană.

Au fost efectuate două seturi de determinări pe suprafețe de trei tipuri: fibră de sticlă lucioasă, tablă din oțel și pânză din bumbac.

Valorile coeficientului static, pe fibră de sticlă lucioasă și metal, se încadrează în limitele

prezentate în diverse lucrări de specialitate, dar valorile obținute la experimentările noastre pe pânză din bumbac se încadrează în limite destul de largi, probabil datorită umidității fracțiilor de material, dar și datorită granulozității acestora, acest fenomen observându-se, mai ales, la făinuri și la fracțiile cu particule relativ mici de endosperm, [38]. în fig. 7.28 este prezentată variația suprafeței specifice pentru cele 35 de fracții analizate din faza de șrotare.

7.5.2. Variația caracteristicilor fizice ale măcinșurilor în faza de măcinare la o moară de 100t/24h

În acest subcapitol sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind caracteristicile fizice ale fracțiilor de măcinș obținute în faza de măcinare. în fig. 7.30 sunt prezentate variațiile unghiului de taluz natural.

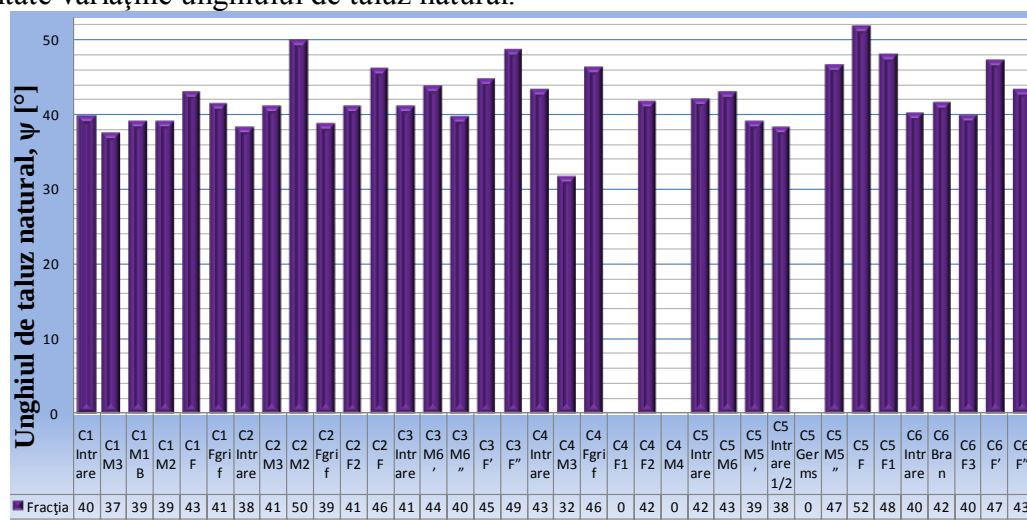


Fig. 7.30. Variațiile unghiului de taluz natural pentru fracțiile sortate în cadrul compartimentelor de sită până din faza de șrotare

7.5.3. Studiu de caz privind aplicarea modelului matematic pentru parametri cinematici ai mișcării particulelor de măcinș la sitele plane ale unei unități de morărit

În acest subcapitol s-a prezentat un studiu de caz ce abordează mișcarea particulelor pe suprafața de cernere în cazul compartimentului de sită plană C1 din faza de măcinare a unității de morărit analizată.

7.6. Analiza corelației proprietăților granulometrice ale fracțiilor de măcinș cu caracteristicile țesăturilor ramelor de sită plană

În acest subcapitol se prezintă modul de variație a unor caracteristici fizice și granulometrice ale fracțiilor sortate în compartimentele de sită plană ale fazei de șrotare la moara de grâu analizată (dimensiunea medie a particulelor, procentul de material cernut la fiecare pachet de rame și suprafața specifică a particulelor fracțiilor) cu caracteristicile țesăturilor de cernere. În fig. 7.38 este prezentată variația procentului de cernut cu suprafața activă a țesăturii și latura orificiului.

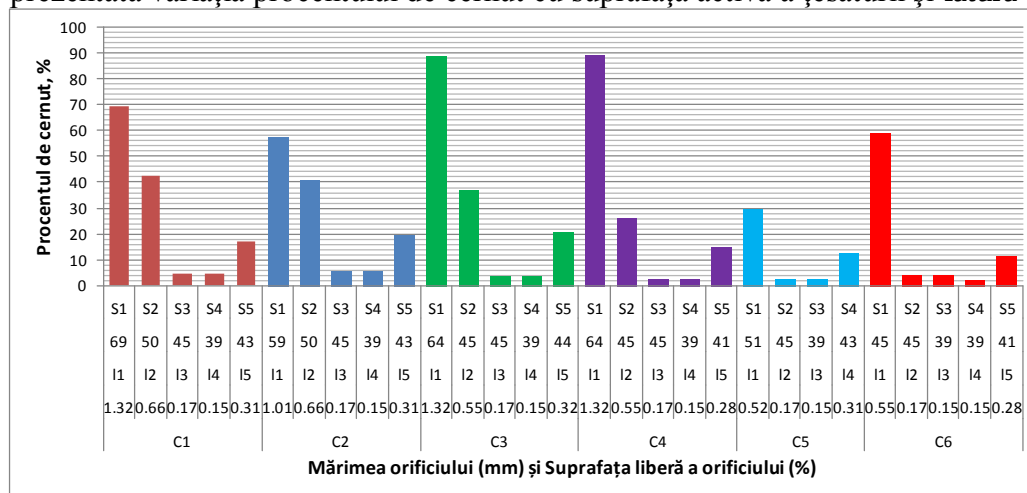


Fig. 7.38. Variațiile diametrului mediu, procentului de cernut și ale suprafeței specifice cu suprafața liberă și latura orificiului pentru cele șase compartimente de sită plană din faza de șrotare la moara de 100 t/24h

Din analiza figurilor se constată o variație descrescătoare a valorilor precizate ale măcinșurilor separate la primele pachete de rame pentru diametrul mediu al particulelor și procentul de material cernut (separat prin orificii), respectiv crescătoare pentru suprafața specifică a fracțiilor, atât cu suprafața liberă a țesăturilor cât și cu latura orificiilor țesăturilor.

Se constată, de asemenea, că ultimul pachet de rame, care sortează, de obicei, produse intermediare de măcinș cu conținut mai mare de înveliș, urmează o distribuție aleatoare, astfel că o analiză a fracției respective împreună cu primele fracții ar putea da informații eronate, dacă se încearcă identificarea unor funcții de distribuție a caracteristicilor fizice sau granulometrice ale fracțiilor cu caracteristicile țesăturilor ramelor de cernere.

În vederea corelării caracteristicilor țesăturilor ramelor de sită plană, ale compartimentelor de sortare pe fracții a măcinșurilor, cu proprietățile granulometrice și fizice ale acestora, au fost analizate comparativ primele trei compartimente ale fazei de șrotare.

Au fost corelate suprafața liberă a țesăturilor și latura orificiilor țesăturilor fiecărui pachet cu diametrul mediu al particulelor fracțiilor sortate, cu procentul de material separat prin orificii și cu suprafața specifică a fiecărei fracții.

Având în vedere că țesăturile ramelor celor trei compartimente sunt asemănătoare, corelația s-a făcut împreună pentru toate valorile, urmând ca pe baza ecuației de regresie să se determine eroarea (abaterea) fiecărui compartiment separat față de valorile calculate.

Analizând corelația dintre diametrul mediu al particulelor fracțiilor separate și latura orificiilor țesăturilor ramelor de cernere se constată o creștere a diametrului mediu al particulelor cu latura orificiilor la fiecare din cele trei compartimente aproximativ liniară la compartimentele C1 și C3 și o creștere curbilinie parabolică la compartimentul C2.

Aplicabilitatea curbelor obținute poate fi aceea a estimării laturii orificiilor țesăturilor ramelor de cernere astfel încât să se obțină o fracție cu particule într-un anumit interval de dimensiuni, având în vedere că țesăturile sunt reglementate prin normative și standarde (fig. 7.39).

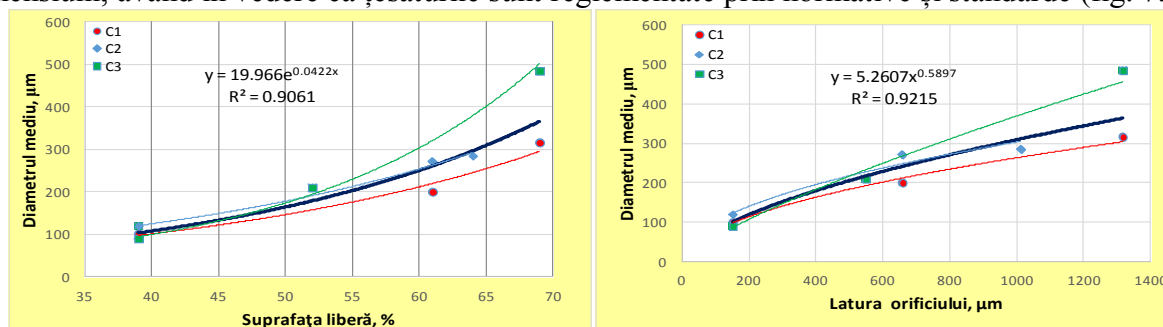


Fig. 7.39. Variațiile diametrului mediu cu suprafața liberă și latura orificiului pentru compartimentele de sită plană ale Șroturilor 1, 2 și 3

Același lucru se observă și în cazul corelării diametrului mediu al particulelor cu suprafața liberă a țesăturilor de cernere, constatându-se creșterea diametrului mediu al particulelor cu creșterea suprafeței active la toate trei compartimentele analizate.

Rezultatele obținute pot fi aplicate practic la alegerea țesăturilor ramelor de cernere prin utilizarea curbelor de corelație trasate grafic și prezentate în fig. 7.39, pe baza diametrului mediu al măcinșului care urmează a fi separat pe fracție.

În vederea identificării corelației dintre diametrul mediu al particulelor fracțiilor de măcinș și caracteristicile țesăturilor utilizate la ramele de cernere, pe pachete (suprafața liberă și latura orificiilor), s-a făcut analiza de regresie globală pentru primele pachete (mai puțin ultimul pachet care nu este de același tip și are alt scop) ale primelor trei compartimente ale fazei de șrotare cu funcția exponențială, respectiv funcția de tip putere, pentru care s-au obținut valori relativ ridicate ale coeficientului de corelație ($R^2=0,906$, respectiv $R^2=0,922$), fig. 7.39.

Luând separat, în continuare, fiecare compartiment și calculând eroarea valorilor calculate față de valorile măsurate au fost constatate valori ale acestor erori între 5,5 – 20,6% pentru dimensiunea particulelor în funcție de suprafața liberă a țesăturilor, respectiv între 11,1 - 17,7% pentru variația dimensiunilor particulelor de măcinș față de latura orificiilor țesăturilor. Este indicat

ca aceste abateri să aibă valori mai mici pentru ca alegerea țesăturilor să poată fi făcută după una dintre legile obținute prin analiză de regresie.

Aplicând același criteriu ca mai înainte și utilizând toate valorile obținute pentru cernuturile primelor pachete de rame ale compartimentelor C1, C2 și C3 din faza de șrotare în analiza de regresie pe calculator, în vederea identificării celei mai bune funcții de corelație, a fost trasată grafic variația procentului de cernut cu suprafața liberă și latura orificiilor. Se constată o variație după legea putere atât pentru prima, cât și pentru cea de-a doua grupă de valori (fig. 7.40).

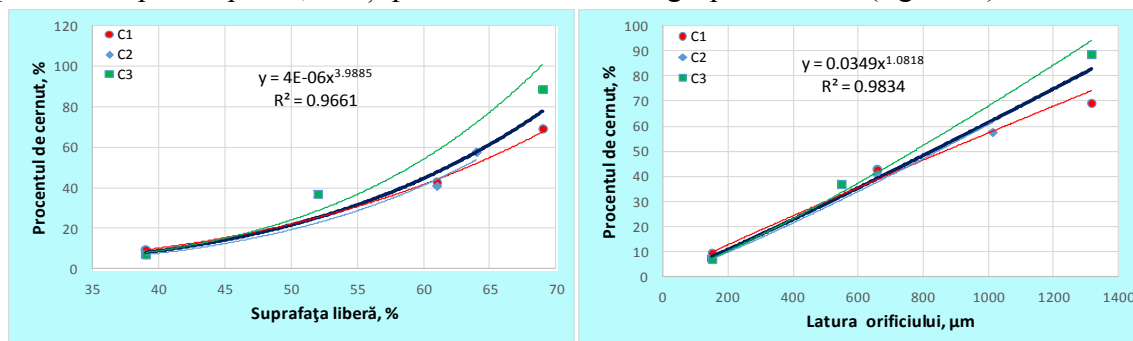


Fig. 7.40. Variațiile procentului de cernut cu suprafața liberă și latura orificiului pentru compartimentele de sită plană ale Șroturilor 1, 2 și 3

Ca și în cazul influenței celor doi parametri ($S_{\text{liberă}}$ și l_{orif}) asupra dimensiunilor medii ale particulelor, există puncte care se situează relativ departe de curba de regresie, deși coeficientul de corelație are valori relativ ridicate ($R^2 = 0,966$ respectiv $R^2 = 0,983$ pentru $C(\%) = f(l_0)$)

Calculând eroarea relativă a fiecărui compartiment față de valorile predictate de funcția de regresie se constată că aceasta are valori cuprinse între 9,9 - 22,8% pentru variația procentului de cernut cu suprafața liberă a țesăturii, respectiv între 7,1 - 15,2% pentru variația procentului de cernut cu latura orificiului țesăturii. Rezultă că utilizând funcția de regresie obținută pentru cazul general al primelor trei compartimente de cernere în determinarea tipului de țesături a ramelor de sită pot exista abateri în limita valorilor determinate. Ar fi necesară alegerea unor țesături care să corespundă unor abateri mai mici, dar în corelație cu caracteristicile fizice și granulometrice ale măcinșurilor.

Pe baza valorilor suprafeței specifice a fracțiilor de măcinș obținute în experimente la primele pachete de rame ale primelor trei compartimente ale fazei de șrotare, au fost trasate grafic variația acestora în funcție de suprafața liberă și latura orificiilor țesăturilor, ca și în cazurile anterioare. Curbele de regresie obținute sunt prezentate în fig. 7.41.

Se constată o variație liniară descrescătoare a suprafeței specifice a fracțiilor în corelație cu suprafața liberă a țesăturilor, cu un grad de corelație $R^2 = 0,904$, în analiza globală (luând în calcul toate valorile de la cele trei compartimente).

Pentru variația suprafeței specifice a fracțiilor cu latura orificiilor țesăturilor, cea mai bună corelație a prezentat-o legea exponențială pentru care s-a obținut un coeficient de corelație $R^2 = 0,911$ (în analiza globală).

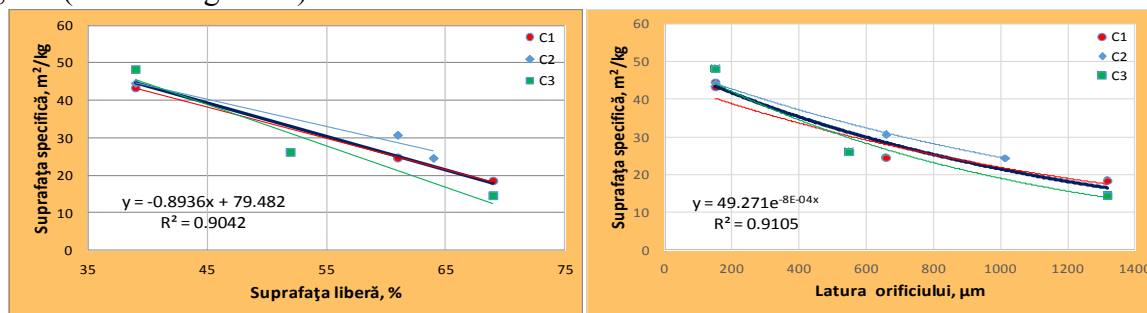


Fig. 7.41. Variațiile suprafeței specifice cu suprafața liberă și latura orificiului pentru compartimentele de sită plană ale Șroturilor 1, 2 și 3

Erorile valorilor calculate, față de cele determinate experimental, ale suprafeței specifice în

corelație cu suprafața liberă a țesăturilor s-au încadrat între 2,7 - 15,6%, pentru cele trei compartimente de cernere separat, în timp ce pentru corelația suprafeței specifice a măcinșurilor cu latura orificiilor țesăturilor au avut valori cuprinse între 4,9 - 14,5%.

Dacă alegerea țesăturilor primelor trei compartimente de cernere (mai puțin la ultimul pachet de rame) se face pe baza funcțiilor de corelație obținute prin analiza de regresie este de așteptat să se obțină abateri ale variațiilor celor doi parametri ai țesăturilor (suprafața liberă și latura orificiilor) în limitele celor prezentate mai înainte dacă se ia în calcul suprafața specifică dorită pentru fracțiile sortate.

Am dorit să prezint în acest subcapitol modul de aplicare a legilor de variație a unor parametri ai țesăturilor cu caracteristicile măcinșurilor sortate în compartimentele de sită plană în alegerea fiecărui tip de suprafață de cernere.

Analiza poate fi dezvoltată în continuare pentru toate compartimentele de separare pe fracții, astfel încât pe baza datelor experimentale să se pună în corelație și alte caracteristici ale măcinșurilor cu cele ale țesăturilor utilizate pentru acoperirea ramelor de cernere.

7.7. Concluzii privind cercetările experimentale

1. Distribuția după dimensiuni a particulelor fracțiilor de măcinș, în compartimentele de sită plană, pentru faza tehnologică de șrotare a grâului, a fost testată cu legea de distribuție Rosin-Rammler, foarte des utilizată în analizele granulometrice ale amestecurilor granulare.

2. Cunoașterea dimensiunilor medii și a distribuției după mărime, precum și a celorlalte caracteristici fizice ale particulelor fracțiilor de măcinș constituie, totodată, cerințe în alegerea țesăturilor ramelor de cernere ale compartimentelor sitei plane, de la intrarea în compartiment și până la ieșirea fiecărei fracții de material.

3. Fracțiile de măcinș cu un conținut ridicat de înveliș (tărăță), față de fracțiile cu un conținut mai ridicat de endosperm, au o masă volumică mai mică (de exemplu fracțiile C1 M3 și C1 M2 care au masa volumică 446,250 g/dm³ pentru C1 M3 și 442,500 g/dm³ pentru C1 M2, în comparație cu fracția C1 Fgrif bogată în endosperm care are masa volumică 550,000 g/dm³).

4. Se poate observa că deși fracțiile care alimentează compartimentele de sită plană (notate cu „Intrare”) au o porozitate relativ mică, după ce fracțiile sunt sortate din masa inițială conform diagramei tehnologice, porozitatea crește considerabil, în faza de șrotare porozitatea cea mai mare o au produsele tărațoase iar în faza de măcinare dunsturile; de exemplu pentru primul compartiment de sită plană din faza de măcinare, fracția ce alimentează compartimentul are o porozitate de 49,082 %, iar după ce fracțiile sunt sortate din masa inițială, porozitatea crește considerabil ajungând până la 62,367 % pentru fracția de făină (C1 F) și 64,383% pentru dunstul ce alimentează măcinătorul M2 (fracția C1 M2).

5. Legat de suprafața specifică se poate spune că fracțiile de făină au valorile cele mai mari pentru suprafața specifică (valorile cele mai mari fiind: 61,816 m²/kg pentru fracția C5 F în faza de șrotare și 54,028 m²/kg pentru fracția C4 F2 în faza de măcinare).

CAPITOLUL 8

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CONSUMUL DE ENERGIE LA CERNEREA MĂCINIȘURILOR CU AJUTORUL SITELOR PLANE

8.1. Obiectivele determinărilor experimentale

Obiectivul principal al determinărilor experimentale din acest capitol îl constituie studiul asupra consumului de energie necesar cernerii măcinșurilor cu ajutorul siteilor plane.

8.2. Metodica determinărilor experimentale și materiale utilizate

În acest capitol s-a studiat: determinarea puterii consumate la cernerea produselor în faza de șrotare și faza de măcinare a unității de morărit; determinarea energiei specifice la cernere a produselor pe fazele de șrotare și măcinare; variația energiei consumate pentru cernerea produselor; evaluarea puterii consumate la cernerea măcinșurilor la turații și cantități de alimentare diferite;

evaluarea consumului de energie la cernerea măcinșurilor la turații și cantități de alimentare diferite; variația energiei consumate pentru cernerea măcinșurilor cu un clasificator cu site.

8.3. Descrierea aparaturii utilizată la cercetările experimentale

Cercetările experimentale au fost efectuate în Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice, Departamentul de Sisteme Biotehnice, în Laboratorul de Proprietăți Fizice ale Produselor Agroalimentare și la Moara nr. 2 a S.C. Spicul S.A. Roșiori de Vede. Utilajele și aparatele folosite în cercetările experimentale au fost: sită plană de tip Alapala; clește ampermetric, clasificator cu site cu mișcare de translație circulară, placă de achiziție de date, senzor de curent, balanță electronică KERN cu precizie 10^{-1} .

8.4. Determinări experimentale pe fluxul tehnologic al unei mori de 100 t / 24 h

Determinările au fost făcute atât pentru mersul în sarcină (cu sita plană alimentată cu material), cât și la mers în gol (fără alimentare cu material a utilajului).

Unitatea de morărit analizată este echipată cu două site plane, compartimentele primei site plane (Sita 1) sunt părți componente ale pasajelor tehnologice Șrot 1 (Break1), Șrot 2 (Break 2), Măcinător 2 (M2), Măcinător 1A (M1A), Măcinător 1B (M1B) și Divizor-sortator (DIV1), iar compartimentele celei de-a doua sită plană sunt părți componente ale pasajelor tehnologice Șrot 3 (Break3), Șrot 4 (Break 4), Șrot 5 (Break 5), Măcinător 3 (M3)/ Măcinător 4 (M4), Măcinător 5 (M5), Măcinător 6 (M6), vezi figurile 7.3 și 7.4. În tabelul 8.2 pe coloana debitelor Q sunt trecute debitele totale care alimentează întregul utilaj și reprezintă suma fracțiilor notate cu "Intrare" din tabelele 7.3 și 7.7.

Tabelul 8.2. Valorile obținute și calculate la determinările experimentale pentru consumul de energie al sitelor plane pe fluxul tehnologic al morii de 100 t/24 h

Sita Plană	Intensitatea I, (A)		Puterea motorului, P_m , (kW)	Turația la motor, n (rot/min)	Defazajul, $\cos \varphi$	Puterea calculată, P (kW)		Puterea necesară pentru cernere, P_c , (kW)	Debitul, Q, (kg/h)	Energia specifică, W (kJ/kg)
	Mers în gol	Mers în sarcină				Mers în gol	Mers în sarcină			
Sita 1	2	6	7,5	960	0,81	1,053	3,158	2,105	8021,84	0,945
Sita 2	2	5	7,5	960	0,81	1,053	2,632	1,579	5133,31	1,107

Variația puterii necesare la cernerea produselor este prezentată grafic în fig. 8.8, iar variația consumului specific de energie pentru cernere este prezentată în fig. 8.9.

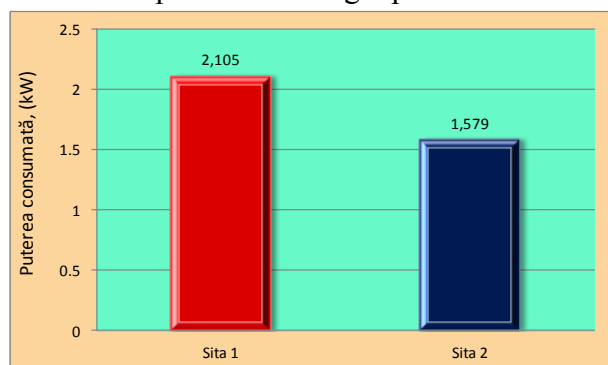


Fig. 8.8. Variația puterii consumate la cernerea produselor în cele două site plane din moara analizată

Încărcarea motoarelor electrice nu este uniformă, acestea lucrând la circa 35 – 45% din puterea nominală mai ales că nici sitele plane nu lucrează la capacitatea de cernere pentru care a fost proiectată. Se recomandă creșterea capacității de lucru a morii și o alegere mai judicioasă a motoarelor de acționare. Se poate spune, însă, faptul că nici constructorii de motoare electrice nu produc motoare cu puteri nominale foarte apropiate (clase de puteri apropiate la aceeași turație de lucru a utilajului).

8.5. Determinări experimentale pe un echipament de cernere de laborator

La determinarea experimentală s-a folosit o probă de măciniș din fracția ce alimentează compartimentul de sită plană al pasajului măcinătorului M1 al unității de morărit de 100 t / 24 h. Testele au fost efectuate la patru turații diferite (115, 125, 136, 150 rot/min) și trei cantități diferite de material (0, 200 și 400 g) pe un clasificator cu mișcare de translație circulară, timp de un minut.

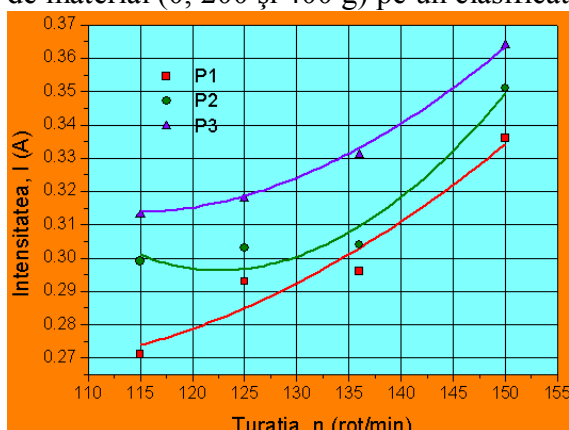


Fig. 8.11. Variația intensității curentului electric la cernerea produselor funcție de turația mecanismului de acționare

Mai întâi s-au prelevat date experimentale pentru mersul în gol (alimentare cu 0 grame de material), pentru a avea consumul de energie de referință la cele patru turații menționate mai sus. Apoi pe rând a fost testat consumul de energie pentru cantitățile de 200g și 400g, fiecare dintre ele la cele patru turații ale mecanismului de acționare. Datele experimentale pentru intensitatea curentului electric au fost corelate cu legea matematică de tip log-normală (relația 6.87 din capitolul 6) utilizând programul Microcal Origin v. 7.0, graficul de variație a intensității curentului electric obținut prin regresie neliniară fiind prezentat în fig. 8.11, iar coeficienții legii de distribuție în tabelul 8.3.

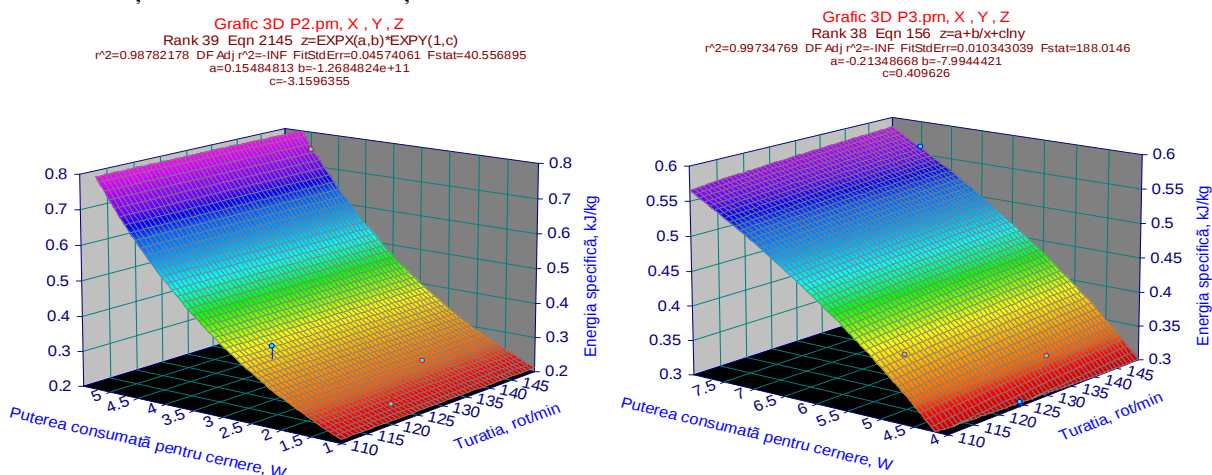


Fig. 8.12. Variația puterii necesare pentru cernere și a energiei specifice cu turația mecanismului de acționare a echipamentului de cernere de laborator pentru probe P2 și P3

În fig. 8.13 sunt date spre exemplificare graficele de variație a intensității în timp (semnal original și filtrat) și spectrul pentru proba P2_3

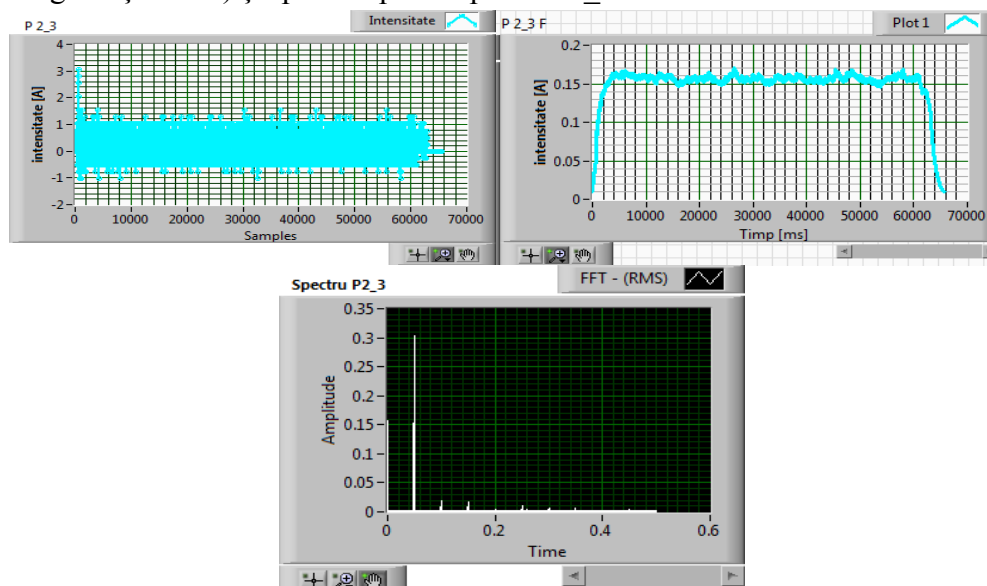


Fig. 8.13. Spectrul și semnalul original și filtrat pentru proba de 200 g la turația $n_3 = 136$ rot/min (P2_3)

În fig. 8.14 este prezentată variația puterii consumate pentru cernere funcție de turația mecanismului de acționare.

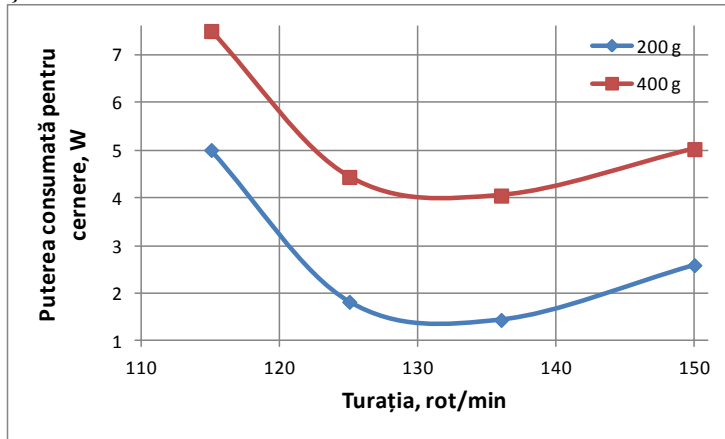


Fig. 8.14. Variația puterii consumate pentru cernere cu turația mecanismului de acționare pentru cele două cantități de material testate (200 g și 400 g)

Analizând comparativ datele din acest subcapitol cu datele experimentale pentru eficiența cernerii prezentate în subcapitolul 7.4.3 (vezi tabelul 7.11) se pot recomanda, pentru procese de cernere eficiente (minimizarea procentelor de particule de cernut blocate în fracțiile de refuz ale ramelor) cu consumuri reduse de energie, alimentări uniforme cu cantități medii de material a ramelor de cernere și turații medii ale mecanismului de acționare. În condițiile experimentelor, și pentru proba de 200 g dar și pentru proba de 400g, o eficiență bună a cernerii cu un consum redus de energie au fost obținute la turația $n_3 = 136$ rot/min.

Mai mult, se poate spune că turația optimă pentru cazul analizat se află undeva în preajma unei valori a turației de 130 rot/min. În cazul turației de 150 rot/min efortul este mare crescând astfel încărcarea pe motor, și deci consumul de energie.

8.6. Concluzii privind consumul de energie

1. Se recomandă, pentru site plane, corelarea cantității de material ce alimentează compartimentele de sită plană cu turația sitei plane. În condițiile experimentelor, cea mai mare eficiență (procentul de particule de cernut blocate în fracțiile de refuz mic) cu un consum redus de energie (1,4 W pentru 200 g și 4 W pentru 400 g) s-a obținut în cazul turației $n_3 = 136$ rot/min.

CAPITOLUL 9 CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII. PERSPECTIVE

9.1. Concluzii privind cercetările teoretice și experimentale

Din analiza teoretică și experimentală prezentate în lucrarea de față pot fi desprinse următoarele concluzii finale:

- Buna funcționare a sitelor este asigurată dacă se respectă următoarele condiții:
 - alimentarea cu produsul pentru cernut să se facă în mod continuu și uniform;
 - sitele să fie întinse pe rame cu aceeași intensitate în toate direcțiile;
 - sistemele de scuturare (periere) să funcționeze continuu pentru a se evita înfundarea orificiilor și diminuarea suprafeței cernătoare;
 - deplasarea produselor pe suprafața cernătoare să formeze stratul de auto-sortare;
 - aspirația utilajului să se facă în mod corespunzător;
 - turația să fie constantă;
 - barele de suspendare și susținere să fie egale ca lungime și suficient de elastice;
 - utilajul să fie perfect echilibrat.

2. Turația mecanismului de acționare trebuie aleasă astfel încât sortarea pe fracții să fie cât mai eficientă, particulele de cernut să aibă timp pentru a se cerne și să nu rămână blocate în fracțiile de refuz ale sitelor, iar particulele cu dimensiuni mai mari dar apropiate de orificiile țesăturii să nu rămână blocate în orificii.
3. Echilibrarea greoaie a sitelor plane cu greutate centrifugale și funcționarea cu un regim tranzitoriu cu perturbații majore asupra mașinii a făcut ca unele firme constructoare să caute altfel de soluții de sisteme de acționare. Astfel, au fost construite și se află deja în exploatare în Germania site plane cu patru corpuri dispuse două câte două, diagonal opus, pe două platforme (juguri), legate între ele prin intermediul unor elemente elastice. În lucrare este prezentată o analiză cinematică și structurală a unui astfel de sistem.
4. Acționarea sistemului printr-un arbore cu două excentrice a simplificat construcția mecanismului de acționare și a eliminat din componența utilajului contragreutățile care au fost înlocuite prin alte două corpuri de sită plană, crescând astfel suprafața de cernere a unui singur utilaj (care are în construcție patru compartimente). Prin dispunerea corespunzătoare a jugurilor de fixare a blocurilor de site și a suportilor elastici acestea se echilibrează reciproc și funcționarea devine mai sigură. În teză se face analiza structurală și cinematică a unui astfel de mecanism.
5. În lucrare s-a propus un model matematic pentru estimarea coeficienților de extracție a cernuturilor fiecărei rame și fiecărui pachet al unui compartiment de sită plană, în două cazuri diferite: pentru cernerea ideală și pentru cernerea incompletă. S-a considerat că cernutul urmează o distribuție exponențială iar ramele unui pachet sunt dispuse una în prelungirea celeilalte.
6. Modelele matematice au fost aplicate pentru rezultate experimentale obținute la compartimentele de sită plană ale unei unități de morărit de 100 t/24h. Valorile coeficienților de extracție obținuți corespund cu valorile reale.
7. Cunoașterea metodei de calcul pentru coeficienții de extracție ai ramelor pachetelor este importantă pentru specialiștii din industria morăritului pentru aprecierea rapidă a randamentului sitei plane, la fiecare compartiment de cernere.
8. Având în vedere că cernerea este incompletă, o parte din particulele de cernut rămân blocate în fracțiile de refuz scăzând eficiența procesului de cernere. Dacă procentul acestor particule este mare se vor încărca inutil treptele ulterioare de mărunțire, iar pentru a împiedica acest lucru tehnologul trebuie să mărească suprafața de cernere prin introducerea în plus a unor rame în pachetul respectiv. Calculul coeficienților de extracție, în ipoteza unei cernerii incomplete (reale) este, deci, necesar, iar în lucrare se propune un model matematic pentru această situație.
9. Având în vedere că materialul cernut sau refuzat de ramele unui pachet se încadrează într-o gamă de dimensiuni, particulele sale urmează sigur o anumită lege de distribuție după dimensiuni. În lucrare se propun pentru a fi testate mai multe astfel de legi matematice (funcția Rosin-Rammler, legea gamma, legea Schuhman, ș.a.)
10. Legea de distribuție Rosin-Rammler utilizată, arată o foarte bună corelație cu datele experimentale pentru toate fracțiile de la cele 12 compartimente de sită plană din fazele de șrotare și măcinare a grâului. Cunoașterea dimensiunilor medii și a distribuției după dimensiuni, la fel ca și a celorlalte caracteristici fizice ale particulelor fracțiilor de măcinș constituie, împreună, cerințe în alegerea țesăturilor ramelor de cernere ale compartimentelor sitei plane, de la intrarea în compartiment până la evacuarea fiecărei fracții de material.
11. Curbele de distribuție granulometrică prezentate în lucrare pot fi utilizate cu foarte bune rezultate pentru stabilirea dimensiunilor orificiilor țesăturilor ramelor de sită, dacă se impune o anumită valoare limită a dimensiunilor particulelor unei fracții (minimă sau maximă), precum și dacă se impune încadrarea acestora într-un anumit domeniu de dimensiuni. În lucrare se prezintă un model de utilizare practică a curbelor de distribuție granulometrică în cazul fracțiilor obținute la unul din compartimentele de sită plană.
12. Se poate afirma că înălțimea stratului de material, dar și turația mecanismului de acționare influențează performanțele procesului de cernere. S-a constatat experimental (fig. 7.19) că la înălțimi mari ale stratului de material și turații mici (115 - 125 rot/min) eficiența procesului de

separare a fost mică, în materialul rămas pe sită găsiindu-se și un procent de particule de cernut care ar fi trebuit să se separe, dar au rămas blocate în refuz.

13. S-a constatat că fracțiile de măcinș cu un conținut ridicat de înveliș (tărăță), față de fracțiile cu un conținut mai ridicat de endosperm, au masa volumică mai mică (exemplu fracțiile C1 M3 și C1 M2 care au masa volumică 446,250 g/dm³ pentru C1 M3 și 442,500 g/dm³ pentru C1 M2, în comparație cu fracția C1 Fgrif bogată în endosperm care are masa volumică 550,000 g/dm³).

14. Referitor la caracteristicile fizice ale măcinșurilor și fracțiilor sortate la sitele plane, s-a constatat că fracțiile care alimentează compartimentele au porozitate relativ mică, în faza de șrotare porozitatea crescând pe măsură ce din materialul inițial se extrag componentele cu conținut mare de endosperm, produsele tărațoare având porozitatea cea mai mare.

15. Legat de suprafața specifică se poate spune că fracțiile de făină au cele mai mari valori (circa 61,8 m²/kg pentru fracția C5 F în faza de șrotare și circa 54 m²/kg pentru fracția C4 F2 în faza de măcinare).

16. Se remarcă de asemenea, că făinurile (constituite din endospermul semințelor de grâu) au valori ridicate ale densității (peste 1123 kg/m³ pentru faza de șrotare și 1313 kg/m³ pentru faza de măcinare).

17. Coeficientul de frecare static, precum și unghiul de taluz natural al măcinșului, intervin în mișcarea particulelor de măcinș pe diferite tipuri de suprafețe precum și în procesul de sortare pe fracții, prin traiectoriile pe care le parcurg particulele pe sită în procesul de cernere.

18. Pentru unitatea de morărit analizată se recomandă creșterea capacității de lucru și o alegere mai judicioasă a motoarelor de acționare a sitelor plane, încărcarea pe motoare fiind neuniformă, acestea lucrând la 35 – 45 % din capacitate.

19. Se recomandă, pentru site plane, corelarea cantității de material ce alimentează compartimentele de sită plană cu turația sitei plane. Astfel, în condițiile experimentelor, cea mai mare eficiență (procentul de particule de cernut blocate în fracțiile de refuz mic) cu un consum redus de energie (1,4 W pentru 200 g și 4 W pentru 400 g) s-a obținut în cazul turației $n_3 = 136$ rot/min.

20. În urma studiului efectuat pentru îmbunătățirea dimensională a arborelui mecanismului de acționare se recomandă ca pentru micșorarea momentului de încovoiere suporturile pentru contragreutăți să fie montate cât mai aproape de cei doi rulmenți oscilanți (superior și inferior). Reducând astfel brațul forței, momentul va fi preluat de lagăre.

21. De asemenea, se recomandă ca treapta superioară de care se face prinderea suporturilor pentru contragreutăți să fie cu cel puțin 40 mm mai lungă decât treapta inferioară. Acest fapt va conduce la scăderea tensiunii echivalente din arbore.

22. Aplicabilitatea curbelor de corelație pentru variația diametrului mediu, procentului de cernut și suprafața specifică, pe de o parte, cu suprafața liberă a țesăturilor și latura orificiilor, poate fi aceea a estimării laturii orificiilor țesăturilor ramelor de cernere astfel încât să se obțină o fracție cu particule într-un anumit interval de dimensiuni, cu o anumită suprafață specifică și având un anumit procent de cernut, având în vedere că țesăturile sunt reglementate prin normative și standarde.

23. Curbele de distribuție granulometrică pot fi de un real ajutor tehnologilor din industria morărit în alegerea corespunzătoare a țesăturilor ramelor de cernere. Ele pot fi folosite pentru impunerea unui anumit procent de cernut sau refuz, funcție de ce se dorește pentru pasajul respectiv. În practică este posibil să se ceară ca o fracție de măcinș să aibă o anumită valoare a mărimii amestecului de particule ($K=a/b$), utilizând curbele granulometrice se pot stabili mărimea laturii orificiilor țesăturilor care stabilesc granițele aceluia amestec, în acest capitol arătându-se modalitatea de lucru cu graficele de distribuție granulometrică a măcinșurilor.

9.2. Contribuții personale

1. Studiu documentar privind studiul actual al cercetării în domeniul cernerii și sortării pe fracții a măcinșurilor din unitățile de morărit industrial prin consultarea unui număr de 236 lucrări de specialitate atât pe plan intern cât și extern.

2. Analiza fluxurilor tehnologice în cadrul unei unități de industrializare a grâului cu capacitatea de 100t/24h, din perspectiva fracțiilor sortate în compartimentele de sită plană.
3. Analiza din punct de vedere mecanic a mișcării vibratorii a sitei plane pentru cernerea produselor de măcinș și dezvoltarea unui model fizico-matematic pentru determinarea ecuațiilor de mișcare ale acestora utilizând ecuația lui Lagrange de ordinul II.
4. Analiza structurală și cinematică a unui nou sistem de acționare a sitelor plane fără contragreutăți al firmei Rüter Maschinenbau GmbH & Co din Germania.
5. Dezvoltarea unui model matematic pentru determinarea coeficienților de extracție în cadrul compartimentelor de sită plană atât pentru cernerea ideală cât și pentru cernerea incompletă a particulelor cu dimensiuni mai mici decât orificiile.
6. Analiza optimizării dimensionale (masice) a mecanismului de acționare cu contragreutăți a sitei plane SPP420 de construcție românească utilizând un software de proiectare parametrizată (utilizând programul Solid Works 2013 cu modulele Motion și Simulation).
7. Utilizarea unor funcții de distribuție granulometrică pentru estimarea debitelor fracțiilor de măcinș sortate în compartimentul de sită plană pe baza determinării experimentale realizate pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit industriale.
8. Determinarea experimentală a caracteristicilor granulometrice (distribuția după dimensiuni, dimensiuni medii echivalente) ale măcinșurilor sortate pe fluxul tehnologic al unei unități de morărit, atât în faza de șrotare cât și în faza de măcinare (13 pasaje tehnologice –138 fracții pentru grâu din producția anilor 2009 și 2011) și analiza variației acestora pe fluxul tehnologic.
9. Testarea prin analiză de regresie neliniară pe calculator a legilor de distribuție granulometrică și identificarea celei mai potrivite legi de apreciere a distribuției pentru toate fracțiile analizate.
10. Cercetări experimentale privind influența regimului cinematic și a cantității de material asupra eficienței procesului de cernere (coeficientul de separare a cernutului din materialul inițial).
11. Studiu de caz privind aplicarea modelului matematic pentru coeficienții de extracție în cazul cernerii ideale.
12. Cercetări experimentale privind determinarea caracteristicilor fizice (masa volumică, densitatea, suprafața specifică, porozitatea, coeficient de frecare și unghi de taluz natural) ale fracțiilor de măcinș sortate în compartimentul de sită plană ale unității de morărit analizată în cadrul lucrării, analiza variației acestor caracteristici pe fluxul tehnologic, dar și corelarea diametrului mediu, suprafeței specifice și procentului de cernut cu latura orificiilor țesăturilor și suprafața activă a acestora pentru trei compartimente de sită plană din faza de șrotare la unitatea de morărit analizată.
13. Studiu de caz privind aplicarea modelului matematic pentru studiul mișcării particulelor de material pe ramele de sită plană ale unui compartiment de cernere.
14. Cercetări experimentale privind consumul de energie la acționarea sitei plane pentru sortarea produselor de măcinș.
15. Prelucrarea, analiza și interpretarea rezultatelor cercetării experimentale contribuind astfel la aprofundarea cunoștințelor din domeniul studiat.
16. Rezultatele obținute din studiile și cercetările efectuate au fost valorificate prin elaborarea și publicarea unui număr de 14 lucrări științifice în reviste de specialitate, în volumele unor conferințe naționale și internaționale și prezentarea acestora în cadrul unor evenimente științifice naționale și internaționale, în calitate de autor și coautor. Aceste lucrări sunt menționate la bibliografia tezei la pozițiile [36,37,38,39,40,41,143,144,165,171, 172,173,174,175].

9.3. Direcții viitoare de cercetare

- Continuarea cercetărilor privind procesul de separare a măcinșurilor în compartimentele de sită plană și corelarea rezultatelor obținute privind caracteristicile granulometrice și fizice ale fracțiilor cu parametrii constructivi și funcționali ai sitei plane.
- Continuarea cercetărilor privind consumul de energie la acționarea sitei plane pentru mai multe regimuri de lucru (turații, debite, amplitudini ale mișcării).
- Continuarea cercetării privind analiza optimizării dimensionale a componentelor mecanismelor de acționare ale sitelor plane.

- Cercetarea din punct de vedere mecanic a sistemelor de suspendare a sitelor plane și a altor utilaje de cernere.
- Analiza cu elemente discrete a mișcării particulelor de material pe ramele de sită plană pentru diferite grosimi ale stratului de material și diferite regimuri cinematice.

Bibliografie selectivă

- [5] Alkhalidi, H.; Eberhard, P., Computation of Screening Phenomena in a Vertical Tumbling Cylinder, Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics (PAMM), Berlin, Germany, Vol. 6, No. 1, pp. 83-84, 2006;
- [6] Alkhalidi H. – Contact investigations of granular mechanical media in a tumbling sorting machine; Lucrare de disertație, Institut für Technische und Numerische Mechanik 7, Shaker Verlag, Aachen, 2007;
- [7] Alkhalidy H., Eberhard P., Particle screening phenomena in an oblique multi-level tumbling reservoir – a numerical study using discrete element simulation, Granular Matter 9 (6), pag. 415-429, 2007;
- [8] Alkhalidi H., Ergenziger C., Fleißner F., Eberhard P., Comparison between two different mesh descriptions used for simulation of sieving processes, Granular Matter 10, pag.223-229, 2008;
- [9] Allen T., Particle size analysis by sieving, Powder Sampling and Particle Size Determination, Elsevier, pag. 208 – 250, Ch. 4, 2003;
- [10] Andrzejczak P., Wodzinski P., Model of screening in the layer, Powder Handling Proc., 6(3), pag. 264-272, 1994;
- [12] Apling A.C., Blinding of screens by sub-sieve sized particles, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section C, Mineral Processing and Extractive Metallurgy 93, C92-C94, 1984;
- [14] Babic L., Babic M., Turan J., Matic-Kekic S., Physical and stress-strain properties of wheat (*Triticum aestivum*) kernel. Jsci Food Agric 91, pag.1236-1243, 2011;
- [15] Bălan I., Bernic M., Măcinișul grâului pe sortimente la o moară cu capacitatea de 24 t/24 h, Conferința Națională Cercetare Științifică în condițiile integrării europene, Secțiunea VII, Brăila, pag.920-924, 2004;
- [16] Bandemer H., Espig D., A mathematical model of the batch sieving procedure, Powder Technology,41: pag. 227-231, 1978;
- [17] Banu I., Principii generale de morărit, Ed. Fundației Universitare Dunărea de Jos, Galați, 249 pag., ISBN 978-973-627-388-9, 2007;
- [18] Barbosa-Canovas G.V., Ortega-Rivas E., Juliano P., Separation and classification, Food Powders, Physical properties, Processing and functionality. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, p.: 247-270, Ch. 10, 2005;
- [23] Brereton T., Dymott K.R., Some factors wich influence screen performance, in: Jones M.J. (Ed.), Tenth International Mineral Processing Congress, IMM, London, pag. 181-194, 1974;
- [40] **Constantin G. A.**, Moise V., Voicu Gh., Ștefan E.M., Structural model for an actuation mechanism of plansifters in wheat mills, Proceedings of the 41. International symposium on agricultural engineering, Opatija, Croatia, pag. 268-278, ISSN 1848-4425, 2013;
- [45] Curran, S., Eustace, W., Gwirtz, J., The effect of cloth tension on sifting performance, Technical Bulletin, May, pag.6379-6381; International Association of Operative Millers: Overland, KS, 1994;
- [53] Eberhard, P., Alkhalidi, H., Efficient computation of colliding particles in a vertical tumbling sorting machine. In: Proceedings Second International Congress on Computational Mechanics and Simulation (ICCMS), vol. 1. I.K. Publishing House, New Delhi, pag. 81–87, 2006;
- [73] Hu Ji-Yun, Yu Cui-Ping, Yin Xue-Gang, DYNAMIC ANALYSIS OF STARTING PROCESS OF A SQUARE PLANSIFTER, Journal of Experimental Mechanics, 2002 (04);
- [84] KeShun Liu, Some factors affecting sieving performance and efficiency, Powder Technology, 193, page 208-213, 2009;
- [90] Li, J.,Webb, C., Pandiella, S., Campbell, G., A numerical simulation of separation of crop seeds by screening-effect of particle bed depth. Inst. Chem. Eng. IChemE Part C 80, 109–117, 2002;
- [91] Li J., Webb C., Pandiella S., Campbell G., Discrete particle motion on sieves – a numerical study using the DEM simulation; Powder Technology, 133, pag.:190 – 202, 2003;
- [114] Panțuru D., Calculul utilajelor din industria morăritului, Vol.I – Mașini pentru clasarea mecanică, Galați, 1993;
- [152] Țucu D., Sisteme tehnologice integrate pentru morărit și panificație, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2007;
- [157] Voicu Gh., Cășândroi T., Unele considerații privind acționarea sitelor pentru cernerea produselor de măciniș, Construcția de Mașini, București, 11-12, pag.13-15. 2003;
- [165] Voicu Gh., T. Cășândroi, Biriș S.Ș., David M.F., Tudosie E.M., **Constantin G.-A.**, Cercetări teoretice și experimentale privind procesele de lucru dintr-o unitate de morărit pentru cereale în vederea modernizării și creșterii performanțelor acesteia, RAPORT DE CERCETARE, Proiect Program IDEI-PCE, contract nr.753 / 15.01.2009, cod ID_1726;
- [171] Voicu Gh., **Constantin G.AL**, Ștefan E.M., Comparative granulometric characteristics of grist fractions from plansifter compartments of one and two reduction roll passages in a milling plant of 4.2 t/h, Progress of Cryogenics and Isotopes Separation, Vol.16, Nr. 1, p. 51-62, ISSN 1582-2575, 2013;