

**MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII,  
TINERETULUI ȘI SPORTULUI  
UNIVERSITATEA "LUCIAN BLAGA" DIN SIBIU  
FACULTATEA DE ȘTIINȚE AGRICOLE,  
INDUSTRIE ALIMENTARĂ ȘI PROTECȚIA  
MEDIULUI**



**TEZĂ DE DOCTORAT  
-Rezumat-**

Conducător științific:

**Prof. univ. dr. ing. Vasile JÂȘCANU**

Doctorand:

**ing. Cristina Anca DANCIU**

**Sibiu, 2011**

## INTRODUCERE

Teza de doctorat a fost elaborată pe baza cercetărilor efectuate în laboratorul de „Tehnologia, utilajul și controlul calității în industria morăritului”, din cadrul **Facultății de Științe agricole, Industrie alimentară și Protecția mediului, Universitatea „Lucian Blaga” – Sibiu**.

O parte semnificativă a documentării bibliografice, precum și debutul cercetărilor experimentale au fost derulate în cadrul unui stagiu de bursă doctorală, la **Universitatea de Stat Iowa – SUA, Food Science Department**, prin programul de burse **Norman Borlaug, 2006**.

Continuarea activității de cercetare pentru finalizarea tezei, a fost posibilă prin includerea autorului ca membru în colectivul de cercetare aferent contractului **CNCSIS PN II IDEI, nr. 411/ 2007-2010, Cercetări privind realizarea unei instalații pentru măsurarea rezistenței la mărunțire, a cerealelor și fracțiunilor intermediare, obținute în procesul de măcinare**, Director proiect Prof. dr. ing. Danciu I., valoare: 778.000 RON.

Lucrarea este structurată pe 5 capitole, cuprinde o listă bibliografică de 135 titluri, din care 50 % sunt publicații din ultimii 10 ani. Diseminarea rezultatelor este reprezentată de lista lucrărilor publicate, în domeniul abordat în cadrul studiilor doctorale. Sunt menționate 8 titluri de articole publicate în reviste de specialitate, de circulație internațională și 6 articole publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale recunoscute. Din totalul de **14 lucrări publicate**, **5** sunt recunoscute de **ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge**.

În **Capitolul I**, intitulat *Necesitatea și obiectivele științifice ale tezei de doctorat* sunt prezentate **obiectivele științifice** ale tezei de doctorat, cu justificarea alegerii domeniului de cercetare referitor la optimizarea energetică a mărunțirii grâului, la prima treaptă de șrotare.

**Capitolul II**, *Stadiul actual al cercetărilor privind mărunțirea grâului, în raport cu energia consumată* reprezintă **studiul documentar** necesar stabilirii premiselor teoretice care au generat coordonatele cercetării doctorale. Sunt detaliate bazele teoretice ale procesului de mărunțire în Industria morăritului, factorii care influențează procesul de mărunțire, influența procesului de mărunțire asupra indicilor de funcționare ai morii, factorii care influențează energia consumată la mărunțire, modalități de exprimare a energiei consumate la mărunțire, metode practice de măsurare a energiei. Capitolul se încheie cu rezultate practice cunoscute în literatura de specialitate, privind consumul de energie în cazul măcinării grâului.

**Partea experimentală** a tezei de doctorat, debutează cu **Capitolul III**, *Materiale, metode de analiză și aparatură utilizată în cercetarea experimentală*. Cercetarea a fost realizată pe două soiuri de grâu (*Triticum aestivum, ssp. vulgare*) românesc, Dropia și Pegasus, din recolta 2009. Analizele de laborator care s-au efectuat pentru determinarea indicilor de calitate ai grâului, din sectorul morăritului sunt conform SR ISO 7970-2001 – Grâu. Specificații. Aparatura utilizată este de ultimă generație și aparține laboratorului de la disciplina „Tehnologia, utilajul și controlul calității în industria morăritului”, din cadrul **Facultății de Științe agricole, Industrie alimentară și Protecția mediului, Universitatea „Lucian Blaga” – Sibiu**.

Cercetarea experimentală care stă la baza acestei teze de doctorat, s-a realizat cu ajutorul unei instalații nou proiectate, care poate determina rezistența la mărunțire a particulelor intermediare, obținute la măcinarea cerealelor. Conceperea, brevetarea, proiectarea și realizarea unei instalații pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor și a fracțiunilor obținute în procesul de măcinare a cerealelor au reprezentat obiectivul unui contract de cercetare CNCSIS, derulat pe parcursul a 3 ani, PN II IDEI, nr. 411/2007.

**Capitolul IV, Analiza factorilor ce influențează rezistența la mărunțire a cerealelor,** conține analiza detaliată a mărunțirii grâului în prima treaptă de mărunțire, șrotul 1 (Sr.1.) cel mai mare consumator de energie, în vederea alegerii parametrilor tehnologici optimi în funcție de indicatorii calitativi ai lotului de grâu măcinat. Studiul consumului de energie la mărunțire este direct corelat cu rezistența opusă de cereale și produse intermediare, în procesul de mărunțire. Fiecare etapă de mărunțire presupune un anumit consum de energie, care cumulat, va reprezenta pe ansamblul procesului de măcinare, o anumită valoare.

Au fost analizați parametri optimi de condiționare a cerealelor atât din punctul de vedere al proprietăților de măcinș cât și al consumului energetic la măcinare, au fost testate și evaluate influența indicatorilor calitativi ai grâului asupra rezistenței la mărunțire, influența numărului de rifluri/cm, ai cilindrilor măcinători, asupra rezistenței la mărunțire, influența poziției relative a riflurilor asupra rezistenței la mărunțire a cerealelor, influența distanței dintre cilindri măcinători, asupra rezistenței la mărunțire. Cercetarea a abordat măsurarea rezistenței la mărunțire, pe un bob, precum și eficiența mărunțirii la primul șrot Sr.1, prin analiza granulometrică a fracțiunilor rezultate la mărunțirea grâului pentru determinarea gradului de mărunțire, finalizându-se cu aprecierea consumului de energie la mărunțire.

**Capitolul V, Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare,** sintetizează rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale din prezenta lucrare de doctorat, precizează contribuțiile personale ale autoarei și sugerează direcțiile pe care se pot continua cercetările pe această temă.

\*\*\*

La finalul acestei etape, gândurile și recunoștința mea se îndreaptă spre toți aceia care m-au sprijinit la elaborarea și finalizarea tezei de doctorat.

Cu această ocazie doresc să adresez mulțumirile mele domnului **Prof. dr. ing. Vasile Jâncanu**, conducătorul științific al tezei de doctorat, pentru competența cu care a coordonat întreaga activitate desfășurată pe parcursul elaborării tezei, precum și pentru suportul oferit pentru depășirea obstacolelor neprevăzute.

Mulțumesc în mod special **Prof. dr. Lester Wilson** conducătorul de cercetare al Food Science Department, Iowa State University, precum și **dr. Mark Love**, pentru suportul moral și expertiza științifică oferite, cunoștințele acumulate fiind fundamentale în elaborarea și finalizarea tezei de doctorat.

Mulțumesc membrilor comisiei pentru evaluarea și susținerea Tezei de doctorat, pentru onoarea ce mi-o fac prin analiza lucrării, precum și pentru acceptul de participare la lucrările comisiei.

Mai mult decât simple mulțumiri, adresez în mod special soțului și părinților mei, cei care prin vorbe m-au învățat și prin propriul lor exemplu m-au călăuzit.

**noiembrie 2001**

**Cristina-Anca Danciu**

# CUPRINS

1. Obiectivele tezei de doctorat
2. Studiul documentar
3. Materialele, metodele de analiză și aparatura utilizată în cercetarea experimentală
4. Analiza factorilor ce influențează rezistența la mărunțire, a grâului
5. Concluziile generale și direcțiile viitoare de cercetare

## OBIECTIVELE TEZEI

### Capitolul I. NECESITATEA ȘI OBIECTIVELE ȘTIINȚIFICE ALE TEZEI DE DOCTORAT

Lucrarea de față își propune să atingă următoarele **obiective**:

1. Testarea și utilizarea în experimentele de laborator a instalației de măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire;
2. Stabilirea parametrilor optimi de condiționare a cerealelor atât din punctul de vedere al proprietăților de măcinș cât și al consumului energetic la măcinare;
3. Analiza detaliată a mărunțirii grâului în prima treaptă de mărunțire, șrotul 1 (Sr.1.) cel mai mare consumator de energie, în vederea alegerii parametrilor tehnologici optimi în funcție de indicatorii calitativi ai lotului de grâu măcinat:
  - 3.1. Influența indicatorilor calitativi ai grâului asupra rezistenței la mărunțire;
  - 3.2. Influența numărului de rifluri/cm, ai cilindrilor măcinători, asupra rezistenței la mărunțire;
  - 3.3. Influența poziției relative a riflurilor asupra rezistenței la mărunțire a cerealelor;
  - 3.4. Influența distanței dintre cilindri măcinători, asupra rezistenței la mărunțire;
4. Măsurarea rezistenței la mărunțire, pe un bob;
5. Aprecierea eficienței mărunțirii la primul șrot Sr.1, prin analiza granulometrică a fracțiunilor rezultate la mărunțirea grâului pentru determinarea gradului de mărunțire;
6. Aprecierea consumului de energie la mărunțire.
7. Identificarea oportunităților de folosire a instalației de măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire, ca material didactic în lucrările de laborator cu studenții, la disciplina „Tehnologia, utilajul și controlul calității în industria morăritului”.

## STUDIUL DOCUMENTAR

### Capitolul II. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND MĂRUNȚIREA GRÂULUI, ÎN RAPORT CU ENERGIA CONSUMATĂ

1. Bazele teoretice ale procesului de mărunțire
  - 1.1 Forțele care acționează în zona de mărunțire
  - 1.2 Acțiunea reciprocă a forțelor, în cazul rotirii tăvălugilor cu viteză periferică egală
  - 1.3 Acțiunea reciprocă a forțelor, când tăvălugii se rotesc cu viteze periferice diferite
2. Factorii care influențează procesul de mărunțire
  - 2.1 Caracteristica procesului de mărunțire, în funcție de cerințele impuse de produsele mărunțirii

2.2 Caracteristica procesului de mărunțire, în funcție de proprietățile fizice ale cerealelor și ale părților lor principale

3. Influența procesului de mărunțire asupra indicilor de funcționare ai morii

4. Factorii care influențează energia consumată la mărunțire

5. Modalități de exprimare a energiei consumate la mărunțire

6. Metode practice de măsurare a energiei

6.1. Definiții

6.2. Metode de măsurare a puterii

7. Rezultate practice privind consumul de energie în cazul măcinării grâului

\*\*\*

Unul dintre principalii indici, care caracterizează procesul de mărunțire al cerealelor, este gradul de mărunțire. Gradul de mărunțire este exprimat prin raportul suprafeței noi formate a particulelor rezultate în urma mărunțirii, la suprafața inițială a acestora:

$$i = \frac{S_t}{S_i}$$

în care  $i$  - gradul de mărunțire;

$S_t$  - suprafața totală a particulelor produsului, în urma mărunțirii, în  $\text{cm}^2$ ;

$S_i$  - suprafața totală a produsului, înainte de mărunțire, în  $\text{cm}^2$ .

Pentru operațiile tehnologice de mărunțire din unitățile de morărit, gradul de mărunțire este cuprins între 10...1000, fiind considerat o mărunțire spre mărunțire fină (Danciu I., 2000).

Mărunțirea cerealelor la mori, în funcție de sortimentul produselor finite, se poate realiza printr-un măciniș strâns (simplu sau plat) sau printr-un măciniș dezvoltat (pe calitate, înalt sau semiînalt) (Campbell G.M. et al, 1999).. Trebuie subliniat faptul că „măciniș” în sensul larg, înseamnă nu numai mărunțirea, ci și cernerea, curățirea (sortarea), controlul făinii și un șir de alte operații tehnologice. Când se sfărâmă întreg bobul (endospermul, embrionul și învelișul), într-o făină de un singur sort, procesul este mai puțin complicat. Dacă nu se ține seamă de pierderile care se produc cu ocazia mărunțirii, greutatea făinii obținute la un astfel de măciniș este egală cu greutatea cerealelor curățite, care au intrat la valțuri. Măcinișul de mai sus se poate executa, sfărâmând cerealele printr-o singură trecere prin mașină (măciniș dintr-odată) sau prin câteva treceri consecutive cu cernerea intermediară a particulelor mărunte dirijate tot spre făină (măciniș repetat) (Austin L. et al, 1980, 1981).

Prin măcinișul dintr-odată (plat) se urmărește mărunțirea tuturor boabelor direct la dimensiunile făinii. În cazul când se produce făină pe calități, în special făină de calitate superioară, procesul de mărunțire se complică brusc.

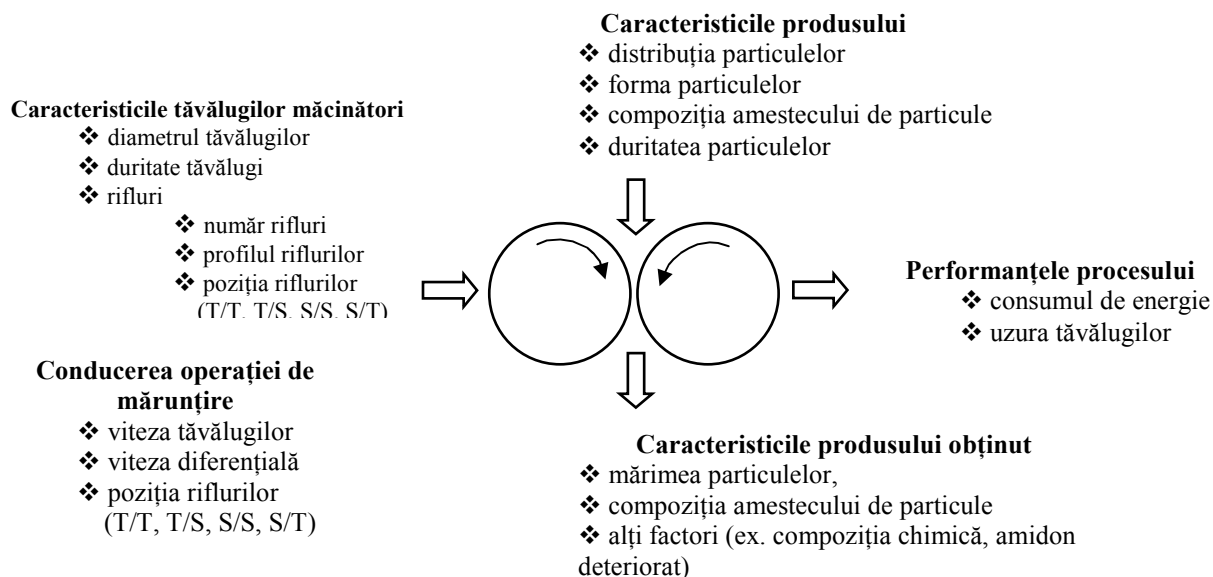
Făina de calitate reprezintă endospermul sfărâmat, în amestec cu o oarecare cantitate de particule de înveliș. Cu cât făina conține mai puține particule din înveliș, cu atât calitatea ei este mai bună (culoare mai deschisă, cenușă mai puțină, iar pâinea rezultată are un volum mai mare). Din această cauză la mărunțirea cerealelor în făină de calitate se urmărește nu numai sfărâmarea bobului pînă la o dimensiune anumită, ci și o separare mai completă a particulelor endospermului, de înveliș și de embrion (Posner Elieser S., Hibbs Arthur N., 1997). Tendința de a obține o extragere maximă a endospermului din boabe și o cât mai bună separare a învelișului, a determinat caracterul procesului actual de mărunțire, care este foarte dezvoltat.

Mărunțirea grâului în făină de calitate, se bazează, în prezent, pe folosirea diferitelor proprietăți fizico-mecanice ale endospermului și ale învelișului. Aceste proprietăți apar mai evident după condiționarea cerealelor ; învelișurile devin mai plastice, cu alte cuvinte capătă proprietatea de a se supune deformațiilor finale fără a se distruge, iar endospermul devine

mult mai sfărâmicios, adică se sfărâmă la cele mai neînsemnate deformații finale (Arnold P.C. et al, 1986).

La mărunțire, endospermul mai sfărâmicios se divide în părți, iar învelișurile mai plastice se sfărâmă într-un grad mai mic și iau înfățișarea unor foițe, fapt care înlesnește separarea lor de endosperm (Dobraszczyk, B.J., 1994). Pentru a nu se produce mărunțirea învelișului într-un grad mare, la baza organizării măcinășului dezvoltat (înalt sau semiînalt) stă metoda mărunțirii treptate și continuu a boabelor mici și a produselor intermediare (Campbell G.M., Webb C., 2001). Această metodă, în îmbinare cu organele de lucru cele mai potrivite ale valțurilor și ale parametrilor lor cinematici, dă posibilitatea desfășurării procesului de mărunțire, astfel încât să se obțină o mărunțire minimă a învelișului și să se extragă din boabe o cantitate maximă de endosperm.

Caracteristica procesului de mărunțire depinde, în special, de complexul indicilor calitativi, pe care trebuie să-i posede făina ; cu alte cuvinte, de condițiile tehnice și de cerințele impuse de produsele mărunțite



**Fig. 3** Factorii care afectează mărunțirea boabelor de grâu la Șr I (Campbell, 2007)

Consumul de energie pentru mărunțirea boabelor de cereale depinde de următorii factori:

- ↗ caracteristicile produsului supus mărunțirii
  - structura endospermului, gradul de comprimare a materialului în bob, proprietățile intrinseci ale învelișurilor,
  - forma și mărimea boabelor,
- ↗ modul de pregătire a grâului pentru măcinăș
  - condiționarea hidrică (umectare – odihnă),
  - umiditatea la Șr I,
- ↗ caracteristicile valțului (tăvălugilor măcinători)

- parametrii dimensionali ai tăvălugilor măcinători,
  - caracteristicile tăvălugilor măcinători (nr. rifluri/cm, profilul riflurilor, poziția relativă, înclinare, viteza diferențială),
- ⇒ modul de conducere a procesului tehnologic
- deschiderea dintre tăvălugi / încărcarea specifică la valțuri,
- ⇒ extracția realizată de făină.

Există mai multe **modalități de exprimare a energiei consumate la mărunțire**.

Cel care a propus prima teorie legată de mărunțire, *Von Rittinger* (1867) a demonstrat că energia necesară la mărunțirea unui material este direct proporțională cu aria suprafeței nou formate, ca urmare a procesului de mărunțire. Postulatul său este exprimat prin relația:

$$E_M = k \left[ \frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right]$$

în care:

$E_M$  = energia la mărunțire, pe unitate de masă produs alimentat

$k$  = coeficient specific suprafeței; constantă

$x_1$  = dimensiunea particulelor înainte de mărunțire

$x_2$  = dimensiunea particulelor după mărunțire

*Kick* (1885) a dezvoltat o a doua teorie, conform căreia raportul dimensiunilor inițiale și finale ( $x_1/x_2$ ) ale particulelor similare din punct de vedere geometric, este proporțional cu energia necesară la mărunțire.

*Bond* (1952) a propus o a treia teorie a mărunțirii, prin care energia necesară la sfărîmarea este proporțională cu rădăcina pătrată a raportului dintre aria suprafeței și volumul materialului supus mărunțirii.

Aceste teorii, împreună cu limitele lor, au fost studiate de *Rose* (1967) și *Guritno și Haque* (1994). O teorie care le unifică pe cele trei precedente a fost emisă de *Walker et al.* (1937) și *Rose* (1967).

Energia specifică de la mărunțire poate fi calculată cu relația propusă de *Sokolowski* (1996), citat de *Pujol et al.*: (2000)

$$E_t = K \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right)$$

în care:

$E_t$  = energia specifică totală la mărunțire

$K$  = indexul de mărunțire  $S$

$D, d$  = mărimea particulelor înainte și după mărunțire

$$D = \left( \frac{1}{\sum_j \frac{G_j}{\sqrt{D_j}}} \right)^2 \quad \text{și} \quad d = \left( \frac{1}{\sum_i \frac{g_i}{\sqrt{d_i}}} \right)^2$$

$G_j, g_i$  = masa fracțiunilor de particule cu diametrele  $D_j$  și  $d_i$  (media diametrelor particulelor cernute între două site).

Pornind de la faptul că suprafața nou creată este datorată în principal particulelor fine de produs, indexul de mărunțire poate fi definit corelând consumul de energie ( $E_t$ ) cu cantitatea de făină (particule cu dimensiuni mai mici de 200  $\mu\text{m}$ ) obținută ( $Q_F$ ):

$$K' = \frac{E_t}{Q_F}$$

Însă boabele de grâu, ca și material biologic, cu diferite proprietăți fizice și chimice, nu pot urma întru-totul teoria clasică, dezvoltată pentru materialele omogene, cum ar fi sticla, quartz-ul, cărbunele (*Guritno și Haque, 1994*).

Așa că o mai bună abordare a procesului de mărunțire corelat cu consumul de energie, este cea care ia în considerare și caracteristicile valțului.

*Matwoff* a efectuat studii teoretice și teste prin care a demonstrat că energia consumată la mărunțire se poate calcula cu relația

$$W_0 = P_r \cdot \omega_1 \cdot \left[ \text{tg } \varphi \cdot \left( 1 - \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{\delta}{r} \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right]$$

în care:

$\omega_1$  = viteza unghiulară a tăvălugului rapid,

$r$  = raza tăvălugilor,

$R_1$  = raza roții de lanț de pe tăvălugul lent,

$R_2$  = raza roții de lanț de pe tăvălugul rapid,

$\delta$  = centrul bobului de grâu,

$\text{tg } \varphi$  = unghiul de frecare a particulei pe suprafețele tăvălugilor,

$P_r$  = presiunea exercitată de bob la ieșirea din zona de mărunțire.

*J. Pratique* a folosit următoarea relație pentru calculul energiei la mărunțire

$$W = \frac{\pi}{30} [T \cdot r \cdot (n_1 - n_2) + N \cdot K \cdot (n_1 + n_2)]$$

Dacă se fac următoarele înlocuiri

$T$  cu  $P \cdot \text{tg } \varphi$ ,

$N$  cu  $P$ ,

$n_1$  cu  $\frac{30 \cdot \omega_1}{\pi}$ ,

$n_2$  cu  $\frac{30 \cdot \omega_1 \cdot R_2}{\pi \cdot R_1}$

se constată că expresia folosită de *Pratique* corespunde relației pentru consumul total de energie folosite de *Matwoff*.

*Pratique* a demonstrat că relația ce definește consumul de energie la mărunțire poate fi exprimată în trei maniere diferite (*Godon și Willm, 1994*).

Prima utilizează lucrul mecanic total din sistem. Lucrul mecanic elementar,  $d\tau_0$ , al forței  $F$ , ce face o rotație în jurul axei, este egal cu produsul sau deplasarea infinitezimală  $d\theta$ , din momentul  $\mu = xT - yN$  al forței care respectă axele:

$$d\tau_0 = \mu \cdot d\theta = (xT - yN) \cdot d\theta$$

A doua modalitate implică rezultanta sau lucrul mecanic absolut al sistemului de forțe aplicate oricărui sistem material și este suma lucrului mecanic necesar și a lucrului mecanic relativ. Lucrul mecanic elementar a fost compus asemănător vitezelor:

$$d\tau_0 = d\tau_e + d\tau_r$$

A treia relație implică suma lucrului mecanic absolut realizat de ambii tăvălugi. Lucrul mecanic elementar este exprimat prin:

$$d\tau_e = d\tau_n + d\tau_t$$



Fiecare lucru mecanic  $d\tau n$  și  $d\tau t$  din componentele N și T ale forței rezultante este suma lucrului mecanic realizat de tăvălugi.

*Manthey* (2001) propune pentru calculul puterii la valț următoarea expresie empirică

$$W = 0,735 \cdot \frac{D \cdot L \cdot v_1 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sqrt[3]{R \cdot T \cdot p'}}$$

în care:

D = diametrul tăvălugilor, m,

L = lungimea tăvălugilor, m,

R = numărul de rifluri pe cm circumferință,

p' = coeficientul necesarului de forță (șrotare – 4,5, desfăcătoare și măcinătoare netede – 4,0, măcinătoare rifluite – 4,5),

v<sub>1</sub> = viteza periferică a tăvălugului rapid, m/s,

γ = masa volumică a produsului, kg/m<sup>3</sup>.

*Husid* recomandă pentru calculul consumului de putere la măcinarea cerealelor

$$W = \Delta S \cdot A \cdot Q \cdot N_0$$

în care:

ΔS = suprafața nou formată la mărunțire, cm<sup>2</sup>/kg,

A = lucrul mecanic necesar pentru formarea unei unități de suprafață, kwh/cm<sup>2</sup>,

Q = capacitatea de lucru a valțului, kg/h,

N<sub>0</sub> = consumul de putere la mersul în gol, kw.

*Moog* a demonstrat că energia consumată la mărunțire se poate calcula cu

$$W = 0,735 \cdot (1,1 \cdot v_1 - 0,9 \cdot v_2) \cdot \frac{P \cdot \mu}{75} + Q$$

în care:

v<sub>1</sub> = viteza periferică a tăvălugului rapid, m/s,

v<sub>2</sub> = viteza periferică a tăvălugului lent, m/s,

μ = coeficientul de frecare dintre material și suprafața tăvălugului (0,3),

P = presiunea dintre tăvălugi

$$P = \frac{L \cdot Z \cdot l \cdot p}{1000}$$

L = lungimea tăvălugilor, m,

Z = numărul normal de boabe pe m<sup>2</sup>,

l = lungimea medie a unui bob, mm,

p = presiunea pe un bob, în funcție de umiditate și deschidere, kg,

Q = lucrul mecanic de sfărâmare

$$Q = 0,735 \cdot \frac{F \cdot Z \cdot v \cdot q}{75000}$$

F = suprafața laterală a tăvălugului

$$F = D \cdot L$$

D = diametrul tăvălugilor, m,

q = lucrul mecanic specific, kg·mm.

*Afanasiev* a studiat procesul de mărunțire la valțuri considerând că valoarea maximă a presiunii exercitate de tăvălug asupra particulei este direcționată pe linia centrelor tăvălugilor (*Moraru, 1992*). Considerând că cei doi tăvălugi (cu lungimea l) se rotesc cu aceeași viteză (v), dar cu sens contrar, o particulă cu un anumit diametru care ajunge în zona de mărunțire (o deschidere între tăvălugi δ și un unghi de prindere α) va fi comprimată de o forță de presiune (P) a cărei valoare va fi maximă pe linia centrelor tăvălugilor. Valoarea comprimării relative

în diferite puncte ale drumului de prelucrare este proporțională cu gradul de mărunțire al particulei. Asupra particulei acționează o forță care o împinge în zona de mărunțire (T).

Cantitatea de energie necesară a fi folosită pentru a învinge forța T de pe circumferința celor doi tăvălugi care se rotesc cu vitezele  $v_R$  și  $v_L$  este:

$$W = \frac{2}{3} \cdot P \cdot l \cdot r \cdot \alpha \cdot (v_R + v_L) \cdot \left( f - \frac{3}{8} \cdot \alpha \right)$$

în care:

$r$  = raza tăvălugului,

$f$  = coeficientul de frecare al particulei de tăvălugi.

Această relație este folosită în cazul în care tăvălugii sunt netezi.

În cazul tăvălugilor rifluiți se folosește următoarea relație empirică:

$$W = 0,10466 \cdot E \cdot \frac{l \cdot r \cdot n}{\psi \cdot t}$$

în care:

$E$  = lucrul mecanic consumat la forfecarea unei particule de produs pe o lungime de 1 mm tăvălug și a cărei valoare este în funcție de dimensiunea particulei ( $a$ );  $E = 0,333 \cdot a$ , Kg·mm.

$n$  = turația tăvălugului lent, rpm,

$\psi$  = coeficientul de umplere a spațiului dintre tăvălugi,

$t$  = pasul riflului, mm.

## PARTEA EXPERIMENTALĂ

### Capitolul III. MATERIALE, METODE DE ANALIZĂ ȘI APARATURĂ UTILIZATĂ ÎN CERCETAREA EXPERIMENTALĂ

#### III.1. Materiale

Determinările au fost realizate pe două soiuri de grâu (*Triticum aestivum*, ssp. *vulgare*) românesc, Dropia și Pegasus, din recolta 2009. Caracteristicile fizico-chimice ale celor 2 soiuri de grâu sunt sintetizate în *Tabelul 1*.

**Tabel 1** Indicatorii de calitate ai celor 2 soiuri de grâu

Soi grâu	Dropia	Pegasus
<b>Indicator</b>		
Greutate hectolitrică [kg/hl]	71,2	77,2
Sticlozitate [%]	31	79
Conținut de gluten umed [%]	23,2	26,4
Umiditate [%]	13,3	13,2
Indice de cădere [s]	202	277
Proteine [%]	12,7	13,2
Număr de semințe în 100 g	2299	2132
Masa a 1000 de semințe [g]	43,497	46,893

### III.2. Metode de analiză

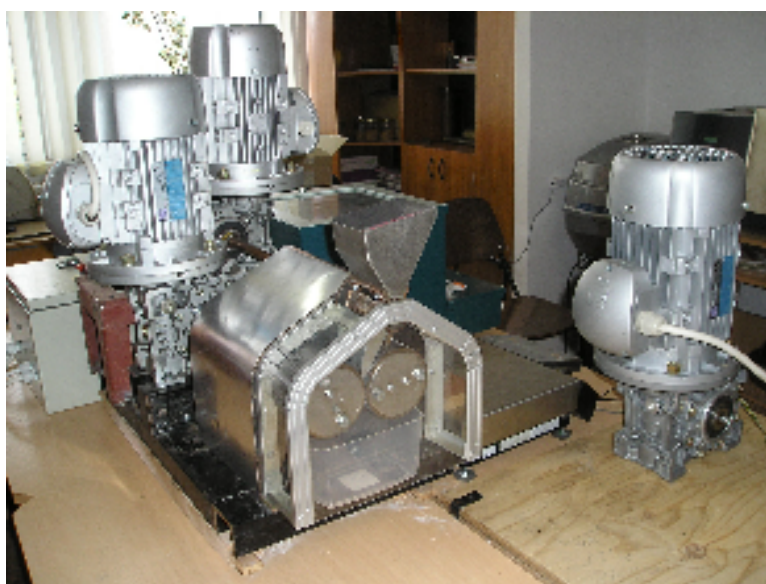
Analizele de laborator care se efectuează pentru determinarea indicilor de calitate ai grâului pentru panificație, din sectorul morăritului sunt conform **SR ISO 7970-2001 – Grâu.**

### III.3. Aparatura utilizată în determinările experimentale

*Tabel 2* Lista aparatelor folosite in determinări

Nr. crt.	DENUMIREA APARATULUI	SCOPUL UTILIZĂRII
1.	Taras Sadkiewicz Instruments	Curățire de impurități
2.	Divizor probe	Omogenizare eşantioane
3.	Morișcă de laborator PERTEN	Mărunțire probe, analiza calitativă
4.	Analizor NIR, Perten Instruments	Analiza calitativă
5.	Balanță electronică	Cântărire
6.	Șubler electronic Lothar Wehrle	Măsurare parametri dimensionali
7.	Instalația de măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire	Măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire
8.	Dispozitivul universal de testare Z 005 ZWICK-ROELL	Determinarea energiei necesare la tăierea și sfărâmarea (forfecare și compresiune) bobului de grâu
9.	Cernător vibrator RETSCH Gmbh	Cernere probe mărunțite
10.	Analizorul Fritsch „analysette 22” COMPACT	Analiza granulometrică

#### Instalația de măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire



**Fig. 1** *Instalația de măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire*

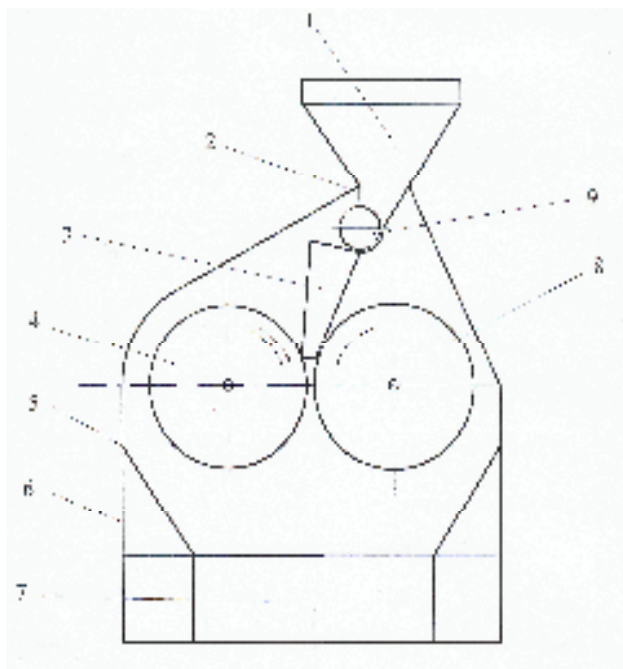
Măsurarea rezistenței la mărunțire, în cazul instalației propuse, se face în urma unui proces de mărunțire pe o instalație similară celei industriale, care folosește cilindri măcinători. A fost realizată o instalație capabilă să măsoare și să înregistreze rezistența cerealelor și a produselor intermediare (roturile mari, roturile mici, grișurile mari, mijlocii și mici, dunsturile aspre și moi).

În comparație cu instalațiile similare (durografe), indiferent de tipul constructiv, nici una nu este capabilă să ofere informații detaliate, privind comportarea cerealelor la mărunțire. Ele pot aprecia doar în ansamblu, rezistența cerealelor la măcinare.

Instalația permite determinarea rezistenței cerealelor și produselor intermediare, măsurată la măcinarea lor, într-un sistem unitar, similar celui industrial de mărunțire. Măsurarea rezistenței cerealelor se face în procesul de mărunțire, între cilindri măcinători. Rezistența la mărunțire se exprimă printr-o valoare unitară, determinată pe ansamblul perechii de cilindri măcinători.

Această valoare permite aprecieri comparative privind consumurile energetice la măcinare, între diferite soiuri sau loturi de cereale, dar și pentru diferite deschideri între cilindri și caracteristici ale suprafeței cilindrilor (număr de rifluri, poziție relativă a riflurilor: T/T, T/S, S/T, S/S, valori ale unghiurilor de ascuțire a riflurilor, raport al vitezelor periferice, înclinație).

Instalația permite alegerea parametrilor tehnologici, în vederea unei procesări optime, pentru fiecare etapă tehnologică, ce utilizează mărunțirea: șrotarea, desfăcerea grișurilor, măcinarea grișurilor și dunsturilor. Aprecierea rezistenței la mărunțire se face, prin măsurarea momentului rezistent opus de cereale sau de produsele intermediare, la mărunțirea lor între cilindri măcinători.



**Fig.2** Instalație pentru măsurarea rezistenței la mărunțirea a cerealelor și produselor intermediare

Buncărul de alimentare 1 permite preluarea probei de cereale sau produse intermediare ce este analizată. Pentru alimentarea cilindrilor măcinători se folosește un cilindru de

alimentare 9, cu turație variabilă. Clapeta 2 permite și ea reglarea debitului de alimentare. Carcasa este prevăzută în partea superioară cu o ușă de vizitare și control 3. Ușa de vizitare are o fereastră transparentă care permite urmărirea modului de realizare a alimentării. Produsele mărunțite sunt colectate în cutia colectoare 7, situată la partea inferioară a carcasei.

Aprecierea rezistenței cerealelor se face prin determinarea momentului rezistent înregistrat de către o celulă de măsurare tensometrică (fig. 30). Celula tensorială măsoară valoarea momentului rezistent, cu o frecvență de 5 măsurători pe secundă, și o transmite unui înregistrator de date .

Din analiza curbei trasate se pot determina:

–Momentul rezistent maxim  $MM_x$ ,

–Momentul rezistent mediu  $MM_d$ ,

–Consumul de energie la mărunțire (suprafața închisă de curbă)

#### Capitolul IV ANALIZA FACTORILOR CE INFLUENȚEAZĂ REZISTENȚA LA MĂRUNȚIRE A CEREALELOR

##### IV.1. Influența condiționării asupra rezistenței la mărunțire a boabelor de grâu

Ansamblul proceselor folosite la pregătirea grâului pentru măcinare, începând cu umectarea acestuia poartă denumirea de *Condiționare*. Condiționarea determină o serie de transformări ale proprietăților componentelor bobului, care se caracterizează prin îmbunătățirea proprietăților de măcinare ale cerealelor.

În urma condiționării, cerealele își îmbunătățesc substanțial proprietățile tehnologice de măcinare (Danciu C. et al, 2010). Această îmbunătățire constă în :

- reducerea conținutului mineral al făinurilor obținute prin măcinarea grâului și îmbunătățirea culorii ei;
- creșterea extracției de făină cu 1 - 2 % ;
- creșterea randamentului de produse intermediare;
- se îmbunătățesc cernerea și măcinarea produselor intermediare de măcinare;
- separarea învelișurilor de endosperm se realizează în condiții mai bune;
- scade consumul de energie la măcinare cu 5 - 25%;
- se îmbunătățesc proprietățile de panificație ale făinurilor rezultate din măcinare.

Fiecărui soi, fiecărui lot de grâu îi corespunde un regim optim de condiționare, caracterizat prin parametri de umiditate și durată de odihnă, la care poate fi exploatat potențialul maxim al acestuia de a fi transformat în făină (Dexter J. E., 1988).

Cantitatea de apă necesară umectării cerealelor se determină dintr-un bilanț parțial, în substanță uscată:

$$\begin{aligned} A + Q &= Q_1 \\ Q(100 - u_i) &= Q_1(100 - u_f) \\ A &= Q(100 - u_i) / (100 - u_f) - Q, \text{ în care:} \end{aligned}$$

A – debitul de apă, kg/h

Q – debitul de cereale, kg/h

$u_i$  – umiditatea inițială a boabelor de grâu, %

$u_f$  - umiditatea finală a boabelor de grâu, %

Pentru determinări au fost folosite microprobe de câte 30 g de grâu, condiționate până la umidități de 15,5% și 16%, la perioade de odihnă diferite, în funcție de soiul de grâu. Pentru soiul de grâu dur, Pegasus, s-au folosit perioade de odihnă de 3, 5, 7, 9 respectiv 11 ore. Pentru soiul de grâu moale, Dropia, s-au folosit perioade de odihnă de 1, 3, 5 respectiv 7 ore. Pentru fiecare determinare au fost preparate câte două probe paralele.

Probele condiționate au fost supuse mărunțirii cu instalația pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor. Caracteristicile instalației sunt: tăvălugi rifluiți cu lungimea de 50 mm și diametrul de 90 mm, cu o viteză a tăvălugului rapid de 500 rot./min., 5 rifluri/cm, distanța între tăvălugi de 0,6 mm, poziția relativă a riflurilor T/T (tăiș/tăiș) și

raportul vitezelor periferice (1:2,5). Momentul rezistent al particulelor de grâu supuse mărunțirii este măsurat de o celulă tensometrică, conectată la instalația de laborator și la un computer care trasează curba momentului rezistent.

Au fost supuse mărunțirii probe din grâul dur Pegasus, cu umiditatea finală de 15,5%, respectiv 16%. Toate probele au fost lăsate la odihnă, timp de 5 ore.

Softul computerului atașat la celula tensometrică, care măsoară momentul rezistent al grâului mărunțit, a trasat curbele pentru cele două umidități ale probelor de Pegasus. Din Fig.3, reiese că momentul rezistent corespunzător celui mai mic consum de energie, la mărunțire este cel pentru probele de grâu cu umiditatea finală de 16%.

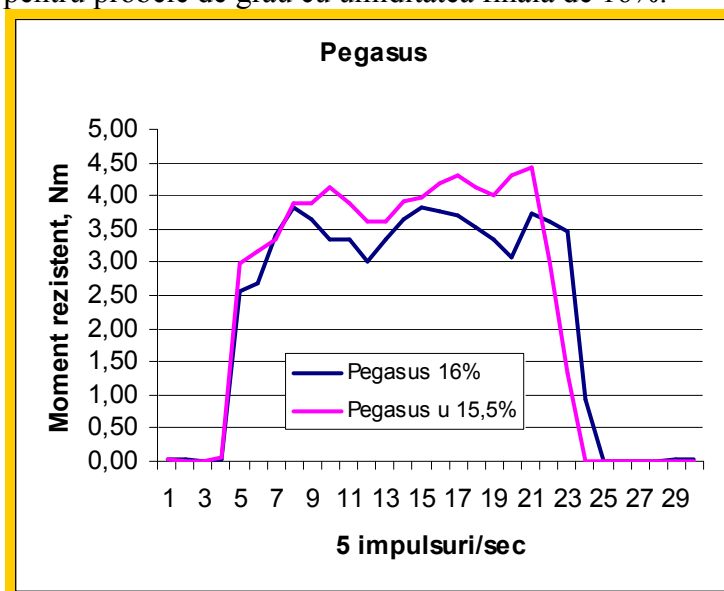


Fig. 3 Momentul rezistent pentru soiul Pegasus

Pentru grâul moale Dropia au fost supuse mărunțirii probe cu umiditatea finală de 15,5%, respectiv 16%. Toate probele au fost lăsate la odihnă, timp de 5 ore.

Din Fig.4, reiese că momentul rezistent corespunzător celui mai mic consum de energie, la mărunțire este cel pentru probele de grâu moale Dropia, cu umiditatea finală de 16%.

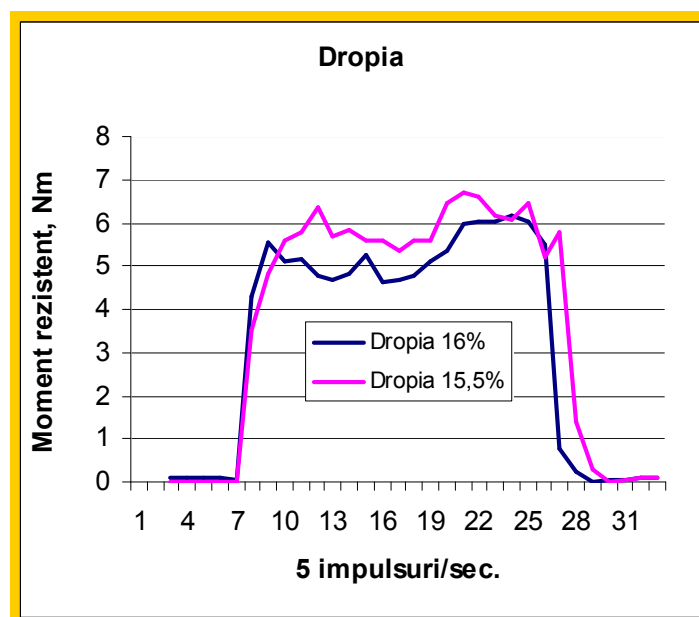


Fig. 4 Momentul rezistent pentru soiul Dropia

În continuarea cercetării experimentale, au fost folosite probe de grâu Pegasus, respectiv Dropia, condiționate la umiditatea de 16%.

Ca urmare, au fost supuse mărunțirii probe de grâu Pegasus, umectate până la conținut de umiditate de 16% și lăsate la odihnă pentru următoarele intervale de timp: 0, 3, 5, 7, 9 respectiv 11 ore.

Curbele momentului rezistent al probelor de grâu Pegasus, condiționate la 16% umiditate și diferite perioade de odihnă, înregistrate de celula tensometrică sunt reprezentate în Fig.5.

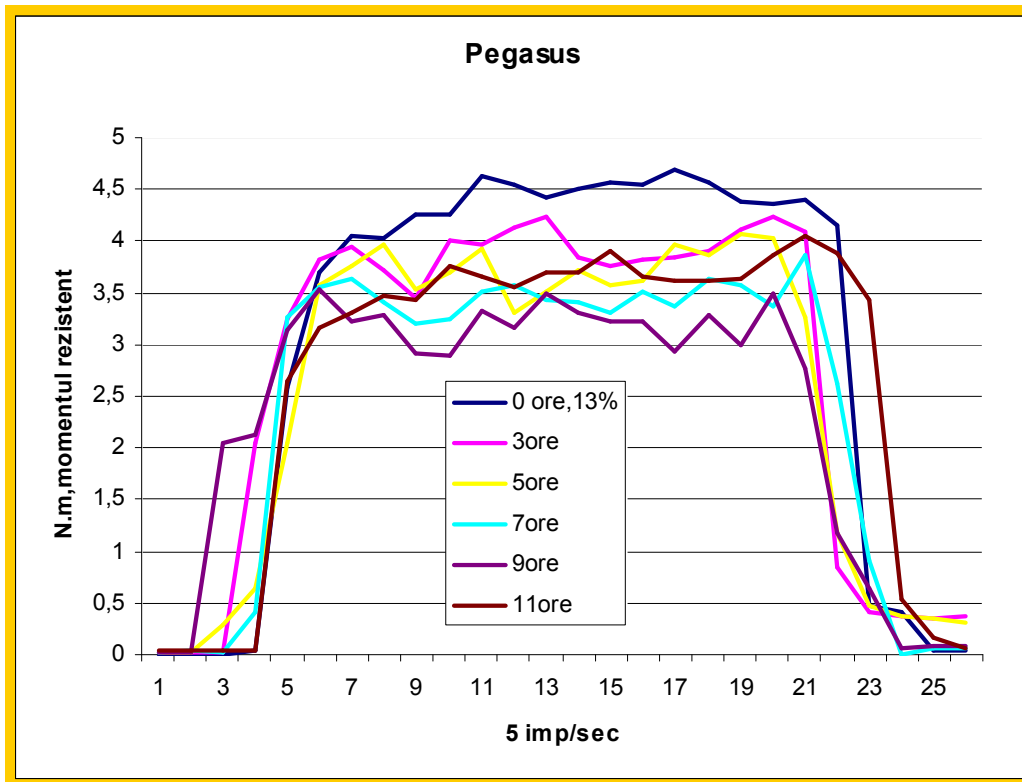
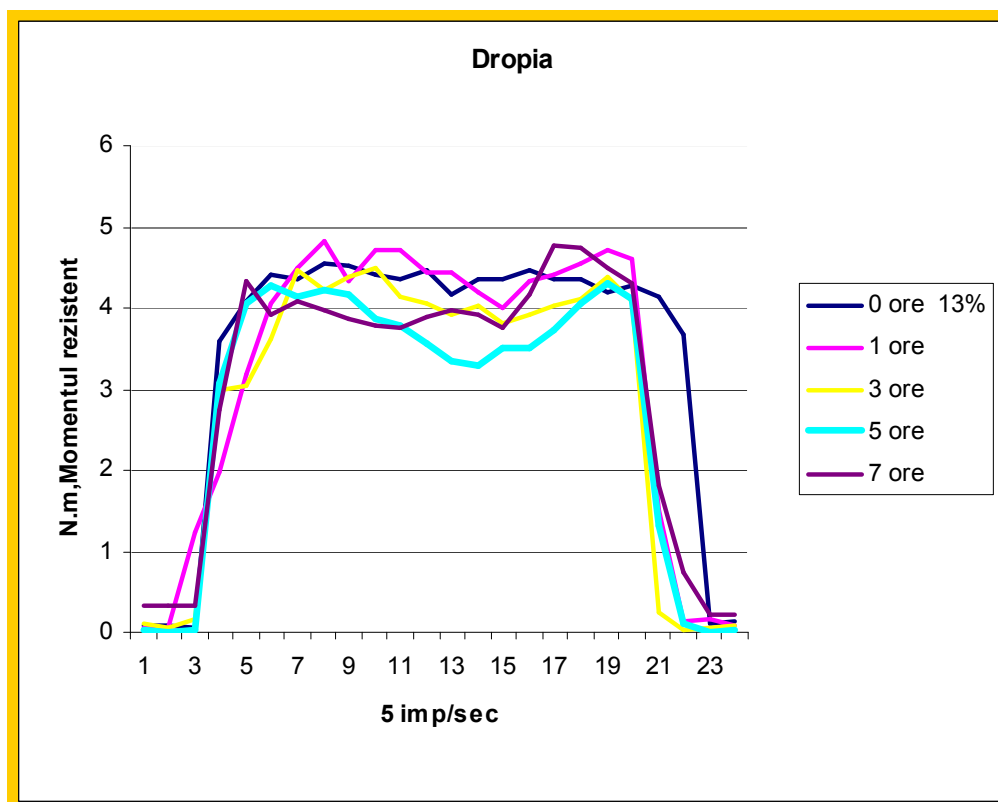


Fig.5 Momentul rezistent, la diferite perioade de odihnă, pentru soiul Pegasus

Din Fig. 5 reiese că durata optimă de odihnă, la condiționare, este de 9 ore, pentru obținerea celui mai mic consum de energie la mărunțirea probelor de grâu Pegasus.

Probele de grâu Dropia, umectate până la conținut de umiditate de 16% au fost lăsate la odihnă pentru următoarele intervale de timp: 0, 1, 3, 5 respectiv 7 ore.

Curbele momentului rezistent al probelor de grâu Dropia, condiționate la 16% umiditate și diferite perioade de odihnă, înregistrate de celula tensometrică sunt reprezentate în Fig.6



**Fig.6** Momentul rezistent, la diferite perioade de odihnă, pentru soiul Dropia  
Conform Fig. 6 durata optimă de odihnă, la condiționare, este de 5 ore, pentru obținerea celui mai mic consum de energie la mărunțirea probelor de grâu Dropia.

### III.2. Influența sticlozității soiului de grâu asupra rezistenței la mărunțire

Boabele de grâu au proprietatea de a prezenta în secțiune un aspect sticlos sau parțial sticlos. Aspectul sticlos sau făinos este dat de modul de aranjare al granulelor de amidon și al masei proteice de legătură, în celulele endospermului, precum și de forma și dimensiunile granulelor de amidon (Fang Q., 1995).

Pentru a aprecia influența sticlozității asupra rezistenței boabelor de grâu, în procesul de mărunțire, s-au efectuat determinări folosind microprobe de câte 30 g, condiționate până la umiditatea 16%, la perioade de odihnă diferite, în funcție de soiul de grâu. Pentru soiul de grâu dur, Pegasus, s-au folosit perioade de odihnă de 9 ore. Pentru soiul de grâu moale, Dropia, s-au folosit perioade de odihnă de 5 ore. Pentru fiecare determinare au fost preparate câte două probe paralele.

Probele condiționate au fost supuse mărunțirii, cu instalația pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor. Caracteristicile instalației sunt: tăvălugi rifluiți cu lungimea de 50 mm și diametrul de 90 mm, cu o viteză a tăvălugului rapid de 500 rot./min., 9 rifluri/cm, distanța între rifluri de 0,5 mm, poziția relativă a riflurilor T/T (tăiș/tăiș) și raportul vitezelor periferice (1:2,5). Rezultatele momentului rezistent în funcție de soiul de grâu sunt reprezentate grafic în Fig. 7 și Momentul rezistent al particulelor de grâu supuse mărunțirii este măsurat de o celulă tensometrică, conectată la instalația de laborator și la un computer care trasează curba momentului rezistent. Măsurarea momentului rezistent pentru cele două soiuri de grâu a fost efectuată pentru 1 bob, 2 boabe,.....8 boabe de grâu, alimentate simultan între cei doi cilindri măcinători.



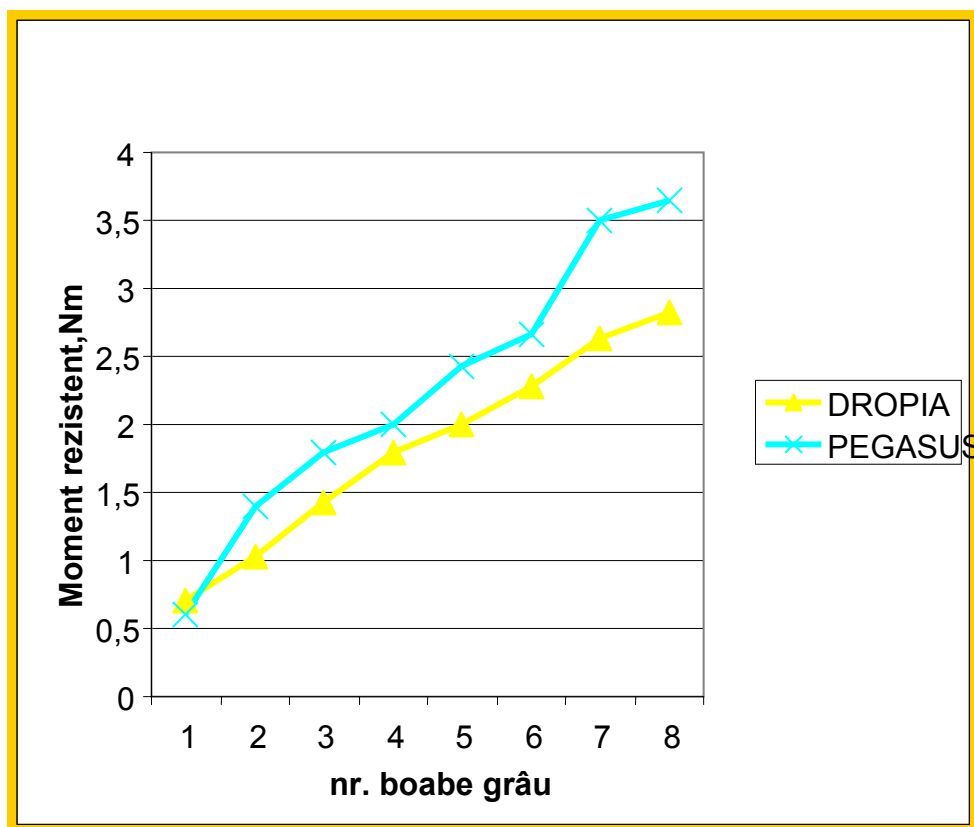


Fig. 7 Momentul rezistent în funcție de sticlozitatea grâului

Conform Fig.49 se observă că rezistența la mărunțire a soiului de grâu dur Pegasus (caracterizat prin sticlozitate ridicată, 79%) este semnificativ mai mare decât cea a grâului moale Dropia (sticlozitate 31%).

### III.3. Influența numărului de rifluri pe cm circumferință, ai cilindrilor măcinători, asupra rezistenței la mărunțire

La mărunțirea cerealelor și a produselor intermediare de măcinș se utilizează un număr de rifluri care variază între 4 și 12, în mod excepțional 14 rifluri pe cm.

$$R = 4 \div 14 \text{ rifluri/cm}$$

Pe măsură ce se avansează în procesul de mărunțire, respectiv pe măsură ce dimensiunile particulelor scad, crește numărul riflurilor de pe circumferința tăvălugilor.

Cercetarea influenței numărului de rifluri pe cm circumferință, ai cilindrilor măcinători, asupra rezistenței la mărunțire a fost făcută cu ajutorul probelor de câte 30 g de grâu dur Pegasus, respectiv grâu moale Dropia, care au fost supuse mărunțirii cu instalația pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor. Caracteristicile instalației sunt: tăvălugi rifluiți cu lungimea de 50 mm și diametrul de 90 mm, cu o viteză a tăvălugului rapid de 500 rot./min., distanța între rifluri de 0,5 mm, poziția relativă a riflurilor T/T (tăiș/tăiș) și raportul vitezelor periferice (1:2,5).

Studiul a fost efectuat pe cilindri măcinători cu 7 rifluri/cm, respectiv 9 rifluri/cm.

Rezultatele momentului rezistent în funcție de soiul de grâu sunt centralizate în Fig.8 și Fig. 9 pentru 7 rifluri/cm, respectiv 9 rifluri/cm. Atât în cazul folosirii a 7 rifluri/cm cât și pentru 9 rifluri/cm, soiul de grâu dur Pegasus înregistrează cel mai ridicat moment rezistent la mărunțire (conform Fig.8 și Fig. 9).

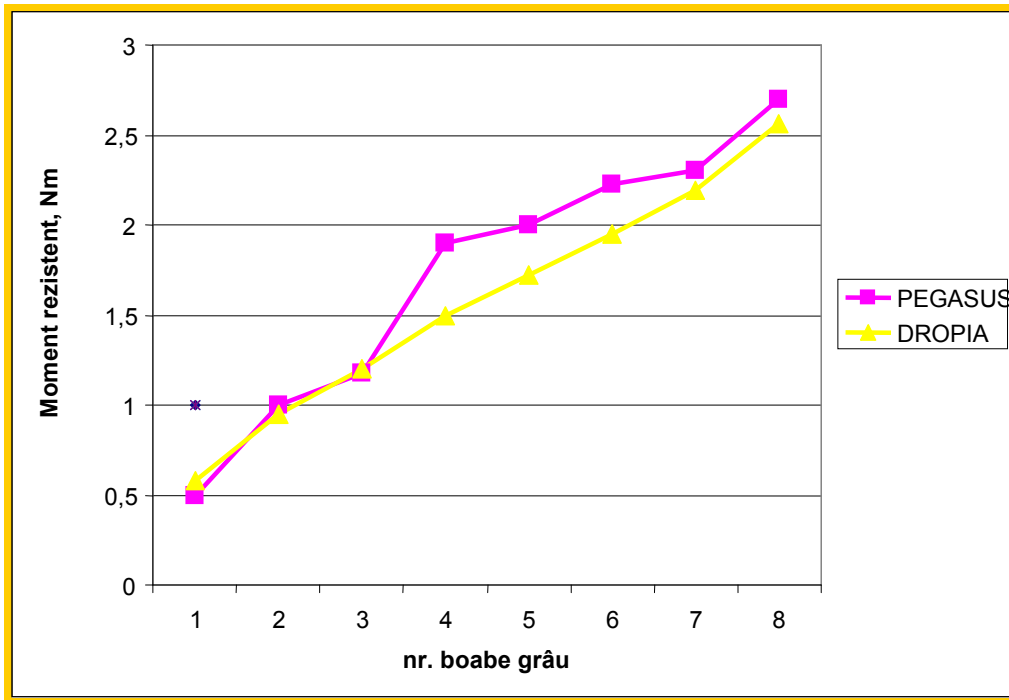


Fig. 8 Variația momentului rezistent, pentru 7 rifluri/cm

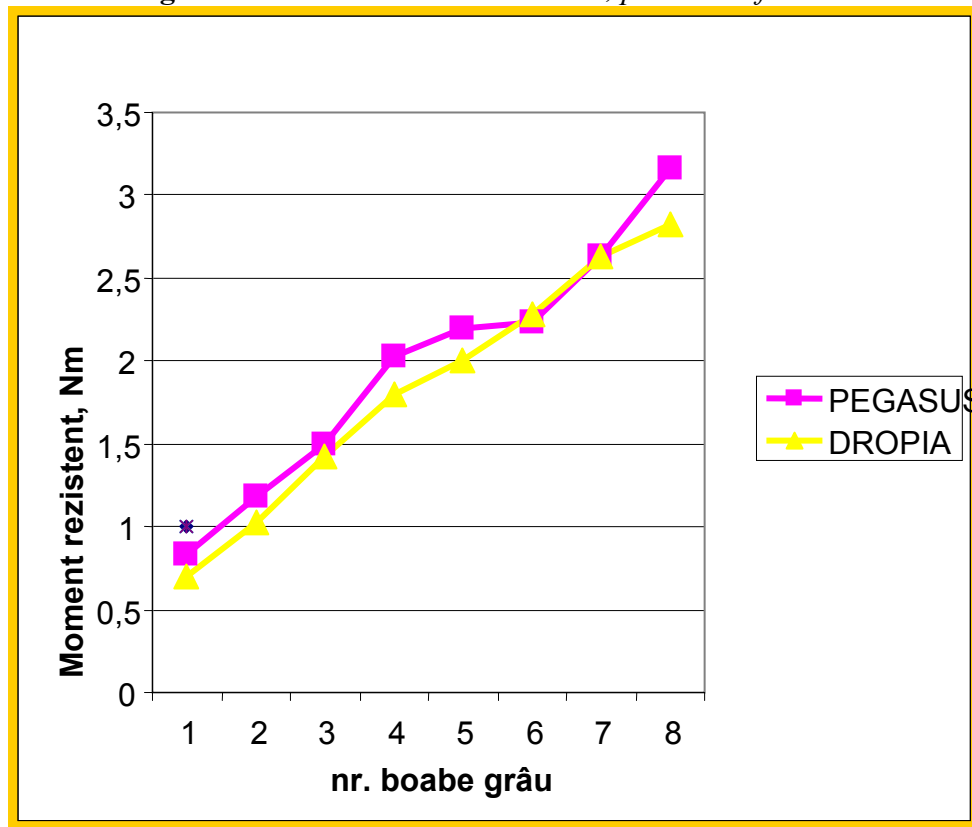
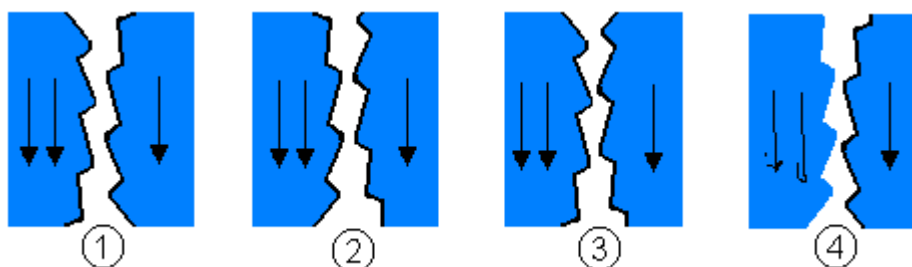


Fig. 9 Variația momentului rezistent, pentru 9 rifluri/cm

În ceea ce privește momentul rezistent, la mărunțire, acesta este invers proporțional cu numărul de rifluri/cm; cu cât nr. rifluri/cm crește cu atât mărunțirea este mai intensă și momentul rezistent al boabelor de grâu, la mărunțire, este mai mic atât pentru soiul de grâu dur Pegasus, cât și pentru soiul de grâu moale Drobia.

### III.4. Influența poziției relative a riflurilor asupra rezistenței la mărunțire a cerealelor

Pozițiile relative ale riflurilor tăvălugilor măcinători sunt prezentate în *fig. 10*.



**Fig. 10** Pozițiile relative ale tăvălugilor măcinători  
1 - T/T; 2 - S/S; 3 - T/S; 4 - S/T

Pozițiile relative ale riflurilor indică părțile riflurilor care participă la mărunțirea produselor. În cazul poziției relative tăiș pe tăiș, T/T, datorită vitezelor periferice diferite, se consideră că tăvălugul lent este fix iar tăvălugul rapid se rotește. Asupra unei particule ajunse în zona de mărunțire acționează tăișul riflurilor de pe tăvălugul rapid iar tăișul riflurilor de pe tăvălugul lent o susțin.

Pentru a determina influența poziției relative a riflurilor asupra rezistenței la mărunțire la șrotul I, au fost folosite probe de câte 30 g de grâu dur Pegasus, respectiv grâu moale Dropia, care au fost supuse mărunțirii cu instalația pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor. Caracteristicile instalației sunt: tăvălugi rifluiți cu lungimea de 50 mm și diametrul de 90 mm, cu o viteză a tăvălugului rapid de 500 rot./min., distanța între rifluri de 0,5 mm, 7 rifluri/cm circumferință tăvălug și raportul vitezelor periferice (1:2,5). Au fost folosite, pe rând, toate cele 4 poziții posibile: T/T (tăiș/tăiș), S/S (spate/spate), T/S (tăiș/spate), S/T (spate/tăiș).

Celula tensometrică atașată instalației pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor, a înregistrat momentul rezistent (Nm) al celor două soiuri de grâu supuse mărunțirii, la șrotul I.

Datele obținute pentru momentul rezistent al soiului de grâu Dropia sunt redată în reprezentarea grafică a acestora, *Fig. 11*, evidențiază poziția riflurilor T/T (tăiș/tăiș) ca fiind corespunzătoare celui mai mic moment rezistent. În consecință, aria suprafeței mărginite de curba momentului rezistent pentru poziția T/T, reprezintă consumul de energie cel mai mic înregistrat în procesul mărunțire. De aceea, pentru șrotul I, se recomandă folosirea poziției T/T, ea fiind corespunzătoare unui randament energetic optim. *Fig. 12* centralizează valorile momentului rezistent al soiului de grâu dur Pegasus, pentru fiecare din cele 4 poziții ale riflurilor. După cum reiese și din *Fig. 12*, cel mai mic moment rezistent, respectiv consum de energie sunt cele înregistrate la poziția T/T, urmată de poziția S/S.

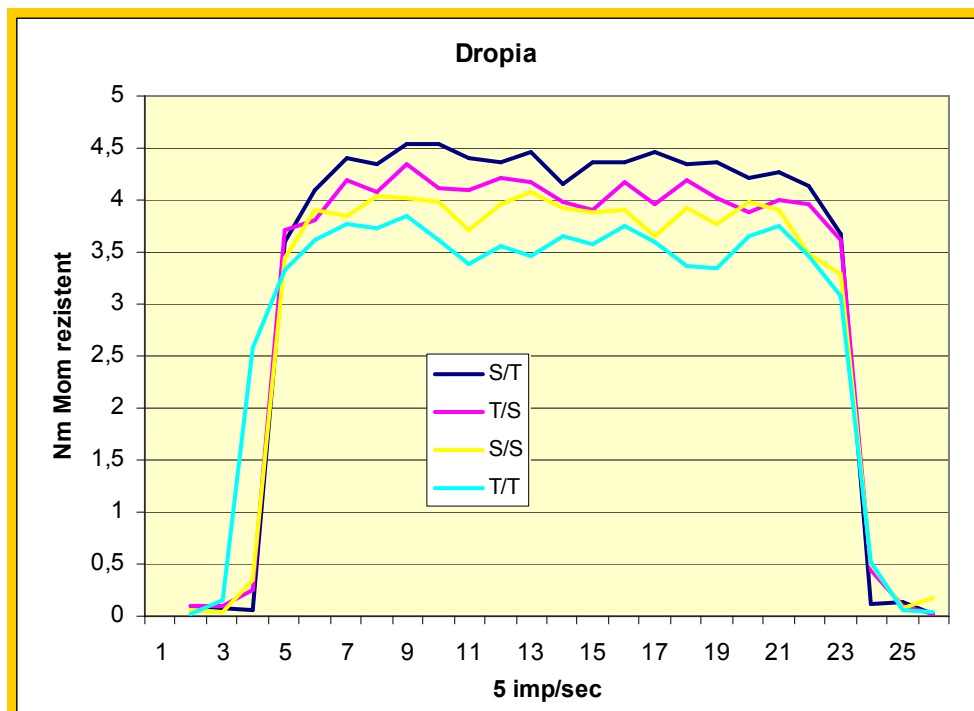


Fig . 11 Curbele de variație a momentului rezistent, pentru soiul de grâu Dropia, în funcție de poziția relativă a riflurilor

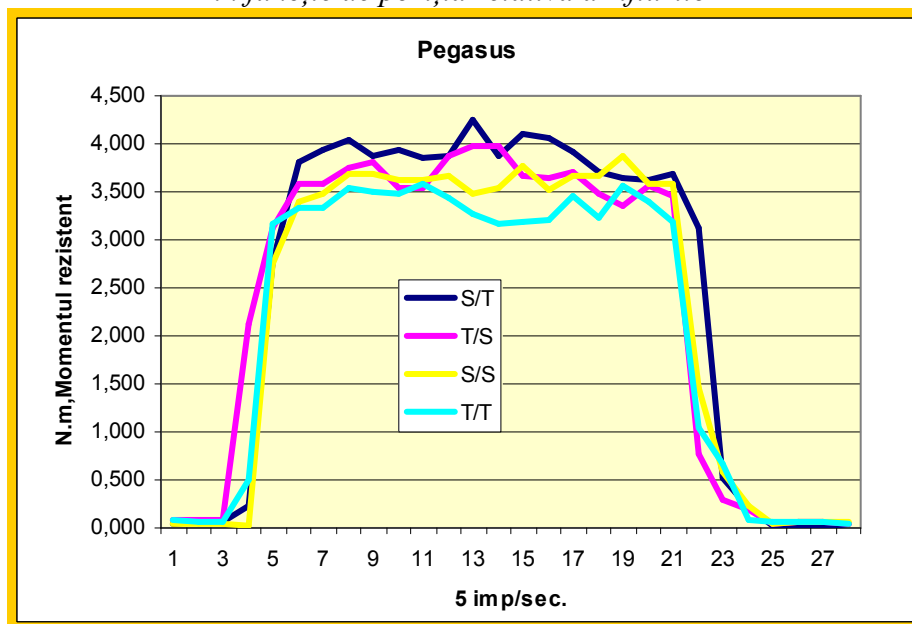


Fig . 12 Curbele de variație a momentului rezistent, pentru soiul de grâu Pegasus, în funcție de poziția relativă a riflurilor

Un studiu comparativ între soiurile de grâu analizate (Fig. 13), supuse mărunțirii la pozițiile riflurilor T/T și S/S, confirmă faptul că soiul de grâu moale Dropia are cel mai mic moment rezistent la mărunțire, corepunzător celui mai mic consum de energie.

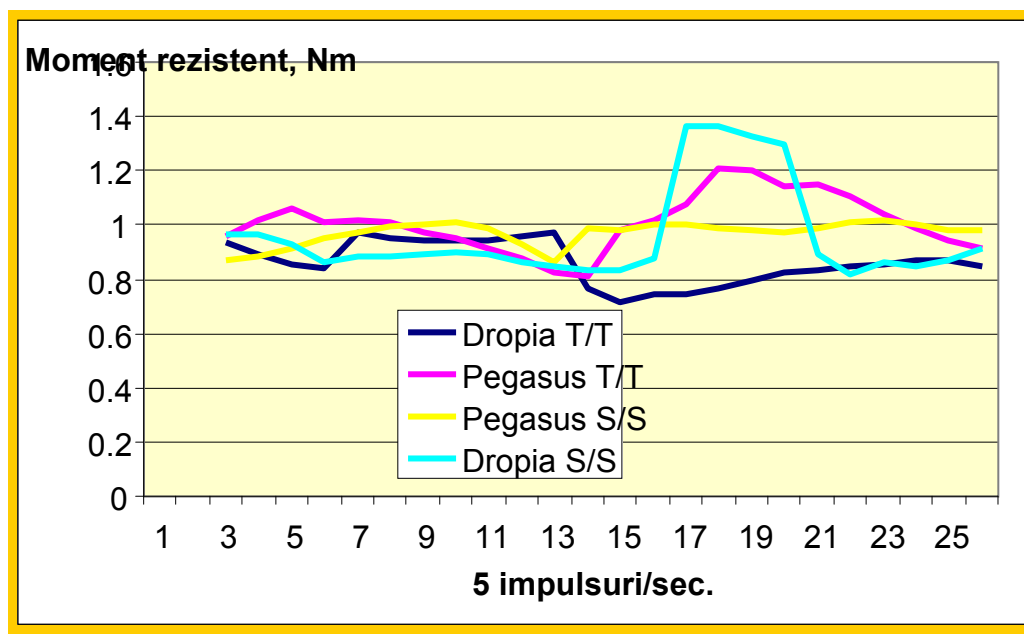


Fig. 13 Studiu comparativ între curbele de variație a momentului rezistent, pentru soiurile de grâu Pegasus și Dropia, în funcție de poziția relativă a riflurilor

### III.5. Influența distanței dintre cilindri măcinători, asupra rezistenței la mărunțire

Pentru a determina influența distanței dintre cilindri măcinători, asupra rezistenței la mărunțire, la șrotul I, au fost folosite probe de câte 30 g de grâu dur Pegasus, respectiv grâu moale Dropia, care au fost supuse mărunțirii cu instalația pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor. Caracteristicile instalației sunt: tăvălugi rifluiți cu lungimea de 50 mm și diametrul de 90 mm, cu o viteză a tăvălugului rapid de 500 rot./min., 7 rifluri/cm circumferință tăvălug și raportul vitezelor periferice (1:2,5). Au fost folosite, pe rând, cele 2 poziții ale riflurilor, stabilite ca fiind optime din punct de vedere al consumului energetic și al randamentului în produse intermediare: T/T (tăiș/tăiș) și S/S (spate/spate). Determinările au fost efectuate, atât pentru soiul Dropia cât și pentru Pegasus, menținând toți parametri mai sus menționați constanți, cu excepția distanței între tăvălugi. Aceasta a fost succesiv reglată la 0,6 mm, 0,8 mm și 1 mm.

Celula tensometrică atașată instalației pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a cerealelor, a înregistrat momentul rezistent (Nm) al celor două soiuri de grâu supuse mărunțirii, la șrotul I, pentru cele trei valori ale distanței dintre tăvălugi.

Softul computerului ce afișează măsurătorile momentului rezistent, înregistrat de celula tensometrică, a trasat curbele momentului rezistent pentru cele 2 soiuri de grâu, folosindu-se distanțele între tăvălugi de 0,6, 0,8 respectiv 1 mm, pentru două poziții ale riflurilor: T/T și S/S. Toate graficele obținute evidențiază faptul că poziția T/T (tăiș/tăiș) este cea mai mică consumatoare de energie la șrotul I, indiferent de variația distanței între tăvălugi.

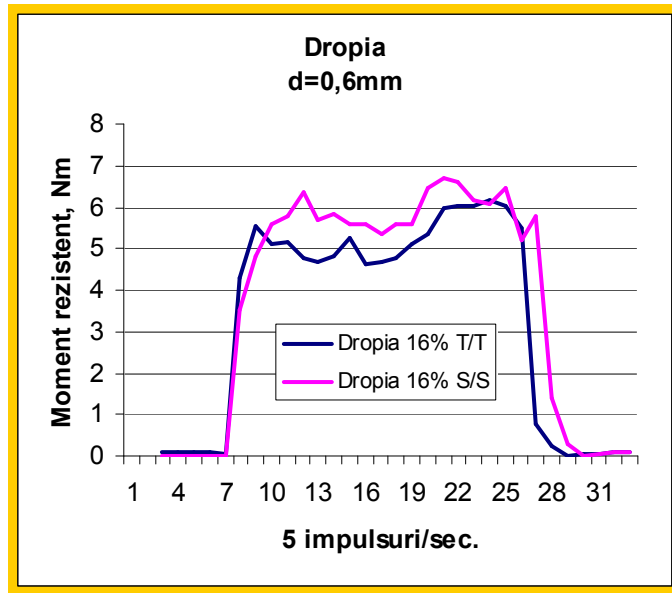


Fig.14 Variația momentului rezistent, la  $d=0,6$  mm, pentru soiul Dropia

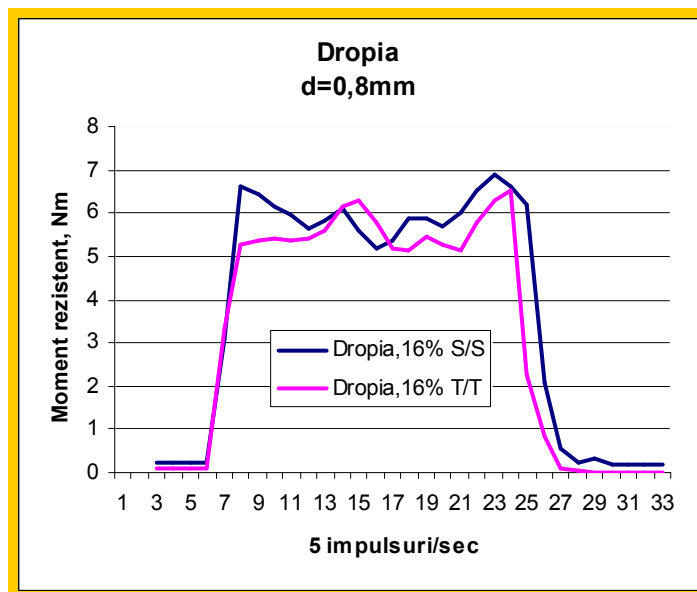


Fig. 15 Variația momentului rezistent, la  $d=0,8$  mm, pentru soiul Dropia

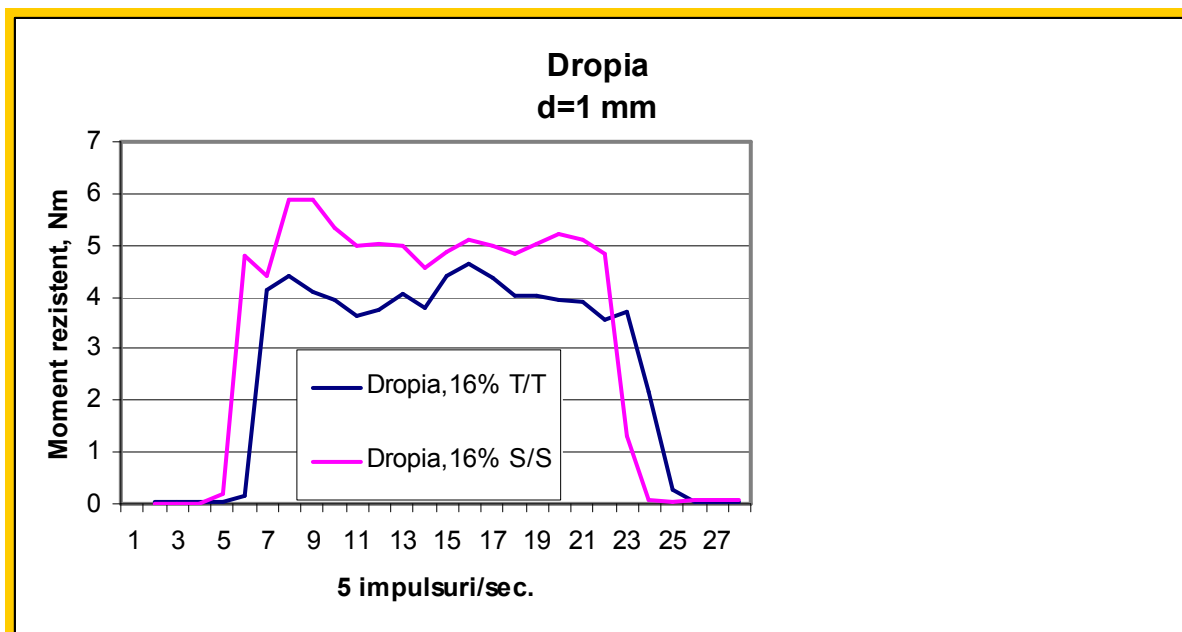


Fig. 16 Variația momentului rezistent, la  $d=1$  mm, pentru soiul Dropia

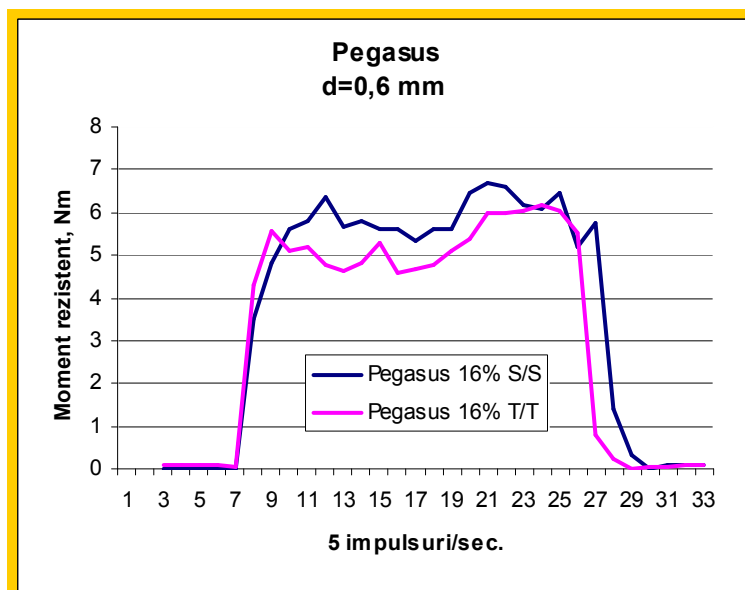


Fig. 17 Variația momentului rezistent, la  $d=0,6$  mm, pentru soiul Pegasus

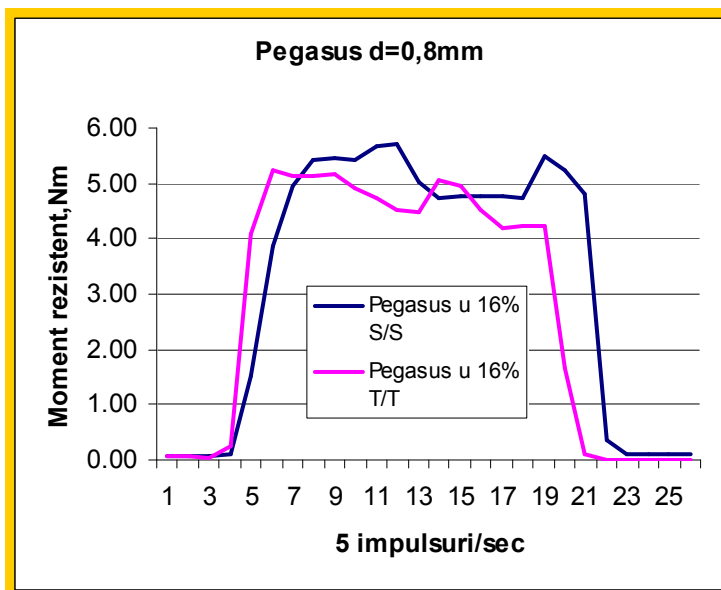


Fig. 18 Variația momentului rezistent, la  $d=0,8$  mm, pentru soiul Pegasus

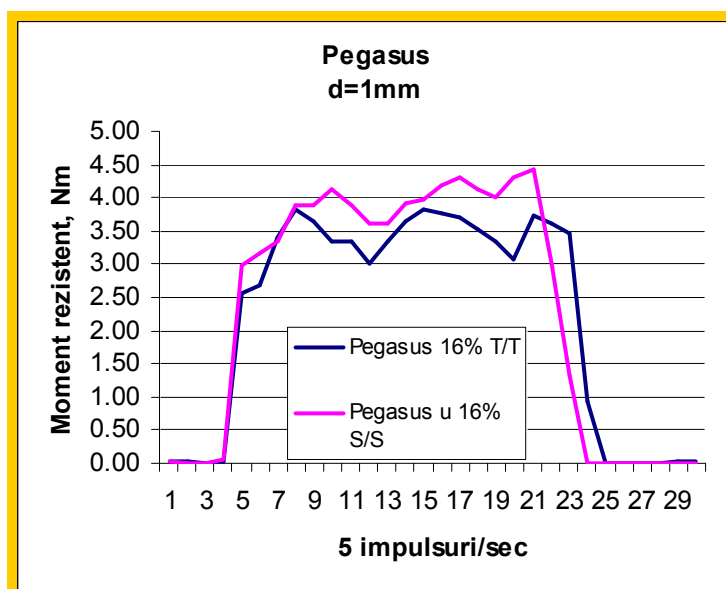


Fig.19 Variația momentului rezistent, la  $d=1$  mm, pentru soiul Pegasus

Din graficele de mai sus, reiese că indiferent de soiul grâului folosit în determinări, cu cât distanța dintre tăvălugi scade, cu atât valoarea momentului rezistent (Nm) crește și, implicit, consumul de energie necesar mărunțirii grâului la șrotul I, este mai ridicat.

### III.6. Măsurarea rezistenței la mărunțire, pe un bob

Instalația pentru măsurarea rezistenței la mărunțire a boabelor de grâu, permite caracterizarea procesului de mărunțire, cu ajutorul determinărilor pe un singur bob supus mărunțirii. Cecetările au fost efectuate pe câte 10 boabe din fiecare soi de grâu analizat, supuse mărunțirii rând pe rând, obținându-se astfel 10 valori ale momentului rezistent, câte una pe fiecare bob (Fig. 20 și Fig.21).

Valorile obținute pentru momentului rezistent sunt cuprinse între 0,787 Nm și 1,215 Nm pentru soiul de grâu moale Dropia, iar pentru soiul de grâu dur Pegasus, valorile momentului rezistent sunt cuprinse între 1,102 și 1,586 Nm. Diferențele dintre valorile corespunzătoare



momentului rezistent pentru boabele din același soi de grâu se datorează variației parametrilor geometrici ai boabelor (lungime, lățime, grosime). Pentru soiuri diferite de grâu, diferența dintre valorile momentului rezistent se datorează proprietăților mecanice diferite, în funcție de structura endospermului.

Aria suprafeței cuprinse între extremitățile curbelor momentului rezistent, este corespunzătoare valorii energiei consumate la mărunțirea probelor de grâu.

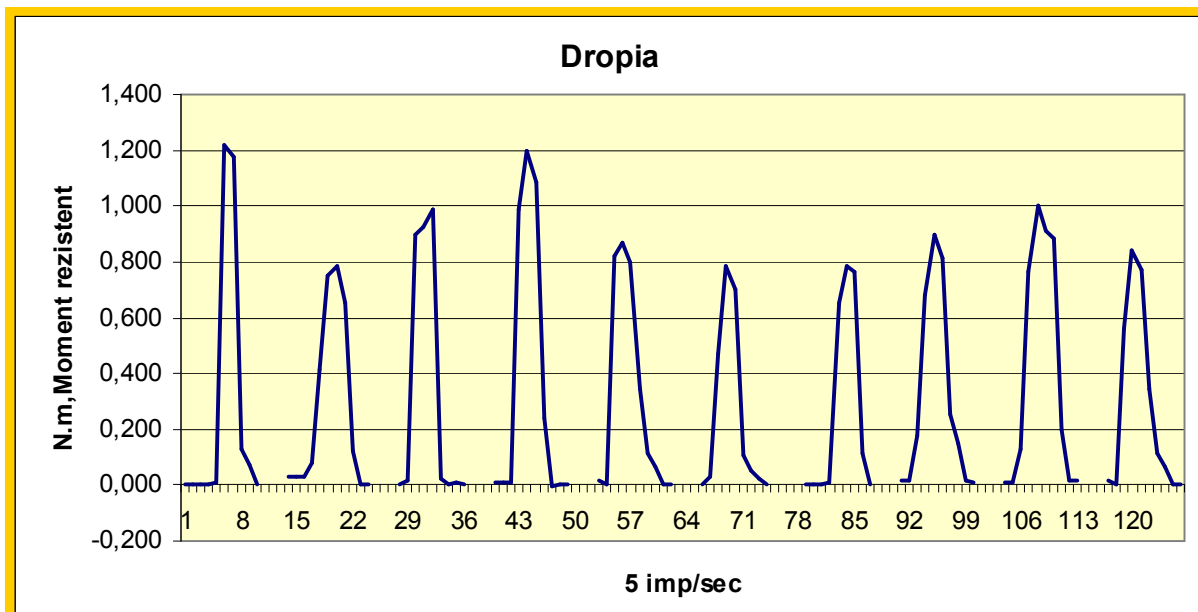


Fig. 20 Momentul rezistent pentru soiul Dropia, la mărunțirea pe un bob

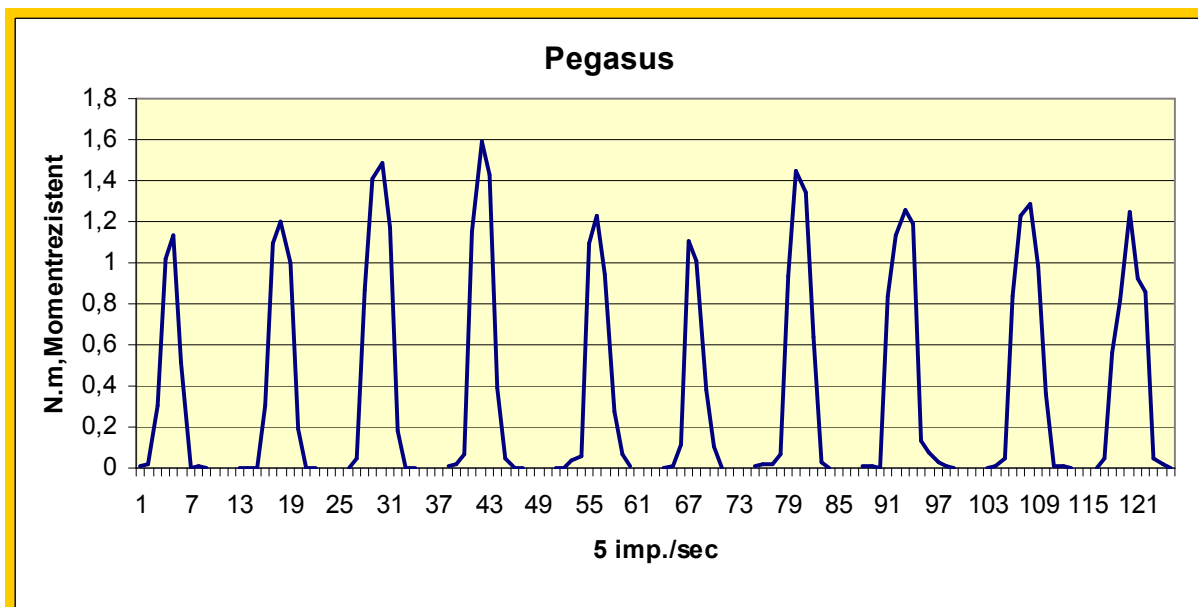


Fig.21 Momentul rezistent pentru soiul Pegasus, la mărunțirea pe un bob

Studiul comparativ al mărunțirii bob cu bob, pentru 2 soiuri diferite de grâu, relevă și confirmă totodată concluziile din determinările experimentale anterioare: soiul de grâu dur Pegasus necesită un consum mai ridicat de energie, la mărunțire, față de grâul moale Dropia. Sticlozitatea ridicată a grâului Pegasus (79%), conferă boabelor un moment rezistent mai ridicat decât cel corespunzător grâului Dropia (sticlozitatea de 31%), conform Fig. 22.

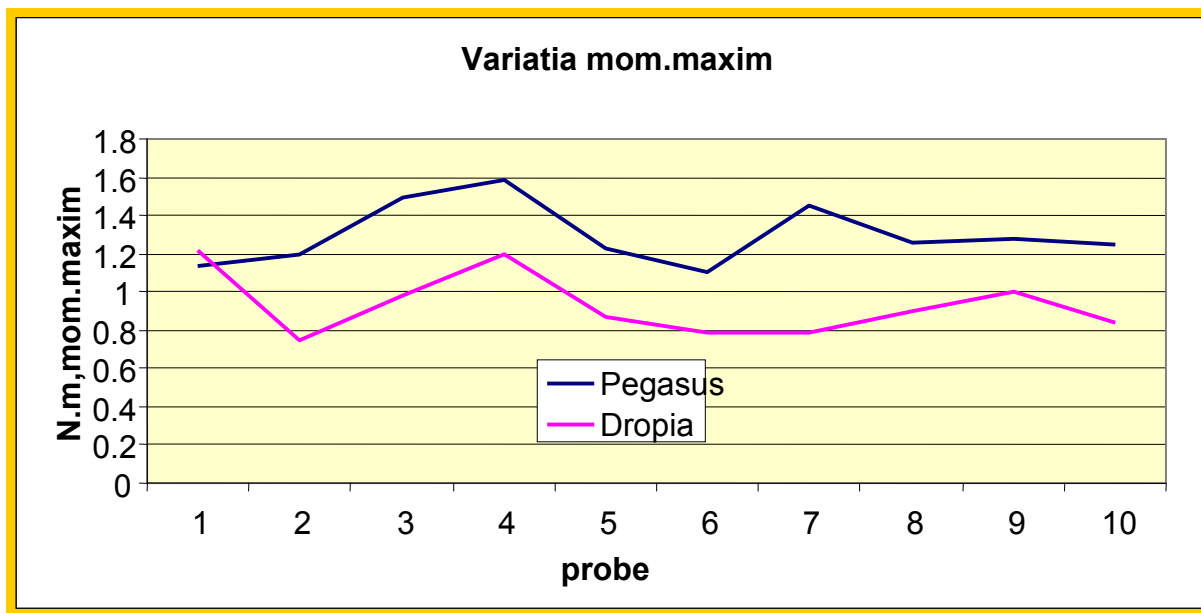


Fig. 22 Momentul maxim rezistent pentru soiurile Pegasus și Dropia

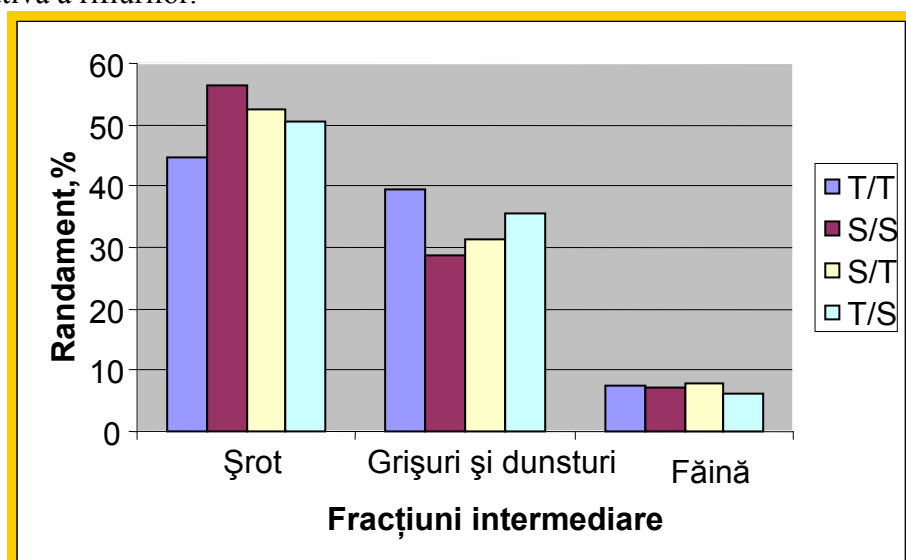
### III.7. Analiza granulometrică

În practica măcinării cerealelor cunoașterea distanței dintre tăvălugi la un pasaj de mărunțire, nu are o importanță deosebită pentru tehnologul morar. Pentru el este importantă eficiența mărunțirii, apreciată ca o diferență de granulozitate între fracțiunile alimentate și cele evacuate după mărunțire.

Au fost folosite microprobe condiționate, de grâu moale din soiul Dropia, supuse mărunțirii la instalația proiectată. Tăvălugii instalației au fost dispuși la o distanță de 0,8 mm, cu 7 rifluri/cm circumferință tăvălug și s-au folosit succesiv toate cele patru poziții ale riflurilor: T/T, T/S, S/T, S/S. Eficiența operației de mărunțire la șrotul I, a fost apreciată prin calculul randamentelor în produse intermediare.

În acest scop, probele mărunțite au fost sortate timp de 6 minute, cu un cernător vibrator RETSCH GmbH, dotat cu un set de 6 site etalonate, după cum urmează: 1,25 mm, 630 μm, 400 μm, 315 μm, 250 μm și 160 μm. Amplitudinea vibrațiilor a fost A= 2 mm.

Fig. 23 centralizează randamentele de produse intermediare obținute, în funcție de poziția relativă a riflurilor.

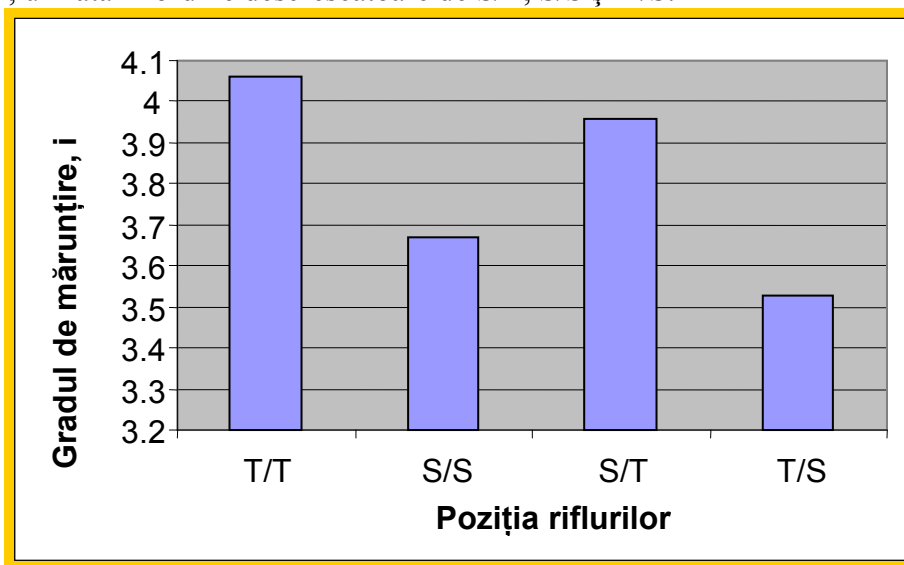


**Fig. 23** Randamente de produse intermediare  
în funcție de poziția relativă a riflurilor, pentru soiul Dropia

Cele mai mari randamente de grișuri s-au obținut în cazul utilizării poziției relative tăiș/tăiș (T/T), urmate în ordine descrescătoare, de pozițiile T/S, S/T și S/S.

În ceea ce privește randamentele de dunsturi, se remarcă cele mai mari valori pentru poziția spate/tăiș (S/T), urmată descrescător de T/T, T/S și S/S.

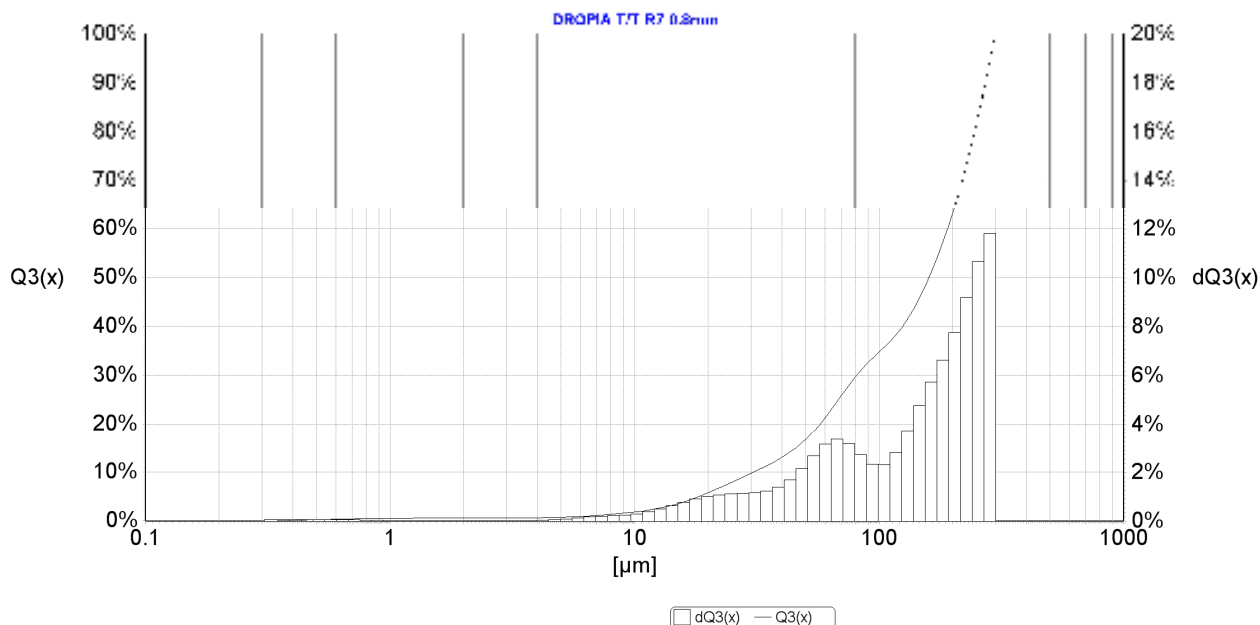
Eficiența procesului de mărunțire este exprimată prin calculul gradului de mărunțire. Din Fig. 24 se remarcă faptul că cel mai mare grad de mărunțire s-a obținut în cazul poziției relative T/T, urmată în ordine descrescătoare de S/T, S/S și T/S.



**Fig. 24** Gradul de mărunțire la Sr.1,

în funcție de poziția relativă a riflurilor, pentru soiul Dropia

Valorile cele mai mari pentru produsele intermediare a căror granulozitate este de domeniul 0,1-300  $\mu\text{m}$ , sunt confirmate pentru poziția T/T de către graficele obținute cu ajutorul analizorului laser Fritsch „analysette 22” COMPACT, conectat la softul LaPass.



### III.8. Măsurarea consumului de energie la mărunțire

Pentru determinarea energiei necesare la tăierea și sfărâmarea (forfecare și compresiune) bobului de grâu, s-a utilizat dispozitivul universal de testare Z 005, produs de firma ZWICK-ROELL, care dezvoltă o forță maximă de strivire de 5 kN. Boabele de grâu analizate sunt supuse mărunțirii, utilizând dispozitivul special al aparatului, cu o viteză de 25 mm/min. Acest dispozitiv este conectat la un calculator, cu care comunică printr-un soft numit TestExpert. Flexibilitatea soft-ului de testare determină performanța și eficiența echipamentului de testare. Fiecare testare a avut loc pe câte un singur bob. Dispozitivul de tăiere a acționat pe grosimea bobului, sub un unghi de 30 de grade. Au fost făcute câte 15 determinări, pentru fiecare din cele două soiuri de grâu. Fiecare bob de grâu a fost măsurat cu ajutorul unui șubler electronic, înainte de mărunțire. Au fost alese boabe cu diametre relativ similare, cuprinse între 2,84 și 3,08 mm.

Rezultatele înregistrate sunt reprezentate în Fig. 25. Se confirmă faptul că energia necesară la mărunțirea grâului dur Pegasus este superioară valoric, celei corespunzătoare mărunțirii grâului moale Dropia.

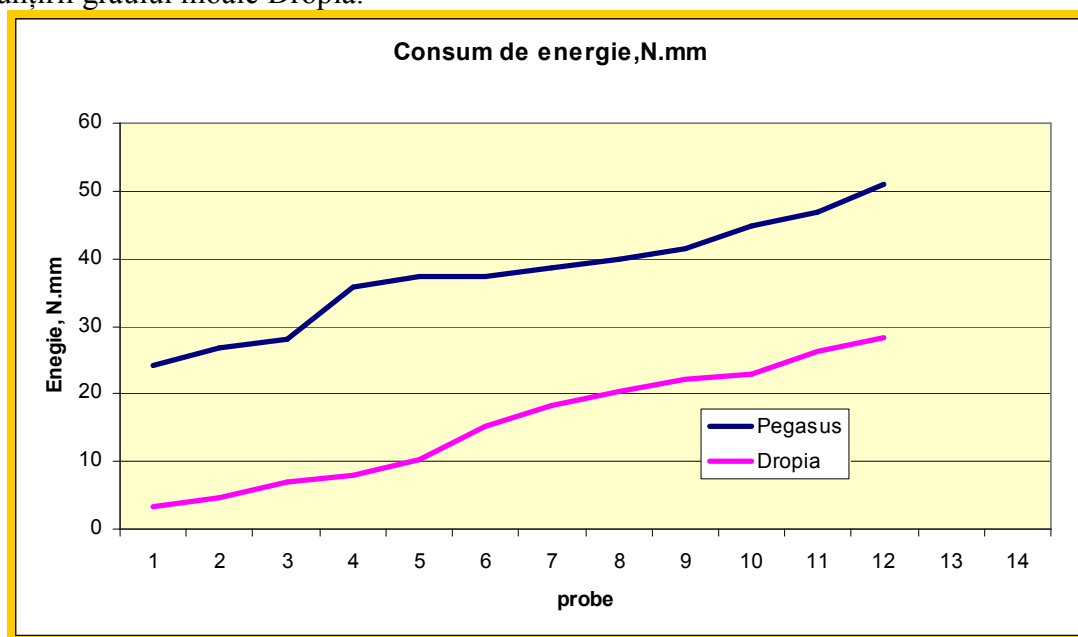


Fig. 88 Consumul de energie la mărunțire, pentru soiurile Pegasus și Dropia

#### Concluzii :

1. Umiditatea optimă, în procesul de condiționare a probelor de grâu, este de 16%. Mărunțirea la șrotul I, a probelor cu această umiditate, a înregistrat un moment rezistent corespunzător consumului minim de energie necesară procesului de șrotare.

2. Perioada optimă de odihnă pentru grâul dur este mai ridicată decât cea pentru grâul moale. Valorile de 9 ore pentru grâul dur Pegasus, respectiv 5 ore pentru grâul moale Dropia, corespund celui mai mic moment rezistent al boabelor de grâu supuse mărunțirii cu instalația de laborator.

3. Cu ajutorul instalației de măsurare a rezistenței cerealelor se poate face o evaluare a influenței parametrilor de condiționare (umiditate și timp de odihnă a probelor de grâu), asupra momentului rezistent al cerealelor supuse mărunțirii și, implicit, asupra consumului de energie la mărunțire și a posibilității de optimizare a acestuia.

4. Aprecierea parametrilor optimi de condiționare a grâului, în condiții de laborator are aceeași acuratețe cu procesul industrial, având avantajele rapidității și al volumului de lucru redus.

5. Măsurarea rezistenței cerealelor cu ajutorul instalației proiectate, se face în procesul de mărunțire, între cilindri măcinători. Rezistența la mărunțire se exprimă printr-o valoare unitară, determinată pe ansamblul perechii de cilindri măcinători. Această valoare permite aprecieri comparative privind consumurile energetice la măcinare, între diferite soiuri sau loturi de cereale.

6. Instalația poate fi folosită în testarea proprietăților de măciniș ale unor noi soiuri de grâu ce urmează a fi extinse în cultura mare.

7. Soiurile de grâu cu sticlozitate ridicată prezintă un moment rezistent la mărunțire mai mare în comparație cu cele cu sticlozitate scăzută, ceea ce presupune consumuri energetice proporționale.

8. Cu cât numărul de trepte de mărunțire la măcinarea grâului este mai mare, cu atât crește diferența de consum energetic la mărunțire între grâul sticlos și cel făinos.

9. Pe măsură ce numărul boabelor supuse mărunțirii, crește, va crește și rezistența la mărunțire. Diferența între proprietățile mecanice ale boabelor de grâu, face ca odată cu creșterea numărului de boabe, decalajul între valorile maxime ale momentului rezistent să crească.

10. Numărul de rifluri pe centimetru circumferință de tăvălug, influențează în mod direct mărunțirea. Cu cât este mai mare numărul de rifluri pe circumferințele celor doi tăvălugi cu atât va fi mai intensă mărunțirea deoarece crește numărul zonelor de forfecare și de comprimare a particulelor între cei doi tăvălugi, la străbaterea de către particule a zonei de mărunțire. Intensificarea mărunțirii presupune scăderea momentului rezistent al cerealelor și totodată scăderea consumului de energie în procesul de mărunțire.

11. Se observă marea flexibilitate privind parametrii de lucru ai instalației de măsurare a rezistenței la mărunțire, a cerealelor. Cilindri măcinători folosiți pe instalație, pot fi rifluiți sau netezi, în funcție de natura produselor supuse analizei. Cilindri rifluiți pot avea diferite caracteristici ale riflurilor (număr de rifluri pe centimetru circumferință cilindru, înclinație față de generatoarea cilindrului, unghiuri de ascuțire ale tăișului și spatelui, poziția relativă a riflurilor cilindrului rapid față de cei ai cilindrului lent).

12. Alegerea numărului optim de rifluri/centimetru circumferință de cilindru măcinător se face în concordanță cu etapa tehnologică în care se desfășoară mărunțirea: șrotare, desfacerea grișurilor, măcinarea grișurilor și dunsturilor, în strânsă corelație cu tipul produselor și calitatea acestora dată de proporția de învelișuri și endosperm.

13. Folosirea instalației de măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire, recomandă poziția T/T, urmată de poziția S/S ca fiind cele mai mici consumatoare de energie, pentru prima treaptă de mărunțire, la șrotul I (Sr.1). Momentul rezistent la mărunțire, înregistrat de celula tensometrică atașată instalației, are cele mai mici valori pentru pozițiile menționate.

14. Posibilitatea utilizării experimentale a tuturor pozițiilor riflurilor la tăvălugii instalației, oferă oportunitatea studiului didactic, în laborator, a influența poziției relative a riflurilor asupra rezistenței la mărunțire a cerealelor și pentru celelalte etape ale procesului tehnologic de măcinare a grâului.

15. Studiile comparative între diferitele soiuri de grâu, folosind instalația de laborator pentru măsurarea rezistenței la mărunțire, oferă informații ce pot fi utile în setarea parametrilor de lucru, în procesul de măcinare, la nivel industrial.

16. Micșorarea distanței dintre tăvălugi, duce la o creștere a rezistenței boabelor de grâu, la mărunțire, direct proporțional cu creșterea consumului de energie, necesar mărunțirii la Șrotul I.

17. Flexibilitatea instalației de măsurare a rezistenței cerealelor la mărunțire permite modificarea parametrilor de lucru ai tăvălugilor, în vederea determinării randamentului optim din punct de vedere energetic și al cantității de produse intermediare, la șrotul I. Determinările pot fi continuate și extinse și pentru celelalte pasaje de șrotare, cele de desfacere a grișurilor și cele de măcinare a grișurilor și dunsturilor.

18. Principiul de funcționare al instalației, similar cu regimul industrial, permite aplicarea rezultatelor obținute în reglarea regimului de lucru al tăvălugilor din unitățile de morărit.

19. Realizarea mărunțirii bob cu bob, cu ajutorul instalației de măsurare a rezistenței la mărunțire a cerealelor, a confirmat rezultatele obținute la analiza microprobelor de câte 30 g din cele 2 soiuri de grâu. Concluziile similare privind valoarea momentului rezistent, recomandă analiza mărunțirii bob cu bob la instalația de laborator, ca fiind un posibil model în optimizarea mărunțirii grâului la șrotul I, la nivel industrial.

20. Prin corelarea randamentelor în produse intermediare cu gradul de mărunțire se concluzionează că utilizarea poziției T/T este cea mai bună atât sub aspect energetic cât și al eficienței în obținerea grișurilor mari, mijlocii și mici – produse intermediare specifice șrotului I.

21. Utilizarea și testarea instalației de măsurarea a rezistenței cerealelor la mărunțire a condus la rezultate verificate cu ajutorul analizei granulometrice prin metoda cernerii (pentru domeniul 160 mm-1250 μm), completată de determinările făcute cu analizorul laser Fritsch „analysette 22” COMPACT (pentru domeniul 0,1-300 μm).

22. Utilizarea și testarea instalației de măsurarea a rezistenței cerealelor la mărunțire a condus la rezultate verificate de determinările efectuate cu dispozitivul universal de testare Z 005, produs de firma ZWICK-ROELL, în vederea determinării consumului energetic necesar mărunțirii probelor din cele două soiuri de grâu.

23. Energia necesară la mărunțirea grâului dur Pegasus este superioară valoric, celei corespunzătoare mărunțirii grâului moale Dropia.

#### **Contribuții originale:**

- realizarea unei metode de apreciere a rezistenței la mărunțire care folosește mărunțirea între cilindri măcinători, asemănător mărunțirii industriale;
- utilizarea metodei de apreciere a rezistenței la mărunțire în vederea stabilirii parametrilor optimi de condiționare a cerealelor atât din punctul de vedere al proprietăților de măcinș cât și al consumului energetic la măcinare;
- stabilirea parametrilor tehnologici optimi de mărunțire a grâului, la prima treaptă de șrotare, din punct de vedere al eficienței mărunțirii, cât și al consumului energetic;
- realizarea unei metode de măsurare a rezistenței la mărunțire pe un bob de grâu, prin utilizarea instalației, măsurându-se rezistența la mărunțire prin comprimare, cumulată cu cea prin forfecare.

#### **direcții viitoare de cercetare:**

Se vor extinde măsurătorile rezistenței la mărunțire pentru celelalte trepte de șrotare: șroturile II, III, IV, V, precum și la măcinătoare : M1, M2, M3,... și desfăcătoare, în vederea stabilirii parametrilor tehnologici pentru o procesare, eficientă cu consum redus de energie.

## BIBLIOGRAFIE

1. Al-Mahasneh, M., Rababah, Taha M., 2007, *Effect of Moisture Content on some Physical Properties of Green Wheat*, Journal of Food Engineering 79, 1467-1473.
2. Arnold, P.C., Roberts, A. W., 1986, *Stress distribution in loaded wheat grains*, Journal Agr. Eng. Res. 11: 38-43.
3. Austin, L. G., van Orden, D.R., Perez, J.W., 1980, *A preliminary analysis of smooth roll crushers*, Int. J. Mineral Proc. 6:321-336.
4. Austin, L. G., van Orden, D.R., McWilliams, B., Perez, J.W., 1981, *Breakage parameters of some materials in smooth roll crushers*, Powder Technology 28: 245-251.
5. Banu, C. ș.a., 1999, *Manualul inginerului din industria alimentară- vol. I*, București - Editura Tehnică.
6. Banu, C. ș.a., 1999, *Manualul inginerului din industria alimentară- vol. II*, București - Editura Tehnică.
7. Banu, I., 2010, *Procesarea cerealelor în industria morăritului*, Editura Galați University Press, ISBN 978-606-8008-67-7.
8. Bălan I., Danciu I., Danciu C., 2006, *Trends in Wheat Grain Quality*, Acta Universitas Cibiniensis.
9. Blakeney, A.B., Almgren, G., Jacob, E.H., 1979, *Analysis of first break milling of hard and soft wheats*, Milling Feed Fert. 162(9): 22-28.
10. Bunn, P. J., Campbell, G. M., Fang, C., Hook, S.C.W., 2001, *On predicting roller milling performance. III. The particle size distribution from roller milling of various wheats using fluted rolls*, 6<sup>th</sup> World Chemical Engineering Congress, Melbourne, Australia.
11. Bond, F. C., 1952, *The third theory of comminution*, Trans. AIME 193(2), 484.
12. Brătucu, Gh.: -2006, *Cercetări privind influența condiționării hidrice a semințelor asupra performanțelor procesului de măcinare a grâului*, în Buletinul INMATEH III, București, p. 139-142;
13. Brătucu, Gh.: 2006, *Contribution to the Improvement of the Humidification Operation of Cereals Destined for Milling*, in Bulletin of the Transilvania University of Brașov, vol. 13 (48), Series A1, p. 9-16;
14. Campbell G. M., Webb, C., Bunn P.J., Hook S.C. W., 1999, *On predicting roller milling performance. II. The breakage function*, Satake Centre for Grain Process Engineering, UMIST, Manchester, UK.
15. Campbell, G. M., Webb, C., 2001, *On predicting roller milling performance. I. The breakage equation*. Powder Technology 115, 234-242.
16. Campbell, G. 2007. *Roller Milling of Wheat*, Elsevier Science, <http://www.engineeringvillage.com>, Database: Referex Collection: Chemical, Petrochemical & Process.
17. Carpov, S., 1997, *Tehnologia generală a industriei alimentare*. Ed. Tehnică, București.
18. Costin I.: 1988, *Cartea morarului*, Editura Tehnică, București.
19. Costin I.: 1983, *Tehnologii de prelucrare a cerealelor în industria morăritului*, Editura Tehnică, București, (III – 176712);
20. Creason, H. 1975. *Grinding and corrugating rolls*, Bull Assoc. Oper. Millers, 11, 3569-3570.
21. Danciu, I., 1983, *Posibilități de reducere a consumului de energie în transportul pneumatic în mori*, Sesiunea de comunicări științifice 25 martie 1983, Bacău.

22. Danciu, I, 1985.: *Variația consumului de energie la mărunțirea grâului la șroturile de categoria I*, Lucrările Sesiunii de comunicări științifice a cadrelor didactice din Universitatea Galați.
23. Danciu, I.: 1997, *Tehnologia și utilajul industriei morăritului*, Editura Universității „Lucian Blaga” Sibiu.
24. Danciu, I. , 2000, *Măcinarea cerealelor*, Ed. Univ. Lucian Blaga Sibiu, ISBN 973-651-095-6
25. Danciu, I.: 2001, *Curățirea cerealelor*, Editura Universității „Lucian Blaga”, Sibiu.
26. Danciu, I: 2001, *Proiectarea morilor*, Editura Universității ”Lucian Blaga” din Sibiu, ISBN 9736510964.
27. Danciu, I., Trifan A., 2001, *Utilaje în industria alimentară*, ISBN 973-651-407-2, Editura Universității Lucian Blaga din Sibiu, vol. I și II.
  
28. Danciu I,Danciu C, 2004, *The comparative analysis of grinding degree in breaking process between classic way of grinding and the intensive grinding process*. 16-th. International Congress of Chemical and Process Engineering,22-26 august 2004 ,Praga.
29. Danciu I,Danciu C, 2004, *The comparative analysis of the secondary products extractions, from the first breaking step, between intensive (modern) wheat grinding and the classic one*. 16-th. International Congress of Chemical and Process Engineering,22-26 august 2004 ,Praga.
30. Danciu,I, Danciu, C, 2005, *Evolutions in the cleaning process of the middlings, on the wheat grinding*,Buletin USAMV-Cluj-Napoca / Romania, 60/2005,ISSN 1454-2382,p 474.
31. Danciu I, Danciu C, 2005, *A new proceeding for the maize milling,by degermination of the grain*,Buletin USAMV- Cluj-Napoca / Romania, 60/2005,ISSN 1454-2382,p 475.
32. Danciu,I, Danciu, C, I. Banu, M. Vaduva, M. Mester,2009, *Researches regarding the grinding resistance of the wheat grain*, Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 15(3), 393-395
33. Danciu Cristina, Danciu I., Vaduva M., 2010, *The assessment of the optimum rest time in the wheat conditioning with a micromill designed to determine the grinding resistance of the wheat grain*, Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 16(2), 141-143, [http://journal-of-agroalimentary.ro/Journal-of-Agroalimentary-Processes-and-Technologies-Issue\\_552.html](http://journal-of-agroalimentary.ro/Journal-of-Agroalimentary-Processes-and-Technologies-Issue_552.html), acreditată B+ CNCSIS.
34. Danciu C., Danciu I., 2010, *Grinding Process of the Wheat Kernel with a New Designed Micromill*,Food and Environment Safety, IX(4),125-130, <http://www.fia.usv.ro/fiajournal>, acreditată B+ CNCSIS și indexată in baza de date internațională IndexCopernicus
35. Danciu I, Danciu C., Banu I., 2010, *Micromill Designed for the Measurement of the Wheat Kernel Grinding Resistance, in the Grinding Process*, The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI – Food Technology, 34(2), 49-53, [http://www.ann.ugal.ro/tpa/ft\\_2010\\_no\\_2.htm](http://www.ann.ugal.ro/tpa/ft_2010_no_2.htm), acreditată B+ CNCSIS.
36. Danciu C., Danciu I.,2010, *Energy Saving Opportunities Related to the Size Reduction for the First Break, in the Wheat Milling, with a New Designed Micromill*, Proceedings of the International Conference on Energy, Environment, Sustainable Development and Landscaping, WSEAS Timisoara, 237-240, Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge.<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/TimisoaraP/EELA/EELA-37.pdf>



37. Danciu I., Danciu C., 2010, *Assessment of the energy consumption for the first breaking step, depending on the break adjustment in the wheat milling process*, Proceedings of the 2nd International Conference on Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems, WSEAS Constanta, 235-238, Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge., <http://www.wseas.us/elibrary/conferences/2010/Constantza/MEQAPS/MEQAPS-41.pdf>
38. Danciu C. , Jâșcanu V., 2011, *The Grinding Process Assessment for a Single Wheat Kernel, with a New Designed Micromill* , Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Manufacturing Science and Education (MSE), Sibiu, ISSN 1843-2522, pag.11-14
39. Danciu C., Danciu I., 2011, *The grinding resistance of the Wheat grain related to the grinding degree for the first break, in the wheat milling*, Bulletin UASMV Agriculture Cluj-Napoca / Romania, 68/2011, ISSN 1843-5386, p 235-243. Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge.
40. Danciu C., Danciu I., Jâșcanu V., Chirica I., 2011, *Analysis of the grinding resistance related to the vitreousness of the wheat grain, in the first break process, with a new designed micromill*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference Integrated Systems for Agri-Food Production, Nyiregyhaza, Hungary, 166-170.
41. Delwiche, S.R., 2000, *Wheat endosperm compressive strength properties as affected by moisture*, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 43, 365-373.
42. Dendy, D. A., Dobraszczyk, B. J., 2001, *Cereals and cereal products. Chemistry and Technology*. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland.
43. Dexter, J. E., Williams, P. C., Edwards, N. M., and Martin, D. G. 1988. The relationships between durum wheat vitreousness, kernel hardness and processing quality. *J. Cereal Sci.* 7:169-181.
44. Dexter, J.I., Martin, D.G. 1993. *Reduction sur cylindres lisses de farina obtenus a partir d'un ble CWRS: Effects de la teneur en eau et des conditions de reduction sur la composition en grosseur, l'energie de reduction et l'endommagement de l'amidon*, Ind. Cereales, 84, 43-50.
45. Dexter, J. E., Wood, P. J., 1996, *Recent Applications on Debranning of Wheat before Milling*, Trends in Food Science and Technology 7 (2), 35-41.
46. Dijkstra, B. H., Langelaan, H. C., 2003, *Part I Effect of moisture content in milling*, Journal of Food Engineering 51, 99-104.
47. Dobraszczyk, B. J., 1994, *Fracture mechanics of vitreous and mealy wheat endosperm*, Journal of Cereal Science 19: 273-282.
48. Dobraszczyk, B. J., Whitworth, J. F., Vincent, V., Khan, A. A. 2002. *Single Kernel Wheat Hardness and Fracture Properties in Relation to Density and the Modelling of Fracture in Wheat Endosperm*, Journal of Cereal Science, 2002, 245-263.
49. Dziki, D., Laskowski, J., 2001, *Study on Milling Properties of selected Wheat grain varieties*, Inz. Rol. 8, 63-70.
50. Dziki, D., 2004, *Mechanical properties of single kernel of wheat in relation to debranning ratio and moisture content*. Acta Agrophysica 4,2, 283-290.
51. Dziki, D. Laskowski, J., 2004, *Influence of Kernel Size on Grinding Process of Wheat at Respective Grinding Stages*, Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, Vol. 13/54, No. 1, pp. 29-33.
52. Dziki, D. Laskowski, J., 2004, *The Energy-consuming Indexes of Wheat Kernel Grinding Process*, TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture IV, 62-69.

53. Dziki, D., Laskowski, J., 2005, *Influence of Selected Factors on Wheat Grinding Energy Requirements*, TEKA Kom. Energ. Roln 5, 56-64.
- Dziki, D., Laskowski, J., 2006, *Influence of wheat grain mechanical properties on grinding energy requirements*, TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture 6A, 45-52.
54. Dziki, D., Laskowski, J., 2007, *Influence of moisture content on mechanical properties of rye kernels*, Acta Agrophysica 9 (1), 39-48.
55. Dziki, D., 2007, *Assessment of Energy Consumption for Grinding of Wheat Grain Previously Put to Crushing*, Inzynieria Rolnicza 8 (96).
56. Dziki, D., 2008, *The crushing of wheat kernels and its consequence on the grinding process*, Powder Technology 185, 181-186.
57. Edwards, M.A., Osborne, B.G., Henry, R.J., 2007, *Investigation of the effect of conditioning on the fracture of hard and soft wheat grain by the single-kernel characterisation system: A comparison with roller milling*, Journal of Cereal Science 46, 64-74.
58. Fang Q., E. Haque, C. K. Spillman, P. V. Reddy, J. L. Steele, 1998, *Energy requirements for size reduction of wheat using a roller mill*, Trans. ASAE 41(6), 1713-1720.
59. Fang, C., Campbell, G. 2002a. *Effect of Roll Fluting Disposition and Roll Gap on Breakage of Wheat Kernels During First-Break Roller Milling*, Cereal chemistry, 79(4), 518-522.
60. Fang, C., Campbell, G. 2002b. *Stress-Strain Analysis and Visual Observation of Wheat Kernel Breakage During Roller Milling Using Fluted Rolls*, Cereal chemistry, 79(4), 511-517.
61. Fang, C., Campbell, G. 2003a. *On Predicting Roller Milling Performance IV: Effect of Roll Disposition on the Particle Size Distribution from First Break Milling of Wheat*, Journal of Cereal Science, 37, 21-29.
62. Fang, C., Campbell, G. 2003b. *On Predicting Roller Milling Performance V: Effect of Moisture Content on the Particle Size Distribution from First Break Milling of Wheat*, Journal of Cereal Science, 37, 31-41.
63. Fang, Q. 1995. *Effects of physical properties of wheat and operational parameters of roller mills on size reduction*. MS thesis, Kansas State Univ., Manhattan, Kansas.
64. Gaines, C.S., 1986, *Texture (hardness and softness) variation among individual soft and hard wheat kernels*, Cereal Chemistry, 63, 479-484.
65. Gaines, C.S., Finney P.L., Andrews L.C., 1997, *Influence of kernel size and shriveling on soft wheat milling and baking quality*, Cereal Chemistry 74, 700-704.
66. Gehle, H. 1965. *The MIAG "Vario" Rollstand: Design and purpose*. Amer. Assoc. of Operative Millers' Tech. Bull. (May): 2861-2862.
67. Gere, J.M., Timoshenko, S.P., 1984, *Mechanics of Materials*, 2nd Ed. Wadsworth, Belmont, CA.
68. Ghimbășan R. 2000: *Tehnologii în industria alimentară*, Editura Universității Transilvania Brașov.
69. Ghimbășan R. 2005: [\*Tehnologii in industria alimentara: culegere de date utile\*](#), Editura Universității Transilvania Brașov.
70. Glenn, G. M., Younce, F.L., Pitts, M.J., 1991, *Fundamental physical-properties characterizing the hardness of wheat endosperm*, Journal of Cereal Science 13, 179-194.
71. Glenn, G. M., Johnston, R. K., 1992, *Moisture dependent changes in the mechanical properties of isolated wheat*. Journal of Cereal Science 15, 223-236.
72. Godon, B., Willm, C. 1994. *Primary Cereal Processing*, cap. *Break Roller Mill Performances*, VCH Publisher, Inc., New York.

73. Guritno, P., Haque, E., 1994, *Relationship between energy and size reduction of grains using a three roller mill*, Transaction ASAE 37(4), 1243-1248.
74. Gyéresi, St. 2003: *Statistică matematică*, Editura Paco, București.
75. Haddad, Y., Mabilie, F., Mermet, A., Abecassis, J., Benet, J. C., 1999, *Rheological properties of wheat endosperm and grinding behaviour*, Powder Technology 105, 89-94.
76. Hadjichristodoulou, A. 1979. Genetic and environmental effects on vitreousness of durum wheat. Euphytica 28: 711-716.
77. Haque, E., 1991, *Application of size reduction theory to roller mill design and operation*, Cereal Foods World 40, 30-35.
78. Hareland, G.A. 1998. *Effects of Break-Roll Speed Differential on Product Yield and Semolina Granulation in a Durum Pilot Mill System*, Cereal chemistry, 75(6), 836-840.
79. Hareland, G.A., Shi, Y. 1997. *Effetti delle variabili di macinazione del grano alla prima rottura*, Tecnica Molitoria, 12, 1220-1228.
80. Hareland, G. A. 1994. *Evaluation of flour particle size distribution by laser diffraction, sieve analysis and near-infrared reflectance spectroscopy*. Journal of Cereal Science. 21:183-190.
81. Hsieh, F.H., Martin, D.G. et al, 1980, *Some factors affecting the first break grinding of Canadian wheat*, Cereal Chemistry 57(3), 217-223.
82. Hosney, R. C. 1986. *Structure of cereals.: Principles of Cereal Science and Technology*. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN. Pages 1-32 .
83. Jâncanu, V., Căpănă, C., Văduva, M., 2001, *Operații și utilaje în industria alimentară*, Ed. Alma Mater, Sibiu
84. Jâncanu, V., Căpănă, C., Văduva, M., Albu, S. G., 2005, *Operații și aparate în industria alimentară*, Ed. Alma Mater, Sibiu.
85. Laskowski, J., Lysiak, G., 1997, *Relationships between resistance characteristics of barley kernels and energy consumption during grinding on hammer mill*, Int. Agrophysics 11, 265-271.
86. Laskowski, J., Lysiak, G., 1999, *Use of compression behaviour of legume seeds in view of impact grinding prediction*. Powder Technology, 105, 1-3, 83-88.
87. Leonte, M. 2002: *Tehnologii și utilaje în industria morăritului – Măcinașul cerealelor*, Editura Millennium, Piatra Neamț.
88. Li, Y.Z., Posner E.S., 1987, *The influence of kernel size on wheat millability*, Assoc. Operas Millers Tech. Bull., Nov., 5089.
89. Lysiak, G., Laskowski, J., 1999, *Analysis of energy consumption of the process of grinding wheat grain and legume seeds*, Inzynieria Rolnicza 5, 186-193.
90. Kick, F., 1885, *Das gesetx der proportionalem widerstand und sein anwendung*. Leipzig, Germany.
91. Kilborn, R. H., H. C. Black, J. E. Dexter, and D. G. Martin. 1982. *Energy consumption during flour milling: Description of two measuring systems and influence of wheat hardness on energy requirements*. Cereal Chemistry. 59(4): 284–288.
92. Kruskal, W. and Wallis, W.A., 1952. *Use of ranks in one-criterion variance analysis*. Journal of the American Statistical Association 47 (260): 583–621.
93. Kupriș, I.N., *Tehnologia morăritului*, 1954, Editura Tehnică, București.
94. Mabilie, F., Abecassis, J. 2001. *Mechanical Properties of Wheat Seed Coats*, Cereal chemistry, 78(3), 231-235.
95. Manthey, F.A., Harelang, G.A. 2001. *Effects of Break-Roll Differential on Semolina and Spaghetti Quality*, Cereal chemistry, 78(3), 368-371.

96. Măruță M. 1967: *Îndrumător tehnic pentru industria morăritului*, Editura Tehnică, București.
97. Mohsenin N.N. 1986 *Physical properties of plant animal materials. Structure, physical characteristics and mechanical properties*. New York: Gordon and Breach Science Publisher.
98. Moraru, C. 1992. *Tehnologia morăritului (note de curs)*, Universitatea din Galați.
99. Morris. C.F. Campbell, G. K., King, G.E., 2005, *Kernel texture differences among US soft wheat cultivars*, Journal of the Science of Food and Agriculture 85: 1959-1965.
100. Muhamad, I., Campbell, G. M., 2002, *Effects of kernel hardness and moisture content on wheat breakage in the single kernel characterization system*, Innovative Food Science and Emerging Technologies 5, 119-125.
101. Muhamad, I., Fang, C., Campbell, G. M., 2006, *Comparison of grain particle size distribution in the single kernel characterization system and during first break roller milling*, Jurnal Teknologi Malaysia 44(F), 41-52.
102. Osborne, B. G., 2001, *Wheat Flour Milling. Part 2. In Cereals and cereal product: chemistry and technology*, Aspen Publishers Inc., Maryland, USA.
103. Osborne, B.G., Henry, R., Southan, M.D., 2006, *Assessment of commercial milling performance of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain*, Journal of Cereal Science.
104. Ott, R.L., 1993, *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*, 4<sup>th</sup> ed. Belmont, California, Duxbury Press.
105. Pasikatan, M.C., Haque, E., et all, 1998, *Single kernel wheat physical properties and first-break grinding*, ASAE paper no. MC98-137, St. Joseph, Michigan.
106. Pasikatan, M.C., Miligen, G. A. et all, 2001, *Modeling the energy requirements of first-break grinding*, Transactions of the ASAE, 44(6), 1734-1744.
107. Peyron, S., Chaurand, M., Rouau, X., Abecassis, J. 2002. *Relationship between Bran Mechanical Properties and Milling Behaviour of Durum Wheat (Triticum durum Desf.). Influence of Tissue Thickness and Cell Wall Structure*, Journal of Cereal Science, 377-386.
108. Pomeranz, Y., Peterson C.J., Mattern P.J., 1985, *Hardness of winter wheat grown under widely different climatic conditions*, Cereal Chemistry 62, 463-467.
109. Posner, Elieser S., Hibbs, Arthur N., 1997, *Wheat flour milling*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
110. Posner, E. S., 2003, *Characteristics of Milled Products*, Elsevier Science Ltd., 3997-4005.
111. Pomeranz, Y., and Williams, P. C. 1990. *Wheat hardness: Its genetic, structural and biochemical background, measurement, and significance. Chapter 8 in: Advances in Cereal Science and Technology*. Vol. X. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN
112. Pujol, R., Letang, C., Lempereur, I., Chaurand, M., Mabile, F., Abecassis, J. 2000. *Description of a Micromill with Instrumentation for Measuring Grinding Characteristics of Wheat Grain*, Cereal chemistry, 77(4), 421-427.
113. Râpeanu, R., Măruță, N. 1964. *Mașini și instalații în industria morăritului*, Editura Tehnică, București.
114. Rus, Fl. 2001: *Bazele operațiilor din industria alimentară*, Editura Universității Transilvania Brașov.
115. Rus, Fl. 2001: *Operații de separare în industria alimentară*, Editura Universității Transilvania Brașov.
116. Scanlon, M. G., and Dexter, J. E. 1986. *Effect of smooth roll grinding conditions on reduction of hard red spring wheat farina*. Cereal Chem. 63:431-435.

117. Scanlon, M. G., Dexter, J. E., Biliaderis, C.G., 1988, *Particle size related physical properties of flour produced by smooth roll reduction of hard red spring wheat farina*, Cereal Chemistry 65: 486- 492.
118. Scanlon M.G., Lamb, J., 1995, *Fracture mechanism and particle shape formation during size reduction of a model food material*, J. Material Sciences 30: 2577-2583.
119. Scott, David W. (1979). "On optimal and data-based histograms". *Biometrika* 66 (3): 605–610, doi:[10.1093/biomet/66.3.605](https://doi.org/10.1093/biomet/66.3.605).
120. Smith, L., 1994, *Flour Milling Technology*, 3<sup>rd</sup> Ed. Northern Liverpool, England.
121. Sokolowski, M., 1996, *Energy consumed in comminution- and a new idea of and general of law of comminution.- new test stands and testing results*. Recents progres en genie procedes 10, 221-226.
122. Sugden, T.D., Osborne, B.G., 2001, *Wheat Flour Milling In Cereals and cereal Products: Chemistry and Technology*, Aspen Publ. Inc., Maryland, USA, 140-181
123. Székely, I., s.a. 1997: *Sisteme pentru achiziții si prelucrarea datelor*, Editura Mediamira, Cluj-Napoca.
124. Sturges H.A.(1926), *The choice of a class interval*. J.I Am. Stat., 21: 65-66
125. Țucu D., 1994: *Morăritul: Sisteme tehnologice și structuri productive*, Editura Mirton, Timișoara,.
126. Țucu, D., David, I., 1994: *Utilaje și instalații pentru morărit și panificație –îndrumar de laborator*, Litografia Universității Tehnice Timișoara.
127. von Rittinger, R.P., 1867, *Textbook of Mineral Dressing*, Berlin, Germany.
128. Voncilă, I., Călușeanu, D., Badea, N., Buhosu, R., Munteanu, C. 2003. *Mașini electrice* – Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos” din Galați.
129. Walker, W.H. et all, 1937, *Size reduction*, In *Principles of Chemical Engineering*, 251-288, New York, McGraw Hill.
130. Wiercioch, M., Niemiec, A., Romanski, L., 2008, *The Impact of Wheat Seeds Size on Energy Consumption of Their Grinding Process*, Inzynieria Rolnicza 5 (103).
131. Williams, P. C., Kilborn, R. H. et all, 1987, *Measuring Wheat Hardness by Revolutions per Minute Reduction*, Cereal Chemistry, 64 (6), 422-427.
132. \*\*\*, *ASAE Standards*, 1998, 45th ed.S319.3 Method on determining and expressing fineness of feed materials by sieving. St. Joseph, Michigan, USA.
133. [http://www.anamob.ro/standarde\\_ma.shtml](http://www.anamob.ro/standarde_ma.shtml)
134. [www.sartorom.ro](http://www.sartorom.ro);
135. <http://global.zwick.com/en.html>;