

Influența tipului de malaxor asupra proprietăților reologice ale aluatului
Autori: Gheorghe MUSCALU, Gheorghe VOICU, Madalina Elena STEFAN, Mariana
MUNTEANU

REZUMAT

Studiul prezintă analiza comparativă a trei malaxoare cu construcție diferită, prin prisma efectelor asupra aluatului obținut din aceeași făină, cu scopul de a evidenția faptul că nu doar caracteristicile reologice ale făinurilor influențează proprietățile reologice ale aluatului, ci și tipul de malaxor folosit în procesul de frământare. Acesta are influențe directe asupra aluatului, lăsând loc pentru discuții largi cu privire la diferențele constatate, între cantitatea de energie introdusă în aluat, apa adăugată, retenția de gaz a bucăților de aluat și nu numai.

În prima parte a lucrării, sunt analizate procesele de frământare efectuate cu ajutorul: unui malaxor orizontal, a unui planetar și a unui model cu braț vertical. Toate cele trei malaxoare folosesc frământarea intensivă, diferă doar nivelul de energie introdus în aluat.

În a doua parte a lucrării sunt prezentate diagramele de frământare obținute la un anumit nivel de energie în care se pot observa dezvoltările diferite ale celor patru faze cunoscute: hidratare făină, formare aluat, stabilitate și înmuire [10].

În a treia parte a lucrării este studiată influența modificării turației organelor de lucru ale frământătorului Polin asupra diagramelor de frământare obținute la valori diferite de energie introduse în aluat.

Lucrarea de față dorește să scoată în evidență necesitatea unei analize reologice suplimentare efectuată chiar în timpul procesului de frământare și adaptată pentru fiecare tip de frământător în parte, analiză care se poate efectua cu aparatul și metoda dezvoltată de autor.

Cuvinte cheie: malaxor, aluat, analiză reologică, diagrama de frământare, capacitate de hidratare, energie în aluat.

INTRODUCERE

Procesul de frământare este operația crucială din industria de panificație, prin care, făina, apa și restul ingredientelor, sub acțiunea lucrului mecanic, sunt transformate în aluat [5,9,11]. Cu ocazia frământării au loc modificări complexe ale substanțelor din aluat, dintre care cea mai mare importanță o au procesele coloidale și fizico-chimice [8].

Calitatea pâinii depinde și de condițiile în care se efectuează procesul de mixare (tipul malaxorului, viteza de rotație a brațului de frământare, timpul de frământare și apa adăugată la cantitatea de făină din aluat) [3,4]. Modul în care aluatul este frământat are un impact major asupra proprietăților reologice ale acestuia, datorită naturii sale dependente de timp și lucru mecanic introdus. O frământare intensivă și de lungă durată conduce la distrugerea structurii proteinelor și la formarea secundară lentă a unei noi structuri cu legături slabe. Un aluat este bine frământat atunci când este omogen, bine legat (consistent), uscat la pipăire, elastic și se dezlipește ușor de pe brațul frământătorului și de pe pereții cuvei. Farinograful și mixograful sunt dispozitive de laborator ce analizează proprietățile făinii în timpul frământării și oferă măsurători empirice referitoare la momentul de torsiune și lucrul mecanic necesare pentru a produce aluatul frământat optim, deși formele organelor de lucru și acțiunea de frământare sunt diferite.

Pentru obținerea unei dezvoltări corespunzătoare a aluatului, două cerințe de bază trebuie respectate. Energia introdusă în aluat trebuie să fie mai mare decât limita critică de energie necesară pentru formarea structurii glutenice, iar intensitatea frământării trebuie să fie mai mare decât nivelul critic de dezvoltare a aluatului [7]. Aceste cerințe variază cu proprietățile făinii și cu tipul de frământător utilizat [12,13].

Din aceste considerente, fiecare lot și tip de făină utilizat, trebuie adaptat la fluxul de lucru specific fiecărei fabrici. În majoritatea fabricilor de panificație, optimizarea frământării se bazează încă pe experiența frământătorului și mai puțin pe date științifice, fapt care duce la o inconsistență în procesul de fabricație a pâinii și nu numai. Recent, un număr de metode analitice au fost analizate pentru a monitoriza dezvoltarea aluatului, bazat pe descrierea fizică sau chimică a proprietăților aluatului. Cele mai cunoscute procese de măsurare, bazate pe schimbările fizice ale proprietăților aluatului, sunt cele ale momentului de torsiune și puterea consumată la motor a frământătorului.

Este important să existe o imagine clară a procesului de frământare, deoarece acesta poate arăta indicatori de dezvoltare optimă a aluatului (dacă aluatul va reține gaz, va avea elasticitate sau se va comporta bine în procesele de divizare și modelare), care în următoarele faze ale procesului de fabricație vor decide calitatea produsului finit, [1,2,7], iar deciziile bazate pe experiență sau intuiție pot fi limitate sau eliminate cu ajutorul unui sistem integrat de măsură și control a consistenței și formării aluatului.

Scopul acestei lucrări este de a studia impactul pe care tipul de frământător folosit îl are asupra proprietăților reologice ale aluatului obținut, folosind aceeași făină tip 650 de la 7 Spice, cu păstrarea identică a parametrilor de temperatură făină, apă și mediu.

MATERIALE ȘI METODE

Determinările experimentale pentru evaluarea calității făinii în procesul de frământare au fost efectuate cu ajutorul unui farinograf Brabender, versiunea E (figura 1a). Farinograful are o capacitate de 300 g de făină, iar temperatura apei din baia de recirculare a fost menținută la $30 \pm 1^\circ\text{C}$.

Deasemenea, au fost efectuate determinări experimentale și pe trei tipuri de malaxoare, la care s-a conectat un aparat de măsurare a curentului consumat de motorul frământătorului, denumit „Loggit” (figura 1b).



Figura 1: a. Farinograful Brabender; b. Aparat portabil de înregistrare a curentului consumat la frământarea aluatului

Principiul de lucru al metodei de măsurare constă în conectarea aparatului de măsură și achiziție de date la malaxor, unde măsoară curentul consumat de motor în timpul operației de frământare. Consumul de curent crește și scade în funcție de forța de opunere a aluatului la brațul de frământare, respectiv de momentul înregistrat la brațul (brațele) frământătorului.

Pentru a filtra datele obținute, funcții ca max, min, average, count și altele din programul Excel au fost folosite. La început, frământătorul a fost lăsat să funcționeze fără încărcare, pentru a stabili consumul de energie la mersul în gol ale echipamentului, care a fost scăzut din calculul final al momentului de torsiune (N.m), consumat de brațul frământătorului, la opunerea aluatului.

Considerând relația generală pentru calcularea puterii necesare la brațul de lucru, poate fi scris:

$$P = M \frac{\pi n}{30} [\text{kW}] \quad (1),$$

unde: M este momentul rezistent la brațul de frământare, maxim și minim și P este puterea corespondentă.

Pentru a calcula puterea consumată de motorul frământătorului, următoarea relație poate fi scrisă:

$$P = \sqrt{3}UI\cos\phi [\text{kW}] \quad (2),$$

unde: U este tensiunea curentului, I este intensitatea curentului, și $\cos\phi$ valoarea măsurată de cleștele ampermetric și factorul de putere.

Pentru a stabili puterea consumată în procesul de frământare, fără pierderile de energie, a fost folosită următoarea relație:

$$P_f = P - P_g [\text{kW}] \quad (3),$$

unde: P_f este puterea consumată pentru procesul de frământare, P este puterea totală consumată de motorul frământătorului, iar P_g este puterea consumată de motor, la mersul în gol al aparatului.

Cunoscând puterea consumată pentru procesul de frământare și viteza brațului de frământare, este posibil să se calculeze momentul mediu, așa cum urmează:

$$M_m = \frac{P}{\omega} [\text{N.m}] \quad (4),$$

unde: M_m este momentul mediu rezistent la brațul de frământare, P este puterea consumată de motor pentru procesul de frământare și ω este viteza unghiulară a brațului în timpul frământării [11].

Dacă, în timpul procesului de frământare, se măsoară momentul de torsiune la arborele unui frământător (malaxor de aluat), se obține o curbă $M=f(t)$, care se prezintă sub o formă ca cea din figura.2.

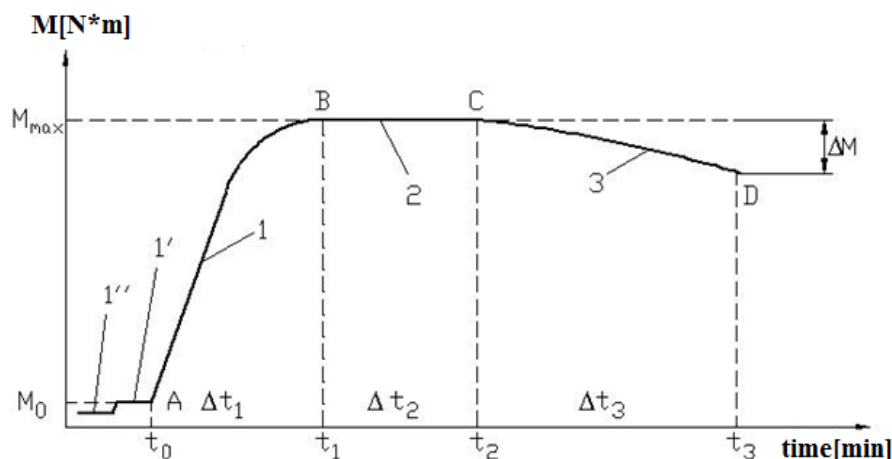


Fig.2. Variația momentului la arborele frământătorului [11]

În această figură, porțiunea de curbă 1'' reprezintă momentul la mersul în gol al frământătorului, iar 1' reprezintă momentul după introducerea făinii în cuva frământătorului:

- AB – momentul după introducerea apei și începutul procesului de hidratare a făinii;
- BC – momentul în timpul procesului de frământare a aluatului (momentul maxim);
- CD – faza de înmuiere a aluatului dacă se prelungește frământarea;
- Δt_1 – perioada de formare a aluatului;
- Δt_2 – perioada de stabilitate;
- Δt_3 – perioada de înmuiere.[11]

În experimentele efectuate, s-a utilizat un singur lot de făină, de tip F-650, cu caracteristicile fizico-chimice prezentate în tabelul 1.

Tabel 1. Caracteristicile fizico-chimice ale făinii tip 650 utilizate în experimente

Tip Făină	Umiditate, [%]	Gluten umed, [%]	Conținut cenușă, [%] d.s.	Deformare [mm]	Aciditate, [degrees]	Indice de cădere, [sec]	Gluten index
EA – 650	13.8	28.4	0.65	3.5	2	323	92

Farinograma obținută (figura 3), oferă informații despre capacitatea de absorbție apă a făinii analizate, timpul de dezvoltare a aluatului, perioada de stabilitate și gradul de înmuiere (tabel 2). Pentru analiza unei farinograme, se ia în considerare curba descrisă de media valorilor dintre maxim și minim, înregistrate ca forța de opunere la brațul de frământare.

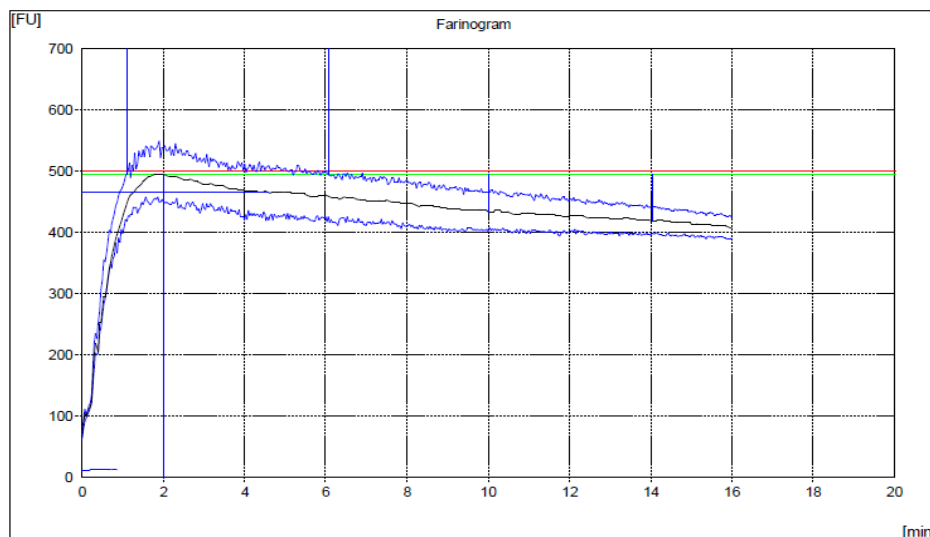


Figura 3. Farinograma obținută cu făina 650 utilizată în experimente

Tabel 2. Rezultatele obtinute in urma analizei farinogramei

Tip făină	Capacitate hidratare, [%]	Timp de dezvoltare, [min]	Stabilitate [min]	Grad de înmuiere [FU]
EA – 650	58.5	2	5	61

Aluaturile au fost frământate cu ajutorul următoarelor tipuri de malaxoare: frământător Diosna SPV 240 A, cu braț elicoidal vertical și cuvă mobilă (figura 4b), frământător planetar Polin MR 140 – cu două brațe verticale (figura 4a), frământător orizontal intensiv HD 2600 cu braț elicoidal orizontal (figura 4c,d). Caracteristicile tehnice ale celor trei malaxoare se regăsesc în tabelul 3. S-a utilizat capacitatea maximă de încărcare a cuvei, recomandată de producător, și anume: 240 kg de aluat pentru malaxorul Diosna SPV 240 A, 160 kg de aluat pentru mixerul HD 2600, respectiv 70 kg de aluat pentru frământătorul Polin. Cantitatea de apă adăugată în cele trei experimente a fost de 58.5 %, raportată la cantitatea de făina folosită.

Tabel 3. Caracteristici tehnice pentru cele trei frământătoare:

Date tehnice	Polin - MR 140	Diosna SPV 240	Mixer HD 2600
Capacitate (kg aluat/oră)	700	2400	2600
Cantitate pe fiecare șarjă (kg de aluat)	70	240	160
Număr de șarje /oră	10	10	16,25
Putere instalată (kW)	7,5	18,5	55
Putere totală instalată (kW)	7,5	18,5	55
Tensiune (V)	380	380	380
Frecvență (Hz)	50	50	50
Greutate mixer (kg)	1300	1800	1800

Frământătorul Polin este dotat cu variator de frecvență, fapt ce a permis efectuarea a trei frământări cu același echipament, dar la turații diferite ale brațelor. Încărcarea cuvei a fost de 70

kg de aluat, iar cantitatea de apă adăugată a fost de 58.5 %, raportată la cantitatea de făină folosită.

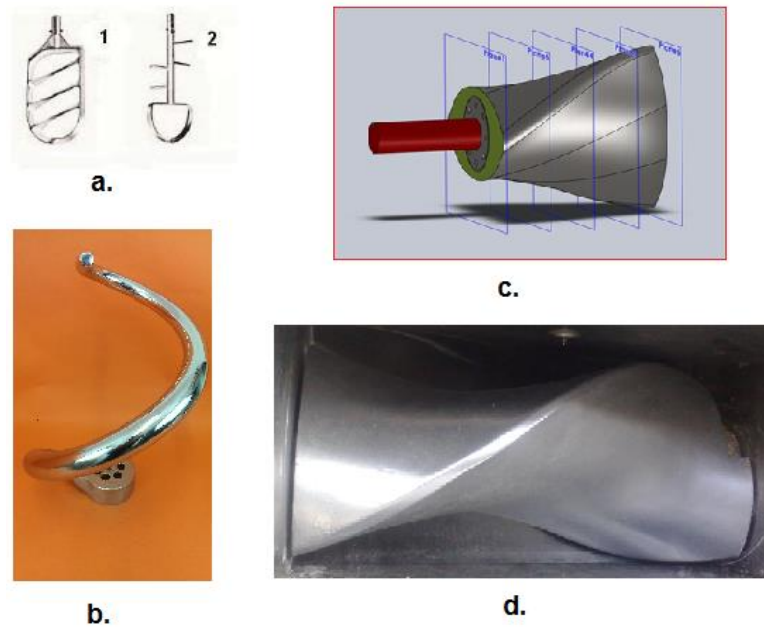


Figura 4. Brațele frământătoarelor folosite în efectuarea testelor: a. Brațele de la frământătorul planetar Polin, b. Brațul de la frământătorul vertical Diosna, c,d. Brațul de frământare de la malaxorul orizontal Gostol

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Măsurătorile au fost efectuate pe cele trei tipuri de malaxoare, păstrând parametri identici, și anume: s-a folosit același lot de făină tip 650, marca 7 Spice; s-a folosit același timp de malaxare, s-a păstrat aceeași temperatură pentru apă, făină și mediu; cantitatea de apă adăugată a fost de 58.5 % pentru toate cele trei malaxări, iar cuvele au fost încărcate la capacitatea maximă recomandată de producător.

Pentru partea a doua a lucrării, rezultatele obținute în cadrul frământărilor efectuate cu cele trei malaxoare diferite constructiv, pot fi observate în diagramele rezultante (figurile 5,6,7,8).

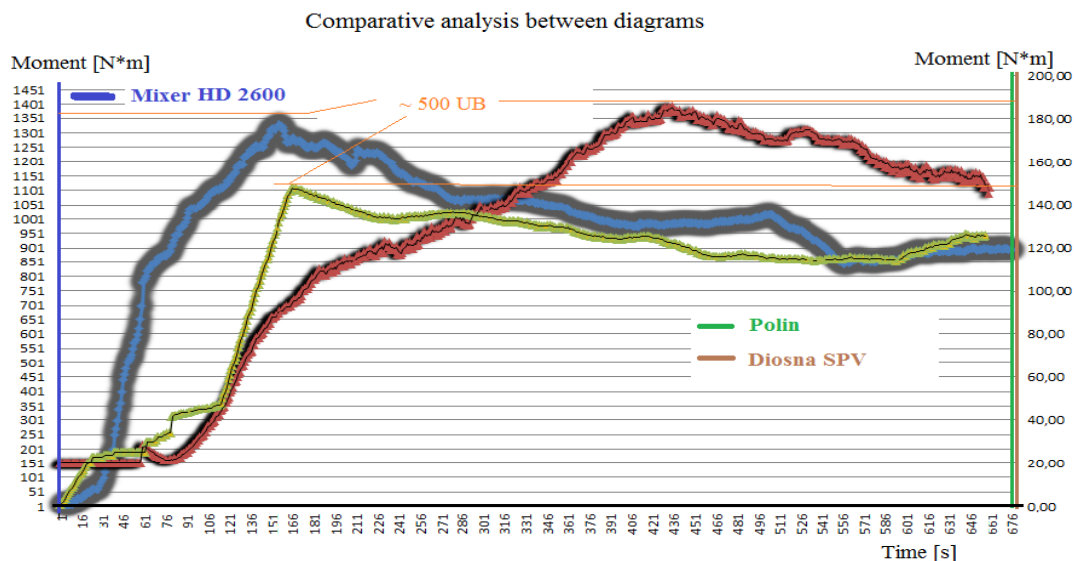


Figura 5. Analiza comparativă între diagramele de frământare

În figura 5 se pot observa diferențele de formă pe care le au cele trei curbe de frământare, diferențe care duc la o dezvoltare diferită a aluatului prin modificarea timpului de formare a rețelei glutenice, modificare care duce la schimbarea reologiei aluatului cu influențe asupra întregului proces tehnologic ulterior.

Formarea rapidă a rețelei glutenice, atrage cu sine și accelerarea proceselor de înmuiere, cu reducerea timpului de stabilitate. Acest fenomen este valabil și în cazul formării lente a rețelei glutenice (ca la frământarea lentă, un timp îndelungat), iar rezultatele sunt mult mai relevante în cazul făinurilor de calitate slabă și medie, așa cum este și făina utilizată în experimente.

Se poate observa că primul care ajunge la consistența maximă este malaxorul de la firma Gostol tip: HD 2600, malaxor care introduce în aluat o energie de 15 W*h/kg, al doilea care atinge picul maxim este malaxorul Polin care introduce în aluat o energie de 5.6 W*h/kg, ultimul care atinge maximum de consistență este malaxorul Diosna care introduce doar 4.8 W*h/kg.

Odată cu creșterea energiei introdusă în aluat scade și timpul de frământare deoarece se atinge un prag critic de deformare dorit într-o unitate de timp mai mică. Prin analiza celor trei curbe de frământare, se poate spune că în niciunul dintre teste, nu s-a obținut un model de dezvoltare comparativ cu cel obținut de aparatul Brabender și transpus în farinogramă.

Datorită formei brațului și a cantității diferite de energie introdusă în aluat de către fiecare malaxor, se pot observa diferențe între formele diagramelor de frământare. Pe baza diagramelor de frământare se pot stabili: perioada de hidratare a ingredientelor (amestecare), formare aluat, stabilitate și înmuiere.

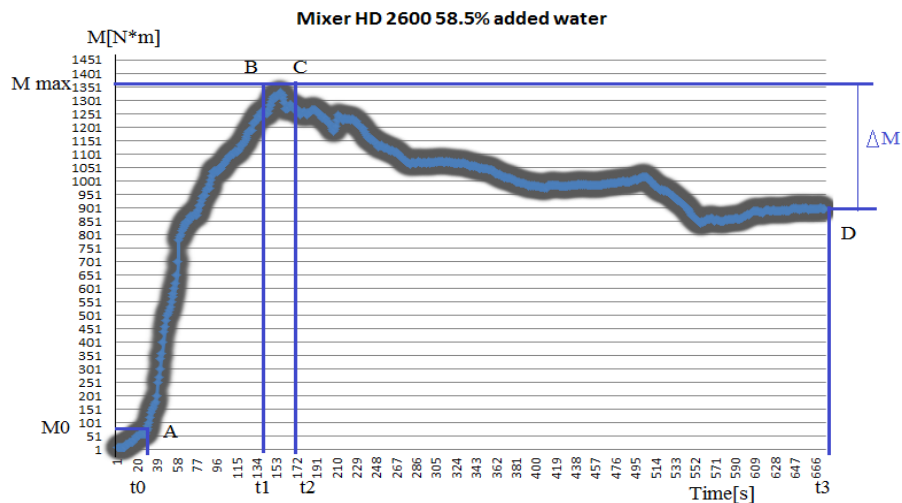


Figura 6. Diagrama de frământare pentru malaxorul HD 2600

Aluatul frământat de malaxorul HD 2600 are un timp de formare mic deoarece cantitatea de energie introdusă în el la contactul acestuia cu suprafața brațului de frământare și cea a cuvei este foarte mare, într-o unitate de timp foarte scurtă. Acest tip de frământare se pretează cel mai bine făinurilor puternice, care necesită sisteme suplimentare de reducere, pentru a permite prelucrarea. De aceea, pentru tipul de făină ca cea folosită, timpul de frământare optim este de doar 180 s, deoarece după acest punct, stabilitatea aluatului se termină, iar gradul de înmuiere crește gradual.

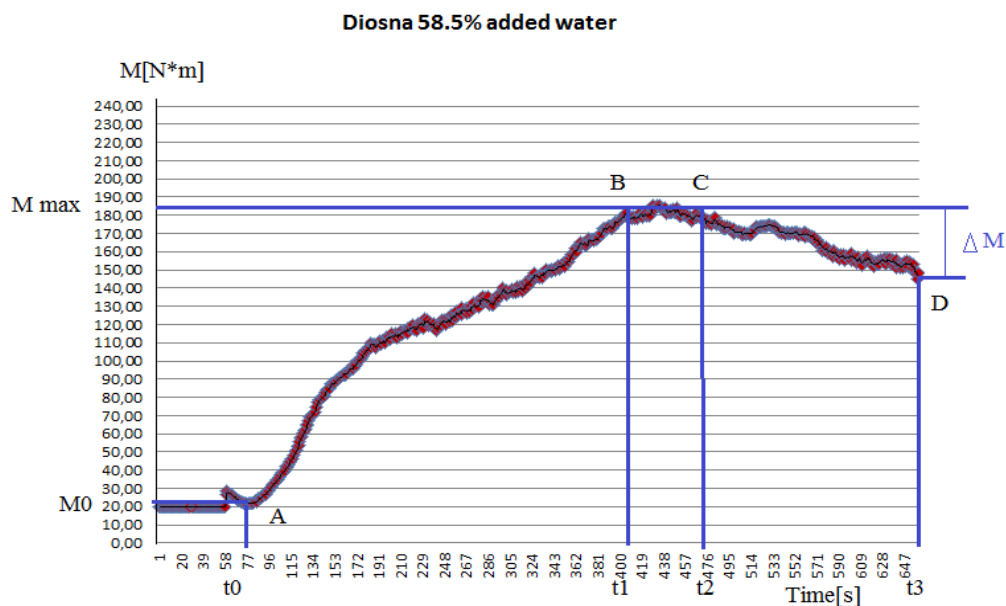


Figura 7. Diagrama de frământare pentru malaxorul Diosna SPV 240 A

Malaxorul Diosna are un timp de frământare cuprins între 8 și 12 minute, din această cauză timpul de formare este cu până la de 3 ori mai mare decât malaxorul HD 2600, stabilitatea este mai mare și este legată strict de formarea structurii glutenice, în timpul procesului de frământare. Înmuiera acestui tip de aluat se face mai lent la malaxorul Diosna deoarece valoarea consistenței scade față de picul maxim cu 22% față de 33% cât scade la malaxorul HD 2600 și 26% pe malaxorul Polin așa cum se poate vedea și în tabelul 4.

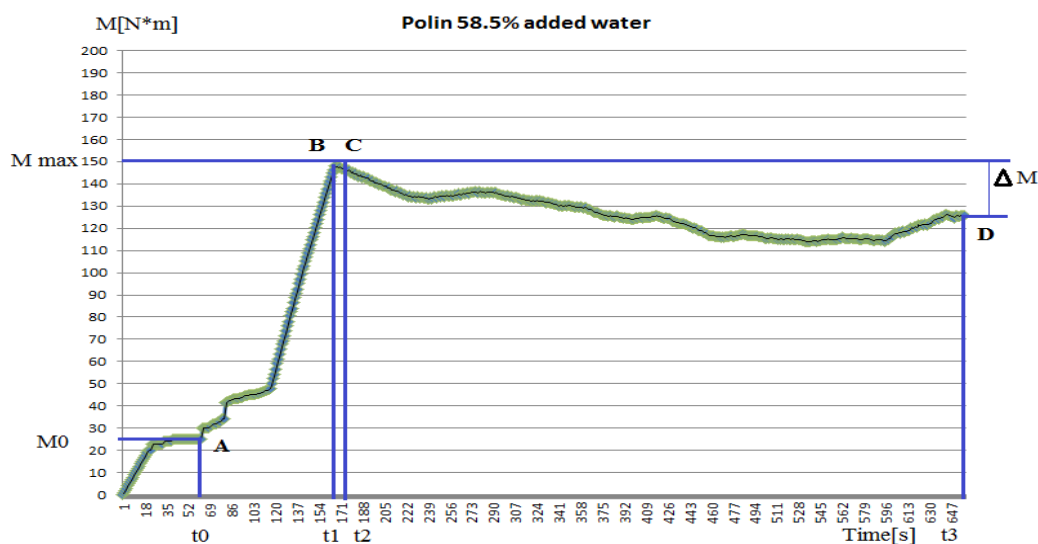


Figura 8. Diagrama de frământare pentru malaxorul Polin

Malaxorul Polin are o formare rapidă, urmată de o perioadă mică de stabilitate și un procent de 26% de înmuiere.

În tabelul de mai jos, se pot identifica valorile obținute pentru perioadele delimitate pe diagramele de frământare (AB – hidratare făină, BC -momentul maxim și perioada de stabilitate a aluatului, CD -perioada de înmuiere).

Tabel 4. Valorile obținute pentru cele trei teste, în urma analizei diagramelor de frământare

Tipul de malaxor	AB [N.m]	BC [N.m]	CD [N.m]	$\Delta t1$ [s]	$\Delta t2$ [s]	$\Delta t3$ [s]
Diosna SPV	150	185	40	30	70	170
Mixer HD 2600	1260	1360	450	110	35	495
Polin	125	150	40	110	18	470

În partea a treia a lucrării se prezintă diferențele în testele efectuate pe malaxorul planetar Polin la diferite turații ale brațelor (figura 9), după ce au fost scăzute valorile obținute la mersul în gol al malaxorului. În experimentul de mai jos, cuva a fost încărcată la capacitatea maximă de 70 de kg aluat, iar fiecare probă a fost efectuată în condiții similare în vederea evaluării cât mai exacte a rezultatelor. La cele trei probe a fost adăugată aceeași cantitate de apă, de 58.5%, sare, 2%, drojdie, 3 %. Pentru treapta de malaxare în care s-au introdus 4.1 W*h/kg malaxorul a fost setat la 100 RPM, pentru 5.6 W*h/kg 150 RPM și pentru 7.2 W*h/kg 200 RPM.

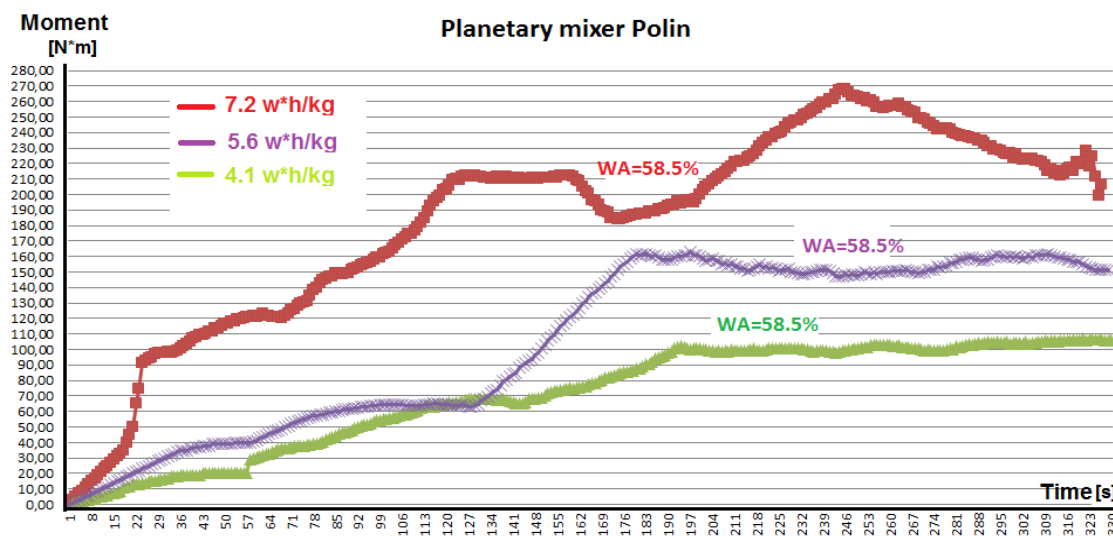


Figura 9. Diagramele de frământare obținute cu malaxorul Polin, la diferite turații ale brațelor

Se poate observa dezvoltarea diferită a aluatului, strict influențată de mărirea cantității de energie introduse în aluat în aceeași unitate de timp, rețetă și condiții de prelucrare. Timpul necesar de dezvoltare a aluatului și timpul de stabilitate, sunt direct raportate la cantitatea de energie introdusă în aluat în unitate de timp.

Din rezultatele obținute putem trage concluzia că cea mai bună dezvoltare a fost frământarea în care s-au introdus 5.6 W*h/kg, deoarece pentru această valoare avem atât o dezvoltare bună ca și nivel al consistenței maxime dar în același timp avem și un nivel foarte bun de stabilitate față de celelalte două probe. Putem trage concluzia că odată cu creșterea energiei introduse în aluat până la o anumită valoare, crește stabilitatea aluatului, după care este atins un prag critic și aceasta se micșorează odată cu energia introdusă în aluat.

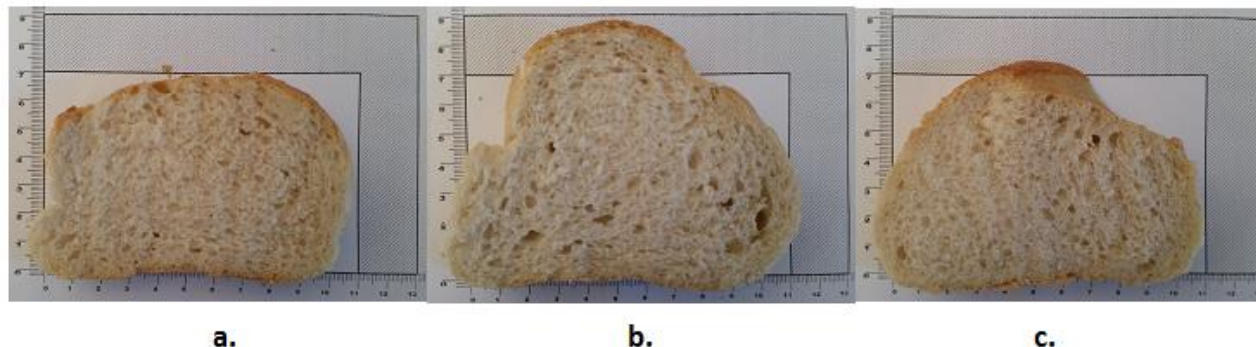


Figura 10. Produs finit obținut cu: a. 4.1 W*h/kg; b. 5.6 W*h/kg; c. 7.2 W*h/kg

În figura 10 se poate observa efectul stabilității aluatului și dezvoltarea structurii glutenice asupra retenției de gaz și permisivitatea rețelei de gluten la extindere, aceste efecte principale ducând la obținerea unor produse cu volum mai mare.

Energia introdusă în procesul de frământare este un indicator pentru dezvoltarea optimă a aluatului. Cantitatea de apă adăugată poate fi corelată cu cantitatea de energie introdusă în aluat în unitate de timp, dacă se cunoaște consistența optimă a aluatului. Cunoscându-se faptul că apa acționează ca un reducător asupra proprietăților elastice ale aluatului, prin controlul energiei și al momentului rezistent la brațul de frământare, se poate stabili cantitatea necesară de apă ce trebuie adăugată într-un proces tehnologic.

În panificație sunt folosiți reducători (ex L- cisteina), care aduc costuri suplimentare și care pot fi eliminați prin controlul cantității de apă adăugată în aluat și prin introducerea unei cantități optime de energie în unitate de timp, funcție de proprietățile reologice ale făinii utilizate.

CONCLUZII

Rezultatele obținute în lucrare au relevat diferențele în forma diagramelor de frământare obținute pe trei tipuri de frământătoare. Pentru realizarea experimentelor, a fost folosită făină tip 650 din același lot, cu aceeași cantitate de apă adăugată la fiecare șarjă efectuată.

Reologia aluatului a fost influențată de viteza de introducere a energiei, rezultată din forța de frecare între braț și cuvă, influență care modifică produsul final obținut (structură, porozitate și culoare miez, etc).

Dezvoltarea mecanică obținută în timpul frământării intensive aduce și beneficiul unei oxidări mai pronunțate, oxidare care îmbunătățește efectele reologice ale aluatului și culoarea miezului.

Analiza de laborator tip farinogramă oferă indicații cu privire la cantitatea de apă adăugată (recomandată), gradul de înmuiere, stabilitatea făinii, dar pentru prelucrarea făinii într-un proces tehnologic industrial, este necesară o adaptare la specificul fiecărui flux. Pentru a mări acuratețea în adaptarea făinurilor la fluxurile tehnologice, la fiecare malaxor poate fi montat un aparat portabil care să monitorizeze și să afișeze în timp real consistența aluatului și nivelul de energie pe care malaxorul integrat în proces îl poate introduce în aluat, în timpul frământării.

Pentru a beneficia de un optim de dezvoltare mecanică este necesar de analizat fiecare tip de malaxor în parte și de făinurile cu care acesta lucrează, după care de stabilit un regim de funcționare adaptat atât pe specificul produsului finit cât și adaptat întregului proces tehnologic care urmează.

Putem concluziona că până la o anumită valoare a energiei introduse în aluat datorită desfacerii globulare pronunțate a proteinelor, acestea se hidratează mai bine, în acest mod existând o creștere a consistenței dacă se folosește dezvoltarea mecanică controlată.

Diagrama de frământare poate arăta diferit, folosind făină din același lot, aceeași cantitate de apă adăugată și același malaxor, dacă se modifică valoarea energiei introduse în unitate de timp în aluat.

Aceste date vor fi folosite în viitor pentru a dezvolta un aparat care va optimiza procesul de frământare prin corelarea automată a caracteristicilor făinii cu specificul procesului.

Bibliografie

[1] R.M. Burluc, Tehnologia și controlul calității în industria panificației (Technology and quality control in bakery industry), Galati, 2007, <http://www.scribd.com>.

[2] G. Constantin, Gh. Voicu, S. Marcu, Craita Carp-Ciocardia, Theoretical and experimental aspects regarding the rheological characterization of behaviour of some romanian wheatflours with chopin alveograph, Proceedings of the 39th International Symposium "Actual tasks on agricultural engineering", 2011, Opatija, Croația, pp. pp.437-448.

[3] A.S.Contamine, J.Abecassis, M.H. Morel, B. Vergnes, and A.Verel, Effect of Mixing Conditions on the Quality of Dough and Biscuits, Cereal Chem. 72 (1995) pp 516-522;

[4] C. H. Hwang and S. Gunasekaran, Determing Wheat Dough Mixing Carateristics from Power Conumption Profile of a Conventional Mixer, Cereal Chem. 78 (2000), 88-92;

[5].Gras P.W., Carpenter H.C., Andersen R.S. (2000) - *Modelling the developmental rheology of wheat flour dough using extension tests. Journal of Cereal Science*, 31: 1–13;

[6] Kilborne, R.H. & Tipples, K.H. 1972. Factors affecting mechanical dough development. I. Effect of mixing intensity and work input. *Cereal Chem.* **49**, 48–53;

[7] Kilborn, R.H. and Tipples, K.H. 1972. Factors affecting mechanical dough development. I. Effect of mixing intensity and work input. *Cereal Chemistry* 49: 34-47;

[8] K. E. Petrofski, R.C.Hoseney, Rheological Properties of Dough Made with Starch and Gluten from Several Cereal Sources, Cereal Chem. 72 (1) : 53-58;

[9].Wilson A.J., Morgenstern M.P., Kavale S. (2001) - *Mixing response of a variable speed 125 g laboratory scale mechanical dough development mixer. Journal of Cereal Science*, 34: 151–158;

[10].Voicu Gh. (1999) – *Processes and equipments for bakery*, Bren Publishing house, Bucharest;

[11].Zheng H., Morgenstern M.P., Campanella O.H., Larsen N.G. (2000) - *Rheological properties of dough during mechanical dough development. Journal of Cereal Science*, 32: 293–306;

[12] Olivier, J.R. & Allen, H.M. 1992. *The prediction of breadmaking performance using the farinograph and extensograph. J. Cereal Sci.* **15**, 79–89;

[13] Frazier P.J., Daniels N.W.R., Russel Eggitt P.W. (1975): Rheology and the continuous bread making process. *Cereal Chemistry*, **52**: 106–130.