

Simularea procesului de frământare a aluatului, pentru un malaxor cu braț vertical și cuvă mobilă

Gheorghe MUSCALU, Gheorghe VOICU, Madalina Elena STEFAN, Adriana ISTUDOR

ABSTRACT

Acest studiu abordează simularea numerică tridimensională pentru frământarea aluatului cu ajutorul malaxorului cu braț vertical și cuvă mobilă – Diosna SPV 160 AD, cu scopul de a scoate în evidență faptul că rulmenții cuvei influențează consumul de energie și proprietățile reologice ale aluatului.

În prima parte a lucrării se poate observa analiza comparativă a diagramelor de frământare obținute cu același malaxor, dar folosind o cuvă cu rulmenți noi, respectiv una cu rulmenți uzați. Pentru obținerea diagramelor, s-au înregistrat date de la motorul malaxorului, folosind un dispozitiv de măsurare a intensității curentului electric. Funcție de diagrama de frământare, proprietățile reologice ale aluatului pot fi comparate cu cele obținute de aparatul Brabender.

În partea a doua a lucrării, este verificată acuratețea modelului matematic care măsoară energia mecanică transferată aluatului pentru analiza măsurărilor la cuvele malaxorului Diosna SPV 160 AD.

În partea finală a lucrării sunt prezentate tensiunile la care pereții cuvei sunt supuși în timpul frământării. Rezultatele au fost obținute prin generarea unui model tridimensional cu parametrul din analiza diagramelor de frământare, folosind programul Simulare din Solid Works. Cu ajutorul rezultatelor grafice este posibilă interpretarea diferențelor dintre fluctuațiile energetice și forțele aplicate sistemului, factori care au un impact major asupra aluatului final folosit în industria de panificație.

Este important de specificat că eficiența procesului de frământare este desemea influențat de condițiile de malaxare, cantitatea de aer introdus, cantitatea de apă adăugată și calitatea făinii folosite. În acest studiu, condițiile menționate mai sus au fost păstrate constante pentru efectuarea testelor. Cunoscând că viteza cu care energia este transmisă aluatului este influențată de consistența acestuia, care este interdependentă de procesul de frământare, este extrem de important ca procesul de frământare a aluatului să se realizeze optim și într-un timp stabilit de frământare.

Analiza comparativă dintre două procese s-a concluzionat cu o creștere de 22% a momentului maxim rezistent la brațul de frământare și un consum mai mic de energie electrică la motorul malaxorului de 15% pentru cuva cu rulmenți noi.

Obiectivul principal pentru simularea tridimensională a procesului de frământare, este studiul complex al comportamentului aluatului în timpul frământării.

Cuvinte cheie: aluat, proces de frământare, diagramă de frământare, moment de torsiune, energie mecanică, simulare.

1. INTRODUCERE

Proprietățile reologice ale aluatelor din făină de grâu sunt în general guvernate de contribuția amidonului, a proteinelor și apei [2,3]. Caracteristica principală a făinii de grâu este

că amestecată cu apă, are abilitatea de a forma o rețea macromoleculară vâscoelastică. Prin hidratarea conținutului de proteină, formează gluten, care acționează ca un balon și prinde bulele de dioxid de carbon produse în timpul fermentării.

Procesul de frământare este operația crucială din industria de panificație prin care făina de grâu, apa și ingredientele adiționale sunt transformate cu ajutorul energiei mecanice, în aluat coerent. Proprietățile aluatului sunt puternic influențate de modalitatea de frământare [3,9,11].

Dezvoltarea aluatului este un proces dinamic în care proprietățile vâscoelastice sunt în continuă mișcare. În consecință, acest lucru cauzează puține corelații între parametrii reologici ai aluatului (timp de dezvoltare, stabilitatea aluatului, gradul de înmuiere ș.a) obținuți cu diferite malaxoare. Mai mult decât atât, dispozitivele de analiză a aluatului din laborator, ca farinograful sau mixograful nu exercită acțiuni de mixare identice, nu doar între ele, ci și comparativ cu malaxoarele industriale [5]. Unele valori obținute pot fi corelate destul de bine. Stabilitatea dată de farinograf este bine corelată cu cerințele de frământare ale aluatului [8], în timp ce timpul de dezvoltare indicat de mixograf este bine corelat cu timpul de frământare a aluatului [12]. Datorită diferențelor dintre analizele de laborator (ca dezvoltarea aluatului, energia sau stabilitatea) și aplicația industrială, profilul făinii și comportamentul ei trebuie validate prin teste efectuate în procesul industrial de fabricație a pâinii, cu inspectarea îndeaproape a comportamentului real a aluatului și caracteristicile produsului finit.

Din perspectiva industrială, cerințele procesului de frământare pot fi formulate ca modalitatea de a procesa aluat de calitate corespunzătoare la un cost eficient. Cerințele aluatului pentru energia de mixare sunt influențate de tăria făinii; prin urmare, costurile produselor finite sunt diferite. Frământătoarele industriale pot fi evaluate prin gradul lor de eficiență [10].

Consumul de energie (lucru mecanic) pentru formarea aluatului, depinde de făina folosită, viteza de frământare și tipul de frământător. În timpul frământării, transferul de energie și procesele de hidratare sunt însoțite de creșterea temperaturii. Aceasta este dependentă de viteza de mixare [9], dar este influențată și de tipul de făină folosită și tipul de frământător. Prin determinarea necesarului optim de energie ce trebuie introdusă în aluat, se pot obține modificări optime asupra aluatului în timpul frământării și este astfel posibilă controlarea procesului de dezvoltare a aluatului.

Dificultățile în determinarea unui model exact pentru cantitatea optimă de energie ce trebuie introdusă în aluat și astfel, definirea cerințelor de frământare pentru făinurile folosite cu o compoziție definită (în principal caracteristicile amidonului și a proteinelor) stă în complexitatea și variabilitatea forțelor de frământare emergente în interiorul aluatului în timpul deformării sale (întindere, forfecare, tensiune), unde fiecare malaxor transferă energia în mod diferit [4,6].

Scopul acestei lucrări este de a demonstra necesitatea unui sistem de monitorizare, atașat la un malaxor convențional, pentru a controla procesul de frământare, atât din punct de vedere tehnologic, cât și tehnic.

Obiectivul principal al acestui studiu este: 1) analiza diferențelor dintre procesul de frământare, folosind o cuvă cu rulmenți noi, respectiv una cu rulmenți uzați; 2) influența uzurii echipamentelor tehnice asupra formării optime a aluatului; 3) analiza comparativă dintre nivelul de energie introdus în ambele experimente; 4) analiza rezultatelor obținute, după introducerea datelor într-o simulare 3D.

2. Materiale și metode

Pentru efectuarea experimentelor, a fost folosită făină tip 480, din producția anului 2015, procesată de SC 7 Spice SA – Vâlcea. Caracteristicile făinii se regăsesc în tabelul 1. Aluatul a fost preparat din 100 kg de făină și 58 l apă, cu un timp de frământare de 11 minute, folosind frământătorul industrial Diosna SPV 160 AD. Temperatura mediului de lucru a fost de 20-22 °C.

Tabel 1 Caracteristici fizico-chimice ale făinii folosite pentru efectuarea experimentelor

Tip făină	Umiditate, [%]	Gluten umed, [%]	Conținut cenușă, [%] d.s.	Deformare [mm]	Aciditate [grade]	Indice cădere, [sec]	Gluten index
FA – 480	13,4	29	0,48	3,5	2	318	92

Aciditatea făinii este exprimată în grade de aciditate și este determinată folosind metoda suspensiei în apă, titrată cu soluție de hidroxid de sodiu 0,1 N.

Pentru a efectua o analiză comparativă între frământările obținute folosind o cuvă cu rulmenți uzați, respectiv o cuvă cu rulmenți noi, la realizarea experimentelor s-a folosit aparatul de măsură și achiziție de date pentru a înregistra consumul de energie la motorul frământătorului.

În partea a doua a experimentului, datele deja achiziționate au fost folosite într-un model matematic diferit, pentru a calcula cantitatea de energie transferată aluatului. A fost utilizată următoarea expresie:

$$E = \frac{CNt}{M} [J] \quad (1)$$

unde: C este momentul mediu rezistent la brațul de frământare (Nm), N este viteza unghiulară (rad/sec), t este timpul de frământare (secunde) și M este greutatea aluatului (kg).

Pentru simularea efectuată, aluatul a fost format din făină și apă adăugată în proporție de 58%. Rezultatele numerice au fost obținute pentru o densitate a aluatului (ρ) de 1200 kg/m³ și o viteză unghiulară a brațului de 180 rpm și viteza unghiulară a cuvei de 15 rpm.

Simularea 3D a procesului de frământare are ca obiectiv principal, studiul comportării aluatului în timpul frământării. În prima fază a modelării, este generat modelul geometric, cu care a fost rulat apoi simularea finală. Pașii necesari pot fi observați în schema de mai jos:

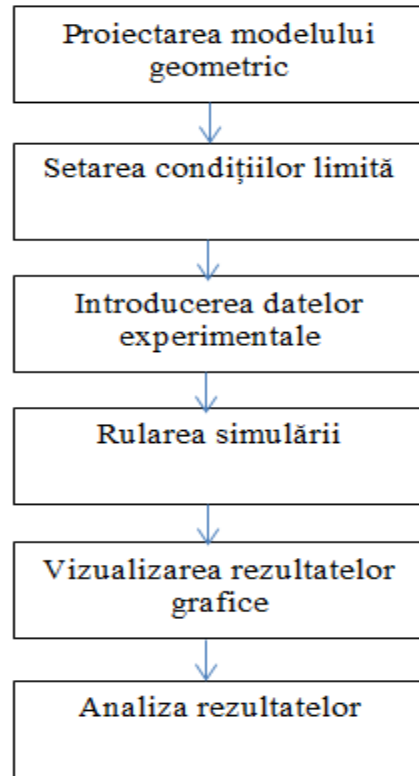


Figura 1. Pașii pentru obținerea simulării 3D în Solid Works

În acest studiu tridimensional, s-au luat în considerare condiții de curgere în echilibru. S-a pornit de la următoarea ipoteză simplificatoare: curgerea corespunde unei stări de echilibru, este laminară și isotermă, cuva este încărcată la capacitate maximă cu aluat, aluatul este considerat un fluid vâscos, incompresibil, ne – Newtonian, cu inerție neglijabilă. Efectul gravitațional este luat în considerare doar pentru cantități mari de aluat, fiind neglijabil în cazul unei secțiuni limitate.

3. Rezultate și discuții

Dezvoltarea mecanică a aluatului este obținută atunci când, în procesul de frământare, o cantitate suficientă de lucru mecanic este transferat aluatului. Prin mișcarea brațului de frământare, în masa de aluat apar gradienti de viteză, care supun aluatul la deformări și devine un material cu caracteristici reologice guvernate de consistență, elasticitate și extensibilitate.

Relația dintre forța (F) și momentul forței (M) pentru un corp în mișcare de rotație, se poate observa mai jos:

$$M = Fb \quad (2),$$

$$F = M/b \quad (3),$$

unde: M este momentul, F este forța și b este brațul.

În figura 2 este prezentată diferența dintre momentul rezistent la brațul de frământare pentru un proces ce folosește o cuvă cu un grad de uzură al rulmenților de aproximativ 30% și procesul care folosește cuva cu rulmenți noi.

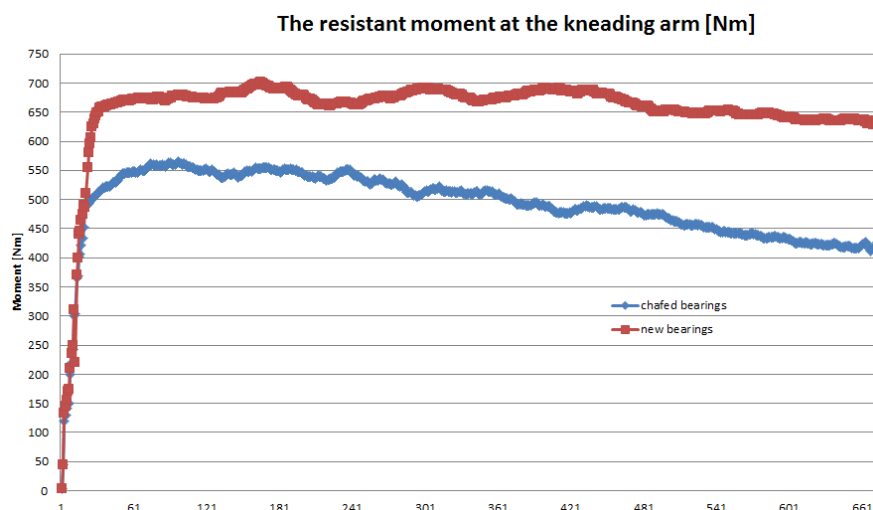


Figura 2 – Curbele de frământare trasate pentru analiza comparativă dintre modelul cu rulmenți uzați și cel cu rulmenți noi

În rezultatele obținute, se poate observa o creștere a consistenței maxime cu 18%, de la 570 Nm la 700 Nm, pentru aluatul frământat în cuva cu rulmenți schimbați, față de cel frământat în cuva cu rulmenți uzați, precum și dublarea timpului de stabilitate a aluatului, cu o mai bună dezvoltare a structurii glutenice.

Viteza cu care energia este transmisă aluatului în procesul de frământare este influențată și de consistența aluatului.

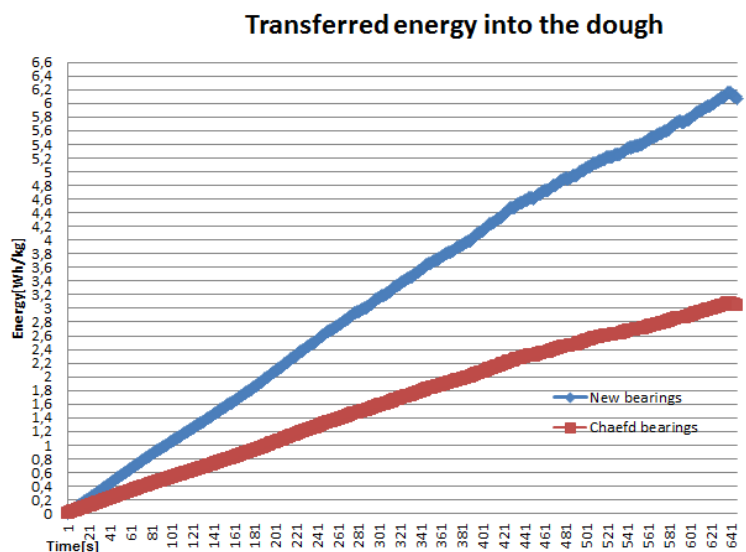


Figura 3 – Curbe ce descriu cantitatea de energie introdusă în aluat în cele două teste

Factorul de frecare se poate calcula după următoarea metodă: înainte de prepararea aluatului, se notează temperatura mediului, a făinii și a apei. După frământarea aluatului, se

notează și temperatura acestuia. Deoarece există trei factori principali care influențează temperatura aluatului, valoarea acestuia se înmulțește cu trei, din care se scad cele trei temperaturi (mediu, făină și apă). Rezultatul obținut reprezintă energia sau căldura generată în urma frecării, mecanice sau manuale.

Pentru a verifica modelul matematic cu care energia este transferată aluatului, a fost folosită metoda ilustrată în tabelul 2:

Tabel 2. Model matematic pentru calcularea factorului de frecare [24]

Operatie	Rulmenti uzati	Rulmenti noi
Temperatura aluatului[°C]	26	28,5
Inmultita cu 3	78	85,5
Temperatura mediului [°C]	24	24
Temperatura făinii [°C]	24	24
Temperatura apei [°C]	22	22
Subtotal	70	70
Total	78	85,5
Extragere subtotal din total	8	70
Frecarea/Energia [°C]	8	15,5

Pentru a calcula cantitatea de energie introdusă în aluat, datele experimentale au fost introduse în următoarea formulă generală.

$$\text{Temperatura de frecare } [^{\circ}\text{C}] * \text{Greutatea } [\text{g}] = [\text{Cal}] \quad (4)$$

$$(\text{Temperatura de frecare } [^{\circ}\text{C}] * \text{Greutatea } [\text{g}] * 0.0027)/1000 = \text{Wh/kg} \quad (5)$$

Formula a fost aplicata pentru ambele cazuri studiate:

1. Rulmenți uzati:

$$(8*158000*0.0027)/1000 = 3.41 \text{ Wh/Kg/}^{\circ}\text{C} \quad (6)$$

2. Rulmenți noi:

$$(15,5*158000*0.0027)/1000 = 6.61 \text{ Wh/Kg/}^{\circ}\text{C} \quad (7)$$

Datele experimentale au fost introduse în programul de simulare pentru a simula forțele aplicate de aluat, pe pereții cuvei.

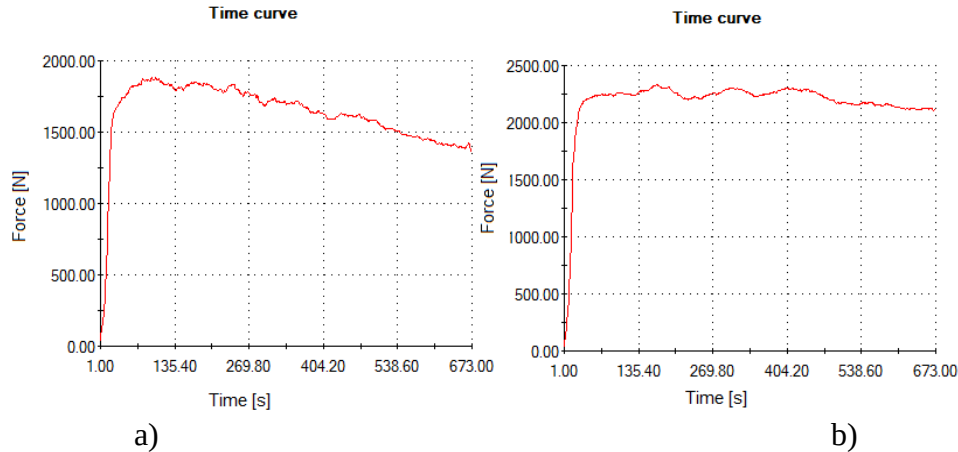


Figura 4. Grafic ce arată forțele aplicate de aluat pe pereții cuvei: a) forțe aplicate pe pereții cuvei cu rulmenți uzați; b) forțe aplicate pe pereții cuvei cu rulmenți noi

În partea a treia a experimentului, a fost rulat simularea procesului de frământare, prin care s-au analizat (folosind metoda stresului Von Mises) efectele tensiunilor care apar pe suprafața cuvei și a brațului de frământare.

Acest criteriu are la bază considerații energetice. Energia specifică de deformare se poate descompune în două părți, una asociată variației volumului corpului (efect al tensorului sferic, având componentele $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_m$) și alta asociată schimbării formei corpului. Experimental s-a dovedit că deformările plastice sunt determinate de tensorul deviator.

Criteriul de plasticitate von Mises se poate enunța astfel: În cazul unei stări spațiale de tensiune curgerea se produce atunci când energia specifică de schimbare a formei corpului (energia specifică de distorsiune) depășește valoarea energiei specifice de distorsiune (σ_y). corespunzătoare curgerii la sollicitarea la tracțiune monoaxială. Deoarece stresul și tensiunea sunt efecte ale tensorului, acestea pot fi descrise pe baza a trei direcții principale, σ_1 , σ_2 , și σ_3 . Formula de bază ce descrie acest criteriu, este:

$$\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \leq \sigma_y^2 \quad (8)$$

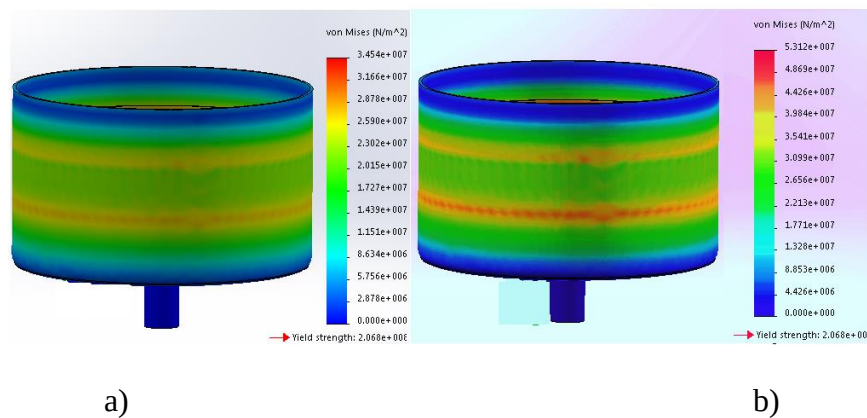


Figura 5. Simularea 3D pentru tensiunile ce apar la suprafața cuvei în timpul procesului de frământare: a) cuvă cu rulmenți uzați; b) cuvă cu rulmenți noi

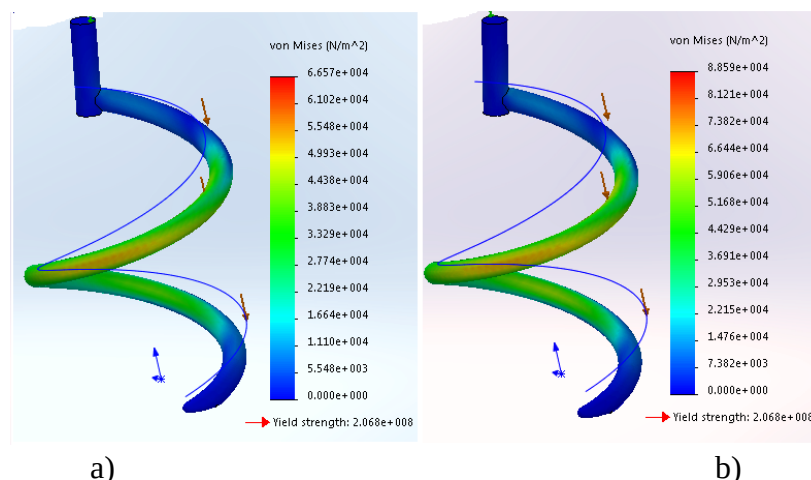


Figura 6. Simularea 3D pentru tensiunile care apar pe brațul de frământare în timpul procesului de frământare: a) tensiuni aplicate pe braț pentru cuva cu rulmenți uzați; b) tensiuni aplicate pe braț pentru cuva cu rulmenți noi

Deoarece secțiunea de trecere a aluatului între brațul frământător și peretele cuvei este mică, presiunea este mare și energia este direct proporțională cu forța de întindere a aluatului.

3. Concluzii

În experimente, sunt folosite: sistem de măsurare a intensității curentului și înregistrarea datelor, prelucrare în programul Excell, cuvă cu rulmenți noi și cuvă cu rulmenți uzați. Scopul experimentului: înregistrarea diferențelor dintre momentele rezistente la brațele de frământare și energia introdusă în aluat.

Prin înlocuirea rulmenților la o cuvă pentru frământătorul Diosna SPV – AD160 și înregistrând curbele de frământare cu ajutorul sistemului de măsurare și achiziție de date pentru procesele de frământare cu ambele tipuri de cuve (cu rulmenți noi, respectiv uzați), a fost identificată o metodă de îmbunătățire a procesului de frământare. Aluatul obținut folosind cuva cu rulmenți noi, a capatat o structură mai bună și implicit a adus beneficii în procesele următoare (retenție de gaz mai bună la fermentare).

Pentru a obține un aluat de bună calitate, aspecte foarte importante sunt cantitatea de energie introdusă în aluat, viteza cu care este introdusă în aluat.

Experimentul efectuat reflectă importanța toleranței dintre brațul de frământare și cuvă, care influențează cantitatea de energie introdusă în aluat. În acest fel, un nivel optim de energie corespunde unui anumit timp de frământare.

În figura 2 se poate observa că timpul de stabilitate pentru aluatul frământat într-o cuvă cu rulmenți noi, s-a dublat, ceea ce înseamnă că și rețeaua glutenică s-a îmbunătățit simțitor. Mai mult decât atât, volumul pâinii obținute a crescut, de la 520 cm³ la 580 cm³ așa cum se poate observa în figura 40. Tot în figura 35 se mai poate observa o creștere a consistenței aluatului, de la 570 Nm la 700 Nm, adică 17% mai mult pentru cuva cu rulmenți noi.

În figura 3 se poate observa o creștere a energiei introduse în aluat cu 30% pentru cuva cu rulmenți noi, chiar dacă puterea consumată are aceeași valoare pentru ambele teste.

Analiza 3D arată diferențele de distribuție a energiei pe pereții cuvei și pe suprafața brațului de frământare. Datele obținute în acest studiu pot fi folositoare pentru proiectarea echipamentelor de frământare și optimizarea consumului energetic. Rezultatele obținute cu

ajutorul simulării 3D pentru procesul de frământare pot oferi o previziune pentru parametrii optimi în industria de panificație și care poate fi îmbunătățită considerabil.

Prin îmbunătățirea procesului de frământare, se pot obține produse de calitate superioară. Datorită caracteristicilor reologice superioare ale aluatului obținut, sunt îmbunătățite: volumul pâinii, culoarea miezului, porozitate mai fină, miez mai pufos (figura 7).

Calitatea produselor finite este strâns legată de parametrii tehnologici și nivelul de tehnologie folosită în proces, care se poate îmbunătăți considerabil.

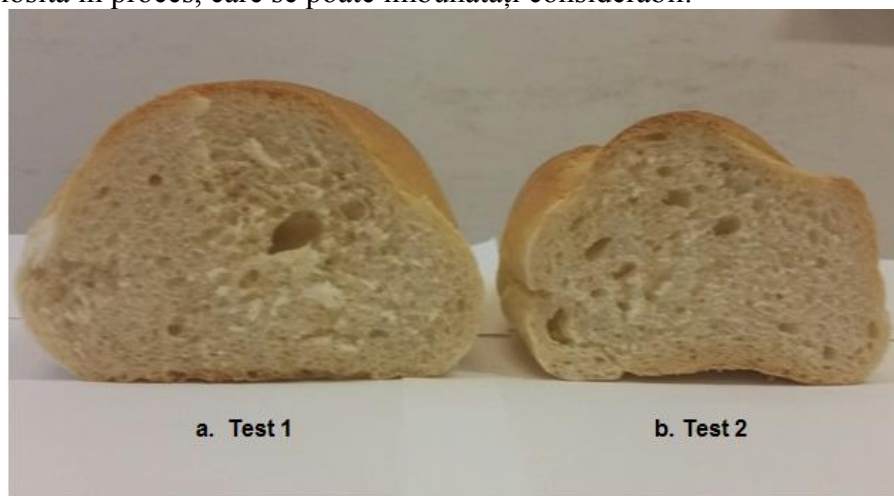


Figura 7. Efectul energiei utile introduse în aluat asupra produsului: a) Rulmenți noi și o cantitate de energie introdusă de 6.2 Wh/kg, b) rulmenți uzați și o energie introdusă în aluat de 3.2Wh/kg

Bibliografie

- [1].A.S. Contamine, J. Abecassis, M-H Morel, B. Vergnes, A. Verel (1995) - *Effect of mixing conditions on quality of doughs and biscuits*, *Cereal Chem* 72;
- [2].Amemiya, J.I., Menjivar, J.A., (1992) - *Comparison of small and large deformation measurements to characterize the rheology of wheat flour doughs*. *Journal of Food Engineering* 16, 91–108;
- [3].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;
- [4].Haraszi R., Larroque O.R., Butow B.J., Gale K.R., Bekes F. (2008) - *Differential mixing action effect on functional properties and polymeric protein size distribution of wheat dough*. *Journal of Cereal Science*, 47: 41–5;
- [5].Hwang C.H., Gunasekaran S. (2001) - *Determining wheat dough mixing characteristics from power consumption profile of a conventional mixer*. *Cereal Chemistry*, 78: 88–9;
- [6].Mani K., Eliasson A.C., Lindhal L., Trägårdh C. (1992) - *Rheological properties and bread making quality of wheat flour doughs made with different dough mixers*. *Cereal Chemistry*, 69: 222–225;
- [7].Voicu Gh. (1999) – *Processes and equipments for bakery*, Bren Publishing house, Bucharest;
- [8].Wilson A.J., Wooding A.P., Morgenstern M.P. (1997) - *Comparison of work input requirement on laboratory scale and industrial-scale mechanical dough development mixers*. *Cereal Chemistry*, 74: 715–721;
- [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].Wooding A.R., Kavale S., MacRitchie F., Stoddard F.L. (1999) - *Link between mixing requirements and dough strength*. *Cereal Chemistry*, 76: 800–806;
- [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].Zounis S., Quail K.J. (1997) - *Predicting test bakery requirements from laboratory mixing tests*. *Journal of Cereal Science*, 25: 185–196;
- [13]Stanley P. Cauvain, Linda S. Young – *Technology of breadmaking*, Second edition: 42.