

MATHEMATICAL MODELLING OF THE KNEADING PROCESS FOR A HORIZONTAL MIXER

MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE FRĂMÂNTARE LA UN MALAXOR ORIZONTAL

Prof. Ph.D.Eng. Voicu Gh.¹⁾, Eng. Muscalu Gh.¹⁾, Ph.D.Eng. Stefan E.M.¹⁾,
Ph.D.Eng. Tudor P.¹⁾, Ph.D.Eng. Nedelcu A.²⁾

¹⁾University Polytechnic Bucharest, Faculty of Biotechnical Systems Engineering / Romania; ²⁾INMA Bucharest/Romania
Tel: 0724715585; E-mail: ghvoicu_2005@yahoo.com

Abstract: In the present paper it has been studied a horizontal mixer with a revolutionary kneading arm which is not treated in its domain. The purpose of this paper is to determine a mathematical model for the energetic kneading process of the studied mixer and the specific medium kneading resistance K_m , for multiple types of flour mixed with different quantities of water.

Keywords: torque, specific medium resistance to kneading, kneading arm, dough consistency, surface of the kneading arm

INTRODUCTION

In bread making industry, kneading is one of the key steps that determine the mechanical properties of dough, which has a direct consequence on the quality of the end product. The rheological properties of wheat flour doughs are largely governed by the contribution of starch, proteins and water.

Wheat flour dough is a very non-Newtonian viscoelastic fluid, which depends on time and strains applied. These rheological properties are related to temperature, water content and dough composition. One of the most important methods of characterizing the wheat flour quality is dough mixing. It has found that the mixing temperature greater influences the dough consistency and stability than stirring speed. It has found a powerful connection between the mixing speed and dough consistency during mixing, mixing stability, light proteins, starch jellification and amylases activity, [1]. The level of growth of the dough mostly depends on the energy input, kneading speed, as well as on deformation type (shearing vs. stretching) generated by kneading arms [2,3]. Kneading speed influences both dough consistency and its stability (the bigger the kneading speed is, the greater the dough consistency is and the smaller becomes the stability) [3]. At the same time, the paper, [4] showed that besides those mentioned above, also the mixing vat geometry influences the dough rheological characteristics (growth and stability time).

Role of a kneader is to uniformly mix particles of different dimension, humidity and density so that finally a homogenous mass should be obtained.

During kneading, a mixer must transfer sufficient energy to dough in order to stimulate the gluten production and structural development. Elastic forces of compression and shearing activated by mixer components generate the stirring energy. A part of this energy produces changes of dough composition and another part determines the dough temperature increment. Many parameters influence these forces, among which:

- form and dimensions of arms and vat;
- dough rheological characteristics (viscosity, elasticity,

Rezumat: În prezenta lucrare s-a studiat un mixer orizontal cu un braț de frământare revoluționar care nu se regăsește în literatura acestui domeniu. Scopul lucrării este acela de a determina un model matematic pentru procesul energetic de frământare al acestuia și rezistența specifică medie la malaxare K_m , pentru mai multe tipuri de făină, la care au fost adăugate cantități de apă diferite.

Cuvinte cheie: moment de torsiune, rezistență specifică medie la malaxare, braț de frământare, consistența aluatului, suprafața brațului de frământare

INTRODUCERE

În industria de panificație, frământarea este unul dintre punctele cheie care determină proprietățile mecanice ale aluatului, și care are consecințe directe asupra calității produsului finit. Proprietățile reologice ale aluatului din făină de grâu sunt determinate de contribuția amidonului, a proteinelor și a apei.

Aluatul din făină de grâu este un fluid foarte newtonian, vâsco-elastic, dependent de timp și de deformațiile aplicate. Aceste proprietăți reologice sunt foarte sensibile cu temperatura, conținutul de apă și compoziția aluatului. Amestecare aluatului este una dintre cele mai importante căi prin care se poate caracteriza calitatea făinii de grâu. S-a constatat că temperatura de amestecare are un impact mai mare asupra consistenței și stabilității aluatului decât de viteza de amestecare. S-a observat o legătură puternică între viteza de amestecare și consistența aluatului în timpul amestecării, stabilitatea la malaxare, slăbirea proteinelor, gelificarea amidonului și activitatea amilazei, [1]. Nivelul de dezvoltare (formare) a aluatului depinde în mare măsură de aportul de energie (Energy input), viteza de frământare, precum și de tipul deformării (forfecare vs. întindere) generate de brațele de frământare [2,3]. Viteza de frământare influențează atât consistența aluatului, cât și stabilitatea acestuia (cu creșterea vitezei de frământare crește consistența aluatului și scade stabilitatea) [3]. De asemenea, în lucrarea [4] a fost arătat faptul că pe lângă cele menționate mai sus, și geometria cuvei malaxorului are influență asupra caracteristicilor reologice ale aluatului (timp de dezvoltare și stabilitate).

Rolul unui frământător este acela de a amesteca uniform particule de dimensiuni, umidități și densități diferite, astfel încât, în final, să se obțină o masă omogenă.

În timpul frământării, un malaxor trebuie să transfere suficientă energie aluatului pentru a stimula producerea și dezvoltarea structurală a rețelei glutenice. Forțele elastice, de comprimare și de forfecare activate de componentele malaxorului generează energia de malaxare. O parte din această energie produce transformări în consistența aluatului, iar o altă parte produce creșterea temperaturii aluatului. Mai mulți parametri au o influență asupra acestor forțe, dintre care:

- forma și dimensiunile brațelor și cuvei;
- caracteristicile reologice ale aluatului (vâscozitate,

unloading speed), which are themselves influenced by component elements (water, flour, salt, additives);

- dough reaction to external environment (friction, adhesion),
- relative quantity of dough in the mixer

Therefore, there isn't an established measuring unit for consistency, but every device used for this purpose adopts conventional measuring units.

A definition for dough consistency sounds like this: consistency is a complex rheological propriety, obtained by combining viscosity, plasticity and elasticity and which varies with humidity, temperature and time, with the proportions between dough phases (solid, liquid, gas), with flour's biochemical composition, with added materials (Mx – auxiliary materials) and the quantity of energy used for kneading, [5,6].

A part of the results obtained in this paper, are completely new to this area because in the analysis of the kneading arm, it was used a mathematical method of deducing the charge surface of the kneading arm, an approach which has not been tried until now.

MATERIAL AND METHOD

For a better and explicit designing of some components, a part of the calculations were adapted taking into account those already demonstrated in specialty books and others were obtained by measuring and analyzing experimental data extracted during functioning, straight from the working machine. The kneading arm is presented in figure 1.

Due to rotary motion of the kneading arm, the material is trained in an intermittent rotary movement and a constant forward movement along the vat. The rotary movement is intermittent because, after the rotation of the material with an angle Ψ (angle at which the product falls) versus a vertical plane, it starts sliding down on the helicoidally helix under the action of its own weight and the rotary motion stops [7,8].

In the first part of the paper it is calculated the attack surface of the kneading arm.

The formula which makes it possible to establish the opposing torque at the kneading arm, is:

$$M_t = K_m (S_i \cos \alpha \cdot \cos \beta + A_{Si}) \quad (1)$$

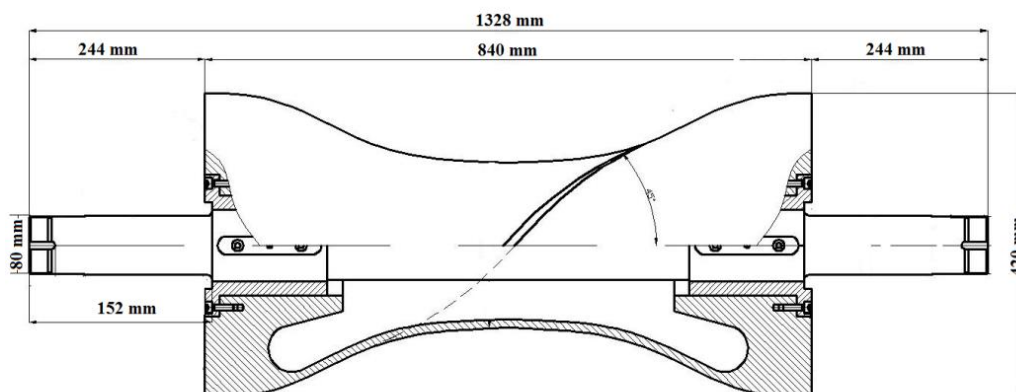


Fig. 1 – Horizontal kneading arm

It is taken into consideration that the surface of the kneading arm is inclined with an angle α in radial – horizontal plane and β angle in vertical plane. In this situation, the attack surface will be:

elasticitate, viteza de descărcare), care sunt ele însele influențate de elementele componente (apă, făină, sare, aditivi);

- reacția aluatului în ceea ce privește mediul său exterior (frecare, adeziune),
- cantitatea relativă de aluat în malaxor.

Din aceste considerente, nu există o unitate de măsură unică pentru consistență, ci fiecare aparat care măsoară consistența folosește unități de măsură convenționale. O definiție pentru consistența aluatului sună în felul următor: consistența este o proprietate de natură reologică, complexă, rezultată prin combinarea vâscozității, plasticității, elasticității, care variază cu umiditatea, temperatura și timpul, cu proporția dintre fazele aluatului (solid, lichid, gaz), cu compoziția biochimică a făinii, cu materialele adăugate (Mx – materiale auxiliare) și cu cantitatea de energie utilizată la frământare, [5,6].

O parte din rezultatele obținute în această lucrare sunt o noutate în domeniu, deoarece în analiza brațului de frământare, a fost folosită o metodă matematică de deducere a suprafeței de atac a acestuia, abordare care nu a mai fost întâlnită până acum.

MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru o mai bună și explicită proiectare a unor părți componente, o parte din calcule au fost adaptate după calcule existente în cărți de specialitate și o altă parte, au fost obținute prin măsurarea și analizarea datelor experimentale obținute în timpul funcționării, direct de la utilaje. Brațul malaxor este prezentat în figura 1.

Datorită mișcării de rotație a brațului de frământare, materialul este antrenat într-o mișcare de rotație intermitentă și o mișcare de înaintare uniformă în lungul cuvei. Mișcarea de rotație este intermitentă pentru că, după ce materialul s-a rotit cu unghiul Ψ (unghiul la care are loc surparea produsului) față de planul vertical, alunecă pe spira elicoidală în jos sub acțiunea propriei greutate și mișcarea de rotație încetează, [7,8].

În prima etapă a lucrării este calculată suprafața de atac a brațului de frământare.

Formula de calcul care face posibilă stabilirea momentului de torsiune care se opune la brațul de frământare este:

Se ia în considerare faptul că suprafața brațului de frământare este înclinată cu unghiul α în planul orizontal – radial și cu unghiul β în planul vertical.

În această situație, suprafața de atac va fi:

$$S_a = S_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \cos \beta_i + A_{Si} \quad (2)$$

where:

- S_a is the attack surface of the kneading arm;
- S_i is the surface of one strip, expressed in cm^2 ;
- α is angle made by every strip in horizontal plane, expressed in degrees;
- β is angle in vertical plane expressed in degrees;
- A_{Si} is the surface for the portion between the base of the contact surface and its end, expressed in cm^2 .

For a more accurate calculation, the surface of the arm has been divided between strips of 60 mm thickness and variable height, based on the form of the kneading arm.

In order to calculate the sum of radiuses starting from the center of the surfaces determined at the rotation axis (r_{mi}), it was drawn a scheme for calculus (figure 2) which ultimately helps to determine the resistant moment for a kneader with horizontal spindle.

unde:

- S_a este suprafața de atac a brațului de frământare;
- S_i este suprafața unei fâșii din braț, exprimată în cm^2 ;
- α este unghi format de fiecare fâșie în plan orizontal, exprimat în grade;
- β este unghi în plan vertical exprimat în grade;
- A_{Si} este suprafața porțiunii dintre baza suprafeței de contact și terminația acesteia, exprimată în cm^2 .

Pentru un calcul mai exact, suprafața brațului a fost împărțită în fâșii cu grosimea de 60 mm și înălțime variabilă funcție de forma brațului de frământare.

Pentru a calcula suma razelor de la centrul suprafețelor determinate la axa de rotație (r_{mi}), a fost desenată o schemă de calcul (figura 2), ce folosește ulterior pentru determinarea momentului rezistent în malaxorul cu ax orizontal.

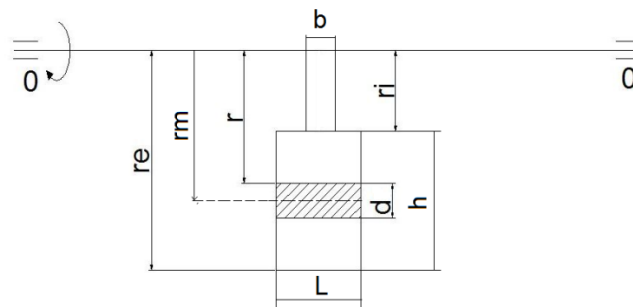


Fig. 2 - Calculus scheme for determining the attack surface for a kneader with horizontal kneading arm [11]

The surface of an arm portion it is calculated with the formula, [15]:

Suprafața unei porțiuni din braț se calculează cu formula, [15]:

$$S_1 = h_1 \cdot L_1 \quad (3)$$

where:

- h_1 is the height of a palette;
- L_1 is the length of a palette.

The distance from the center of the contact surface (d) to the rotation axis, can be expressed with the following formula:

unde:

- h_1 este înălțimea unei palete;
- L_1 este lungimea unei palete.

Distanța de la centrul suprafeței de contact (d) la axa de rotație se poate exprima cu următoarea formulă:

$$r_{m1} = \frac{(r_e + r_i)}{2} \quad (4)$$

where:

- r_e is the distance between the rotation axis and the end of a palette;
- r_i is the distance between the rotation axis and the beginning of the palette.

The length of the contact surface is:

unde:

- r_e este distanța de la axa de rotație la capătul paletei;
- r_i este distanța de la axa de rotație la începutul paletei.

Lungimea suprafeței de contact este:

$$L_1 = r_e - r_i \quad (5)$$

The contact surface is supported by another surface, which fills into the material and is calculated with the formula:

Suprafața porțiunii suportului suprafeței de contact, care pătrunde în material se calculează astfel:

$$A_{Si} = b \cdot (r_e - r_i) \quad (6)$$

where: b is the width of a palette.

unde: b este lățimea unei palete.

The spindle was divided in 14 surfaces, the equivalent for 28 blades, as shown in the figures 3, a and b, [10].

Arborele a fost împărțit în 14 suprafețe, echivalent cu 28 de palete, după cum este prezentat în figura 3, a și b, [10].

For calculating the total sum of rays at the center of the surfaces determined at the rotation axis ($\sum Ri$), table 1 is constituted.

Pentru calcularea sumei totale a razelor de la centrul suprafețelor determinate la axa de rotație ($\sum Ri$), se alcătuiește tabelul 1.

$$\sum R_i = r_{mi} \cdot (S_i \cdot \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i + A_{si}) \tag{7}$$

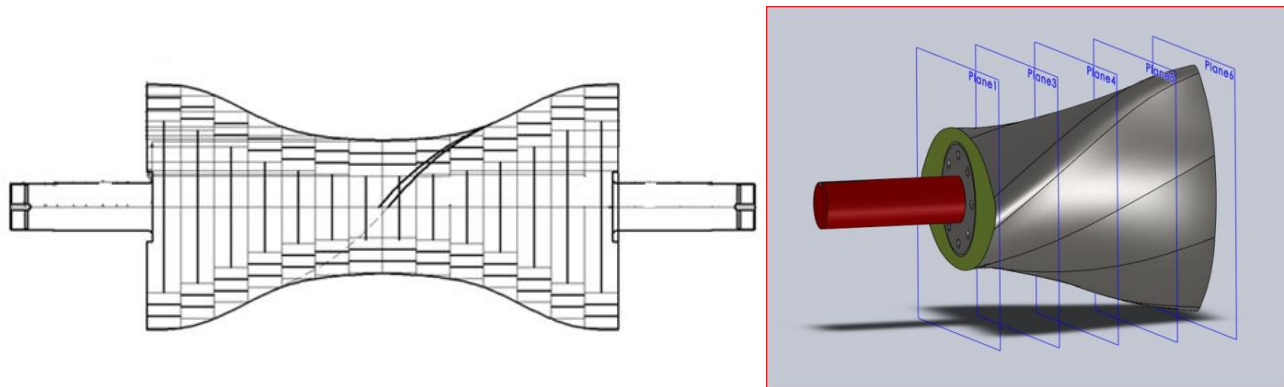


Fig. 3 - The spindle, divided into 28 blades: a) 2D drawing; b) 3D drawing

Because the attack surface remains constant, it is calculated just once. The variable K_m and implicitly M_t , vary with increase and decrease of dough consistency.

The mathematical model proposes to demonstrate the correlation between torque and specific resistance at kneading, applied to the attack surface.

In the second part of the paper, it is determined the medium value for specific resistance at kneading, K_m .

Considering that the specific resistance, K_i has a different value from one section to another, depending on tangential speed at the section's surface, it is possible to introduce in calculation, the medium value for specific resistance, K_m , which is valid for the entire kneader.

Întrucât suprafața de atac va rămâne constantă, ea se calculează o singură dată. Variabila K_m (rezistența specifică medie la malaxare) și implicit momentul de torsiune, M_t variază cu creșterea sau descreșterea consistenței aluatului.

Modelul matematic își propune să demonstreze corelația între momentul de torsiune și rezistența specifică la malaxare, aplicată la suprafața de atac.

În a doua etapă a lucrării, se determină valoarea rezistenței specifice medii la malaxare, K_m .

Având în vedere că rezistența specifică, K_i în același malaxor diferă de la o secțiune la alta, depinzând direct de viteza tangențială la suprafața secțiunii, se introduce în calcule valoarea rezistenței specifice medii la malaxare K_m , valabilă pentru întregul malaxor.

Table 1

Calculation for the attack surfaces of the kneading arm

Section number	S_i [cm ²]	$\cos\alpha_i$	$\cos\beta_i$	A_{si} [cm ²]	r_{mi} [cm]	ΣR_i [cm ³]
I	36	0.156	0.972	88.2	17.7	1657
II	36	0.382	0.972	78.9	16.1	1486
III	36	0.587	0.972	62.22	13.3	1100
IIII	36	0.76	0.972	46.5	10.7	783
V	36	0.891	0.972	37.5	9.2	632
VI	36	0.972	0.972	33.9	8.6	584
VII	36	1.000	0.972	31.5	8.2	354
VIII	36	1.000	0.972	31.5	8.2	354
IX	36	0.972	0.972	33.9	8.6	584
X	36	0.891	0.972	37.5	9.2	632
XI	36	0.76	0.972	46.5	10.7	783
XII	36	0.587	0.972	62.22	13.3	1100
XIII	36	0.382	0.972	78.9	16.1	1486
XIV	36	0.156	0.972	88.2	17.7	1657
XV	36	0.156	0.972	88.2	17.7	1657
XVI	36	0.382	0.972	78.9	16.1	1486
XVII	36	0.587	0.972	62.22	13.3	1100
XVIII	36	0.76	0.972	46.5	10.7	783
XIX	36	0.891	0.972	37.5	9.2	632
XX	36	0.972	0.972	33.9	8.6	584
XXI	36	1.000	0.972	31.5	8.2	354
XXII	36	1.000	0.972	31.5	8.2	354
XXIII	36	0.972	0.972	33.9	8.6	584
XXIV	36	0.891	0.972	37.5	9.2	632
XXV	36	0.76	0.972	46.5	10.7	783
XXVI	36	0.587	0.972	62.22	13.3	1100
XXVII	36	0.382	0.972	78.90	16.1	1486
XXVIII	36	0.156	0.972	88.20	17.7	1657

$$\sum R_i = r_{mi} \cdot (S_i \cdot \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i + A_{si}) = 26384 \text{ cm}^3$$

The values for medium specific resistance K_m , were experimentally determined by comparing the results obtained with different sets of dough made with different types of flour and different quantities of added water, as shown in table 3. In figure 4 it can be analyzed the graph that explains the variation of specific resistance for kneading depending on dough humidity.

The physico-chemical characteristics of the flours used for the experiments are presented in table 2.

It is possible to conclude that K_m values are linear functions dependent on flour quality and its capacity to absorb water and also directly dependent on medium tangential speeds inside the mixing bin, [7]. For all the tests, the tangential speed at the section surface had the same value: 2.8 m/s.

Valorile rezistențelor specifice medii la malaxare K_m au fost determinate experimental de către autori prin compararea rezultatelor obținute cu diferite șarje de aluat din făinuri diferite care au necesitat hidratari diferite, așa cum se poate observa în tabelul 3. În figura 4 se poate analiza graficul care explicitează variația rezistenței specifice la malaxare funcție de umiditatea aluatului.

Caracteristicile fizico-chimice ale făinurilor utilizate în realizarea experimentelor sunt prezentate în tabelul 2.

Se poate constata că valorile K_m sunt funcții liniare de conținutul și calitatea făinii, dar și de capacitatea acesteia de hidratare și depind direct de vitezele tangențiale medii în interiorul cuvei de amestecare, [7]. Toate probele au avut aceeași viteză tangențială la suprafața secțiunii: 2.8 m/s.

Table 2

Physico – chemical characteristics of the flours used in the experiments

Flour type	Humidity, [%]	Wet gluten, [%]	Ash, [%] d.s.	Protein content, [%] d.s	Gluten deformation [mm]	Acidity, [degrees]	Falling number, [sec]	Gluten index
FA – 650 (F1)	13.5	28	0.65	26.8	3.5	2	318	84
FN – 1350 (F2)	13.5	32.4	1.35	27.5	4	3.4	318	88

Analyzing the information presented above, it is possible to formulate the following observations: once with the rise of dough humidity, the effective viscosity of dough decreases, whatever the flour's quality, fermentation time and superficial tension, are [12,13,14].

An example of resistant moment M_t , determined for a 650 flour type which had 50% added water can be verified with the expression:

Din analiza datelor prezentate mai sus se pot formula următoarele observații: odată cu creșterea umidității aluatului, vâscozitatea efectivă a aluatului scade, indiferent de calitatea făinii, de timpul de fermentare și de tensiunea superficială, [12,13,14].

Un exemplu de moment rezistent M_t , determinat pentru o făină tip 650 la care s-a adăugat apă în proporție de 50%, se verifică cu expresia:

$$M_t = K_m * \sum r_{mi} (S_i \cos \alpha_i \cdot \cos \beta_i + A_{si})$$

$$M_t = 0.088 * 26384 = 2321 [Nm] \quad (8)$$

Table 3

Experimental determinations for medium specific resistance at kneading

Flour type	Humidity [%]	Angular speed ω [rpm]	Efficiency of transmission	Pump flow [m ³ /s]	Read pressures [bar]	K_m	Torque [Nm]	Difference of pressure between suction and delivery of hydraulic pump [bar]	Power [kW]
FA - 650(F1)	48	12.56	0.95	154	135	0.091	2400	125	30.48
FA - 650(F1)	50	12.56	0.95	154	128	0.088	2321	118	28.77
FA - 650(F1)	52	12.56	0.95	154	120	0.080	2110	110	26.82
FA - 650(F1)	54	12.56	0.95	154	116	0.078	2058	106	25.85
FN - 1350(F2)	56	12.56	0.95	154	123	0.094	2480	113	27.55
FN - 1350(F2)	58	12.56	0.95	154	120	0.086	2269	110	26.82
FN - 1350(F2)	60	12.56	0.95	154	130	0.076	2005	120	29.26
FN - 1350(F2)	64	12.56	0.95	154	120	0.070	1846	110	26.82

Knowing the oil pressure which is introduced into the hydraulic engine, it was possible to calculate the resistant moment for the spindle of the mixing arm.

The maximum resistant moment was calculated after drawing a similar graph with the one made by a farinograph, by monitoring the pressure from 5 to 5 seconds, for 230 seconds, and which could be observed directly on the monitor screen. The dough had in its composition, 650 flour type (ash content 0.65%). The obtained graph can be observed in figure 5.

The necessary power for the hydraulic engine (P_{ab})

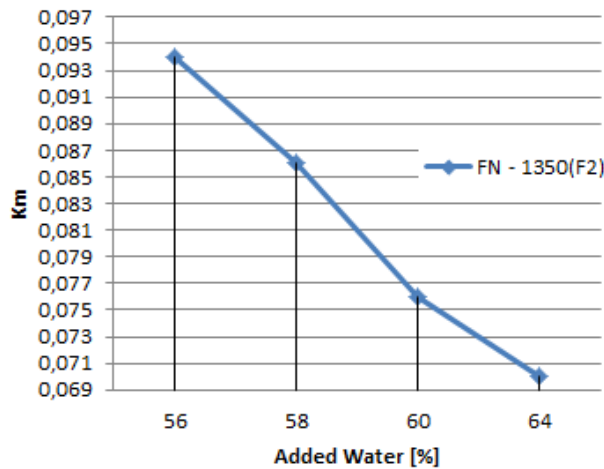
Cunoscând presiunea de ulei introdusă în motorul hidraulic a fost posibilă calcularea momentului rezistent la arborele brațului de malaxare.

Momentul rezistent maxim a fost calculat după realizarea unui grafic asemănător cu cel trasat de un farinograf prin monitorizarea presiunii din 5 în 5 secunde, timp de 230 s, care se poate citi direct de pe ecranul monitorului. Aluatul avea în componență făină tip 650 (conținut de cenușă 0,65%). Graficul poate fi observat în figura 5.

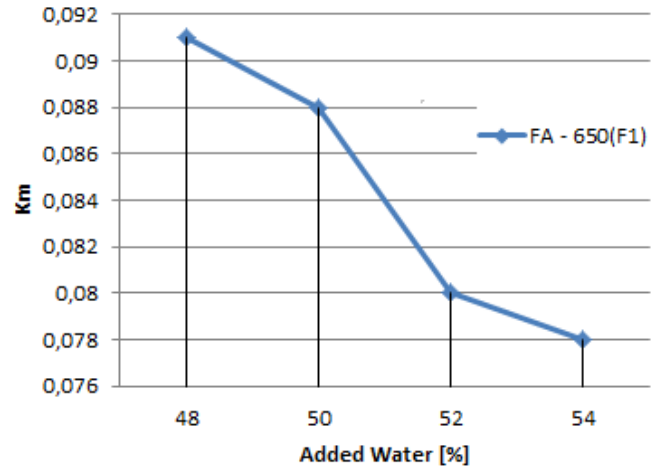
Puterea necesară motorului hidraulic (P_{ab}) se

can be calculated by knowing the difference between aspiration pressure and plenum pressure ($p\Delta p$), the introduced flow into the hydraulic engine (Q_m) and the transmission's efficiency, ($\eta_{tm} = 0.95$), [8].

calculează cunoscând diferența de presiune între aspirație și refulare ($p\Delta p$), debitul introdus în motorul hidraulic (Q_m) și randamentul transmisiei ($\eta_{tm} = 0.95$), [8].



a) K_m variation for 1350 flour type



b) K_m variation for 650 flour type

Fig.4 - Graph which explains the variation for K_m , depending on dough humidity and type of flour

$$P_{ab} = \frac{p\Delta p \cdot Q_m \cdot \eta_{tm}}{600} \tag{9}$$

The necessary torque for driving the kneading arm, after overcoming the resistant moment if the power and angular speed ω_m are known, can be calculated with the following formula, [9]:

Momentul învârtitor necesar antrenării brațului de frământare după învingerea momentului rezistent dacă se cunoaște puterea și viteza unghiulară ω_m a brațului de frământare se calculează cu formula, [9]:

$$M = \frac{P_m}{\omega_m} \tag{10}$$

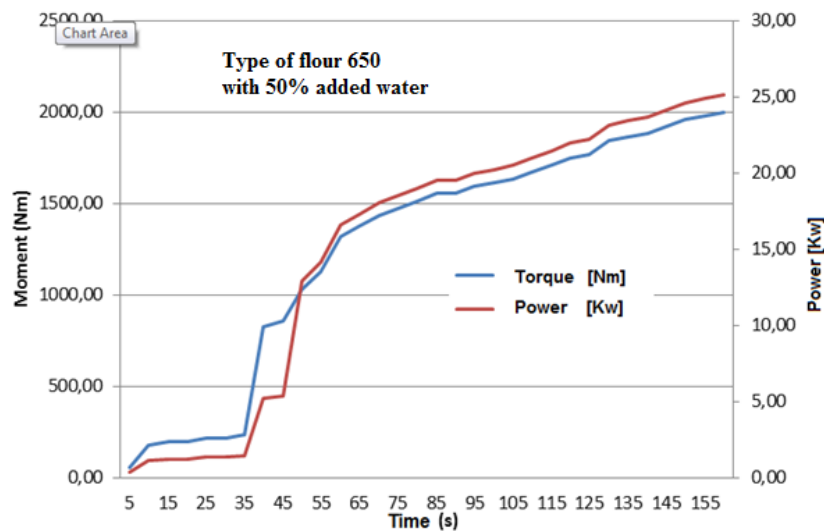


Fig. 5 - Graph which explains the variation for the resistant moment depending on time of kneading

The maximum value registered on the diagram for the torque, is:

Valoarea maximă înregistrată pe diagrama pentru momentul de torsiune este:

$$M_t = 2252 [Nm] \tag{11}$$

Following the analysis of graphic shown in figure 5, it has found that during the first seconds of mixing process

Din analiza graficului prezentat în figura 5, se observă că în primele secunde ale procesului de malaxare (circa

(about 30 seconds) the moment of torsion of kneader's arm is almost steady, as well as the driving power. This is possible, because the arm moves only in flour, without water supplement. When one begins to add water into kneader's vat, the torque (and power) of kneader's arm start to increase, at the beginning almost suddenly (during 5-10 seconds), then more slowly up to reaching the maximum moment. What cannot be noticed in the graphic is reaching this moment and also the maintenance of dough formed at this value. The moment is neither noticed at the beginning of consistency decreasing, namely in the dipping phase. This could be determined by prolonging the duration of data acquisition (respectively of power consumed by kneader's arm). In graphic shown, the acquisition duration was of only 160 seconds and this moment could not be noticed. Both values shown in the graphic have approximately the same variation, taking into account the mathematical relation between the two values.

CONCLUSIONS

The correlation between the mathematical model and the conducted experiment is quite accurate for determining the resistant moment for a kneading arm, depending on dough consistency and the type of flour used.

Intensive and fast kneading, known also as mechanical development for dough, represents much more active dough kneading, which is achieved at higher speed for kneading arms and in smaller time compared to classical mixers.

The kneading process at high speed for kneading arms determines a more pronounced loosening of globular proteins, along with surface exposure for a bigger number of reactive groupings, capable of reacting with those of neighbor molecules in order to form a bigger number of intermolecular connections.

Besides flour quality, the optimal quantity of energy which must be introduced in the kneading process depends also on its humidity and temperature, the quality of raw material used in the process, the type and speed of the kneading arm.

Beside the amount of energy introduced, it is of very high consequence the speed with which the energy is transmitted, respectively, the kneading time. When increasing speed at the kneading arm, the kneading time reduces. From this point of view, there is an optimal speed for introducing the necessary energy into dough.

The importance of designing and analyzing the shape of the kneading arm becomes determinant in the way of transmitting the energy, as well as the speed with which the energy is transferred to the dough in order to obtain a dough with superior quality.

The understanding of the kneading process for this kind of machine is useful in industrial bread making process because it helps the technological engineer to find solutions for quality problems which can appear because of defective forming of dough in the vat or caused by flour's physical and chemical characteristics like weak flours which necessitate slow kneading, flours with increased hydration capacity, at which it can be determined the optimal quantity of added water by controlling the value for maximum consistency, or the optimization of the entire kneading process by adapting the speed of the kneading arm (setting the hydraulic pressure into the radial engine with axial pistons for four configurable speeds) for the type of dough wished to be obtained.

30 secunde) momentul de torsiune la brațul frământătorului este aproximativ constant. La fel și puterea necesară acționării. Acest lucru este posibil deoarece brațul se mișcă numai în făină simplă, fără adaos de apă. În momentul începerii adăugării apei în cuva frământătorului, momentul (la fel și puterea) la brațul frământătorului începe să crească, la început aproape brusc (pe o durată de 5-10 secunde), apoi mai lent până la atingerea momentului maxim. Ceea ce nu se observă pe grafic este atingerea acestui moment și cât timp se menține la valoarea acestuia aluatul format. Nu se observă nici începutul scăderii consistenței, adică faza de înmuiere. Aceasta ar putea fi determinată prin prelungirea duratei de achiziție a datelor (respectiv a puterii consumate de brațul frământătorului). În graficul prezentat, durata de achiziție a fost de numai 160 secunde, iar acest moment nu a putut fi semnalat. Ambele mărimi prezentate pe grafic au aproximativ aceeași variație având în vedere relația matematică dintre acestea.

CONCLUZII

Corelația între modelul matematic și experimentul efectuat este una destul de exactă pentru a putea determina momentul rezistent la brațul de frământare funcție de consistența aluatului și tipul de făină utilizat.

Frământarea intensivă și rapidă, cunoscută și ca dezvoltarea mecanică a aluatului, constă într-o frământare mult mai energică a aluatului, care se realizează la turații mai mari ale brațelor de frământare și într-un timp mai scurt față de frământătoarele clasice.

Frământarea la turații mari ale brațelor de frământare determină desfacerea mai pronunțată a proteinelor globulare, însoțită de expunerea la suprafață a unui număr mai mare de grupări reactive, capabile să reacționeze cu cele ale moleculelor vecine și să formeze un număr mai mare de legături intermoleculare.

În afară de calitatea făinii, cantitatea optimă de energie ce trebuie transmisă la frământarea aluatului mai depinde de umiditatea și temperatura acestuia, de starea materiilor prime folosite în proces, de felul și turația brațului de frământare.

În afara cantității de energie, foarte importantă este viteza cu care este transmisă energia, respectiv timpul de frământare. La mărirea turației brațului de frământare, timpul de frământare se reduce. Din acest punct de vedere, există o viteză optimă de transmitere a energiei aluatului.

Importanța proiectării și analizei formei brațului de frământare devine determinantă în modul cum este transmisă energia, precum și viteza cu care aceasta este cedată aluatului pentru a obține o calitate superioară a acestuia.

Înțelegerea procesului de frământare la acest tip de utilaj este utilă în procesul de producție deoarece ajută inginerul tehnolog să găsească soluții la probleme de calitate care pot apărea din cauza formării defectuoase a aluatului în cuva malaxorului sau care au la bază caracteristicile fizico-chimice ale făinii, cum sunt făinuri mai slabe care necesită o frământare mai lentă, făinuri cu o capacitate de hidratare mare la care se poate determina cantitatea optimă de apă adăugată la făină, prin controlul valorii consistenței maxime, optimizarea întregului proces de frământare prin adaptarea turației brațului de frământare (setarea presiunii hidraulice în motorul radial cu pistoane axiale pentru cele 4 viteze configurabile) la tipul de aluat care se dorește a fi obținut.

REFERENCES

- [1]. Pastukhov A., Dogan H., (2014) – Studying of mixing speed and temperature impacts on rheological properties of wheat flour dough using Mixolab, *Agronomy Research* 12(3), 779–786;
- [2]. Campos D.T., Steffe J.F., Ng P.K.W.(1997) – *Rheological behavior of undeveloped and developed wheat dough*, *Cereal Chem.* 74(4):489-494;
- [3]. Muchova Z., Zitny B. (2010) – *New approach to the study of dough mixing process*, *Czech J. Food Sci.*, vol28, no.2:94-107;
- [4]. Hwang CH., Gunasekaran (2001) – *Determining wheat dough mixing characteristics from power consumption profile of a conventional mixer*, *Cereal Chemistry* 78(1):88-92;
- [5]. Leonte M. (2011) – *The study of the factors which influence rheological properties of bread dough*, *Rompan Magazine* 1, pg5, Bucharest;
- [6]. Giurca V. (1980) - *Technology and equipment for bakery industry*, vol. I and II, Danubius university, Galati;
- [7]. Haraszia R., Larroque O.R., Butow B.J., Gale K.R., Bekes F. (2008) - *Differential mixing action effects on functional properties and polymeric protein size distribution of wheat dough*, *Journal of Cereal Science* 47, pg. 41–51;
- [8]. Babiciu P., Scripnic V., Fratila Al. (1984) – *Hidraulic systems for tractors and machines for agriculture*, CERES Publishing house, Bucharest;
- [9]. Voicu Gh. (1999) – *Processes and equipment for bakery*, Bren Publishing house, Bucharest;
- [10]. Talaba D. (2000) – *CAD bases - Computer -aided design*, Transilvania University of Brasov, Publishing house;
- [11]. Jiscanu V. (1972) – *Operations and equipment in food industry*, vol.1-2, University of Galati;
- [12]. Zeng H., Morgenstern M.P., Companella O.H., Larsen N.G. (2000) - *Rheological properties of dough during mechanical dough development*, *Journal of Cereal Science*, 32, pg. 293-306;
- [13]. Kilborn R.H., Tipples K.H. (1972) - *Factors affecting mechanical dough development. I. Effect of mixing intensity and work input*. *Cereal Chemistry* 49: pg.34-47;
- [14]. Wang M., Tweed A. R., Carson G. (2010) - *How Dough Mixing Properties Affect Bread-Making Performance*, Canadian International Grains Institute, Winnipeg, MB Canada;
- [15]. Sarbu L. (2003) – *Equipment and technological processes in industry of construction materials – Elements calculus technological design*, vol 2 Millenium Publishing house.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Pastukhov A., Dogan H., *Studiul impactului vitezei și temperaturii de amestecare asupra proprietăților reologice ale aluatului din făină de grâu folosind Mixolab*, *Agronomy Research* 12(3), 779–786, 2014.
- [2]. Campos D.T., Steffe J.F., Ng P.K.W. (1997) – *Comportarea reologică a aluatului de grâu nedezvoltat și dezvoltat*, *Cereal Chem.* 74(4):489-494.
- [3]. Muchova Z., Zitny B. (2010) – *Nouă abordare a studiului procesului de frământare a aluatului*, *Czech J. Food Sci.*, vol28, no.2:94-107.
- [4]. Hwang CH., Gunasekaran (2001) – *Determinarea caracteristicilor de frământare ale aluatului din făină de grâu plecând de la profilul consumului de energie al unui mixer convențional*, *Cereal Chemistry*, 78(1):88-92.
- [5]. Leonte M. (2011) - *Studiul factorilor care influențează proprietățile reologice ale aluatului pentru panificație*, *Revista Rompan* 1, pag 5, București;
- [6]. Giurcă V. (1980) - *Tehnologia și utilajul industriei de panificație*, vol. I și II, Univ. "Dunărea de Jos" Galați;
- [7]. Haraszia R., Larroque O.R., Butow B.J., Gale K.R., Bekes F. (2008) – *Efectele acțiunii de amestecare diferențială asupra proprietăților funcționale și distribuției de mărime a proteinei polimerice a aluatului de grâu*, *Journal of Cereal Science* 47, pag. 41–51;
- [8]. Babiciu P., Scripnic V., Frățilă Al. (1984) - *Sisteme hidraulice ale tractoarelor și mașinilor agricole*, Editura CERES, București;
- [9]. Voicu Gh. (1999) - *Procese și utilaje pentru panificație*, Editura BREN, București;
- [10]. Talabă D.(2000) – *Bazele CAD –Proiectare asistată de calculator*, Editura Universității Transilvania Brașov;
- [11]. Jișcanu V. (1972) – *Operații și utilaje în industria alimentară*, vol.1-2, Universitatea Galați;
- [12]. Zeng H., Morgenstern M.P., Companella O.H., Larsen N.G. (2000) – *Proprietățile reologice ale aluatului în timpul creșterii mecanice a acestuia*, *Journal of Cereal Science*, 32, pag. 293-306;
- [13]. Kilborn R.H., Tipples K.H. (1972) – *Factori care afectează dezvoltarea mecanică a aluatului. I. Efectul intensității de amestecare și a inputului de lucru*, *Cereal Chemistry* 49: pag.34-47;
- [14]. Wang M., Tweed A. R., Carson G.(2010) – *Felul în care proprietățile de amestecare a aluatului afectează performanța de formare a pâinii*, Canadian International Grains Institute, Winnipeg, MB Canada;
- [15]. Sârbu L. (2003) - *Utilaje și procese tehnologice din industria materialelor de construcții - Elemente calcul proiectare tehnologică*, vol 2. Editura Milenium.