

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI
Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice
Departamentul de Sisteme Biotehnice



Ing. Mariana – Gabriela MUNTEANU

Rezumatul tezei de doctorat
Summary of PhD Thesis

**CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PARAMETRILOR
REGIMULUI DE LUCRU AL UTILAJELOR UNEI LINII DE
FABRICAT COVRIGI**

***RESEARCHES ON IMPROVING THE WORKING REGIME
PARAMETERS OF A PRETZEL PRODUCTION LINE MACHINES***

Conducător științific:

Prof.dr.ing. Gheorghe VOICU

BUCUREȘTI (2020)

CUPRINS

1. PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE A PRODUSELOR DE PANIFICAȚIE CU TEXTURĂ TARE	13	9
1.1 ASPECTE GENERALE PRIVIND PROCESUL DE PANIFICAȚIE	13	9
1.1.1 Generalități. Covrigi: Clasificare, caracteristici, rețete	13	9
1.1.2 Etapele procesului de obținere a covrigilor și a produselor de panificație cu textură tare	14	9
1.2 OBȚINEREA ȘI PRELUCRAREA ALUATULUI DE PANIFICAȚIE	15	9
1.2.1 Rolul și importanța operațiilor	15	9
1.2.2 Bilanțuri de materiale în cadrul fluxului tehnologic	15	10
1.2.3 Descrierea procesului tehnologic și a operațiilor de fabricare a covrigilor	17	10
1.2.4 Indicatori de apreciere a operațiilor și a produsului finit	18	10
1.3 CONCLUZII	20	10
2. PROPRIETĂȚI FIZICO-MECANICE ȘI TEHNOLOGICE ALE MATERILOR PRIME UTILIZATE LA FABRICAREA COVRIGILOR	22	10
2.1 PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ȘI TEHNOLOGICE ALE FĂINII	22	10
2.2 PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE APEI	24	10
2.3 PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE DROJDIEI DE PANIFICAȚIE	24	10
2.4 PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE SĂRII	25	10
2.5 PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE ALTOR INGREDIENTE	25	10
2.6 PROPRIETĂȚILE GENERALE ALE ALUATURILOR DE PANIFICAȚIE	26	11
2.7 CONCLUZII	37	11
3. SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE LINII TEHNOLOGICE DE FABRICARE A PRODUSELOR DE PANIFICATIE CU TEXTURA TARE	38	12
3.1 SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE FRĂMÂNTĂTOARE	38	12
3.2 SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE MAȘINI DE MODELAT	41	13
3.3 SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE OPĂRITOARE	42	13
3.4 SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE CUPTOARE DE COPT COVRIGI	44	14
3.5 CONCLUZII	48	15

4. SINTEZA CERCETĂRIILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE A COVRIGILOR	49	16
4.1 CERCETĂRI PRIVIND CARACTERISTICILE REOLOGICE ALE ALUATURILOR	49	16
4.1.1 Elemente generale de reologie ale aluaturilor. Mărimi reologice	50	16
4.1.2 Modele reologice	50	16
4.1.3 Factorii care influențează proprietățile reologice ale aluaturilor	59	20
4.2 CERCETĂRI PRIVIND CONSUMUL ENERGETIC LA FABRICAREA COVRIGILOR	67	21
4.3 CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA MODELĂRII ȘI SIMULĂRII ÎN PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE A COVRIGILOR	71	22
4.3.1 Utilizarea modelării și simulării în procesul tehnologic de frământare	71	22
4.3.2 Utilizarea modelării și simulării în procesul tehnologic de coacere	72	22
4.4 CONCLUZII	74	23
5. ASPECTE ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE	76	23
5.1 MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE LAMINARE A ALUATULUI	76	23
5.2 UTILIZAREA SIMULĂRII ÎN PROCESUL DE FABRICARE A COVRIGILOR	81	26
5.2.1 Utilizarea simulării în procesul de trefilat aluatul de covrigi	81	26
5.2.2 Analiza curgerii aerului în camera de coacere a unui cuptor electric	88	27
5.2.3 Validarea simulării curgerii aerului în interiorul camerei de coacere a cuptorului electric	101	31
5.3 CONCLUZII	102	31
6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE AL COVRIGILOR	103	32
6.1 OBIECTIVELE CERCETĂRII EXPERIMENTALE	103	32
6.2 APARATURĂ ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE ÎN CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A FABRICĂRII COVRIGILOR	103	32
6.3 METODICA DETERMINĂRIILOR EXPERIMENTALE	111	33
6.4 MATERII PRIME ȘI MATERIALE FOLOSITE LA FABRICAREA COVRIGILOR	112	34
6.5 CERCETĂRI EXPERIMENTALE ÎN CADRUL TEZEI DE DOCTORAT	113	34

6.5.1	Cercetări experimentale privind caracteristicile materiilor prime și ale aluaturilor folosite la fabricarea covrigilor	113	34
6.5.2	Cercetări experimentale privind consumurile energetice la modelarea și coacerea aluaturilor pentru produse cu textură tare	130	38
6.5.3	Cercetări privind caracteristicile mecanice ale covrigilor fabricați pe linia tehnologică de capacitate mică	137	40
6.5.4	Cercetări privind pierderile de materiale în procesul de coacere a covrigilor	142	42
6.6	CONCLUZII	145	43
7.	CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII. PERSPECTIVE	147	43
7.1	Concluzii privind cercetările teoretice și experimentale	147	43
7.2	Contribuții personale	150	45
7.3	Recomandări și perspective viitoare de cercetare	151	45
	Bibliografie	153	47
	Anexe	163	

CUVÂNT ÎNAINTE

Industria panificației reprezintă una dintre cele mai importante subramuri ale industriei alimentare, iar în ultima perioadă de timp a avut o creștere semnificativă în ceea ce privește automatizarea, însă odată cu această creștere nu au fost analizați toți factorii care pot afecta procesul tehnologic de obținere a produselor de panificație. Astfel, cunoașterea factorilor care pot influența procesul tehnologic de obținere a produselor de panificație, este de o reală importanță pentru cei din domeniu, specialiști, proiectanți constructori și operatori.

Teza de doctorat “*Cercetări privind îmbunătățirea parametrilor regimului de lucru al utilajelor unei linii de fabricat covrigi*”, prezintă o sinteză a cercetărilor teoretice și experimentale efectuate de autoare cu privire la posibilitatea îmbunătățirii parametrilor regimului de lucru al utilajelor de pe fluxul tehnologic specifice acestor produse de panificație.

Lucrarea este structurată în 7 capitole, dezvoltate într-un număr de 192 pagini și conține 120 figuri și grafice, 18 tabele, 107 relații matematice și o bibliografie de 214 referințe. Lucrarea conține, de asemenea o listă de notații și simboluri (3 pagini), iar la final o serie de anexe (31 pagini) referitoare la studiile și cercetările prezentate în cadrul lucrării.

Obiectivul general al tezei de doctorat l-a constituit identificarea și optimizarea factorilor care afectează parametrii regimului de lucru al utilajelor specifice unei linii de fabricație a covrigilor de capacitate mică, în vederea îmbunătățirii, pe cât posibil, a calității covrigilor obținuți, prin cercetări, atât teoretice, cât și experimentale, realizate și completarea bazei de date în domeniu.

Astfel, în **capitolul 1**, intitulat “*Procesul tehnologic de fabricare a produselor de panificație cu textură tare*” sunt prezentate câteva aspecte generale privind procesul de panificație, clasificarea covrigilor, rețete, etapele procesului de obținere a covrigilor și a produselor de panificație, rolul și importanța operațiilor, bilanțuri de materiale în cadrul fluxului tehnologic, descrierea procesului tehnologic și a operațiilor de fabricare a covrigilor, indicatori de apreciere a operațiilor și a produsului finit.

Capitolul 2, denumit “*Proprietăți fizico-mecanice și tehnologice ale materiilor prime utilizate la fabricarea covrigilor*” face analiza principalelor caracteristici fizico-mecanice, fizico-chimice și tehnologice ale componentelor rețetei de fabricație a covrigilor și a aluatului obținut, caracteristici care influențează operațiile procesului tehnologic și necesită anumite caracteristici specifice pentru utilajele de pe flux.

În **capitolul 3**, “*Soluții constructive de linii tehnologice de fabricare a produselor de panificație cu textură tare*”, sunt prezentate câteva variante constructive privind cele mai importante utilaje folosite pe fluxul tehnologic de fabricare a covrigilor, în ordinea operațiilor fluxului, precum: frământătoare, mașini de modelat, instalații de opărire, cuptoare pentru covrigi. Se prezintă principalele tendințe în construcția mașinilor de modelat și trefilat aluatul, precum și a cuptoarelor utilizate la coacerea covrigilor.

Capitolul 4, denumit “*Sinteza cercetărilor teoretice și experimentale privind procesul tehnologic de fabricare a covrigilor*”, prezintă, mai întâi, unele mărimi și modele reologice de caracterizare a aluaturilor de panificație, iar apoi sunt prezentate succint, sintetic și analitic, rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale efectuate pe plan mondial, prin sintetizarea lucrărilor de specialitate în domeniu. Sunt analizați, în ordinea importanței, factorii care

influențează proprietățile reologice ale aluaturilor (calitatea și caracteristicile făinii, apei, sării, drojdiei, zahărului dar și parametrii frământătoarelor de aluat). Mai mult, sunt luate în considerare și rezultatele cercetărilor privind consumul energetic la fabricarea covrigilor sau ale utilizării modelării și simulării procesului tehnologic.

În concluziile capitolului se revine asupra importanței cunoașterii proprietăților fizico-mecanice și reologice ale aluaturilor și a factorilor care le influențează.

În **capitolul 5**, intitulat *“Aspecte și contribuții teoretice”*, este dezvoltat un model matematic privind parametrii procesului de laminare a aluatului de covrigi, prin utilizarea analizei dimensionale și a teoremei Π , luând în studiu șapte parametri de bază care influențează procesul. În acest capitol se face, de asemenea, simularea procesului de trefilat aluatul pentru covrigi prin utilizarea metodei elementelor finite pentru determinarea solicitărilor mecanice în rolele profilate ale mașinii de trefilat, a coeficientului de siguranță și a puterii necesare trefilării aluatului.

Tot în acest capitol se face analiza curgerii aerului în camera de coacere a cuptorului electric pentru covrigi Zanolli Synthesis 06/40 VE utilizând modulul Flow Simulation din Solid Works, toate acestea în scopul identificării posibilităților de optimizare a procesului de fabricare a covrigilor și a parametrilor regimurilor de funcționare a utilajelor de pe fluxul tehnologic, precum și a reducerii pierderilor materiale și energetice în proces.

Capitolul 6, intitulat *“Cercetări experimentale privind procesul tehnologic de fabricare al covrigilor”*, prezintă sinteza cercetărilor experimentale proprii realizate, în principal, pe linia tehnologică de fabricare a covrigilor, existentă în laboratorul Facultății de Ingineria Sistemelor Biotehnice. Sunt specificate, la început, obiectivele cercetărilor experimentale, aparatura și echipamentele utilizate în cercetarea experimentală și metoda de lucru aplicată.

În continuare, sunt prezentate, pe rând, dar suficient de clar, cercetările experimentale și rezultatele acestora cu privire la unele caracteristici ale materiilor prime și aluaturilor folosite la fabricarea covrigilor, precum și la consumurile energetice specifice operațiilor de modelare a aluatului și de coacere și obținere a covrigilor din mai multe tipuri de făină, cu diferite conținuturi de apă și de alte adaosuri, precum și bilanțul de materiale în procesul de coacere.

De asemenea, sunt prezentate cercetările experimentale și rezultatele obținute privind comportarea mecanică a covrigilor fabricați, supuși operației de tăiere prin forfecare cu cuțite drepte sau înclinate.

Concluziile capitolului fac referire la fiecare din aspectele menționate mai înainte, cu precizarea elementelor principale care reies din analizele efectuate.

În **capitolul 7**, *“Concluzii generale. Contribuții personale. Recomandări și perspective viitoare de cercetare”* sunt prezentate în sinteză, atât concluziile rezultate din cercetarea documentară, precum și concluziile principale ale capitolului de contribuții teoretice și ale capitolului de cercetări experimentale, scoțând în evidență, atât importanța cunoașterii factorilor analizați cu influențe semnificative asupra procesului și a indicilor de calitate ai covrigilor, cât și contribuțiile principale ale autoarei privind procesul tehnologic de fabricare a acestor produse.

Sunt menționate, de asemenea, câteva recomandări care se adresează specialiștilor în domeniul proceselor de panificație, dar și unele direcții viitoare de cercetare, pentru persoanele interesate de domeniu.

IMPORTANȚA TEMEI ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul general al tezei de doctorat are ca și scop realizarea unor cercetări teoretice și experimentale asupra procesului de fabricare al covrigilor și îmbunătățirea parametrilor regimului de lucru al utilajelor unei linii de fabricat covrigi.

Printre **obiectivele specifice** ale tezei de doctorat se numără:

- ❖ Noțiuni teoretice și experimentale privind comportarea reologică a aluatului;
- ❖ Analiza stadiului actual de soluții constructive de frământătoare folosite la realizarea aluatului de covrigi;
- ❖ Analiza stadiului actual de soluții constructive de mașini de modelat covrigi;
- ❖ Analiza stadiului actual de soluții constructive de opăritoare folosite în procesul tehnologic de fabricare al covrigilor;
- ❖ Analiza stadiului actual de soluții constructive de cuptoare pentru coacerea alaturilor de covrigi;
- ❖ Sinteza cercetărilor cu privire la determinarea cosumului energetic al utilajelor de pe fluxul tehnologic de fabricat covrigi;
- ❖ Sinteza cercetărilor cu privire la utilizarea modelării și simulării în procesul tehnologic de fabricare a covrigilor;
- ❖ Modelarea matematică a procesului de laminare
- ❖ Utilizarea simulării în procesul de trefilat aluatul de covrigi
- ❖ Analiza curgerii aerului în camera de coacere a unui cuptor electric
- ❖ Evaluarea caracteristicilor materiilor prime și ale alaturilor;
- ❖ Evaluarea consumurilor de energie la modelarea și coacerea alaturilor;
- ❖ Determinarea caracteristicilor mecanice ale covrigilor fabricați pe linia tehnologică;
- ❖ Evaluarea pierderilor de materiale în procesul de coacere a covrigilor

LISTA DE NOTĂȚII ȘI SIMBOLURI

CAPITOLUL 1

m_F – masa totală de făină din rețetă, [kg]
 m_A – masa totală de apă din rețetă, [kg]
 m_D – masa totală de drojdie din rețetă, [kg]
 m_S – masa totală de sare din rețetă, [kg]
 m_I – masa totală de materiale de înobilare din rețetă, [kg]

CAPITOLUL 5

h_1 – grosimea aluatului la laminare, [m]
 v – viteza periferică la laminare, [m/s]
 u – umiditatea aluatului, [%]
 p – presiunea aluatului la laminare, [DaN]

CAPITOLUL 4

σ, τ – tensiunea, [Pa]
 ε, γ – deformația, [mm]
 $\dot{\varepsilon}, \dot{\gamma}$ – viteza de deformație, [s⁻¹]
 η – vâscozitatea, [Pa·s]
 G – modulul de elasticitate transversal, [N/m²·s]
 E – modulul de elasticitate longitudinal, [MPa]

CAPITOLUL 6

$P_{h\ 1-2}$ – pierderi hidraulice între punctele 1 și 2, [%]
 L_0 – lungimea fitilului înainte de rupere, [m]
 A_0 – aria inițială a secțiunii fitilului, [m²]
 σ_{al} – rezistența aluatului la întindere, [Pa]

CAPITOLUL 1 - PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE A PRODUSELOR DE PANIFICAȚIE CU TEXTURĂ TARE

1.1. ASPECTE GENERALE PRIVIND PROCESUL DE PANIFICAȚIE

1.1.1. Generalități. Covrigi: Clasificare, caracteristici, rețete

Covrigii sunt produse alimentare, în formă de inel, cu textură densă și ușor de masticat, fiind preparați din diverse tipuri de făină și opăriți înainte de a fi copti, opărirea făcându-se cu scopul de a rezulta produse finite cu o coajă rumenă și lucioasă. Înainte de coacere, covrigul este presărat cu diferite condimente sărate sau dulci, [8, 194].

Covrigii pot fi produși cu diferite arome, forme și dimensiuni, rezultând astfel o varietate mare de sortimente: covrigi cu sare, covrigi simpli, covrigi pentru bere, covrigi vanilați, covrigi cu cașcaval, covrigi desert, covrigi însiropați etc.

1.1.2. Etapele procesului de obținere a covrigilor și a produselor de panificație cu textură tare

Obținerea aluatului de covrigi se face prin adăugarea principalelor ingrediente (făină, apă, sare și drojdie) în cuva frământătorului și amestecarea lor. În procesul de obținere a covrigilor etapa de fermentare poate lipsi, deoarece aceasta poate conduce la o modelare dificilă a fitilului de aluat. Modelarea covrigilor în diferite forme se face cu ajutorul mașinilor automate sau manual, [8, 194]. Opărirea se face în vase de opărire sau în friteuze și se recomandă ca temperatura apei să fie sub punctul de fierbere deoarece se evită risipa de energie, [8]. Coacerea bucăților de aluat este ultima etapă și se face în cuptoare de tip tunel, la temperaturi cuprinse între 230 - 290°C, timp de 4 - 12 minute. Coacerea se face fără abur, deoarece suprafața exterioară a covrigilor este deja gelatinizată la fierbere. Răcirea covrigilor este o operație obligatorie, deoarece este imposibilă realizarea ambalării dacă temperatura lor nu atinge temperatura mediului ambiant. Depozitarea și păstarea covrigilor trebuie făcută în spații curate, uscate, ferite de umezeală și mirosuri străine.

1.2. OBȚINEREA ȘI PRELUCRAREA ALUATULUI DE PANIFICAȚIE

1.2.1. Rolul și importanța operațiilor

Principalul scop al frământării este obținerea unui amestec omogen de materii prime și auxiliare. În timpul frământării aluatul este supus la deformări uni- și biaxiale, iar din punct de vedere reologic prezintă comportament vâscoelastic, [118].

După operația de frământare, aluatul este supus operației de divizare în bucăți de masă aproximativ constantă ce urmează a fi modelate în diferite forme cu scopul dezvoltării uniforme a produsului în timpul coacerii și a-i da acestuia o structură uniformă prin eliminarea golurilor, [117, 143].

După modelare, fitilele de aluat sunt trecute la operația de opărire. Operația de opărire se face cu scopul gelatinizării amidonului de pe suprafața covrigului pentru a-i oferi acestuia luciul specific și pentru menținerea formei în timpul coacerii, [8].

Coacerea, se face cu scopul transformării aluatului în miez și formarea crustei de culoare brună. În timpul procesului de coacere mai au loc: creșterea volumului, gelificarea amidonului, inactivarea drojdiilor și reacția Mayllard. Un rol important în aceasta etapă îl au timpul și temperatura de coacere, [40, 64].

1.2.2. Bilanțuri de materiale în cadrul fluxului tehnologic

Aluatul reprezintă o masă umedă și omogenă dezvoltată după amestecarea pe cale mecanică a făinii de grâu, a apei și a altor ingrediente.

$$m_F + m_A + m_D + m_S + m_{MI} = m_{Al} + P \quad (1.1)$$

unde: m_F – masa totală de făină; m_A – masa totală de apă; m_D – masa totală de drojdie; m_S – masa totală de sare; m_I – masa materialelor de înnobilare adăugate; m_{Al} – masa totală de aluat; P – pierderile datorate pierderilor mecanice sau a pierderilor de umiditate sau substanță uscată, [143].

1.2.3. Descrierea procesului tehnologic și a operațiilor de fabricare a covrigilor

La începutul procesului de frământare trebuie să se țină cont de ordinea în care ingredientele sunt adăugate în cuva malaxorului, deoarece de aceasta depinde hidratarea făinii, dar mai ales a proteinei din făină, [25]. Timpul necesar pentru dezvoltarea aluatului este cuprins între 2 și 25 minute, [143]. Odată cu continuarea frământării, structura aluatului se poate modifica, devenind moale, puțin elastic, foarte extensibil și lipicios, [143].

Împărțirea aluatului în bucăți se poate face fie prin tăierea unei fășii de aluat în bucăți egale, fie decuparea unui cilindru de aluat sau comprimarea lui într-un volum închis, [143]. Bucata de aluat obținută prin divizare este modelată în prima fază sub forma unei sfere, ulterior această sferă este alungită cu ajutorul palmelor până când este transformată într-un fitil (șnur) de diametru și lungime potrivită pentru a putea fi împletit în formă de covrig.

Opărire bucatilor de aluat se face cu scopul de a obține produse finite cu suprafață lucioasă și culoare specifică.

După introducerea bucatilor de aluat în camera de coacere a cuptorului, acestea încep să își marească volumul, datorită dioxidului de carbon rezultat prin fermentare și să se evapore apa din compoziția aluatului, [143].

1.2.4. Indicatori de apreciere a operațiilor și a produsului finit

Aprecierea sfârșitului frământării se face cu ajutorul consistometrelor sau senzorial. Aluatul trebuie să fie omogen, consistent, elastic și să se desprindă cu ușurință de pe brațul și cuva frământătorului, [140, 141, 143].

Aprecierea sfârșitului fermentării se stabilește organoleptic, pe baza modificării volumului și prin determinarea acidității, [143].

În cadrul operației de divizare se urmărește ca greutatea bucatilor de aluat să fie cât mai exactă, iar la stabilirea greutateii lor se ține cont și de pierderile care au loc în timpul coacerii, [94].

Modelarea se realizează astfel încât să se obțină bucăți de aluat cu suprafața netedă și încheietura corect realizată, [94].

Plutirea bucatilor de aluat la suprafața soluției de zahăr reprezintă momentul încheierii procesului de opărire.

Încheierea procesului de coacere se face organoleptic, coaja trebuie să fie rumenă, iar miezul elastic, și prin determinarea temperaturii miezului. Temperatura miezului trebuie să fie cuprinsă în intervalul 93-97 °C.

Covrigii rezultați trebuie să îndeplinească condițiile de admisibilitate a indicatorilor de apreciere și a caracteristicilor fizici și chimici specifici covrigilor.

1.3. CONCLUZII

Procesul de fabricare a covrigilor și a produselor de patiserie cuprinde operații, precum frământare, divizare, modelare, opărire, coacere, care sunt interdependente și formează un întreg flux tehnologic.

Calitatea produselor finite sunt determinate de bilanțul materiilor prime, parametrii de lucru și utilajele de pe fluxul tehnologic, astfel încât se recomandă ca tot procesul tehnologic să fie urmărit și controlat de la început până la sfârșit.

CAPITOLUL 2 - PROPRIETĂȚI FIZICO-MECANICE ȘI TEHNOLOGICE ALE MATERIILOR PRIME UTILIZATE LA FABRICAREA COVRIGILOR

2.1. PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ȘI TEHNOLOGICE ALE FĂINII

În industria panificației se folosesc diferite sortimente de făină, iar calitatea lor se stabilește în primul rând după proprietățile senzoriale, fizice, chimice și reologice, [94, 143].

În lucrare sunt prezentate proprietăți ale făinii, precum: culoarea, mirosul, gustul, aciditatea, umiditatea, finețea, hidrații de carbon, substanțele proteice, substanțele grase, vitaminele și enzimele, capacitatea de hidratare, cantitatea și calitatea glutenului, capacitatea de a forma și de a reține gazele de fermentare.

2.2. PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE APEI

Pentru prepararea aluatului de panificație se folosește apă cu scopul de a hidrata particulele de făină și de a forma aluatul. Absența apei în procesul tehnologic de panificație conduce la imposibilitatea obținerii aluatului. Apa potabilă trebuie să îndeplinească condițiile de admisibilitate pentru: temperatură, duritate, culoare, gust, miros, etc.

2.3. PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE DROJDIEI DE PANIFICAȚIE

În procesul tehnologic de panificație se poate utiliza drojdie comprimată sau lichidă. Drojdia trebuie să îndeplinească condițiile de admisibilitate din punct de vedere organoleptic, umiditate, pentru a putea fi folosită în procesul panificației.

2.4. PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE SĂRII

Sarea folosită pentru fabricarea produselor de panificație se folosește în stare macinată sau soluție de sare și are rolul de a da gust produselor de panificație, de a îmbunătăți calitățile aluatului prin creșterea timpului de formare și prin scăderea timpului de înmuiere a lui, [9, 94]. Sarea folosită trebuie să îndeplinească condițiile de admisibilitate din punct de vedere organoleptic, conținut de clorură de sodiu, granulație, [9, 142].

2.5. PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE ALTOR INGREDIENTE

Pe lângă ingredientele de bază folosite la prepararea aluaturilor se folosesc și materii auxiliare care au rolul de ameliora gustul și de a mări valoarea nutritivă a produselor, [9]. Din materiile auxiliare, pentru prepararea aluatului de covrigi, fac parte zaharurile și grăsimile.

Calitatea zaharurilor și grăsimilor se verifică după însușirile organoleptice, însușiri ce trebuie să îndeplinească condițiile de admisibilitate.

2.6. PROPRIETĂȚILE GENERALE ALE ALUATURILOR DE PANIFICATIE

Consistența aluatului rezultă prin asocierea vâscozității, plasticității și elasticității. Ele depind de umiditatea aluatului, temperatură și de compoziția biochimică a făinii și a materialelor adăugate pentru prepararea aluatului.

Prin adăugarea apei peste cantitatea de făină și amestecarea lor, are loc procesul de formare și dezvoltare a gluteului, iar odată cu frământarea are loc intensificarea lui. Glutenul este o rețea de proteine care se găsește în toate produsele ce au la bază făina de grâu. Chiar dacă făina se hidratează repede după adăugarea apei, glutenul are nevoie de mai mult timp pentru dezvoltare, iar rețeaua formată are două proprietăți: elasticitate și extensibilitate, [56].

Cantitățile de aer introduse în aluat în timpul frământării indică densitatea aluatului, iar cu cât conținutul de lipide al făinii este mai mare, cu atât cantitatea de aer introdusă în aluat este mai mare [36, 114].

2.7. CONCLUZII

Ingredientele din rețeta de obținere a produselor de panificație și patiserie pot influența mai mult sau mai puțin proprietățile reologice ale aluaturilor și comportamentul lor în etapele fluxului tehnologic de fabricare, iar pentru a putea fi folosite în procesul de panificație trebuie să îndeplinească condițiile de admisibilitate.

CAPITOLUL 3 - SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE LINII TEHNOLOGICE DE FABRICARE A PRODUSELOR DE PANIFICAȚIE CU TEXTURĂ TARE

În acest capitol sunt prezentate o serie de utilaje folosite în cadrul procesului de fabricare al covrigilor. Între acestea se numără: frământătoare, mașini de modelat, opăritoare și cuptoare.

3.1. SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE FRĂMÂNTĂTOARE

Frământătoarele de diverse modele trebuie să asigure frământarea optimă a aluatului, chiar dacă aceste utilaje se diferențiază prin: geometria brațelor de frământare și a cuvei, capacitatea de lucru, variația numărului de rotații a brațului de frământare și dacă este cazul și a cuvei.

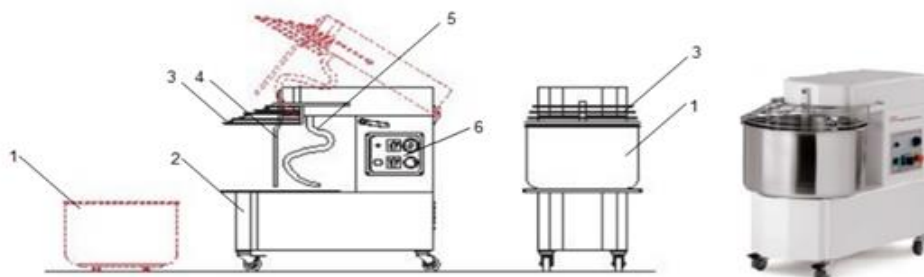


Fig. 3.1 Frământător vertical, model MCS-IM25DS, [201]

1.cuvă; 2. carcasă; 3. grilă de protecție; 4.tijă; 5. braț spiral; 6. panou de comandă



Fig. 3.2 Frământător Salva cu braț de tip furcă, [195, 197]

1. cuvă; 2. braț de tip furcă; 3. capac de protecție; 4, 5. transmisie cu curea; 6. motor electric; 7. panou de comandă

3.2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE MAȘINI DE MODELAT

Modelarea aluatului de covrigi se poate face fie manual fie cu ajutorul utilajelor destinate prelucrării aluatului în formă de fitil, inel sau pretzel.

Cel mai avantajos utilaj pentru modelarea aluatului de covrigi îl are formatorul pentru covrigi model CO.FO 63/47, deoarece utilizarea lui nu necesită prezența în plus a unui operator care să prindă capetele fitilelor de aluat după trefilare.

Dimensiunea exterioară a covrigului rezultat este de 63 mm, iar cea interioară este de 47 mm. Atât dimensiunile exterioare, cât și cele interioare pot fi ajustate cu ± 4 mm. Masa covrigilor poate varia de la 4 g la 80 g. În funcție de diametrul covrigilor productivitatea mașinii este cuprinsă între 35 și 50 buc./min.



Fig.3.3 Formator pentru covrigi model CO.FO 63/47, [192]

1. cadru; 2. motor electric; 3. bandă transportoare din pânză; 4. placă fixă; 5. divizor; 6. panou de comandă; 7. tub din oțel

3.3. SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE OPĂRITOARE

Gustul caracteristic covrigilor, culoarea și luciul cojii sunt obținute prin opărirea fitilelor de aluat într-o soluție de zahăr în apă sau hidroxid de sodium (NaOH) în apă. Operația de opărire se face înainte de a introduce covrigii în camera de coacere a cuptorului, [200].

Opăritorele care prezintă cel mai mare avantaj din punct de vedere al modului de funcționare, continuu sau discontinuu, îl reprezintă opăritorul de covrigi cu funcționare continuă, deoarece operația de opărire se poate realiza și fără supravegherea îndeaproape a procesului. Avantaj pe care celelalte tipuri constructive de opăritoare nu îl au, deoarece introducerea și scoaterea covrigilor după ce s-au ridicat la suprafața apei se face manual și din acest motiv trebuie urmărit procesul îndeaproape.



Fig. 3.4 Opăritor de covrigi – continuu, [191]

1. carcasă; 2. bandă transportoare; 3. bandă suplimentară; 4. capac; 5. panou de comandă

3.4 SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE CUPTOARE DE COPT COVRIGI

Covrigii se vând cel mai bine atunci când sunt calzi, iar din acest motiv au fost realizate cuptoare de coacere care au posibilitatea de programare astfel încât să înceapă încălzirea camerei de coacere cu 40 minute înainte de începerea programului de lucru, [187].

Foarte mulți producători oferă soluții constructive și de îmbunătățire a cuptoarelor prin: posibilitatea decongelării și coacerea rapidă a aluaturilor folosind tehnologia infraroșu, utilizarea benzilor transportoare din granit pe care se așează în mod direct produsul oferind ca beneficiu pătrunderea temperaturii de jos în sus, astfel transferul de căldură se face în masă, iar aluatul se poate coace în profunzime.



Fig. 3.5 Cuptor covrigi ITES cu infraroșu, [211]

1. panou de comandă digital; 2. arbore; 3. bandă transportoare; 4. sistem de adăugare semințe; 5. rezervor pentru semințe; 6. carcasă izolată



Fig. 3.6 Cuptorul tunel PICARD'S LP-200, [190]

1. hotă din oțel inoxidabil; 2. panou de comandă; 3. ușă izolată din oțel inoxidabil reglabilă în înălțime; 4. panou din oțel inoxidabil; 5. două arzătoare cu ardere directă; 6. motor electric; 7. ușă mecanică de acces; 8. butoane electrice pentru a rula piatra de granit și banda transportoare atunci când capacul superior de siguranță este îndepărtat; 9. buton electric de urgență; 10. picioare din oțel inoxidabil cu posibilitatea de reglare în înălțime; 11. tavă din oțel inoxidabil pentru colectare; 12. panouri din oțel inoxidabil detașabile pentru curățare; 13. uși din oțel inoxidabil pentru lubrifiere; 14. benzi transportoare din piatră de granit; 15. bandă transportoare din oțel inoxidabil; 16. tavă din oțel inoxidabil pentru colectare; 17. panou din oțel inoxidabil detașabil pentru curățare; 18. ușă izolată din oțel inoxidabil cu posibilitatea reglării înălțimii pentru economisirea căldurii; 19. spațiu de depozitare

3.5. CONCLUZII

Alegerea utilajelor de pe fluxul tehnologic de fabricare a produselor de panificație cu textură tare este dictată de calitățile produsului finit.

Calitatea aluatului obținut cu ajutorul frământătoarelor prezintă o importanță deosebită pentru tehnologia panificației și din acest motiv se pune în permanență accentul pe îmbunătățirea utilajelor din punct de vedere constructiv prin: montarea variatoarelor de turație ale brațului de frământare, montarea de instalații de răcire a camerei de frământare, construcția brațului de frământare astfel încât să nu se încălzească aluatul în timpul frământării.

Tendința la ora actuală este de a îmbunătăți procesul de modelare a aluatului prin producerea de instalații care sunt complet automatizate, fără a mai necesita prezența unui angajat care să realizeze prinderea capetelor fitilelor.

Utilizarea unui opăritor cu funcționare continuă se poate evita scoaterea covrigilor din opăritor înainte de a se încheia procesul de gelificare a amidonului pe suprafața covrigului, astfel se împiedică obținerea covrigilor cu suprafață mată.

Varietatea cuptoarelor care satisfac cerințele pentru coacerea covrigilor trebuie să satisfacă și posibilitatea memorării programelor de coacere, deoarece se dorește menținerea unei calități constante a produsului finit.

CAPITOLUL 4 - SINTEZA CERCETĂRILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE A COVRIGILOR

În ultimii ani s-au făcut progrese semnificative în automatizarea producției de covrigi folosind mixere de mare viteză, sisteme de tăiere a aluatului de covrigi, mașini automate de formare a covrigilor și cuptoare pentru covrigi complet automatizate. Au fost acordate mai multe brevete pentru noi metode de fabricare a covrigeilor tari, inclusiv metode de prelucrare. În ciuda acestor progrese în tehnologia de producție, s-au efectuat puține cercetări pentru a înțelege variabilele procesului care influențează calitatea covrigului, [156].

4.1 CERCETĂRI PRIVIND CARACTERISTICILE REOLOGICE ALE ALUATURILOR

Reologia poate fi definită ca studiul modului în care materialele se deformează, curg sau eșuează când se aplică o forță, [4,52].

Pentru produsele alimentare prelucrate, compoziția și adăugarea de ingrediente pentru a obține o anumită performanță de calitate alimentară și produs, necesită o înțelegere profundă a reologiei ingredientelor, [4, 50].

Aluatul se referă la o masă umedă dezvoltată după amestecarea făinii de grâu cu apa și alte ingrediente, iar proprietățile reologice ale lui, respectiv proprietățile structural mecanice sunt: elasticitatea, vâscozitatea, plasticitatea și timpul de relaxare. Cunoașterea lor este importantă deoarece de ele depind volumul și forma finită a produsului, elasticitatea cojii și a miezului, [79, 98].

4.1.1. Elemente generale de reologie ale aluaturilor. Mărimi reologice

Principalele mărimi reologice amintite în teză sunt: tensiunea (σ, τ), deformația (ϵ, γ), viteza de deformare ($\dot{\epsilon}, \dot{\gamma}$), elasticitatea, vâscozitatea, relaxarea, timpul de relaxare, fluajul.

4.1.2. Modele reologice

Cel mai simplu model reologic este reprezentat de un resort (solidul lui Hooke) și un amortizor (lichidul lui Newton), ce pot fi montate în serie sau paralel. Prin montarea resortului și a amortizorului în serie se obține modelul lui Maxwell, care este caracteristic lichidelor, iar prin montarea în paralel se obține modelul Kelvin – Voigt, caracteristic solidelor, [34, 57].

❖ Modelul reologic Hooke (modelul solid ideal elastic).

Dacă unui material solid ideal i se aplică o forță, acesta va răspunde instantaneu printr-o deformație proporțională cu forța aplicată. Deformația dispare și corpul revine la forma sa inițială când efortul dispare. Acest comportament este descris printr-un resort elastic, [57, 128, 176].

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (4.1)$$

unde: σ reprezintă tensiunea în plan longitudinal; τ reprezintă tensiunea în plan transversal; γ – deformația; E - modulul de elasticitate longitudinal; G - modulul de elasticitate transversal.

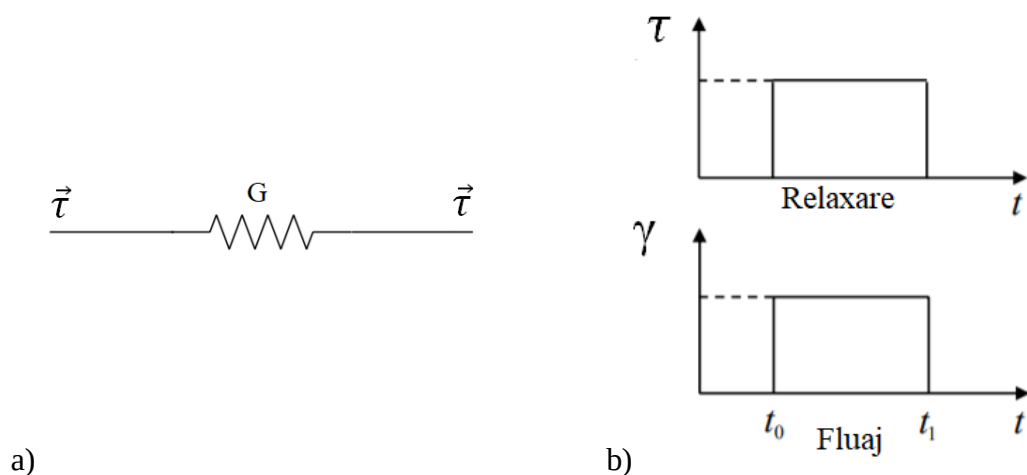


Fig.4.1 a) Simbolul modelului; b) curbele de fluaj și relaxare pentru solidul ideal, [57, 176]

❖ Modelul reologic Newton

Un fluid ideal se deformează în mod constant din momentul aplicării efortului. La îndepărtarea efortului, deformarea rămâne constantă, iar materialul nu recapătă forma inițială. Legea lui Newton este relația dintre efort și viteza de deformare. Acest comportament este descris printr-un amortizor ideal, [57, 128, 176].

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} = \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad (4.2)$$

unde: τ reprezintă tensiunea de forfecare direct proporțională cu viteza de deformare $\dot{\gamma}$; η reprezintă coeficientul de vâscozitate dinamică;

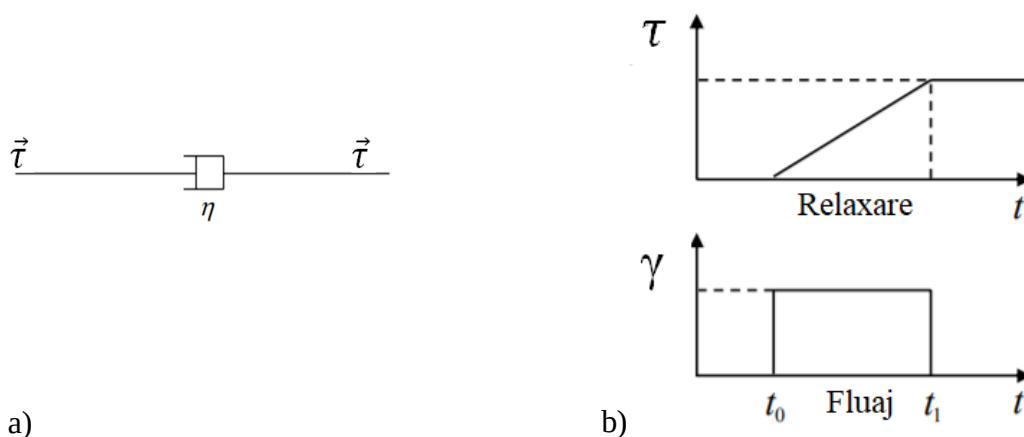


Fig.4.2 a) Simbolul modelului; b) Curbele de fluaj și relaxare pentru lichidul newtonian, [57, 176]

❖ Modelul lichid vâscoelastic Maxwell

Modelul Maxwell conține un resort Hook și un amortizor Newtonian cuplat în serie. Modelul permite interpretarea curbelor de relaxare ale tensiunii atât pentru lichidele vâscoelastice, cât și pentru fluidele polimerice, [34]. Efortul este același, atât pentru resort, cât și pentru amortizor, în timp ce deformăția totală este suma deformățiilor parțiale specifice resortului și amortizorului, conform ecuațiilor, [36, 41, 57, 93, 128]:

$$\gamma = \gamma_e + \gamma_v \quad (4.3)$$

$$\tau = \tau_e = \tau_v \quad (4.4)$$

unde: γ_e , γ_v reprezintă deformația elastică, respectiv deformația vâscoasă; τ_e , τ_v , reprezintă efortul aplicat resortului, respectiv amortizorului.

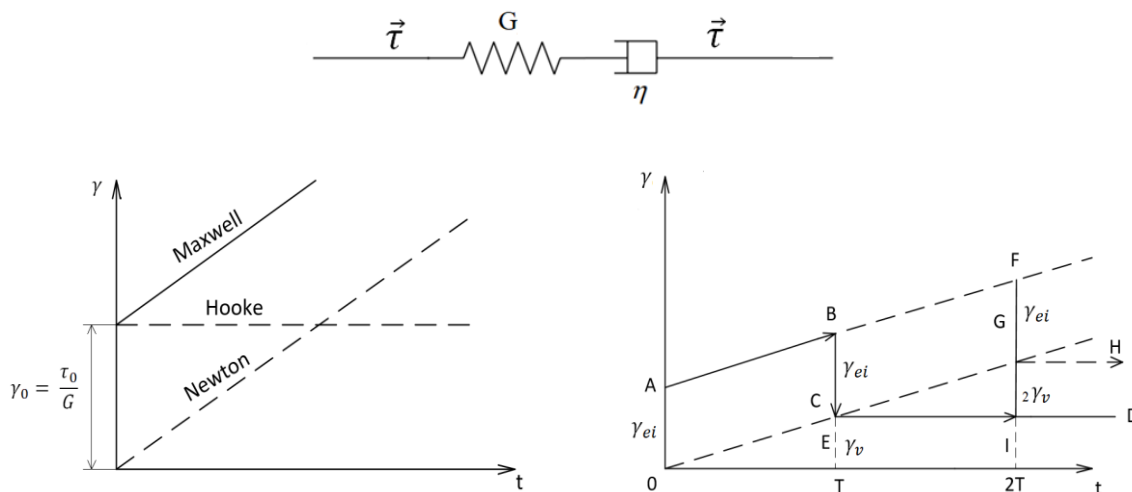


Fig.4.3 Modelul Maxwell, [36, 57]

❖ Modelul solid vâscoelastic Kelvin – Voigt

Modelul Kelvin – Voigt descrie comportamentul unui corp vâscoelastic prin modelul mecanic format prin montarea în paralel a unui amortizor și un resort, [34]. Deformația este aceeași atât pentru resort cât și pentru amortizor, în timp ce efortul total este suma eforturilor parțiale aplicate resortului și amortizorului, conform ecuațiilor, [34, 36, 57, 93]:

$$\gamma = \gamma_e + \gamma_v \quad (4.5)$$

$$\tau = \tau_e + \tau_v \quad (4.6)$$

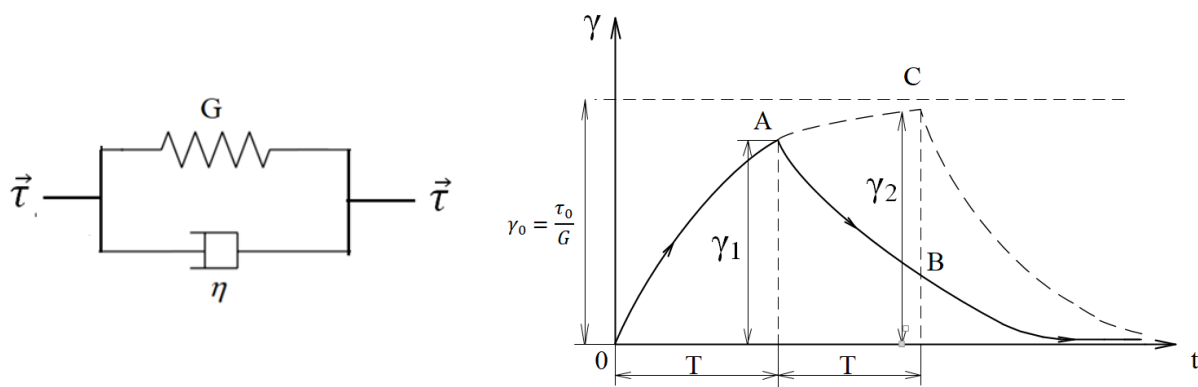


Fig.4.4 Modelul Kelvin – Voigt, [36, 57]

❖ Modelul Burgers

Modelul Burgers este utilizat pentru a reprezenta numai o parte din proprietățile reologice ale aluaturilor. Modelul este obținut prin montarea în serie a unui model Maxwell și un model Kelvin Voigt, [34].

$$\gamma = \gamma' = \gamma'' \quad (4.7)$$

$$\tau = \tau' + \tau'' \quad (4.8)$$

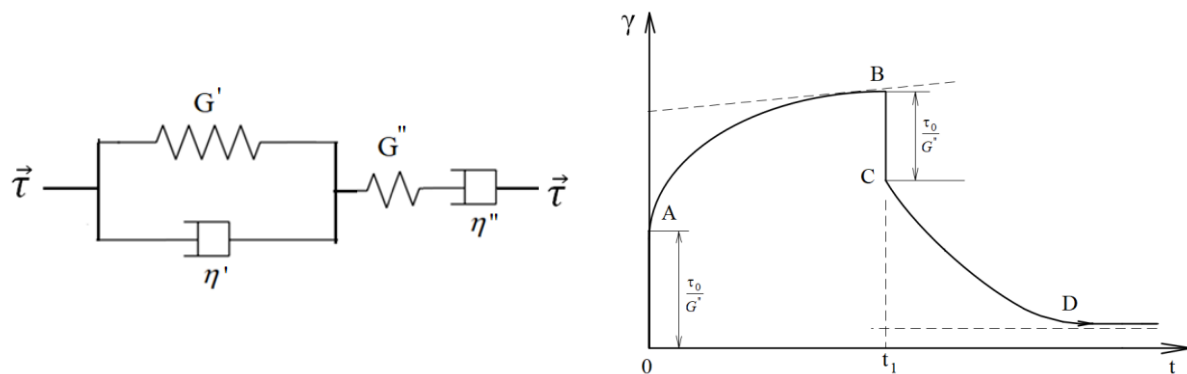


Fig.4.5 Modelul Burgers, [36, 93, 128]

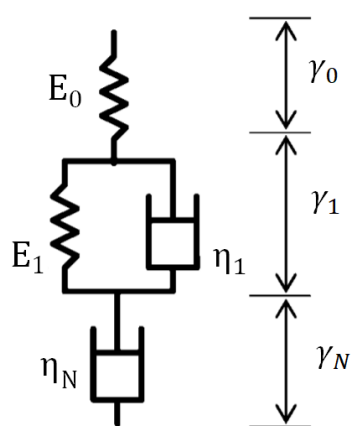


Fig.4.6 Modelul Burgers cu patru elemente, [36, 63]

În modelul reologic Burgers, E_0 reprezintă elasticitatea instantanee, iar E_1 elasticitatea întârziată, η_1 reprezintă coeficientul de întârziere a vâscozității, iar η_N coeficientul vâscozității normale, [36, 63].

O soluție teoretică pentru tensiunea de relaxare este derivată din modelul Burgers, atunci când se presupune că secțiunea transversală a aluatului și viteza de comprimare sunt constante în timp:

$$\sigma = (E_1 - \eta_1 \lambda_1) A_1 e^{-\lambda_1 t} + (E_1 - \eta_1 \lambda_2) A_2 e^{-\lambda_2 t}, \quad (4.9)$$

unde:

$$A_1 \frac{(\sigma_{t_2} - \sigma_{t_1} e^{-\lambda_2 t_2})}{(E_1 - \eta_1 \lambda_1)(e^{-\lambda_1 t_2} - e^{-\lambda_2 t_2})}; \quad (4.10)$$

$$A_2 \frac{(\sigma_{t_2} - \sigma_{t_1} e^{-\lambda_1 t_2})}{(E_1 - \eta_1 \lambda_2)(e^{-\lambda_2 t_2} - e^{-\lambda_1 t_2})}, \quad (4.11)$$

unde: $\sigma_{t_1}, \sigma_{t_2}$ reprezintă valoarea tensiunii la $t = t_1$, respectiv la $t = t_2$; λ_1, λ_2 reprezintă rădăcinile ecuației, [36, 63]:

$$\frac{\eta_1}{E_0} \lambda^2 - \frac{E_0 \eta_1 + E_0 \eta_N + E_1 \eta_N}{E_0 \eta_N} \lambda + \frac{E_1}{\eta} = 0 \quad (4.12)$$

❖ **Modelul Lethersich**

Modelul Lethersich este format prin inserarea unui model Kelvin – Voigt și un amortizor. Acest model descrie curgerea pur vâscoasă și elasticitate întârziată, [34, 36].

$$\sigma = G\gamma_{el} + \eta_K \dot{\gamma}_{el} = \eta \dot{\gamma}_v \quad (4.13)$$

unde: γ_{el} , γ_v , reprezintă deformația elastică, respectiv deformația plastică (ireversibilă); η , η_K reprezintă vâscozitatea pentru γ_{el} , respectiv γ_v .

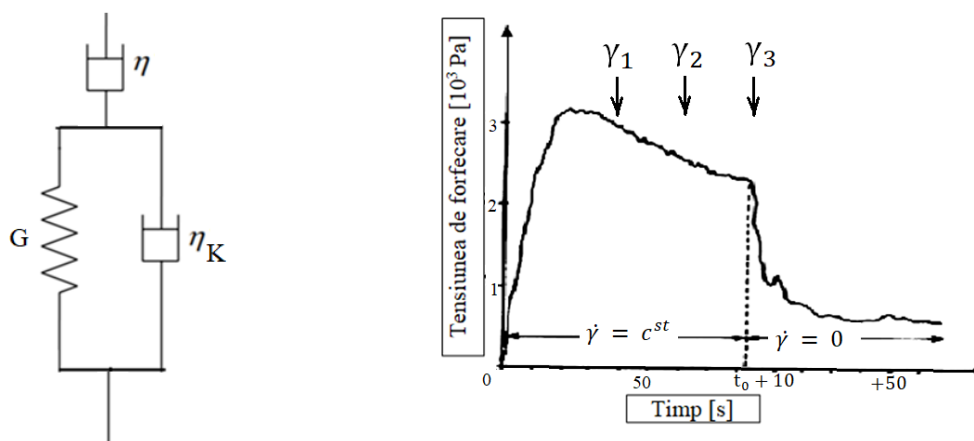


Fig.4.7 Modelul Lethersich, [34]

4.1.3. Factorii care influențează proprietățile reologice ale aluaturilor

Potrivit studiilor lui Sission M. (2008), [123] și Amjid M.R. și colb. (2013), [5], cercetătorii se concentrează asupra compoziției materiilor prime și modul în care acestea influențează caracteristicile aluatului și calitatea produsului final. Există o mare varietate de ingrediente adăugate în amestecul de aluat care ar putea fi clasificate în general ca ajutoare în procesare sau care pot avea efecte secundare pentru reologia aluatului.

a) *Influența calității și cantității făinii*

Făinurile cu conținut ridicat de proteine au tendința de a produce covrigi cu textură dură și tare, iar făinurile cu conținut scăzut de proteine cauzează probleme la mașinile de laminat și produc o formă și o dimensiune mai slabă a produsului.

Creșterea raportului glutenină/gliadină îmbunătățește vâscozitatea maximă la forfecare și rezistența aluatului.

Făina de secară introdusă în amestec cu făina albă de grâu influențează negativ caracteristicile farinografice ale aluaturilor, scăzând timpul de dezvoltare și cel de stabilitate.

Cantitățile mici și mari de făină necesită timpi de amestecare mai mari decât o cantitate medie de făină raportată la volumul cuvei de aluat.

b) *Influența adaosului de apă și calitatea acesteia*

O cantitate de apă mai mare care intră în proces conduce la o scădere a timpului de frământare și a cantității de energie mecanică consumată la producerea aluatului. Totodată cu creșterea cantității de apă, cresc valorile vâscozității aluatului și elasticitatea acestuia, deoarece creșterea este corespunzătoare umflării maxime a proteinelor.

Duritatea apei afectează puterea de frământare a făinii și consumul total de energie, timpul de frământare prelungindu-se foarte mult dacă duritatea apei crește.

c) Influența cantității de sare

Sarea sau clorura de sodiu este utilizat pe scară largă și poate fi considerat un ingredient crucial deoarece, fără adăugarea de sare, majoritatea felurilor de mâncare sau produselor alimentare pot avea mai puțină aromă, devin insipide și nu sunt apetisante, [108].

Sarea îmbunătățește parametrii reologici pentru făina cu conținut scăzut de proteine, prin întărirea aluatului, ceea ce face ca operațiile care urmează să se desfășoare în condiții mai bune.

d) Influența zahărului și a substituenților din zahăr asupra proprietăților reologice

În compoziția aluaturilor sunt permise cantități mici de zahăr, (până în 3%) deoarece influențează negativ proprietățile reologice ale aluaturilor, în schimb pot facilita începerea activității drojdiei.

e) Influența tipului de frământător asupra proprietăților reologice

Studiile arată că atât modelul tipului de frământător, cât și viteza de frământare pot influența proprietățile reologice ale aluaturilor și proprietățile fizice ale produselor finite.

f) Influența opăririi aluatului de covrigi asupra proprietăților sale

În lucrarea [157], s-a analizat studiul soluției de opărire asupra proprietăților fizice ale covrigilor, iar rezultatele au arătat faptul că, covrigei opăriți în apă au o masă mai mare în comparație cu cei opăriți în soluție alcalină. Deși temperatura de opărire cu soluție alcalină nu a influențat culoarea suprafeței covrigeilor, a afectat foarte mult proprietățile de manipulare ale aluatului prin efectele sale asupra amidonului și proteinelor.

4.2 CERCETĂRI PRIVIND CONSUMUL ENERGETIC LA FABRICAREA COVRIGILOR

Energia consumată la frământare, (E), se poate calcula plecând de la puterea necesară frământării aluatului sau momentul de torsiune de la arborele frământătorului, care poate fi obținut sub formă de curbă $M = f(t)$ (figura 4.8), atunci când are loc măsurarea lui în timpul frământării:

$$E = P_m \times t_f = M_m \frac{\pi \times n}{30} t_f, (J) \quad (4.14)$$

unde: n = constant pentru o turație constantă.

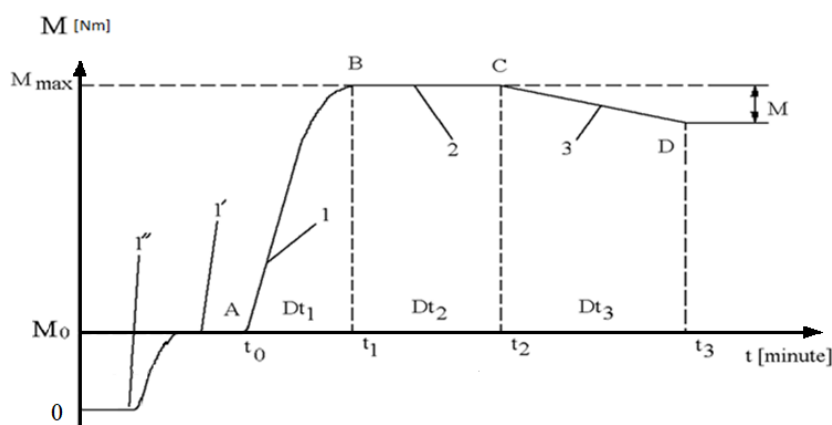


Fig. 4.8 Variația momentului la arborele frământătorului, [143, 145]

unde: 1'' – momentul la mersul în gol al frământătorului; 1' – momentul după adăugarea făinii în cuva frământătorului; AB – variația momentului în timpul hidratării făinii, după adăugarea apei în cuva frământătorului; BC – momentul în timpul procesului de frământare a aluatului; CD – faza de înmuierare a aluatului; Dt_1 – perioada de formare a aluatului; Dt_2 – perioada de stabilitate; Dt_3 – perioada de înmuierare

Energia specifică la amestecare (ε_{sp}), este determinată de raportul dintre energia consumată și masa aluatului frământat:

$$\varepsilon_{sp} = \frac{E}{M_{al}}, (\text{Wh/kg}) \quad (4.15)$$

unde: M_{al} – masa de aluat.

În literatura de specialitate, [145], energia specifică pentru frământarea aluatului are valori cuprinse între 10-50 J/g, până la punctul B al diagramei (figura 4.8). Se evaluează faptul că, în practică, frământarea s-a încheiat în momentul în care aluatul este complet format.

4.3. CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA MODELĂRII ȘI SIMULĂRII ÎN PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE AL COVRIGILOR

4.3.1. Utilizarea modelării și simulării în procesul tehnologic de frământare

Hosseinalipour S. M., (2013) și colab., [54], au propus modelul *Bird-Carreau* pentru a descrie comportamentul reologic al aluatului de făină de grâu la frământare:

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + \alpha^2 \dot{\gamma}^2)^{(n-1)/2} \quad (4.16)$$

unde: $\dot{\gamma}$ - este rata de forfecare și valorile parametrilor pentru vâscozitatea la forfecare infinită η_{∞} ; η_0 - vâscozitatea la forfecare zero; α – constanta coeficientului de material în timp; n - indicele comportamentului la curgere.

Scopul studiului autorilor Lunchian M.I și colab., (2013), [80], a fost de a dezvolta o tehnologie avansată pentru modelarea frământării aluatului de pâine, pentru a oferi o capacitate predictivă a parametrilor optimi de proiectare a frământătoarelor de aluat utilizând tehnici de calcul. Rezultatele studiului au arătat că frământarea intensivă a aluatului are loc numai în raza brațului de frământare, restul de aluat fiind pus în mișcare prin rotația cuvei, iar cele mai mari valori ale energiei cinetice au fost observate în zonele adiacente suprafeței brațului de frământare, spiralei opuse și pereților cuvei, [80].

4.3.2. Utilizarea modelării și simulării în procesul tehnologic de coacere

David A. P. și colab. (2011), [39], au urmarit un model matematic care să descrie evoluția temperaturii în timpul coacerii pâinii și a produselor de patiserie și modul în care această evoluție afectează principalele caracteristici calitative ale produsului finit, cum ar fi culoarea cojii, încălzirea la temperatură a produsului și pierderea în greutate.

$$x_i = p_{ts}T_s + p_{tl}T_1 + p_{ti}T_i \quad (4.17)$$

unde: x_i reprezintă temperatura în patru zone de coacere ale cuptorului; p_{ts} este temperatura părții superioare; p_{tl} – temperatura părților laterale; p_{ti} - temperatura a părții inferioare; T_s - temperatura din partea superioară; T_1 - temperatura laturilor; T_i - temperatura de la partea inferioară a vetrei cuptorului.

Abraham J. P. și colab.(2004), [2], au elaborat o metodă complet predictivă, algebrică, pentru predicția variației temperaturii la un moment dat a unei sarcini termice situată într-un cuptor încălzit electric. Modelul care stă la baza metodei ia în considerare atât convecția naturală în interiorul camarei de coacere a cuptorului, cât și radiația dintre sarcina termică și pereții cuptorului. Modelul oferă o descriere completă a transferului de căldură extern la sarcina termică. Punctul de plecare al dezvoltării modelului este dat de prima lege a termodinamicii:

$$mc_p \frac{dT_{LOAD}}{dt} = \dot{Q} \quad (4.18)$$

unde m și c_p sunt masa și căldura specifică a sarcinii termice.

Un model tridimensional CFD, a fost dezvoltat de către autorii Ciarmiello M. și colab. (2016), pentru un cuptor electric pentru coacerea pizzei napoletană, prin simulare mecanismului de transfer de căldură. Acest studiu este considerat unul de bază pentru cercetări mai aprofundate privind controlul temperaturii cuptorului, deoarece sursa electrică poate fi mai ușor de gestionat prin dispozitive de control automatizate, [32].

4.4 CONCLUZII

Alegerea unui model fizic pentru descrierea comportării reologice a aluatului trebuie să se facă în corelație cu faza tehnologică de prelucrare laminare, fitilare, modelare și componentele acestuia.

Există o mare varietate de ingrediente adăugate în amestecul de aluat și care ar putea fi clasificate, în general, ca ajutoare în procesare sau care pot avea efecte secundare pentru reologia aluatului (sare, grăsimi, zaharuri).

Prin măsurarea momentului de torsiune la arborele frământătorului se poate calcula puterea necesară frământării aluatului, respectiv consumul de energie la frământare.

CAPITOLUL 5 - ASPECTE ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE

5.1. MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE LAMINARE A ALUATULUI

Din teoria analizei dimensionale a fost aplicată teorema Π , enunțată de către Buckingham, [127], pentru determinarea unei relații de legătură între parametrii de proces ai laminării. Laminarea aluatului este o operație importantă a procesului de modelare, prin care aluatul se subțiază și se transformă în foaie de aluat. Laminarea se realizează, de regulă, cu ajutorul unor perechi de role de laminare cu mișcare de rotație. Printre altele, de modul de conducere a acestei operații depind caracteristicile produsului finit. Rolele antrenează bucata de aluat printre ele, aducând-o, la o grosime dată de distanța dintre acestea, sub forma unei foi aproximativ eliptice, asimetrică, [144].

Din cercetările teoretice și experimentale ale procesului de laminare, au fost identificați pentru studiu un număr de 7 parametri principali care influențează procesul de laminare: energia la laminare, E ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$); presiunea aluatului la laminare, p ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$); viteza periferică la laminare, v (m/s); masa de aluat supusă laminării, m (kg); densitatea aluatului, ρ (kg/m^3); grosimea aluatului, h_l (m); umiditatea aluatului, u (%).

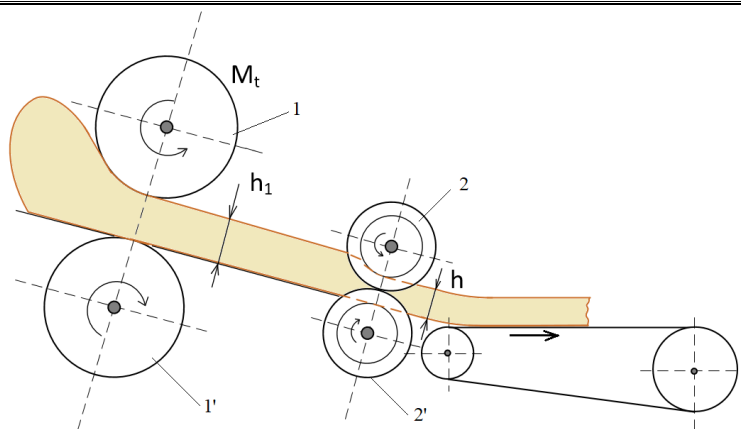


Fig. 5.1 Laminarea și trefilarea aluatului pentru covrigi
1,1'. role de laminare, 2,2'. role de trefilare

Procesul de laminare este descris dimensional prin funcția implicită $f(p_i) = 0$, unde toți termenii în raport cu mărimile fundamentale din SI (L,M,T) sunt dimensionali omogeni.

$$f(E, p, v, m, \rho, h_1, u) = 0 \quad (5.1)$$

Se consideră ca mărimi determinante grupul (E, p, v) , pe baza teoremei Π , și se vor determina complexii adimensionali (criteriile de similitudine) ai procesului de laminare. Mărimea adimensională u este introdusă direct în ecuația criterială, fără a mai fi luată în calcul la elaborarea complexșilor adimensionali. Pentru mărimile fizice E, ρ , și h_1 se vor elabora complexșii adimensionali corespunzători:

$$\Pi_1 = \frac{m}{E^{x_1} \cdot p^{x_2} \cdot v^{x_3}} \quad , \quad \Pi_2 = \frac{\rho}{E^{x'_1} \cdot p^{x'_2} \cdot v^{x'_3}} \quad \text{și} \quad \Pi_3 = \frac{h_1}{E^{x''_1} \cdot p^{x''_2} \cdot v^{x''_3}} \quad (5.2)$$

în care exponenții $x_1, x_2, x_3, x'_1, x'_2, x'_3$ și x''_1, x''_2, x''_3 se pot determina din condițiile ca Π_1, Π_2 și Π_3 să fie adimensionali, în raport cu mărimile fundamentale L (lungime), M (masă), T (timp).

Se scriu în matricea dimensională cele 6 mărimi, care apar în relație, în raport cu mărimile fundamentale L, M și T :

	x_1	x_2	x_3			
	E	p	v	m	ρ	h_1
L	2	-1	1	0	-3	1
M	1	1	0	1	1	0
T	-2	-2	-1	0	0	0

Se impune condiția ca Π_1, Π_2, Π_3 să fie pe rând adimensionali, în raport cu cele trei mărimi fundamentale L, M, T , iar din matrice se obțin sisteme de ecuații liniare și prin rezolvarea lor s-au obținut valori pentru $x_1, x_2, x_3, x'_1, x'_2, x'_3$ și x''_1, x''_2, x''_3 , iar expresiile complexșilor adimensionali sunt:

$$\Pi_1 = \frac{m \cdot v^2}{E} \quad \Pi_2 = \frac{\rho \cdot v^2}{p} \quad \Pi_3 = \frac{h_1 \cdot p^{1/3}}{E^{1/3}} \quad (5.3)$$

Cu ajutorul mărimilor adimensionale s-a putut scrie ecuația criterială sub formă implicită:

$$\varphi\left(\frac{m \cdot v^2}{E}, \frac{\rho \cdot v^2}{p}, \frac{h_1 \cdot p^{1/3}}{E^{1/3}}, u\right) = 0 \quad (5.4)$$

Pentru determinarea expresiei consumului de energie în procesul de laminare, s-a separat termenul E din ecuația criterială:

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) \quad (5.5)$$

În vederea unei prime aproximări s-a propus modelul matematic al produsului de puteri ale celorlalte mărimi adimensionale:

$$\frac{m \cdot v^2}{E} = k \cdot \left(\frac{\rho \cdot v^2}{p}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{h_1 \cdot p^{1/3}}{E^{1/3}}\right)^\beta \cdot u^\xi \quad (5.6)$$

unde: k, α, β, ξ sunt coeficienți constanți, respectiv exponenți care pot fi calculați prin regresie liniară bazată pe date experimentale.

Efectuând calculul s-a obținut:

$$E = k_1 \cdot \rho^{\frac{\alpha}{1+\frac{\beta}{3}}} \cdot p^{\left(\frac{\beta}{3}-\alpha\right) \cdot \frac{1}{1+\frac{\beta}{3}}} \cdot v^{\frac{2\alpha-2}{1+\frac{\beta}{3}}} \cdot h^{\frac{\beta}{1+\frac{\beta}{3}}} \cdot u^{\frac{\xi}{1+\frac{\beta}{3}}} \cdot m^{-\frac{1}{1+\frac{\beta}{3}}} \quad (5.7)$$

Notând:

$$a = \frac{\alpha}{1+\frac{\beta}{3}} ; b = \frac{\frac{\beta}{3}-\alpha}{1+\frac{\beta}{3}} ; c = \frac{2\alpha-2}{1+\frac{\beta}{3}} ; d = \frac{\beta}{1+\frac{\beta}{3}} ; e = \frac{\xi}{1+\frac{\beta}{3}} ; f = \frac{-1}{1+\frac{\beta}{3}} \quad (5.8)$$

Se obține:

$$E = k_1 \cdot \rho^a \cdot p^b \cdot v^c \cdot h^d \cdot u^e \cdot m^f \quad (5.9)$$

Relația nu poate fi rezolvată decât dând valori unor parametri și păstrând numai doi variabili, astfel că se pot obține grupuri de variabile $E = f(\rho, l)$ sau $E = f(h, \rho)$ și graficele:

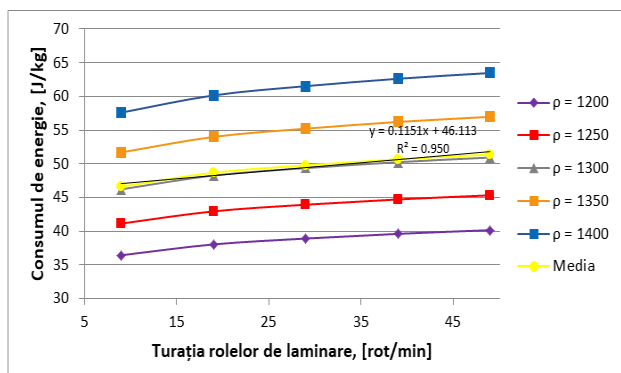


Fig. 5.2 Variația consumului de energie pentru cinci valori ale densității aluatului în funcție turația rolei de laminare

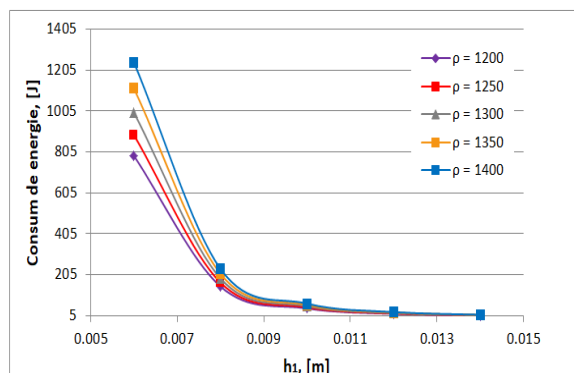


Fig. 5.3 Variația consumului de energie pentru cinci valori ale densității aluatului în funcție de distanța dintre rolele de laminare

5.2. UTILIZAREA SIMULĂRII ÎN PROCESUL DE FABRICARE A COVRIGILOR

5.2.1. Utilizarea simulării în procesul de trefilat aluatul de covrigi

Scopul acestui studiu de simulare numerică 3D cu element finit a fost acela de a simula comportarea structurii unui tambur profilat al unei mașini de fitilat aluat model GR 15 MINI, produsă de firma Italpan, Italia, utilizată în modelarea covrigilor, [206].

În prima etapă a studiului s-a realizat modelul geometric tridimensional simplificat al unui role profilete și al cadrului mașinii de fitilat. Modelarea 3D a fost realizată cu ajutorul programului de proiectare parametrizată Solid Works Premium 2016 S.P. 0.0.

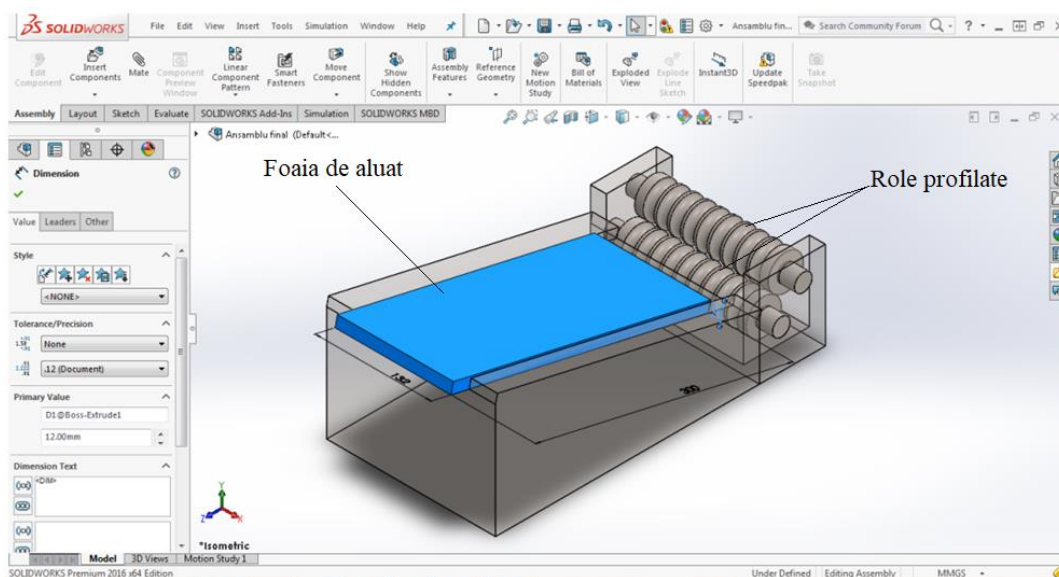


Fig. 5.7 Ansamblul precum și interfața software-ului utilizat

Înainte de realizarea simulării dinamice propriu-zise, fiecărei componente a ansamblului i s-au atribuit caracteristicile de material.

În urma simulării dinamice au rezultat valorile solicitărilor din rolele profilete, 2328 N pentru forța de reacțiune maximă din lagărul drept și 2323N pentru forța de reacțiune maximă din lagărul stâng. De asemenea, s-a obținut graficul cubei de variație a necesarului de putere la trefilare, iar valoarea maximă a fost de 51 W, cu mult peste valoarea de 144 W specificată în cartea tehnică a mașinii de trefilat.

A fost efectuată și o analiză cu element finit a rolei profilete din care au rezultat solicitările la care este supusă rola profiletată, împreună cu valorile lor numerice.

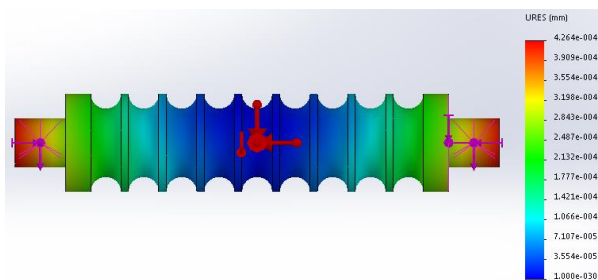


Fig. 5.5 Valorile deplasărilor apărute în tamburul profilat

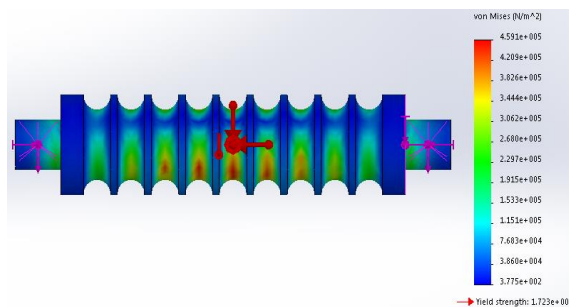


Fig.5.6 Valorile tensiunilor echivalente după criteriul von Mises

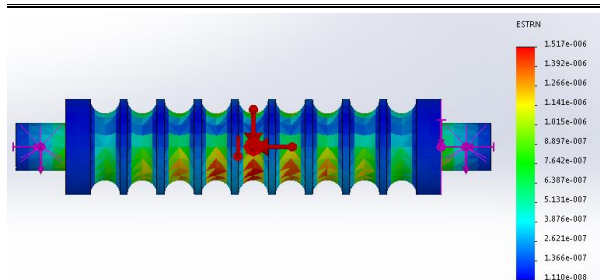


Fig. 5.7 Valorile deformațiilor echivalente apărute în rola profilată

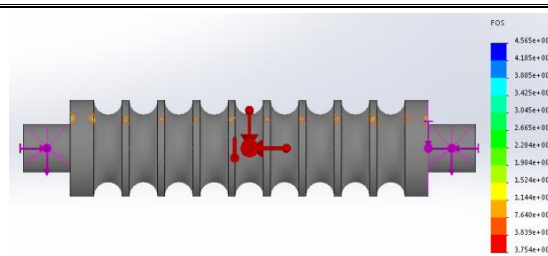


Fig. 5.8 Variația coeficientului de siguranță în rola profilată

Valoarea minimă a coeficientului de siguranță este atinsă în zonele în care se realizează tăierea longitudinală a bucății de aluat, deoarece aceste zone sunt cele mai solicitate, din acest motiv *se poate face recomandarea ca zonele de tăiere să nu mai fie executate cu muchii duble ci cu o singură muchie. În felul acesta va crește presiunea exercitată asupra bucății de aluat la tăierea longitudinală, reducând astfel tensiunile în rola profilată.*

5.2.2 Analiza curgerii aerului în camera de coacere a unui cuptor electric

Scopul acestui studiu a fost acela de a simula curgerea aerului cald în interiorul camerei de coacere a cuptorului electric Zanolli 06 40V.

În prima etapă s-a realizat modelul geometric tridimensional al pieselor cuptorului electric model Zanolly SYNTHESIS 06/40V E. Modelarea 3D a fost realizată cu programul de proiectare parametrizată Solid Works Premium 2016 S.P. 0.0.

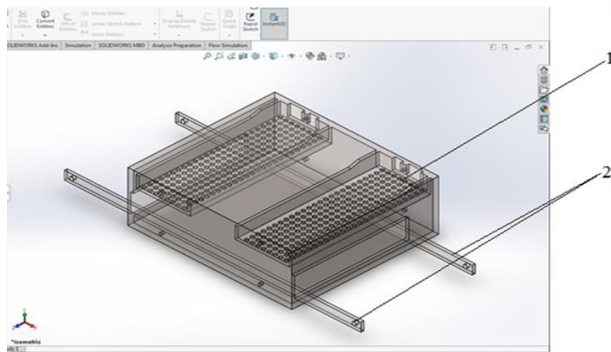


Fig. 5.9 Camera de coacere
1.orificii pentru curgerea aerului; 2. ghidaje pentru transportor

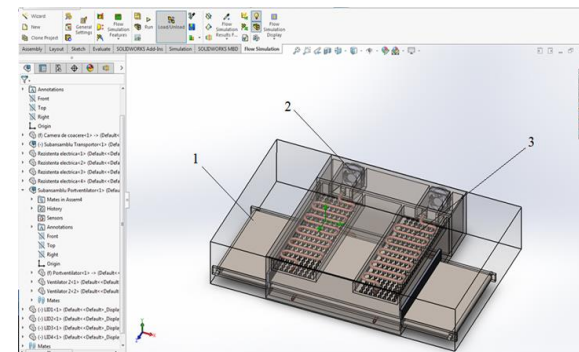


Fig. 5.10 Ansamblul utilizat în analiza de curgere a aerului
1.transportor; 2. ventilator; 3.rezistență electrică

După izolarea volumului interior al camerei s-a ales tipul de analiză, precum și parametrii fizici, tipul de fluid, materialul din care este executată camera de coacere, condițiile termice ale procesului și parametri termodinamici inițiali.

Conform programului pentru condițiile exterioare s-a ales un coeficient de transfer termic de 0,0369 W/m²K, calculat cu relația, [167]:

$$\alpha_T = \alpha_0 \frac{273 + C}{T + C} \left(\frac{T}{C} \right)^{3/2} \quad (5.10)$$

în care: α_T reprezintă coeficientul de conductivitate termică la temperatura T; α_0 - conductivitatea fluidului la 273 K (pentru aer $\alpha_0=0,0234$ W/m²K); T reprezintă temperatura

absolută (pentru analiza efectuată s-a considerat că temperatura în camera de coacere este de 230°C); C - constanta caracteristică fiecărui gaz (pentru aer C=122 K), [167]:

Totodată, au fost setate condițiile la granițele domeniului computațional, au fost stabiliți parametrii ventilatoarelor și au fost setate sursele de căldură din interiorul camerei de coacere.

După efectuarea analizei, programul a înregistrat în propria bază de date circulația curenților de aer și temperaturile acestora în interiorul camerei de coacere.

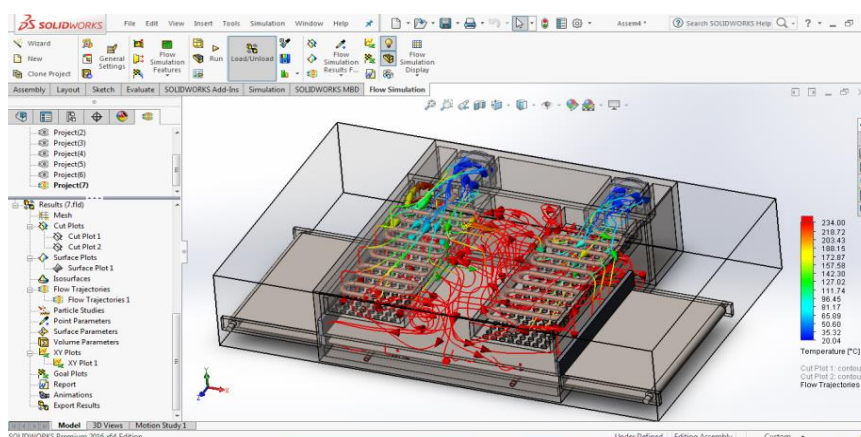
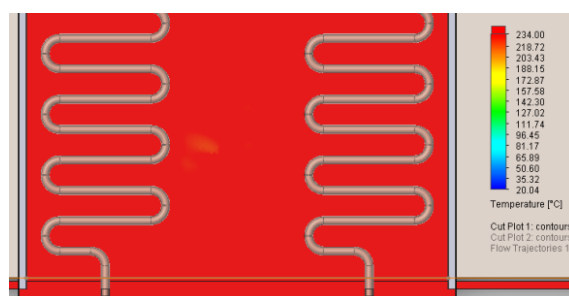
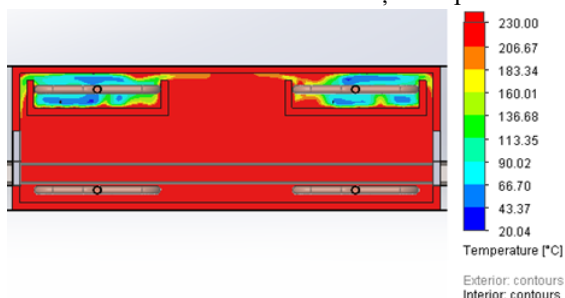


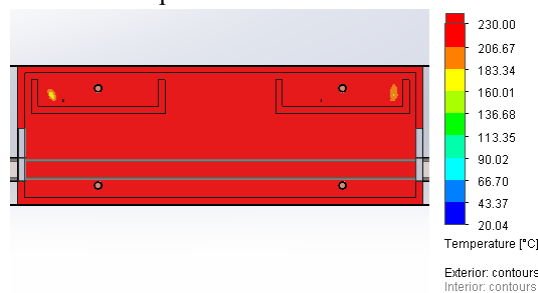
Fig. 5.22 Distribuția curenților de aer în interiorul camerei de coacere



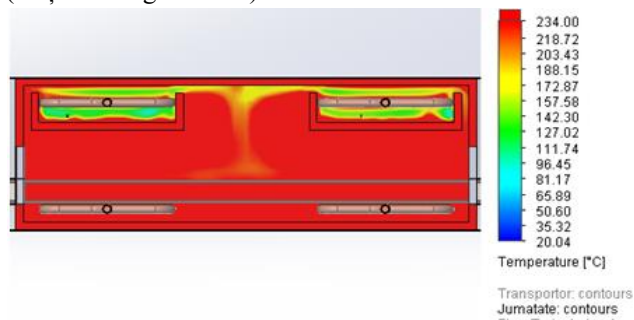
Distribuția temperaturii la nivelul benzii transportorului



Distribuția temperaturii în zona de alimentare a aerului în camera de coacere (secțiune longitudinală)



Distribuția temperaturii în zona opusă alimentării cu aer în camera de coacere (secțiune longitudinală)



Distribuția temperaturii în zona mediană a transportorului (secțiune longitudinală)

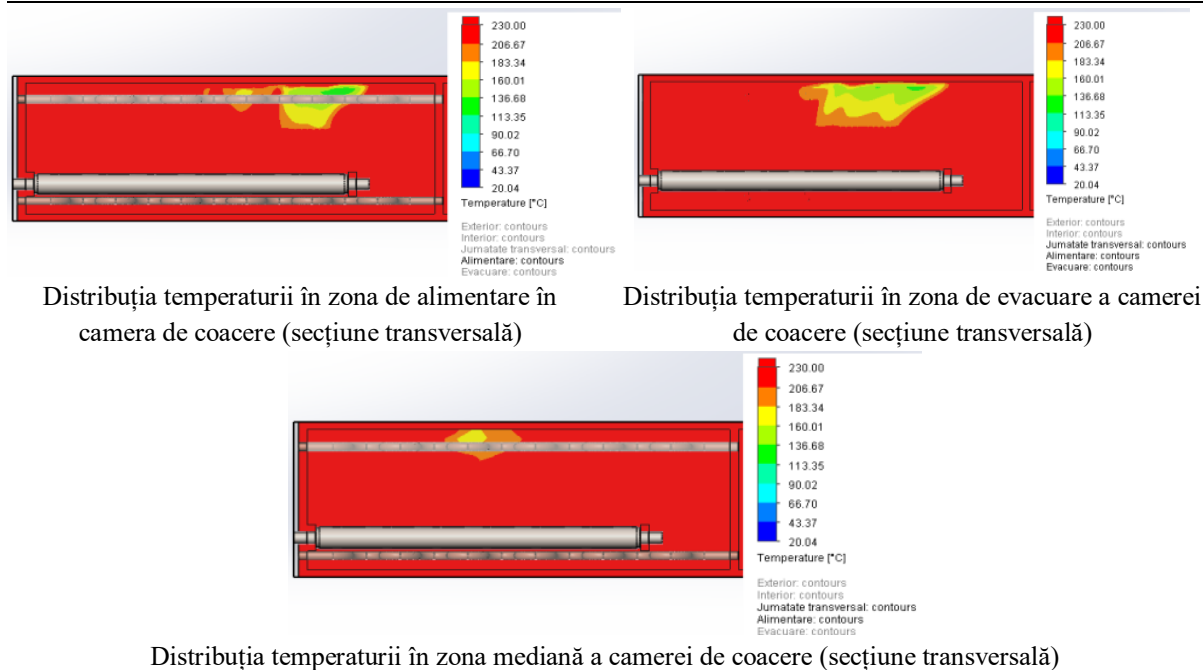


Fig. 5.11 Distribuția temperaturii în interiorul camerei de coacere în mai multe secțiuni caracteristice

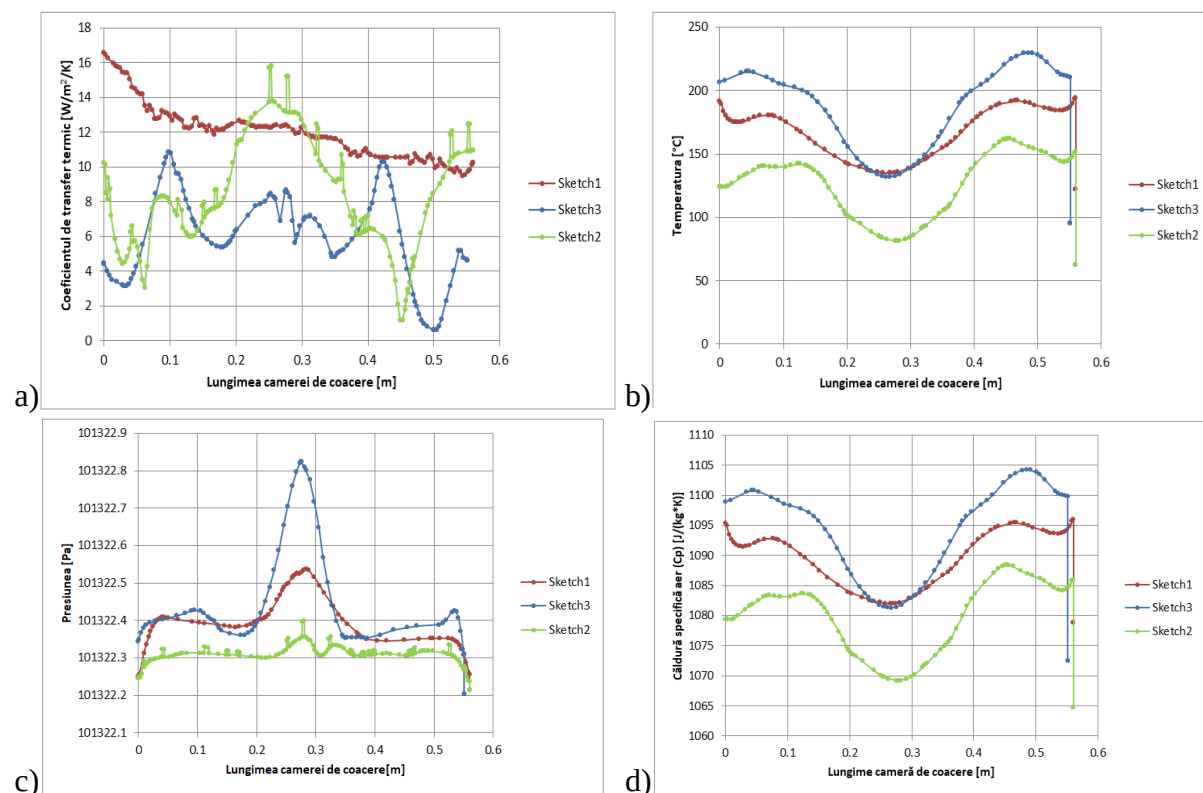


Fig.5.12 Variația coeficientului de transfer termic (a), temperaturii aerului (b), presiunii aerului (c) și căldurii specifice (d) pe lungimea camerei de coacere

În cazul cuptorului electric analizat, vorticitatea (pe cele trei zone de mai sus) este reprezentată în figura 5.13, conform [175], vorticitatea este definită ca fiind un concept matematic utilizat în mecanica fluidelor și reflectă intensitatea circulației sau rotației unui fluid și este reprezentată, de cele mai multe ori, prin viteza unghiulară de rotație.

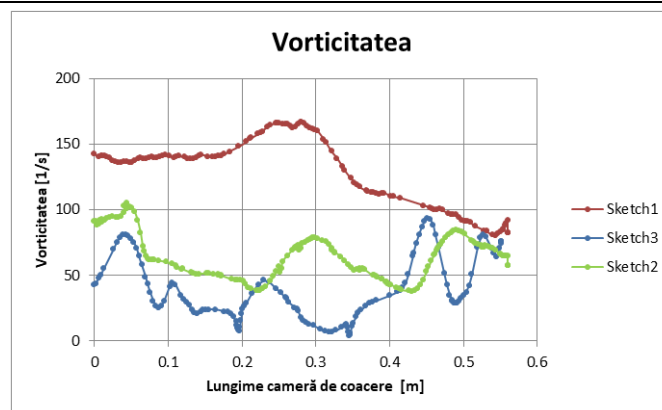


Fig. 5.13 Variația vorticității pe lungimea camerei de coacere

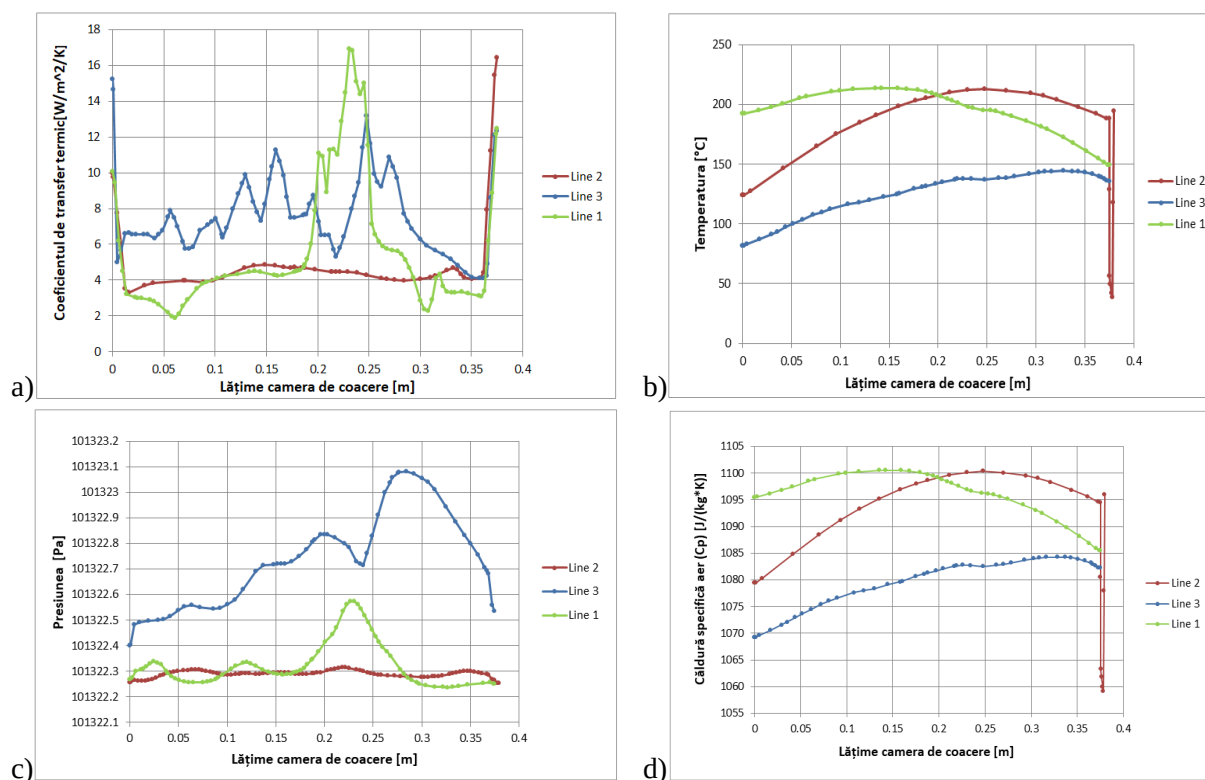


Fig. 5.14 Variația coeficientului de transfer termic (a), temperaturii aerului (b), presiunii aerului (c) și căldurii specifice (d) pe lățimea camerei de coacere

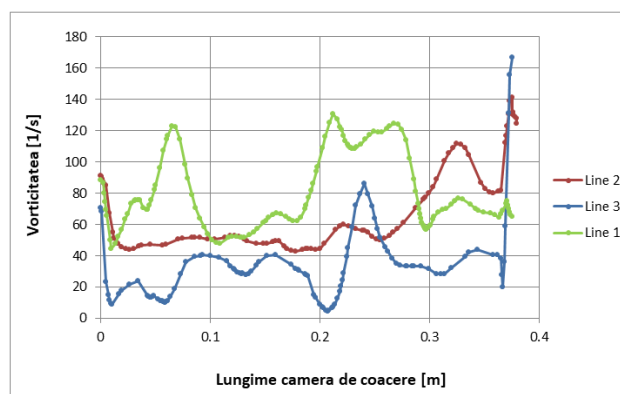


Fig. 5.15 Variația vorticității pe lățimea camerei de coacere

La baza acestui studiu au stat ecuațiile lui Navier-Stokes, care reprezintă baza pentru aproape toate modelele de flux al CFD (Computational Fluid Dynamics). Rezolvarea acestor ecuații predictează viteza fluidului și presiunea acestuia într-o anumită geometrie de incintă, [3].

Ecuția de continuitate:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho v) = 0 \quad (5.11)$$

Ecuția Navier-Stokes:

$$\rho \frac{\delta v}{\delta t} = -\nabla p + \rho g + \mu \nabla^2 v \quad (5.12)$$

unde: ρ reprezintă densitatea fluidului (pentru aer $\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$); v - viteza fluidului (pentru analiza s-a determinat viteza aerului $v = 2,4 \text{ m/s}$); p - presiunea atmosferică ($p = 1 \text{ atm}$); μ - vâscozitatea dinamică a fluidului (pentru aer $\mu = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$), [170].

5.2.3 Validarea simulării curgerii aerului în interiorul camerei de coacere a cuptorului electric

Pentru validarea valorilor temperaturii obținute în cadrul simulării curgerii aerului în interiorul camerei de coacere a cuptorului electric, s-au făcut o serie de măsuratori cu ajutorul multimetrului Extech MP530 MultiPro True RMS și a unui termocuplu.



Fig. 5.16 Imagini din cadrul determinărilor experimentale

Astfel, s-au obținut următoarele valori ale temperaturii: pentru zona de întare jos valoarea temperaturii a fost de 214°C , pentru zona de ieșire pe linia mediană jos valoarea temperaturii a fost 226°C , pentru zona de mijloc sus valoarea temperaturii a fost de 249°C , iar pentru zona de mijloc jos valoarea temperaturii a fost de 249°C .

5.3. CONCLUZII

Având în vedere rezultatele, analizei structurale a unei role profilate ale unei mașini de modelat aluat pentru covrigi, se poate face recomandarea ca zonele de tăiere să nu mai fie executate cu muchii duble ci cu o singură muchie.

Pentru reducerea consumului de energie al unor astfel de mașini se face recomandarea ca motoarele să nu mai fie supradimensionate. Chiar dacă s-ar reduce conținutul de apă din aluat, măbind astfel rigiditatea acestuia, astfel un motor electric de 100 W este suficient pentru funcționarea în bune condiții a mașinii de modelat.

În urma simulării efectuate cu ajutorul programului Solid Works, modulul "Flow Simulation", a curgerii aerului în camera de coacere a unui cuptor electric, au putut fi obținute

valori pentru coeficientul de transfer termic, temperatura aerului, presiunea aerului, căldura specifică, vorticitatea, toți parametrii pe lungimea și lățimea camerei de coacere.

Pentru evitarea pierderilor de căldură din zona mediană a camerei de coacere se recomandă fie ca aerul ce este introdus în camera de coacere să fie preîncălzit înainte de alimentare în camera de coacere (dar nu înainte de aspirația ventilatoarelor pentru a le proteja pe acestea), fie prin spargerea acelor turbioane ce se formează în interiorul camerei de coacere și care antrenează aerul rece alimentat în camera de coacere către zona mediană și către suprafața transportorului. Spargerea acestor turbioane se poate face cu ajutorul unor plăcuțe deflectoare distribuite în zonele de intensitate maximă a vorticității curenților de aer.

CAPITOLUL 6 - CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE AL COVRIGILOR

6.1. OBIECTIVELE CERCETĂRII EXPERIMENTALE

Cercetările experimentale efectuate au avut ca obiectiv principal analiza caracteristicilor fizice ale aluatului și modificărilor structurii acestuia suferite pe parcursul întregului flux tehnologic de obținere al covrigilor, dar și analiza procesului de lucru a utilajelor de pe fluxul tehnologic.

6.2. APARATURĂ ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE ÎN CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A FABRICĂRII COVRIGILOR

Cercetările experimentale s-au desfășurat în perioada 2015-2019 în laboratoarele de specialitate din cadrul Facultății Ingineria Sistemelor Biotehnice - Departamentul de Sisteme Biotehnice. O parte din aparatura utilizată pentru realizarea cercetărilor sunt prezentate în următoarele figuri:

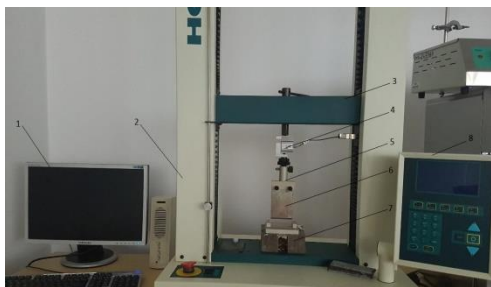


Fig.6.1 Aparat de încercări mecanice
HOUNSFIELD H1KS



Fig.6.2 Mașină de făcut paste cu
motor IMPERIA Titania 675, 6 reglaje

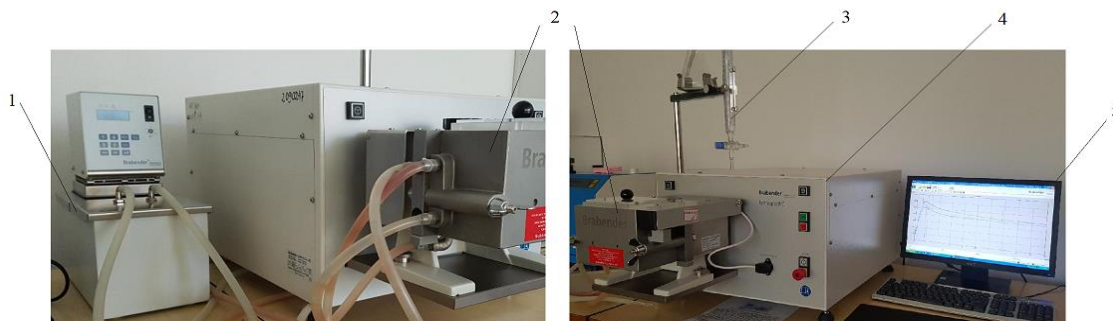
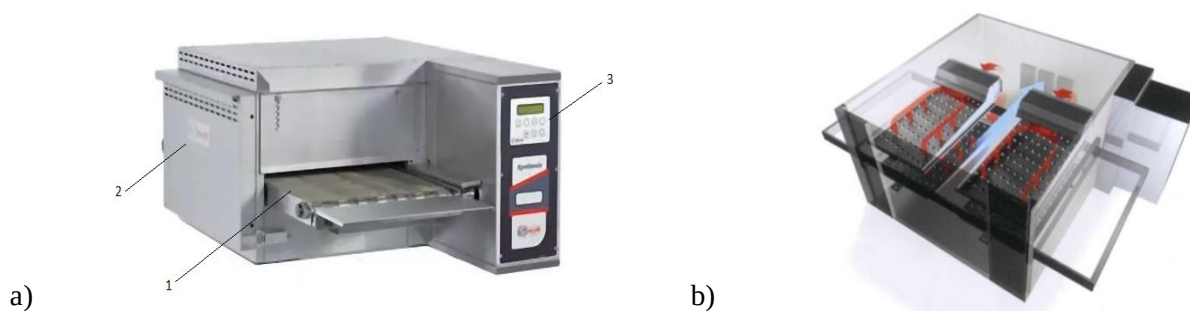
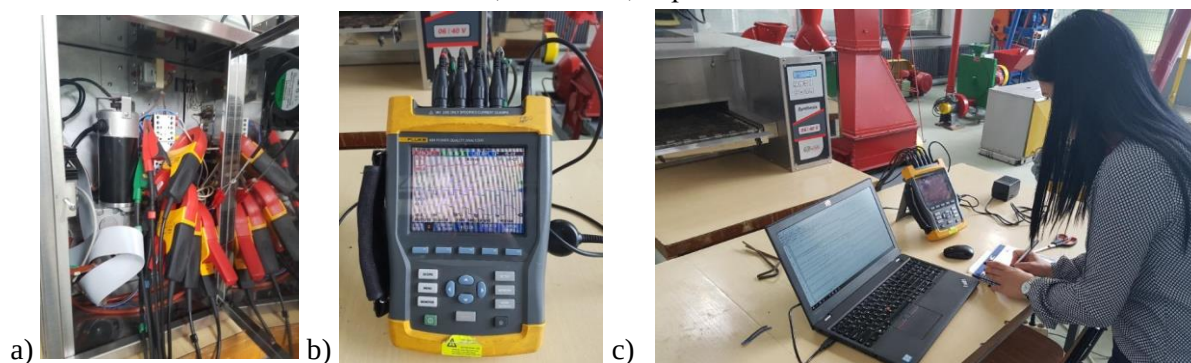


Fig. 6.3 Farinograf Brabender cu achiziție de date pe calculator



descrișă în cartea tehnică, [46]

1.vatră mobilă; 2. carcasă; 3. panou de comandă



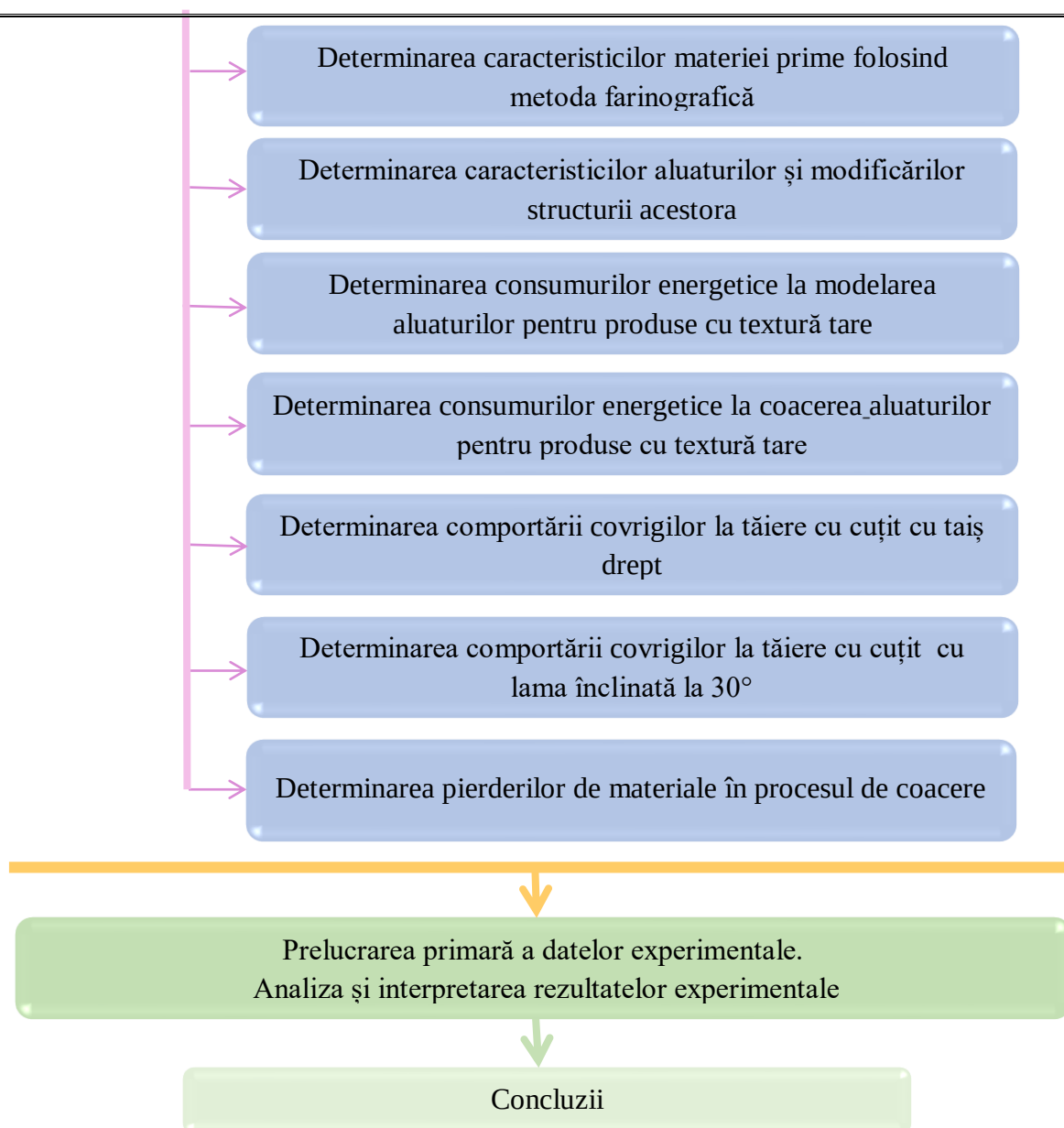
6.3 METODICA DETERMINĂRIILOR EXPERIMENTALE

În vederea atingerii obiectivelor cercetărilor experimentale, s-a realizat și s-a urmarit programul cercetării experimentale de mai jos.

Procurarea materiei prime folosite la cercetările experimentale

Locul desfășurării activității:
Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice

Instrumente și aparatura utilizată la efectuarea cercetărilor experimentale:
Balanță electronică Kern (precizie 0,1g); termobalanță Kern RH 120-3; aparat pentru determinarea activității apei Rotronic; sticlărie de laborator; farinograf Brabender cu înregistrare electronică; dispozitiv cu cilindru, piston și orificiu de curgere pentru determinarea curgerii suspensiilor făină - apă; aparat de încercări mecanice Hounsfield H1KS; calculator PC; frământător de aluat cu braț spiral planetar DitoSima; Frământător de aluat cu braț spiral ITB ; aparat Titania 675; friteuză cu temperatură reglabilă; cuptor electric Zanolli SYNTHESIS 06 40V E; clește ampermetric trifazat Fluke 434



6.4.MATERII PRIME ȘI MATERIALE FOLOSITE LA FABRICAREA COVRIGILOR

Pentru cercetările experimentale s-au folosit făinuri albe de grâu și: apă potabilă de la rețeaua orășenească, grăsimi vegetale (ulei de floarea soarelui), sare de bucătărie, drojdie proaspătă de panificație specia *Saccharomyces Cerevisiae*, zahăr cristale.

6.5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ÎN CADRUL TEZEI DE DOCTORAT

6.5.1. Cercetări experimentale privind caracteristicile materiilor prime și ale aluaturilor folosite la fabricarea covrigilor

a) Cercetări privind caracteristicile suspensiilor făină – apă la trecerea prin orificii

În cadrul studiului privind caracteristicile suspensiilor făină – apă la trecerea prin orificii se prezintă modul de curgere prin conducte cu diametrul mic a unei suspensii fluide pe bază de făină, la mai multe temperaturi de lucru, sub influența unei presiuni realizată de o pompă cu piston, teste care simulează curgerea fluidelor pe bază de făină prin orificiile unei matrițe (exemplu cazul vafelor, clătitelor, checuri, brișe etc.).

Pentru realizarea experimentelor, a fost folosită făină tip FA 650, procurată din comerț și apă potabilă. Compoziția pentru o singură probă a fost preparată din 100 ml apă și 14 g făină de grâu cu diametrul particulelor sub 100 μm .

În urma determinărilor experimentale au fost obținute rezultatele prezentate în tabelul 6.1 și graficele din figura 6.6, prelucrate cu ajutorul programului MS Office Excel.

Tabel 6.1 Variația forței rezistente de apăsare la diferite temperaturi

Tip	Forța [N]	Temperatura			
		27°C	40°C	50°C	65°C
l=10 mm $\phi=2$ mm	Max.	1,5	2,8	3	5,1
	Min.	0,8	1,8	2,1	4,9
l=53 mm $\phi=0,838$ mm	Max.	5,1	4,8	5,8	37,0
	Min.	3,2	4,4	5,1	33,5

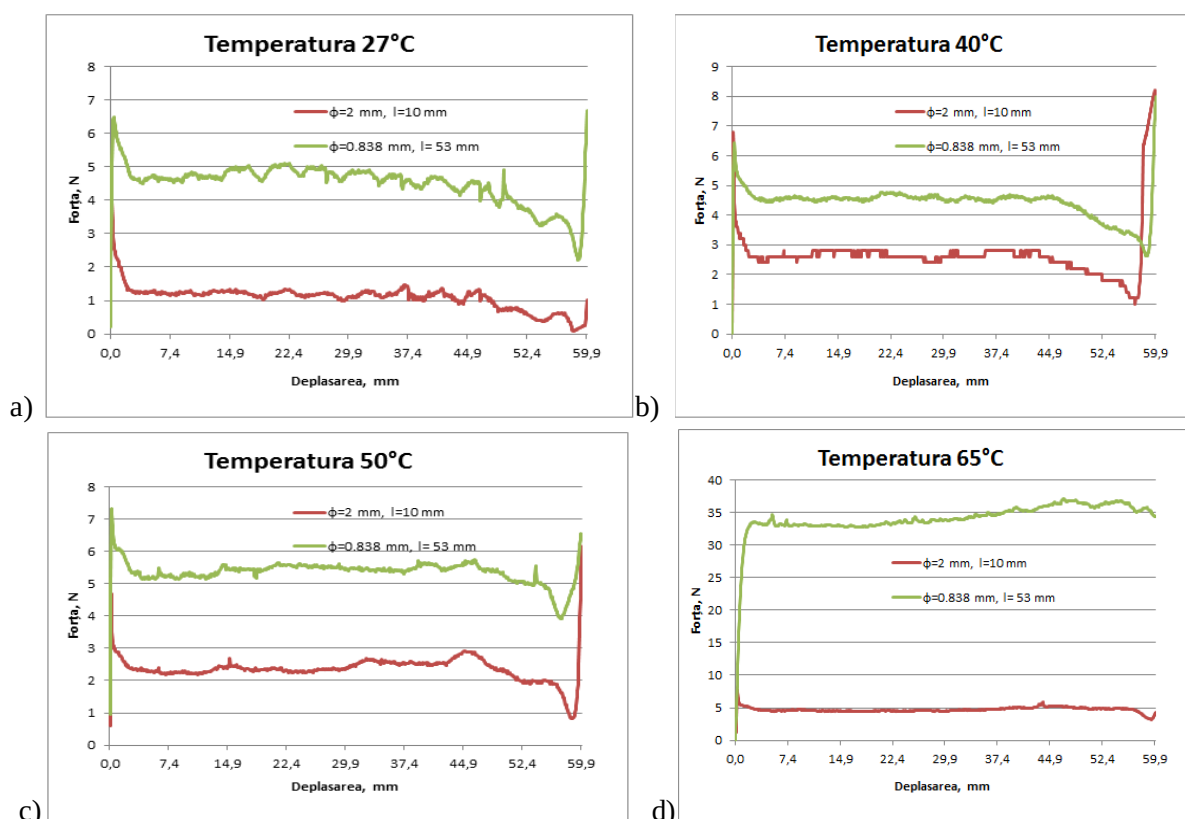


Fig. 6.6 Variația forței rezistente de apăsare a pistonului pentru cele patru tipuri de suspensie care au fost supuse la teste de curgere prin canale cu dimensiuni diferite

Se poate concluziona că gelificarea granulelor de amidon influențează semnificativ curgerea prin canale (în special prin canale înguste), iar mașinile de extrudat, respectiv injectat trebuie adaptate temperaturilor de lucru (respectiv puterea de acționare trebuie să fie mai mare atunci când se lucrează la temperaturi mai mari de 60°C). Acest lucru este mult mai sesizabil pentru canale înguste lungi, deoarece pierderile pe traseu sunt influențate de raportul l/d .

b) Cercetări farinografice privind caracteristicile aluaturilor pentru covrigi

Studiul prezintă analiza proprietăților reologice ale făinii de grâu folosită la cercetările ce au vizat determinarea extensibilității aluatului, a consumurilor de energie la modelarea și coacerea aluaturilor pentru produse cu textură tare, dar și a caracteristicilor mecanice ale covrigilor obținuți.

Cercetările caracteristicilor farinografice se fac în vederea stabilirii calității făinurilor. Ele au o importanță deosebită atât în procesul tehnologic de obținere a produselor de panificație, cât și a celor de patiserie, [101, 103].

Tabelul 6.2 Caracteristicile curbei farinografice obținute pentru făina de grâu FA₄ 650

Caracteristici farinografice	Valori
Capacitate de hidratare [%]	62,0
Corecție pentru 500 U.F.	59,7
Dezvoltare aluat [min]	2,2
Stabilitate aluat [min]	3,7
Grad de înmuiere aluat [U.F]	46
Indicele farinografic	46

Tabelul 6.3 Criterii de apreciere a calității făinii

Făină	Caracteristici farinografice				
	Capacitate de hidratare [%]	Dezvoltare aluat [min]	Stabilitate aluat [min]	Grad de înmuiere aluat [U.F.]	Indicele farinografic
Foarte bună	Peste 65	Peste 3	Peste 8	Sub 60	Peste 65
Bună	60 - 65	2 - 3	5 - 8	60 - 80	50 - 65
Satisfăcătoare	55 - 60	1,5 - 2	3 - 5	80 - 100	40 - 50
Nesatisfăcătoare	Sub 55	Sub 1,5	Sub 3	Peste 100	Sub 40

Tabelul 6.4 Parametrii farinografici pentru cele trei tipuri de făină de grâu FA₁ 650, FA₂ 650, FA₃ 650

Caracteristici farinografice	Faina FA 650		
	FA ₁ 650	FA ₂ 650	FA ₃ 650
Capacitate de hidratare [%]	65,7	62,1	60,1
Corecție pentru 500 U.F.	65,6	62,2	60,2
Dezvoltare aluat [min]	2	1,8	2,5
Stabilitate aluat [min]	4	2,2	4,2
Grad de înmuiere aluat [U.F.]	70	59	69
Indicele farinografic	49	33	56

c) Extensibilitatea aluatului

Extensibilitatea aluatului reprezintă proprietatea lui de a se întinde, fără a se rupe, [36, 205]. Rezultatele privind întinderea aluatului ajută la stabilirea proprietăților reologice ale acestuia, cantitățile ingredientelor pentru obținerea lui, inclusiv posibilitatea de prelucrare și de coacere, [28].

Pentru a realiza testul de extensibilitate propus în cadrul obiectivelor tezei, bucățile de aluat au fost modelate sub formă de fitile cu o lungime de 400 mm și diametru de aproximativ 16 mm și așezate pe traversa fixă a aparatului de încercări mecanice tip HOUNSFIELD H1KS. Aparatul utilizat în cadrul experimentelor a fost dotat cu un cârlig, o celulă de forță de 1000 N și un sistem de prindere a capetelor fitilelor de traversa fixă a aparatului. Pentru înregistrarea forței maxime care a fost aplicată pentru întinderea până la ruperea fitilului de aluat s-a utilizat un computer pe care a fost instalat programul software Qmat. După prinderea fitilului de traversa fixă și agățarea cârligului pe traversa mobilă, fitilul

a fost tras pe verticală cu o viteză de 50 mm/min. Deplasarea cârligului s-a făcut până când fitilul de aluat s-a rupt în una din zonele de rupere a, b, c, d, e din figura 6.7. În momentul ruperii fitilului de aluat în sistemul de achiziție a datelor cu program software Qmat s-au înregistrat forța maximă la care s-a produs ruperea fiecărei probe de fitil și cursa de deplasare a cârligului pe verticală.

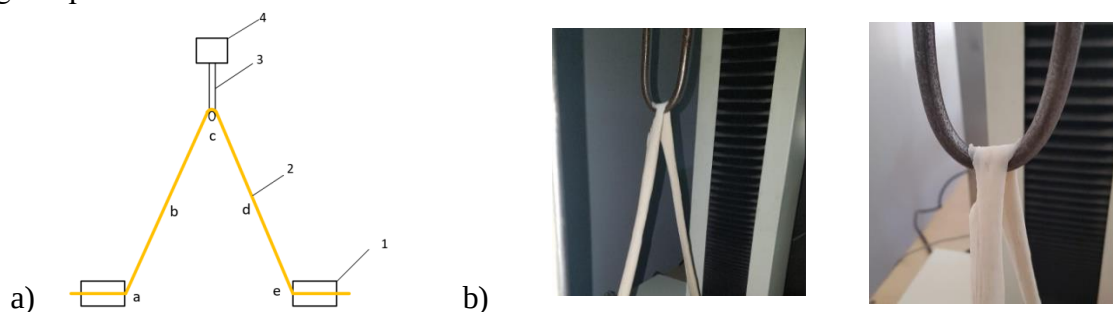


Fig. 6.7 a) Test de tracțiune care arată extensibilitatea aluatului și zonele de rupere (a, b, c, d, e); 1. suportul de fixare al fitilului; 2. fitil; 3. cârlig; 4. celulă de forță (10 N);. b) exemplu

Rezultatele experimentale înregistrate pentru forța maximă, respectiv deplasarea cârligului corespunzătoare valorii maxime a forței sunt prezentate în tabelul 6.5.

Tabel 6.5 Rezultatele experimentale înregistrate în urma determinărilor

		Aluat cu 45% apă (tip I)		Aluat cu 55% apă (tip II)	
		Forța maximă [N]	Deplasare cârlig [mm]	Forța maximă [N]	Deplasare cârlig [mm]
Proba	1	1,53	200	2,67	246
	2	1,90	182	2,7	278
	3	2,03	215,2	2,17	234
	4	1,87	193	3,17	248
Media		1,83	197,55	2,67	259,4

Valorile modulului de elasticitate (E) determinat prin regresie liniară, valorile lungimii fitilului după întindere (L), valorile deformației (ε) și rezistenței aluatului la întindere (σ_{al}) sunt prezentate în tabelul 6.6.

Tabel 6.6 Caracteristicile fizice și datele experimentale obținute pentru fitilele de aluat pentru covrigi

Tip aluat	Proba	$L_0 \cdot 10^{-3}$ [m]	$L \cdot 10^{-3}$ [m]	ε [%]	E [MPa]	σ_{al} [MPa]
Aluat cu 45% apă	1	300	500	40	0,031	0,020
	2	300	470	36,17	0,041	0,023
	3	300	524	42,74	0,041	0,028
	4	300	488	38,52	0,039	0,024
Aluat cu 55% apă	1	300	576	47,91	0,048	0,040
	2	300	630	52,38	0,052	0,045
	3	300	554	44,85	0,041	0,031
	4	300	578	48,09	0,062	0,048

Pentru a scoate în evidență creșterea extensibilității aluatului odată cu creșterea cantității de apă în aluat s-a făcut media valorilor modulului de elasticitate și a lungimii fitilului de aluat la întindere și s-au expus în figurile 6.8 și 6.9.

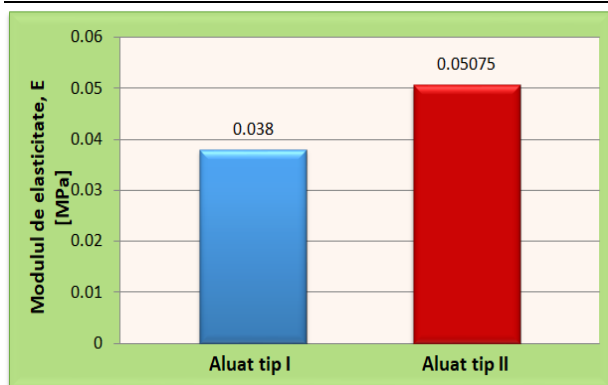


Fig. 6.8 Evidențierea diferenței modulului de elasticitate mediu pentru cele două tipuri de aluat

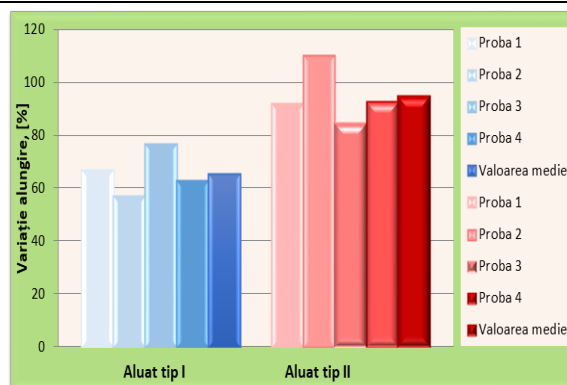


Fig. 6.9 Evidențierea variației lungimii fitilului de aluat la întindere pentru cele două tipuri de aluat

6.5.2 Cercetări experimentale privind consumurile energetice la modelarea și coacerea aluaturilor pentru produse cu textură tare

a) Cercetări privind laminarea și trefilarea aluaturilor

Laminarea și trefilarea aluatului între rolele/cilindrii de laminare și trefilare, ce se rotesc în sens contrar și cu același diametru sau diametre diferite, sunt operații des utilizate în industria panificației ca un proces de formare a aluatului pentru o gamă variată de produse: biscuiți, pizza, taiței, paste, pâine și alte produse de patiserie, contribuind totodată și la dezvoltarea structurii lui, [47, 75, 91, 115, 144].

Rezultatele obținute pentru aluaturile preparate din cele trei tipuri de făină albă de grâu sunt prezentate în tabelul 6.7.

Tabelul 6.7 Parametrii aluatului și consumurile de energie la laminare și trefilare

Proba de făină	Conținut de umiditate al făinii (%)	Capacitate de hidratare, (ch %)	Consum energie la trefilare ($\cdot 10^3$ J)	Consum specific de energie la trefilare ($\cdot 10^3$ J/kg)	Consum energie la laminare ($\cdot 10^3$ J)	Consum specific de energie la laminare ($\cdot 10^3$ J/kg)
FA ₁ 650	9,56	65,6	9,00	5,39	11,52	6,91
FA ₂ 650	10,45	62,2	6,84	4,10	10,80	6,47
FA ₃ 650	11,59	60,2	6,48	3,88	9,72	5,83

Din tabelul 6.7 se constată faptul că energia consumată pentru trefilarea, respectiv laminarea, bucăților de aluat preparate cu cele trei tipuri de făină sunt diferite și evidențiază faptul că ele cresc odată cu scăderea valorii conținutului de umiditate, respectiv cu creșterea capacității de hidratare a făinii.

Ținând cont de faptul că au fost respectate cantitățile de apă din rețetă și nu s-a ținut cont de capacitatea de hidratare a făinii și nici de conținutul de umiditate, se poate spune că diferența consumului de energie este dată de cantitățile mici de apă și ulei folosite la prepararea aluatului.

b) Cercetări privind coacerea covrigilor

Pentru realizarea determinărilor consumului de energie la coacere, s-a utilizat un cuptor electric, Zanolli SYNTHESIS 06 40V E, destinat coacerii diferitelor tipuri de covrigi și pizza și cleștele ampermetric trifazat Fluke 434.

Datele achiziționate de aparat au fost pentru coacerea a 20 bucăți covrigi/ experiment, dispuși câte 4 pe 5 rânduri. Înaintea încărcării cuptorului s-au achiziționat date pentru mersul în gol al agregatului (fără aluat). Experimentele au fost făcute pentru mai multe tipuri de aluaturi de covrigi, și pentru mai multe seturi de parametri ai cuptorului electric.

Pentru înregistrarea datelor la mersul în gol au fost păstrate setările făcute pentru fiecare program de coacere aferent fiecărui sortiment de covrigi.

În urma determinărilor experimentale au fost obținute rezultatele prezentate în tabelul 6.8 și graficele din figurile 6.10 - 6.11, prelucrate cu ajutorul programului MS Office Excel.

Tabelul. 6.8 Datele experimentale înregistrate cu ajutorul aparatului FLUKE 434

Rezistența electrică	Consum de energie [$\cdot 10^3$ J]					
	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	Covrigi tip I	Fără covrigi	Covrigi tip II	Fără covrigi	Covrigi tip III	Fără covrigi
L1	1104	1098	1104	1080	1104	1080
L2	1056	576	1056	576	1248	576
L3	768	444	720	384	816	384
Total	2928	2118	2880	2040	3168	2040

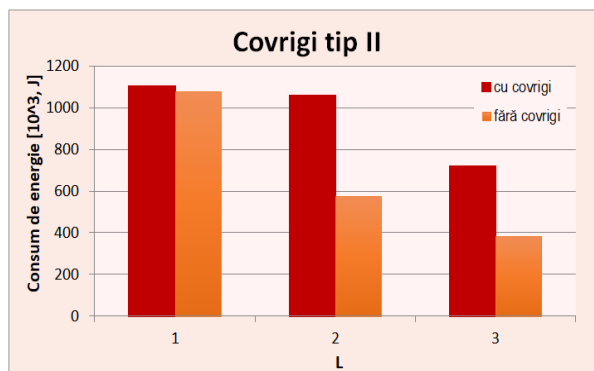
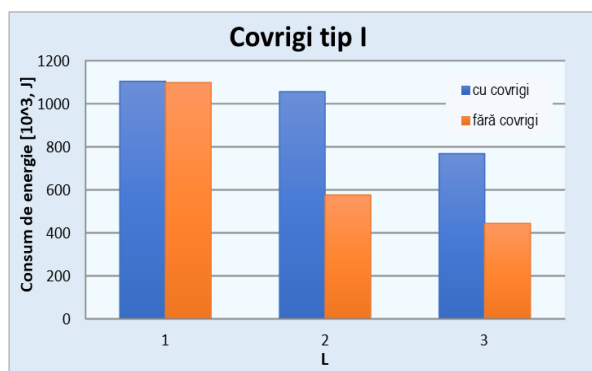


Fig.6.10 Variația consumului de energie la coacerea de covrigilor și la mersul în gol aferent aceluiași program de coacere

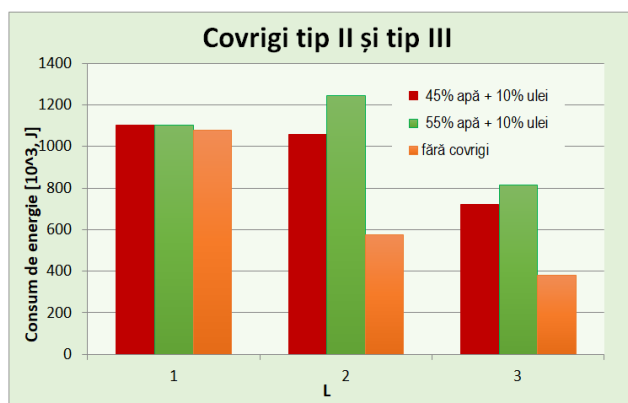


Fig.6.11 Variația consumului total de energie la coacerea covrigilor și la mersul în gol, aferent aceluiași program de coacere pentru covrigii tip II și tip III

Din analiza datelor din tabelul 6.8 și a graficelor din figurile 6.10- 6.11 se poate constata faptul că dacă în interiorul camerei de coacere a cuptorului electric cu bandă, se introduce un aluat cu un conținut crescut de umiditate, crește și valoarea energiei electrice consumate. Astfel că, pentru coacerea semifabricatelor cu 45% apă și 10% ulei consumul de energie a fost de $2880 \cdot 10^3$ J, iar pentru coacerea semifabricatelor cu 55% apă și 10% ulei consumul de energie a fost de $3168 \cdot 10^3$ J. Această creștere se datorează faptului că rezistențele electrice sunt nevoite să producă mai multă căldură pentru a ajuta la evaporarea apei din compoziția bucăților de aluat.

6.5.3. Cercetări privind caracteristicile mecanice ale covrigilor fabricați pe linia tehnologică de fabricat covrigi

În acest studiu s-a propus investigarea efectului timpului de păstrare și modului de depozitare a covrigilor asupra durității acestora.

În lucrarea [61] se menționează faptul că, procesul de masticăție a devenit un subiect important de cercetare în studiile analizelor senzoriale și nutriționale. Acest proces determină eliberarea aromei și percepția texturii, dar influențează negativ biodisponibilitatea nutrienților.

Legătura strânsă dintre structura produselor de brutărie și rezistența lor la descompunere conduce la realizarea de produse finite astfel încât să se poată controla digestia lor încă din faza de masticăție, [61]. Structura lor se schimbă datorită diferitelor metode de prelucrare a aluatului, dar și în funcție de modul și timpul de depozitare.

Pentru a evidenția comportarea la solicitări mecanice a covrigilor în funcție de modul de păstrare, dar și de timpul de păstrare, tipurile de covrigi I, II și III, au fost împărțite în două grupe. O grupă a fost lăsată la păstrat în aerul liber din încăperea, iar cealaltă probă a fost păstrată în ambalaje de hârtie. Tipul IV de covrigi a fost păstrat doar în ambalaj de hârtie. Determinările pentru toate probele s-au făcut la diferite intervale de timp de la coacere, 1h, 24h și 48 h. Păstrarea probelor s-a făcut în condiții în așa fel încât atât umiditatea, cât și proprietățile fizico-mecanice să nu se modifice semnificativ.

Determinările au constatat în supunerea covrigilor la forfecare prin tăiere în urma cărora s-a determinat forța maximă de tăiere.

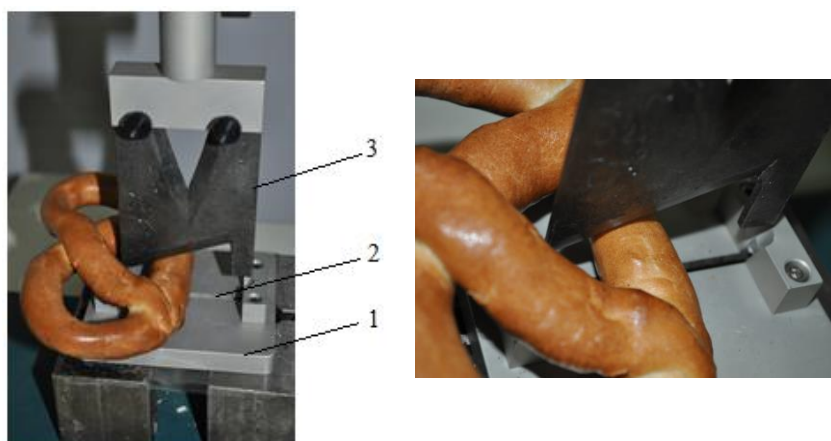


Fig.6.12 Imagini din timpul experimentelor făcute cu aparatul HOUNSFIELD H1KS
1. placă de sprijin; 2. fantă; 3. lamă de tăiere cu unghi de înclinare 30° și unghi de ascuțire 20°

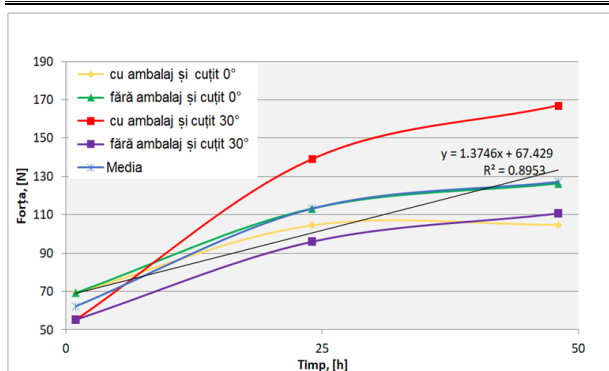


Fig. 6.13 Variația forței de tăiere a covrigilor tip I în funcție unghiul de înclinare al lamei cuțitului, modul și timpul de păstrare al acestora

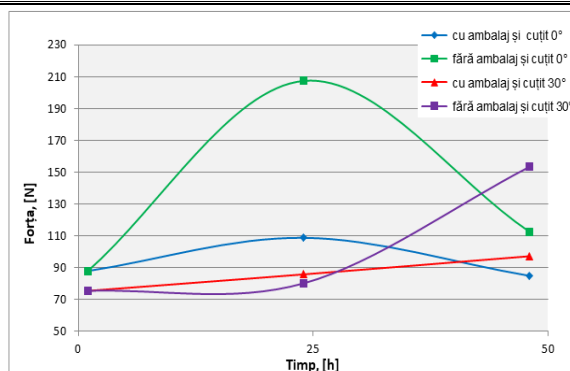


Fig. 6.14 Variația forței de tăiere a covrigilor tip II în funcție unghiul de înclinare al lamei cuțitului, modul și timpul de păstrare al acestora

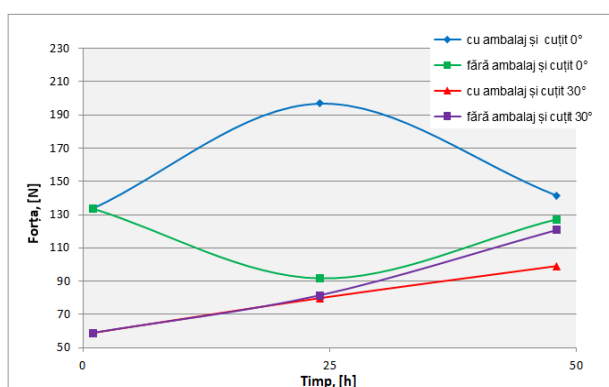


Fig. 6.15 Variația forței de tăiere a covrigilor tip III în funcție unghiul de înclinare al lamei cuțitului, modul și timpul de păstrare al acestora

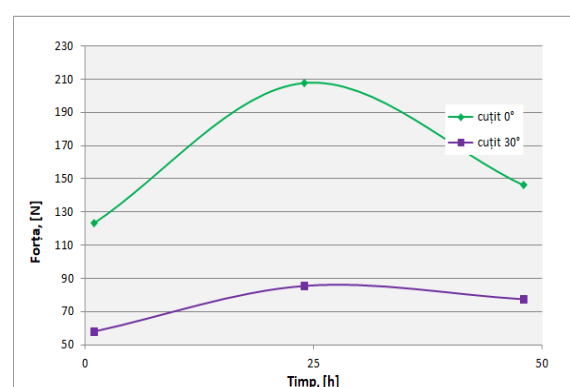


Fig. 6.16 Variația forței de tăiere a covrigilor tip IV în funcție unghiul de înclinare al lamei cuțitului și timpul de păstrare al acestora

Curbele de variație ale forței de tăiere în funcție de parametri amintiți sunt prezentate în figurile 6.13 – 6.16. Pentru a putea scoate în evidență variația forței de tăiere a covrigilor în funcție de timp și de modul de păstrare al acestora, s-a luat în considerare pentru fiecare curbă de pe grafic și valoarea forței de tăiere a covrigilor după 1 h de la scoaterea acestora din cuptor.

Cele mai mari diferențe ale forțelor de tăiere înregistrate pentru cele 4 tipuri de covrigi s-au întâlnit între probele de covrigi supuse procesului de tăiere la 1h de la scoaterea acestora din cuptor și cele supuse tăierii la 24h de la scoaterea din cuptor, păstrate sau nu în ambalaj de hârtie. Această diferență poate fi explicată prin faptul că probele care au înregistrat forțele de tăiere cele mai mari au înregistrat cea mai mare duritate, duritate cauzată de pierderea prospețimii. Totodată, prin pierderea prospețimii, covrigii au devenit casași, iar în momentul în care aceștia au fost tăiați, forța aplicată a dus la ruperea probelor și nu tăierea lor, motiv pentru care unele probele care au fost păstrate sau nu în ambalaj de hârtie au înregistrat forțe mai mici de tăiere comparativ cu forțele înregistrate pentru tăierea probelor la 1h de la scoaterea lor din cuptor.

6.5.4 Cercetări privind pierderile de materiale în procesul de coacere a covrigilor

Aproape orice pierdere de umiditate din produsele de panificație are loc în timpul procesului de coacere din cauza evaporării apei. Variațiile pierderii de umiditate sunt cauzate de natura aluatului și de condițiile de coacere. Datorită efectului căldurii în timpul procesului de coacere, structura aluatului este schimbată într-o structură poroasă continuă pentru a permite mișcarea apei. O parte din cantitatea de apă se evaporă prin stratul de crustă, în timp ce alta condensează în centrul aluatului, [136].

Pierderile de materiale la coacere sunt date de relația:

$$P_c (\%) = \frac{m_{Al} - m_c}{m_{Al}} 100, [\%] \quad (6.17)$$

unde: m_{Al} – masa aluatului introdus în cuptor; m_c – masa covrigilor calzi;

Pierderile la răcire se calculează astfel:

$$P_r (\%) = \frac{m_c - m_{cr}}{m_c} 100, [\%] \quad (6.18)$$

unde : m_{cr} – masa covrigilor la 1 h de la scoaterea din cuptor.

Rezultatele experimentale privind masele covrigilor înainte de coacere, imediat după coacere și după răcire sunt prezentate în tabelul 6.9.

Aluatul folosit pentru determinarea experimentelor privind masele covrigilor înainte de coacere, imediat după coacere și după răcire a fost preparat din 3 kg făină, 45 % apă, 10 % ulei, 100 g zahăr, 36 g sare, 15 g drojdie. Temperatura făinii a fost de 22°C, temperatura aluatului 32°C, temperatura din atmosferă 26°C.

Tabelul 6.9 Masă covrigi

Masă aluat modelat [g]	Masă aluat fiert [g]	Masă covrig fierbinte [g]	p_c [%]	Masă covrig rece [g]	p_r [%]
100	108,4	78,2	21,8	77,5	0,89
	109,0	78,7	21,3	77,7	1,27
	109,1	76,3	23,7	75,6	0,91
	110,1	79,4	20,6	78,6	1,00
	106,4	80,5	19,5	79,6	1,11
	107,8	80,7	19,3	79,6	1,36
	106,1	80,1	19,9	79,2	1,10
	107,1	80,4	19,6	79,6	0,99
	104,2	78,3	21,7	77,7	0,76
	107,2	80,5	19,5	79,9	0,74
	107,1	79,7	20,3	79,1	0,75
	104,3	78,5	21,5	77,9	0,76
	104,5	76,9	23,1	76,2	0,91
	105,3	76,7	23,3	75,9	1,04
	107,2	76,5	23,5	75,8	0,91
	105,5	77,9	22,1	77,2	0,89
	106,9	74,9	25,1	74,2	0,93
	108,9	76,6	23,4	76,0	0,78
	107,9	77,9	22,1	77,3	0,77
	107,6	77,8	22,2	77,3	0,64

6.6. CONCLUZII

Din analiza cercetărilor experimentale se poate afirma că temperatura suspensiilor făină – apă, întâlnite la produse de tip fursecuri, este un parametru foarte important la curgerea acestora prin canale înguste, forța rezistentă la curgere fiind cu atât mai mare cu cât temperatura este mai mare, fapt datorat, în principal, gelificării amidonului.

Geometria canalului (diametru, lungime) influențează curgerea suspensiilor făină - apă, atât rezultatele experimentelor, cât și cele din literatura de specialitate, demonstrând faptul că cu cât diametrul canalului este mai mic cu atât forța rezistentă este mai mare, indiferent de temperatura suspensiei făină-apă.

Modulul de elasticitate al aluatului cu 45% apă și 10% ulei, determinat din curbele de întindere, are valori mult mai mici în comparație cu modulul de elasticitate al aluatului cu 55% apă și 10% ulei, ceea ce înseamnă că o cantitate mai mare de lichid în aluat produce o creștere a extensibilității aluatului, respectiv o manipulare mai ușoară a fitilelor de aluat fără ca acestea să se rupă sau să se subțieze în timpul modelării.

Un aluat cu mai puțină apă se va rupe mai repede decât unul cu un conținut mai mare de apă. Astfel că, valorile rezistenței la întindere pentru aluatul cu 45% apă și 10% ulei variază în limitele 0,02 – 0,028 MPa, în timp ce pentru aluatul cu 55% apă și 10% ulei valorile rezistenței la întindere variază în limitele 0,031 – 0,048 MPa.

O creștere a conținutului de umiditate și o valoare mai scăzută a capacității de hidratare a făinii, a condus la scăderea consumului de energie la trefilare de la $11,52 \cdot 10^3$ J la $9,72 \cdot 10^3$ J, dar și consumul de energie la laminare de la $9,00 \cdot 10^3$ J la $6,48 \cdot 10^3$ J.

Dacă în interiorul camerei de coacere a cuptorului electric cu bandă, se introduce un aluat cu un conținut crescut de umiditate, crește și valoarea energiei electrice consumate.

Parametrii care au influențat creșterea valorilor forței de tăiere a probelor supuse la forfecare prin tăiere au fost: unghiul de înclinare a lamei cuțitului și timpul de depozitare – păstrare a lor.

CAPITOLUL 7 - CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII. PERSPECTIVE

7.1. CONCLUZII PRIVIND CERCETĂRILE TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

- ❖ Cunoașterea proprietăților fizico-mecanice ale făinii de grâu este importantă pentru alegerea și optimizarea parametrilor constructivi și funcționali, atât ai utilajelor de producere a covrigilor, cât și, ai utilajelor de panificație și patiserie, în general.
- ❖ Prin aplicarea modelelor reologice care descriu comportamentul vâsco-elastic al materialelor se pot obține informații despre consistența aluatului, timpul de formare a acestuia, timpul de stabilitate, gradul de înmuiere, modul de curgere.
- ❖ Prin măsurarea momentului de torsiune la arborele unui frământător, în timpul procesului de frământare, se obține o curbă $M = f(t)$ care oferă informații despre proprietățile aluatului, precum: perioada de formare a aluatului, perioada de stabilitate și perioada de înmuiere a acestuia.
- ❖ Modelul matematic dezvoltat în cadrul tezei și obținut prin analiză dimensională, poate estima consumul de energie la laminarea aluatului în funcție de caracteristicile sale și cele ale mașinii de modelat aluatul.

- ❖ Simularea procesului de trefilare a aluatului în programul de proiectare parametrizată Solid Works Premium 2016 S.P. 0.0., a condus la obținerea valorii puterii necesare mașinii de trefilat aluatul de covrigi pentru role profilate și aluat cu caracteristici cunoscute. Studiul efectuat relevă faptul că valoarea puterii consumate este cu mult sub puterea instalată a mașinii de modelat, iar prin montarea unui motor electric de putere mai mică s-ar reduce consumul de energie.
- ❖ Rezultatele analizei structurale ale unei role profilate arată ca deplasările în condițiile simulării sunt extrem de mici, iar valorile tensiunii echivalente după criteriul von Mises sunt sub tensiunile de rupere a materialului. În ceea ce privește valoarea minimă a coeficientului de siguranță, acesta este atins în zonele cele mai solicitate, adică în zonele în care se realizează tăierea longitudinală a foi de aluat. Pentru reducerea tensiunilor din rola profilată a mașinii de trefilat fitile de aluat și creșterea presiunii exercitate asupra bucății de aluat, se face recomandarea ca zonele de tăiere să fie executate cu o singură muchie și nu cu muchii duble (sau cel puțin o lățime mai mică).
- ❖ Simularea efectuată cu ajutorul programului Solid Works Premium 2016 S.P. 0.0., modulul "Flow Simulation", a curgerii aerului în camera de coacere a cuptorului electric pentru covrigi, a condus la obținerea valorilor atât pe lungime cât și pe lățimea camerei de coacere pentru coeficientul de transfer termic, temperatura aerului, presiunea, căldura specifică. A putut fi determinată, de asemenea, vorticitatea curenților de aer în camera de coacere pentru parametrii inițiali cunoscuți. Temperatura a fost singurul parametru care a putut fi validat experimental, iar rezultatele obținute au fost satisfăcătoare.
- ❖ Pentru evitarea pierderilor de căldură în zona mediană a camerei de coacere a cuptorului analizat, se recomandă, fie ca aerul ce este introdus în camera de coacere să fie preîncălzit înainte de alimentare în camera de coacere (dar nu înainte de aspirația ventilatoarelor pentru protecția acestora), fie prin spargerea turbioanelor ce se formează în interiorul camerei de coacere și care antrenează aerul rece alimentat în camera de coacere către zona mediană și către suprafața transportorului.
- ❖ O cantitate mai mare de apă în aluat conduce la o creștere a extensibilității aluatului, respectiv la o manipulare mai ușoară a fitilelor de aluat fără ca acestea să se rupă sau să se subțieze în timpul modelării.
- ❖ Dacă masa de apă adăugată în rețeta de fabricație nu este în corelație cu capacitatea de hidratare a făinii, se modifică consumul de energie la modelarea acestuia.
- ❖ În urma experimentelor, s-a arătat că, dacă în interiorul camerei de coacere a cuptorului electric cu bandă, se introduce un aluat cu un conținut crescut de umiditate, crește și valoarea energiei electrice consumate. Această creștere se întâmplă deoarece rezistențele electrice sunt nevoite să producă mai multă căldură pentru a ajuta la încălzirea și evaporarea apei din compoziția bucăților de aluat, în timpul procesului de coacere.
- ❖ Prin urmare, având în vedere recomandarea montării plăcuțelor deflectoare în interiorul camerei de coacere, dar și rezultatele obținute pentru studiul pierderilor de material la coacere, fluxul curenților de aer cald în interior trebuie să fie reglat corespunzător, astfel încât să rezulte un consum mai mic de energie.

7.2 CONTRIBUȚII PERSONALE

1. Prin consultarea unui număr ridicat de lucrări de specialitate publicate pe plan intern și internațional s-a realizat o analiză a comportării fizice și reologice a aluatului în timpul procesului de fabricare a produselor de panificație.
2. Dezvoltarea unui model matematic pentru determinarea consumului de energie la laminarea aluatului în funcție de turația rotelor de laminare și de grosimea foi de aluat.
3. Simularea comportării mecanice, prin metoda elementelor finite, a rotelor de trefilare în timpul operației de obținere a fitilelor de aluat pentru covrigi.
4. Simularea în programul Solid Works CFD, a curgerii aerului în camera de coacere a cuptorului electric pentru covrigi și validarea datelor cu rezultatele măsurate pentru temperatura din camera de coacere a cuptorului electric.
5. Realizarea unor cercetări experimentale în vederea determinării rezistenței la curgere a suspensiilor fluide făina - apă la diferite temperaturi, prin canale cu geometrii diferite.
6. Realizarea unor cercetări farinografice folosind farinograful electronic Brabender în vederea determinării caracteristicilor făinurilor utilizate pentru aluaturile de covrigi.
7. Determinarea experimentală a extensibilității aluatului pentru covrigi folosind cantități diferite de apă în raport cu cantitatea de făină.
8. Cercetări experimentale privind consumul de energie la modelarea aluaturilor pentru produse cu textură tare.
9. Cercetări experimentale privind consumul de energie la coacerea aluaturilor cu rețete de preparare diferite și parametri de coacere diferiți.
10. Determinări experimentale privind caracteristicile mecanice ale covrigilor, prin efectuarea unor teste de tăiere prin forfecare cu ajutorul unor lame de cuțit cu unghi de ascuțire de 20°, drepte și înclinate la 30°.
11. Cercetări privind determinarea pierderilor de materiale (apă) în procesul de coacere a covrigilor.
12. Exprimarea unui set de concluzii și recomandări pentru specialiștii din domeniul industriei de panificație și patiserie.
13. Rezultatele obținute în studiile și cercetările efectuate pe parcursul pregătirii doctorale au fost valorificate prin elaborarea și publicarea unui număr de 17 lucrări științifice în reviste de specialitate (4, din care 2 cotate ISI și 2 BDI – 1 SCOPUS), în volumele unor conferințe naționale și internaționale (13, din care 3 cotate ISI, 1 SCOPUS și 8 în alte BDI), în calitate de autor și coautor, conform listei de lucrări anexată la finalul tezei.

7.3. RECOMANDĂRI ȘI PERSPECTIVE VIITOARE DE CERCETARE

1. Pentru eficientizarea procesului de opărire a covrigilor se recomandă utilizarea opăritoarelor cu funcționare continuă, iar pentru reducerea consumului de energie la opărire se recomandă ca temperatura soluției de opărire să nu atingă pragul de fierbere.

2. În vederea reducerii consumului de energie la laminare, se recomandă ca echipamentele să fie dotate cu motoare adecvate sarcinii de lucru.

3. Pentru reducerea tensiunilor din rola profilată a mașinii de trefilat aluat și creșterea presiunii exercitate asupra bucății de aluat, producătorii de utilaje pentru trefilarea aluaturilor de covrigi ar trebui să execute rolele profilate de trefilare cu o singură muchie și nu cu muchii duble.

4. Constructorii de cuptoare electrice pot îmbunătăți procesul de coacere și reduce consumul de energie prin evitarea pierderilor de căldură din zona mediană a camerei de coacere, dacă aerul alimentat în camera de coacere este preîncălzit sau dacă se realizează montarea unor plăcuțe deflectoare în camera de coacere, unde sunt zonele de intensitate maximă a vorticității curenților de aer.

Cercetările experimentale în această lucrare pot fi continuate prin:

1. Studiarea comportării aluaturilor cu diferite cantități de apă, din diverse sortimente de făină, la diferite perioade de păstrare, în vederea estimării influenței asupra prelucrării și manipulării acestuia în timpul procesului tehnologic de fabricare a covrigilor.

2. Studiarea și aplicarea modelelor reologice (modelul Lethersich, Burgers) pe aluaturile de covrigi, la care au fost determinate, eventual, caracteristicile farinografice, alveografice sau extensografice.

3. Continuarea cercetărilor privind optimizarea procesului de lucru al cuptorului electric prin efectuarea unor teste în care să fie amplasate plăcuțe deflectoare în zona de mijloc a camerei de coacere.

4. Continuarea și extinderea cercetărilor privind comportarea aluaturilor de covrigi la laminare și trefilare, pe aluaturi cu rețete diferite.

5. Extinderea cercetărilor la coacere și determinarea pierderilor de material pentru alte tipuri de aluaturi de panificație și patiserie.

6. Realizarea bilanțului termic al coacerii pentru cuptoare de covrigi de diferite variante constructive.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] *Abang Zaidel D.N., Chin N.L., Yusof Y.A.*, A review on rheological proprieties and mesurements of dough and gluten, *Journal of Applied Sciences*, vol.10, nr.20, 2010, pp. 2478-2490;
- [4] *Alvarez-Ramirez J., Rodriguez-Huezo E., Meraz M., Garcia-Diaz S., Flores-Silva P., Mondragon-Reinoso L.*, Spatial Variation of In Vitro Starch and Protein Digestibility in White Wheat Bread, *Starch – Starke*, vol. 70, nr. 5-6, 2018;
- [15] *Boltenko Y. A., Myachikova N. I., Binkovskaya O. V., Korotkikh I. Y., Zinoveva I. G.*, The Influence Of Water Content On Wheat Dough In Changing The Rheological Characteristics And Quality Of The Finished Product, *International Journal Of Pharmacy & Technology*, vol. 8, nr. 2, 2016, pp.14121-14128;
- [22] *Campbell G.M., Shah P.* Entrainment and disentrainment of air during bread dough mixing and their effect on scale – up of dough mixing, *Bubbles in Food*, Ed. Egan Press, Minnesota USA, 1999, pp. 11-20;
- [29] *Chakrabarti-Bell S., Patel M.J.*, On the Use of Conventional Dough Extension Tests in Characterising Flours for Dough Sheatability. II. Simulation, *International Journal of Food Engineering – De Gruyter*, vol. 12, nr. 3, 2016;
- [42] *Dokić L., Nikolić I., Šoronja-Simović D., Šereš Z., Pajin B., Juul N., Maravić N.*, , Rheological Properties of Dough and Sensory Quality of Crackers with Dietary Fibers, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Nutrition and Food Engineering*, vol. 9, nr. 9, 2015;
- [75] *Levine L., Drew B. A.*, Rheological and Engineering Aspects of the Sheeting and Laminating of Doughs, *Dough Rheology and Baked Product Texture*, Boston, 1990;
- [80] *Luchian M.I., Stefanov S., Litovchenko I., Mihailov I., Hadjiiski W.*, Simulation Of The Mixing Bread Dough Process Using Computational Techniques, *Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, vol. 6 (55), nr. 2, 2013;
- [100] **Munteanu M.G.**, *Voicu Gh., Ipate G., Gheorghişă N. E., Constantin G.A., Duţu I.C., Istrate I.A.*, Aspects regarding the flow of the mixture flour-water at different temperatures, through small diameter channels, *Proceedings of the 46th International Symposium “Actual Tasks on Agricultural Engineering”*, Croatia, Opatija, 2018, p.447-456
- [106] *Muscalu Gh. Voicu Gh., Stefan E.M., Munteanu M.*, The influence of the kneader type on the rheological properties of dough, *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Book*, vol. 1, 2016, pp. 807-814;
- [130] *Ştefan E. M., Voicu Gh., Constantin G. A., Munteanu M. G., Ipate G.*, Effect Of Sugar Substitues On Wheat Dough Rheology, *Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, vol. 20, nr.2, 2019, pp. 313 – 320;
- [144] *Voicu Gh., Casandroi T., Constantin G. A., Stefan E. M., Munteanu M. G.*, Considerations About The Sheeting Of Dough Pieces To Obtain Bread, *45. Symposium Actual Tasks on Agricultural Engineering*, Opatija, Croatia, 2017, pp. 359-369;
- [157] *Yao N.*, Hard Pretzel Characterization And Process Optimization, *A Thesis in Food Science*, The Pennsylvania State University, 2004;
- [166] ***Metoda AACC 54-30, ICC 121, NF EN-ISO 27971, GOST 51415-99
<http://www.meteo-tech.co>;
- [176] ***http://www.earthphysics.sk/mainpage/stud_mat/Moczo_Kristek_Franek_Rheological_Models.pdf;

Curriculum vitae

Europass

Informații personale

Nume / Prenume **Munteanu, Mariana, Gabriela**
 Adresă(e) Str. Mihail Sebastian, nr. 106 bl. V88, ap. 16 sector 5, București
 Telefon(oane) +40767236522
 E-mail(uri) munteanumaya@yahoo.com
 Data nașterii 13.03.1990

Experiența profesională

Perioada Noiembrie 2015 până în septembrie 2020
 Funcția sau postul ocupat Asistent universitar
 Activități și responsabilități principale Învățământ, cercetare
 Numele și adresa angajatorului Universitatea Politehnica din București, str. Splaiul Independenței nr. 313, sector 6.
 Perioada Din iulie 2013 până în februarie 2016
 Funcția sau postul ocupat Costumer Care
 Activități și responsabilități principale Îmbunătățirea calității serviciilor
 Validarea și delegarea reclamațiilor/solicitărilor
 Numele și adresa angajatorului Provident Financial Romania, Calea Serban Voda, nr 133, Corp D, Bucuresti

Educație și formare

Perioada Din octombrie 2013 până în iulie 2015
 Calificarea / diploma obținută Master
 Domeniul: Ingineria și Managementul Procesării și Păstrării Produselor Agroalimentare
 Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Universitatea Politehnica din București, Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice
 Perioada Din octombrie 2009 până în iulie 2013
 Calificarea / diploma obținută Inginer
 Specializarea: inginerie mecanică
 Domeniul: Mașini și Instalații pentru Agricultură și Industrie Alimentară
 Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Universitatea Politehnica din București, Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice
 Perioada Din septembrie 2005 până în iunie 2009
 Calificarea / diploma obținută Diplomă de bacalaureat
 Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Colegiul Național „Calistrat Hogaș”, Tecuci, județul Galați

Aptitudini și competențe personale

Limba(i) maternă(e) **Româna**
 Limba(i) străină(e) cunoscută(e) **Engleza**
 Autoevaluare
 Nivel european (*)

Înțelegere		Vorbire		Sciere
Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	Exprimare scrisă
Utilizator elementar	Utilizator elementar	Utilizator elementar	Utilizator elementar	Utilizator elementar

(*) Nivelul Cadrului European Comun de Referință Pentru Limbi Străine

LISTA DE LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE ÎN DOMENIUL TEZEI

As. Drd. Ing. Munteanu Mariana – Gabriela

1. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ferdeș M., Ștefan E.M., Constantin G.A., Tudor P., *Dynamics Of Fermentation Process Of Bread Dough Prepared With Different Types Of Yeast*, Scientific Study & Research Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, ISSN 1582-540X, 2019, 20(4), pp. 575 – 584, WOS:000502846500007
2. Ștefan E.M., Voicu Gh., Constantin G.A., **Munteanu M.G.**, Ipate G., *Effect Of Sugar Substitues On Wheat Dough Rheology*, Scientific Study & Research Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, ISSN 1582-540X, 2019, 20(2), pp. 313 – 320, WOS:000474825800015
3. **Munteanu M.G.**, Constantin G.A., Voicu Gh., Ștefan E.M., Tudose V., *Structural Analysis Of A Profiled Tumbler Used Within A Machine For Modelling Bagels Dough*, care urmează a fi publicată în Buletinul Științific al U.P.B, Indexat SCOPUS
4. Constantin G.A., Voicu Gh., Ștefan E.M., Tudor P., Paraschiv G., **Munteanu M.G.**, *Research Regarding Resistance Characteristics of Biscuits Assortment Using Cone Penetrometer*, International Journal of Nutrition and Food Engineering, vol.14, nr.9, 2020, p. 117-122, Indexat BDI în: Cross Ref, DRJI, CZ3, CNKI Scholar, și altele.
5. Voicu Gh., Casandroiu T., Constantin G.A., Ștefan E.M., **Munteanu M.G.**, *Considerations about the sheeting of dough pieces to obtain bread*, Proceedings of the 45th International Symposium “Actual Tasks on Agricultural Engineering”, p.359-370, Croatia, Opatija, 2017, ISSN 1848-4425, WOS:000432420200037
6. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ipate G., Gheorghită N.E., Constantin G.A., Duțu I.C., Istrate I.A., *Aspects regarding the flow of the mixture flour-water at different temperatures, through small diameter channels*, Proceedings of the 46th International Symposium “Actual Tasks on Agricultural Engineering”, p.447-456, Croația, Opatija, 2018, ISSN 1848-4425, WOS:000506355900045
7. Istudor A., Voicu Gh., Muscalu Gh., **Munteanu M.G.**, *Power consumption optimization for bread dough prover*, Proceedings of the 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development, p. 739-744, Jelgava, Latvia, 2019, ISSN: 1691-3043, WOS:000482103500110
8. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ștefan E.M., Constantin G.A., *Determination of extensibility for certain types of pretzels dough*, E3S Web of Conferences 112, ISSN: 2267-1242, 03029, 2019, 8 pages, DOI: 10.1051/e3sconf/201911203029, Indexat SCOPUS
9. Ștefan E.M., Voicu Gh., Constantin G.A., Ipate G., **Munteanu M.G.**, *Effect of whole buckwheat flour on technological properties of wheat flour and dough*, 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings, vol. 17, 2018, p.1533-1538, Jelgava, Latvia, ISSN 1691-5976, DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N393

10. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ferdeș M., Constantin G.A., Ștefan E.M., Gheorghiu N.E., Duțu I.C., *Experimental research on energy consumption in baking bagels*, Proceeding of International Symposium ISB-INMA TEH 2018, Agricultural and Mechanical Engineering, 2018, p. 641-646, București, România, ISSN 2344-4118, *Indexat BDI: Cabi Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*
11. Istudor A., Voicu Gh., Muscalu Gh., **Munteanu M.G.**, *Final bread dough fermentation – requirements, conditions, equipment. A Short Review*, Symposium ISB-INMA-TEH, “Agricultural and Mechanical Engineering”, 2017, p.519-526, București, România, ISSN 2344 – 4118, *Indexat BDI: Cabi Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*
12. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ferdeș M., Ștefan E.M., Zăbavă B.Șt., Istrate I.A., Dincă M.N., *Theoretical aspects regarding the preparation process of hard dough products*, Symposium ISB-INMA-TEH, “Agricultural and Mechanical Engineering”, 2017, p. 687-690, București, România, ISSN 2344 - 4118, *Indexat BDI: Cabi Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*
13. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Dincă M.N., Constantin G.A., Ștefan E.M., Zăbavă B.Șt., *Influence of kneading rate on kinetics of wheat dough structure*, Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, 2017, p. 411-416, Moieciu de Sus, Romania, ISSN 2457-3302, *Indexed BDI: Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*
14. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ionescu M., Ștefan E.M., Constantin G.A., Zăbavă B. Șt., *Influence of rye flour during the kneading operation – a review*, Proceeding of International Symposium Isb-Inma Teh 2016, Agricultural And Mechanical Engineering, 2016, p. 613-618, București, România, ISSN 2344-4118, *Indexat BDI: Cabi Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*
15. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ungureanu N., Zăbavă B.Șt., Ionescu M., Constantin G.A., Istrate I.A., *Methods for determining the characteristics of flour and dough*, 5th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, 2016, p. 349-354, Golden Sands, Bulgaria, ISSN 2457-3302, *Indexat BDI: Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*
16. Muscalu Gh., Voicu Gh., Ștefan E.M, Istudor A., **Munteanu M.G.**, *Optimisation of bread baking process for tunnel-oven types - 5th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development*, 2016, p. 361-366, Golden Sands, Bulgaria, ISSN 2457 – 3302, *Indexat BDI: Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*
17. **Munteanu M.G.**, Voicu Gh., Ștefan E.M., Constantin G.A., Popa L., Mihailov N., *Farinograph characteristics of wheat flour dough and rye flour dough*, Proceeding of International Symposium ISB-INMA TEH 2015, Agricultural And Mechanical Engineering, 2015, p. 645-650, București, România, ISSN 2344-4118, *Indexat BDI: Cabi Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS*