

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**  
**Școala doctorală de inginerie**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **CERCETĂRI PRIVIND CARACTERIZAREA REOLOGICĂ A BRÂNZETURILOR CU PASTĂ FILATĂ**

**Doctorand**

**KIRIȚĂ (ANDRONOIU) DOINA GEORGETA**

**Conducător științific,** Prof univ.dr.ing. ROTARU GABRIELA  
CĂTĂLINA

**Referenți științifici** Cercet.șt.pr.gr.I dr.ing. BELC NASTASIA  
Prof univ.dr.ing. POPA MONA ELENA  
Prof univ.dr.ing. BOTEZ ELISABETA

**Seria I 4 Inginerie industrială Nr 20**  
**GALAȚI 2014**





C6945/30.07.2014

Către

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați vă face cunoscut că, în data de **05.09.2014**, ora **9.00**, în sala **Consiliului de administrație**, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: **„CERCETĂRI PRIVIND CARACTERIZAREA REOLOGICĂ A BRÂNZETURILOR CU PASTĂ FILATĂ”**, elaborată de doamna/domnul **KIRIȚĂ DOINA-GEORGETA (ANDRONOIU)**, în vederea conferirii titlului științific de doctor în domeniul de doctorat **Inginerie Industrială**.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>1. Președinte</b>             | <b>Prof.univ.dr.ing. Petru ALEXE</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați  |
| <b>2. Conducător de doctorat</b> | <b>Prof.univ.dr.ing. Gabriela-Cătălina ROTARU</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați   |
| <b>3. Referent oficial</b>       | <b>Cercet.șt.pr.gr.I dr.ing. Nastasia BELC</b><br>Director - Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru<br>Bioresurse Alimentare București |
| <b>4. Referent oficial</b>       | <b>Prof.univ.dr.ing. Mona-Elena POPA</b><br>Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară București                                       |
| <b>5. Referent oficial</b>       | <b>Prof.univ.dr.ing. Elisabeta BOTEZ</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați  |

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat, și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa universității, str. Domnească nr. 47, 600008 Galați, Fax: 0236 / 461353, e-mail: [rectorat@ugal.ro](mailto:rectorat@ugal.ro).

Rector,

Prof. univ. dr. ing. Iulian





## MULȚUMIRI

La capătul unui drum lung și anevoios, îmi întorc gândurile spre cei care, în tot acest timp, mi-au fost alături, m-au sprijinit, m-au încurajat ori de câte ori a fost nevoie și au crezut în mine chiar și atunci când eu însămi nu mai credeam.

Doresc să îi mulțumesc, în primul rând, conducătorului științific, **d-na prof. dr. ing. Gabriela – Cătălina Rotaru**, pentru răbdare, sprijin și ajutor necondiționat. De asemenea, mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, **d-na prof. dr. ing. Elisabeta Botez**, **d-na conf. dr. ing. Gabriela Iordăchescu** și **d-na conf. dr. ing. Felicia Stan**, pentru susținerea științifică și pentru indicațiile acordate de-a lungul stagiului doctoral.

Mulțumesc Laboratoarelor care mi-au permis realizarea determinărilor experimentale: **Platformei Bioaliment** și celorlalte laboratoare din cadrul Facultății Știința și Ingineria Alimentelor și **Laboratorului pentru Testarea Proprietăților Mecanice, Optice și Termice a Materialelor Polimerice – LTPMOTMP**, din cadrul Centrului de Excelență Cercetare și Dezvoltare în Modelare și Simulare Numerică al Facultății de Mecanică, Universitatea Dunărea de Jos.

Mulțumesc colegilor și prietenilor, **asist. dr. ing. Oana – Viorela Nistor**, **drd. ing. Liliana Ceclu** și **ș.l. dr. ing. Gabriel – Dănuț Mocanu**, care mi-au fost alături, m-au susținut, m-au încurajat și, nu de puține ori, au preluat din sarcinile mele de serviciu pentru a îmi facilita lucrul la redactarea tezei de doctorat.

Mulțumesc familiei (soțul – **Gabi Costel**, fetița – **Maria Mihaela** și părinților **Ion** și **Ioana**) pentru suportul moral și material. Atât lor, cât și celorlalte persoane dragi pe care nu le-am amintit aici (unele dintre ele nu vor citi niciodată aceste rânduri dar sunt convinsă că îmi zâmbesc de undeva din cer), le cer scuze public pentru că, în tot acest timp, i-am privat de grija și de atenția cuvenite.

05.09.2014, Galați

Drd ing Doina – Georgeta Andronoiu

## CUPRINS

TITLU .....	Pagina din teză	Pagina din rezumat
<b>MULȚUMIRI .....</b>	<b>I</b>	<b>5</b>
<b>CUPRINS .....</b>	<b>III</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCERE .....</b>	<b>VII</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>XII</b>	-
<b>NOTAȚII ȘI ABREVIERI .....</b>	<b>XVII</b>	-
<b>LISTĂ FIGURI .....</b>	<b>XVIII</b>	-
<b>LISTĂ TABELE .....</b>	<b>XXI</b>	-
<b>PARTEA DOCUMENTARĂ</b>		
CAPITOLUL 1 - ELEMENTE DE TEHNOLOGIE DEFINITORII PENTRU TEXTURA BRÂNZETURILOR CU PASTĂ FILATĂ .....		
	1	-
1.1. Obținerea cașului .....	3	-
1.2. Obținerea cașcavalului.....	9	-
CAPITOLUL 2 - REOLOGIA ȘI TEXTURA CAȘCAVALULUI .....		
2.1. Aspecte generale ale reologiei și texturii brânzeturilor .....	15	-
2.2. Terminologia generală referitoare la reologie.....	17	-
2.3. Metode de analiză reologică a brânzeturilor.....	24	-
<b>PARTEA EXPERIMENTALĂ</b>		
CAPITOLUL 3 – MATERIALE ȘI METODE DE ANALIZĂ UTILIZATE ÎN CERCETĂRE .....		
3.1. Obținerea probelor de cașcaval .....	37	13
3.2. Materiale utilizate în cercetare .....	39	-
3.3. Metode de analiză.....	43	13
CAPITOLUL 4 – CERCETĂRI PRIVIND CARACTERIZAREA FIZICO-CHIMICĂ ȘI REOLOGICĂ A CAȘULUI ÎN TIMPUL PROCESULUI DE ACIDIFIERE .....		
4.1. Caracterizarea fizico-chimică a cașului în cursul acidifierii .....	54	17
4.2. Modificarea proprietăților reologice ale cașului în timpul procesului de acidifiere .....	55	19
4.3. Caracterizarea reologică a cașului în raport cu proprietățile fizico-chimice .....	59	19
	67	23

4.4. Concluzii parțiale .....	71	26
<b>CAPITOLUL 5 – CERCETĂRI PRIVIND STABILIREA CONDIȚIILOR OPTIME DE OPĂRIRE</b>	74	29
5.1. Analiza fizico-chimică a cașului opărit.....	75	-
5.2. Analiza reologică a cașului opărit .....	89	30
5.3. Analiza senzorială a cașului opărit.....	90	32
5.4. Concluzii parțiale .....	104	33
<b>CAPITOLUL 6 – CERCETĂRI PRIVIND PROCESUL DE MATURARE A BRÂNZETURILOR CU PASTĂ FILATĂ ÎN CORELAȚIE CU PROPRIETĂȚILE REOLOGICE.....</b>	108	37
6.1. Caracterizarea fizico-chimică a cașului în timpul maturării .....	109	38
6.2. Caracterizarea reologică a cașului în timpul maturării .....	115	39
6.3. Caracterizarea senzorială a texturii cașului în timpul maturării .....	124	42
6.4. Concluzii parțiale .....	130	43
<b>CAPITOLUL 7 – CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVE .....</b>	134	46
7. 1. Concluzii generale .....	134	46
7.2. Contribuții originale .....	138	51
7.3. Perspective .....	139	52
<b>LISTĂ LUCRĂRI PUBLICATE ȘI PREZENTATE ÎN DOMENIUL TEZEI DE DOCTORAT .....</b>	<b>140</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>143</b>	<b>55</b>

## INTRODUCERE

Comportamentul consumatorului, decizia lui de a cumpăra sau nu un produs, este în strânsă legătură cu calitatea produsului respectiv. Calitatea alimentelor este o noțiune complexă, cuprinzând mai multe valențe: legală, nutrițională, senzorială și igienico-sanitară. Calitatea și siguranța produselor alimentare au devenit un drept al consumatorilor, cu efecte directe asupra calității vieții, iar problematica axată pe calitatea și siguranța produselor se află în centrul atenției organismelor constituite pentru apărarea intereselor consumatorilor.

Dintre toate valențele calității produselor alimentare, cea senzorială este cea mai importantă pentru consumator deoarece primul contact al acestuia cu produsul se realizează pe cale senzorială.

Una dintre cele mai importante caracteristici senzoriale pentru produsele alimentare este textura, o noțiune complexă care include aspecte legate de duritate, elasticitate, fermitate, cremozitate, gumozitate, aderență, comportare la mușcare și masticăție etc. În mod tradițional, aceste caracteristici ale produselor alimentare au fost evaluate cu ajutorul paneliștilor, care, în pofida unei instruiți foarte avansate, pot face aprecieri subiective. Din acest motiv se remarcă o preocupare intensă a cercetătorilor în domeniu pentru studiul caracteristicilor enumerate mai sus și pentru stabilirea unor metode științifice de măsurare a lor. Mai mult decât atât, unii cercetători susțin faptul că există o strânsă legătură între fermitatea produselor alimentare și intensitatea aromei resimțite de către consumatori în timpul consumului.

Cercetările cele mai recente în domeniul produselor lactate abordează, printre altele, metode obiective de cuantificare a texturii, unele dintre ele fiind încă insuficient cunoscute și explicate. Aceste metode au la bază interdependența dintre compoziția fizico-chimică a produselor, microstructura lor și comportamentul reologic. Produsele lactate pentru care textura prezintă importanță definitorie în alegerea de către consumator sunt brânzeturile, produsele lactate fermentate și înghețata. În ceea ce privește textura brânzeturilor, metodele instrumentale de analiză sunt relativ recente și de actualitate.

La nivel internațional, cercetările în domeniu sunt ample și vizează mai multe sortimente de brânzeturi. Cele mai multe informații sunt legate de textura brânzei **Mozzarella**. Atât în timpul procesului tehnologic de obținere cât și în timpul utilizării ulterioare (brânza

Mozzarella se utilizează adesea ca ingredient la obținerea pizzei) au loc modificări de structură datorită reorganizării matricei proteice. Acest fapt a constituit un obiect de studiu pentru numeroși cercetători. Aceștia au abordat aspecte legate de conținutul de grăsime al laptelui materie primă (**Joshi ș.a., 2003; Van Hekken ș.a., 2007**), conținutul de calciu (**Joshi ș.a., 2003; Sheehan ș.a., 2004**), procedee tehnologice neconvenționale de obținere (**Sheehan ș.a., 2005; Van Hekken ș.a., 2007; Muliawan ș.a., 2008**), modificări structurale în timpul diferitelor operații ale procesului tehnologic (**Pereira ș.a., 2009**). Alte sortimente de brânzeturi analizate din punctul de vedere al texturii au fost: brânza **telemea**, sub aspectul influenței tipului de lapte și al culturilor utilizate în procesul de fabricație asupra proprietăților reologice (**Pappa ș.a., 2007**) și brânza **Ceddar**, sub aspectul proceselor care au loc la maturare (**Muir ș.a., 1996; Pollard ș.a., 2003**) și sub aspectul influenței tratamentului la presiune înaltă al laptelui asupra randamentului de fabricare și proprietăților reologice și fizico-chimice (**San Martín-Gonzalez ș.a., 2007**). În **2006**, **Karoui ș.a.** au dezvoltat o metodă de monitorizare a structurii moleculare a brânzeturilor **semitari maturate**. Pentru aceasta a utilizat metode spectroscopice combinate cu analiza principalilor componenți ai brânzeturilor și a masei specifice a acestora. În **2009** **Karami ș.a.** au raportat studii legate de modificările reologice din timpul maturării brânzei **Feta** obținute prin ultrafiltrare.

La nivel național, cercetările legate de textura brânzeturilor au vizat microstructura **cașcavalului** (**Greco și Costin, 2002**). Prin examinarea la microscopul electronic s-a urmărit să se determine caracteristicile pastei cașcavalului obținut prin diferite operații tehnologice din lapte de bivoliță, oaie sau vacă. Un alt studiu realizat la nivel național a urmărit determinarea microstructurii dezvoltate prin maturarea accelerată a cașcavalului (**Zaharia și Costin, 2008; Zaharia și Rotaru, 2011**).

Se remarcă faptul că brânzeturile cu pastă opărită, specifice zonei balcanice și care în România sunt foarte apreciate de către consumatori, au fost foarte puțin studiate din punctul de vedere al texturii. Textura acestor brânzeturi este una complexă care se prezintă sub forma unor fire subțiri și elastice și este indusă de operațiile specifice din schema tehnologică de obținere (opărire și prelucrare mecanică a cașului opărit). La nivel internațional studiile privind textura brânzeturilor cu pastă filată au vizat numai brânza **Mozzarella**, care se deosebește de cașcaval prin durata de maturare, considerabil mai mică în primul caz iar la nivel național nu s-au raportat studii complete referitoare la textura cașcavalului. În acest context, studiul texturii

cașcavalului așa cum a fost abordat în prezenta teză de doctorat, reprezintă o premieră națională și internațională.

Teza de doctorat abordează problema texturii brânzeturilor tip cașcaval în profunzime, urmărind, prin metode instrumentale moderne, modificările caracteristicilor reologice pe parcursul fabricării.

Cercetările, care au vizat principalele operații tehnologice desfășurate în diferite condiții de lucru, au permis stabilirea parametrilor optimi de realizare a acidifierii cașului, opăririi și maturării, operații determinante pentru textura brânzeturilor cu pastă filată. Rezultatele obținute au fost coroborate cu analizele fizico-chimice și senzoriale.

### **Elementele de originalitate ale studiului sunt:**

- Analiza reologică a cașului în diferite etape ale procesului de acidifiere, utilizând patru metode diferite: penetrarea (indentarea, punctura), compresiunea uniaxială, analiza profilului textural și analiza oscilatorie

- Stabilirea unor modele matematice care descriu dependența parametrilor texturali (fermitate, forță de aderență, elasticitate și coezivitate) de parametri fizico-chimici ai cașului (pH, substanță uscată, conținut de proteine, conținut de grăsime)

- Utilizarea, la nivel de laborator, a 8 condiții diferite de realizare a operației de opărire și analiza caracteristicilor reologice ale cașului obținut în fiecare dintre cele 8 situații

- Stabilirea condițiilor optime de realizare a operației de opărire utilizând corelația dintre analiza instrumentală și cea senzorială

- Analiza reologică a cașcavalului în diferite etape ale procesului de maturare, utilizând patru metode diferite: penetrarea (indentarea), compresiunea uniaxială, analiza profilului textural și analiza oscilatorie

- Stabilirea unor modele matematice care descriu dependența parametrilor texturali (fermitate și modul de elasticitate) de parametri fizico-chimici ai cașcavalului (conținut de proteine, conținut de grăsime, raport calciu solubil/calciu total și raport azot solubil/azot total)

- Stabilirea perioadei optime de maturare a cașcavalului corelând analiza instrumentală cu preferințele consumatorilor determinate prin analiza senzorială

- Identificarea metodei analizei profilului textural ca fiind cea mai relevantă și recomandarea ei pentru urmărirea maturării brânzeturilor cu pastă filată și stabilirea momentului optim de maturare.

Lucrarea de față își propune stabilirea unor corelații între proprietățile fizico-chimice ale cașului, parametrii operațiilor tehnologice acidifiere – opărire – maturare și caracteristicile reologice induse de acestea.

**Obiectivele** majore ale tezei au vizat: 1) studiul caracteristicilor reologice ale cașului în timpul operației de acidifiere din cadrul procesului tehnologic de fabricare a cașcavalului și stabilirea unor conexiuni între proprietățile fizico-chimice și caracteristicile reologice; 2) studiul caracteristicilor reologice ale cașului opărit și stabilirea unor conexiuni între proprietățile fizico-chimice și caracteristicile reologice, în vederea identificării condițiilor optime de realizare a acestei operații și 3) optimizarea procesului de maturare și a calităților brânzeturilor tip cașcaval prin stabilirea momentului optim de maturare în funcție de caracteristicile reologice determinate prin metode instrumentale.

Pentru îndeplinirea obiectivelor au fost realizate, la nivel de laborator, o serie de probe de cașcaval, variindu-se parametrii a trei operații tehnologice (acidifierea cașului, opărirea și maturarea). Pentru toate probele realizate, caracteristicile reologice au fost analizate instrumental și senzorial în vederea cuantificării unor posibile conexiuni între parametrii reologici și caracteristicile senzoriale identificate de consumatori.

Pentru analiza texturii brânzeturilor se utilizează metode foarte diferite, cum ar fi: *metode senzoriale*, prin care se determină consistența, elasticitatea, masticabilitatea, aderența, fermitatea și *metode instrumentale*, prin care se determină caracteristici mecanice (fermitate, modul de elasticitate) și caracteristici reologice (modul de înmagazinare, modul de pierdere). Metodele senzoriale prezintă avantajul că pot reda o imagine relevantă asupra comportamentului consumatorilor dar au dezavantajul ca sunt supuse subiectivismului paneliștilor. Pe de altă parte, metodele instrumentale pot determina mărimi fizice într-un mod obiectiv dar, lipsind componenta umană, este dificil de stabilit o corelație între aceste mărimi și proprietățile senzoriale ale brânzeturilor. Din aceste considerente, preocupările cercetătorilor în domeniu vizează stabilirea unor metode standardizate pentru a corela caracteristicile reologice determinate prin metode instrumentale cu cele determinate prin metode senzoriale.

Structura tezei de doctorat cuprinde șapte capitole, dintre care în primele două este prezentat studiul documentar, în al treilea capitol sunt prezentate materialele și metodele utilizate în cercetare,

următoarele trei capitole cuprind rezultatele experimentale, iar ultimul capitol este rezervat concluziilor generale, contribuțiilor originale și perspectivelor deschise de prezentul studiu:

Capitolul 1 - *Elemente de tehnologie definitorii pentru textura brânzeturilor cu pastă filată* – prezintă principalele operații tehnologice care influențează textura brânzeturilor cu pastă filată

Capitolul 2 - *Reologia și textura cașcavalului* – prezintă definițiile și descrierea proprietăților reologice ale brânzeturilor, precum și principalele modalități de determinare a acestora

Capitolul 3 – *Materiale și metode de analiză utilizate în cercetare*

Capitolul 4 – *Cercetări privind caracterizarea fizico-chimică și reologică a cașului în timpul procesului de acidifiere* – prezintă rezultatele analizelor fizico-chimice și reologice ale cașului în timpul operației de acidifiere precum și relațiile matematice dintre acestea, obținute prin analiza suprafeței de răspuns

Capitolul 5 – *Cercetări privind stabilirea condițiilor optime de opărire* – prezintă caracteristicile fizico-chimice și reologice ale cașului obținut în urma opăririi în diferite condiții de pH, temperatură și compoziție a amestecului de opărire. Tot în acest capitol este prezentat și un studiu al caracteristicilor senzoriale ale cașului opărit în soluții de opărire cu diverse compoziții

Capitolul 6 – *Cercetări privind procesul de maturare a brânzeturilor cu pastă filată în corelație cu proprietățile reologice* – prezintă rezultatele analizelor fizico-chimice, reologice și senzoriale ale cașcavalului în diferite etape ale procesului de maturare. De asemenea sunt prezentate modele matematice care exprimă dependența unor proprietăți texturale ale cașcavalului (fermitatea, modulul de elasticitate) în funcție de parametri fizico-chimici

Capitolul 7 – *Concluzii generale, Contribuții originale și Perspective* – prezintă concluziile generale ale studiului, contribuțiile originale și noile perspective de cercetare deschise în urma studiului realizat.

Teza de doctorat cuprinde 73 de figuri și 54 de tabele iar documentarea s-a realizat prin consultarea a 135 de referințe bibliografice. Rezultatele cercetării au fost diseminate prin publicarea a zece articole științifice (dintre care, trei indexate ISI) și prin participarea

la patru conferințe internaționale.

## **CAPITOLUL 3 – MATERIALE ȘI METODE DE ANALIZĂ UTILIZATE ÎN CERCETARE**

### **3.1. Obținerea probelor de cașcaval**

În vederea stabilirii unor corelații între proprietățile fizico-chimice ale cașului, parametrii operațiilor tehnologice acidifiere – opărire – maturare și caracteristicile reologice induse de acestea, s-au realizat, la nivel de laborator, probe de caș, variindu-se parametrii operațiilor între limitele prevăzute de tehnologie. Laptele materie primă a fost achiziționat de la un centru de colectare din județul Galați. Pentru obținerea probelor s-a urmat schema tehnologică de obținere a cașcavalului prin procedeul tradițional (figura 3.1.). A fost ales acest procedeu deoarece s-a lucrat în colaborare cu o fabrică de procesare a laptelui în care se lucrează astfel. Procedeul tradițional de fabricare a cașcavalului presupune lipsa operației de pasteurizare a laptelui și plasticizarea manuală a cașului.

### **3.3. Metode de analiză**

#### **3.3.2. Analize reologice**

##### **3.3.2.1. Analiza prin testul de penetrare (punctură)**

În testul de penetrare (punctură), dacă se urmărește grafic evoluția testului se poate observa că există un punct denumit prag de încărcare (yeld point) ce semnifică limita acumulării interioare de tensiune sub care corpul își păstrează încă structura inițială. Odată depășit acest prag, forța poate crește pe măsura penetrării, poate rămâne constantă sau chiar scădea.

Parametrii de textură sunt obținuți prin analiza curbei forță – deformație înregistrată după oprirea testului la o anumită adâncime de penetrare.

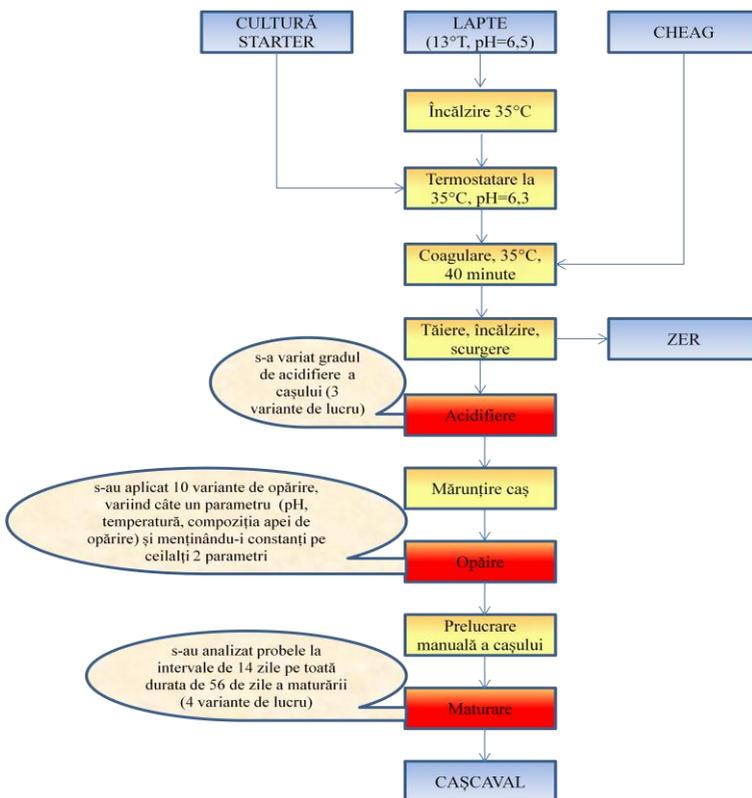


Figura 3.1 – Schema tehnologică utilizată pentru obținerea probelor

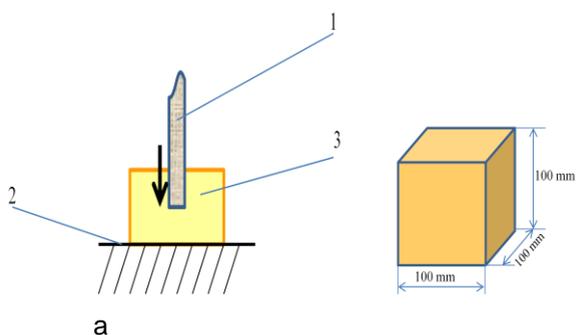


Figura 3.2 – Reprezentarea schematică a testului de penetrare: 1 – ponson, 2 – placă fixă, 3 - probă (a) și dimensiunile probelor analizate prin penetrare (b)

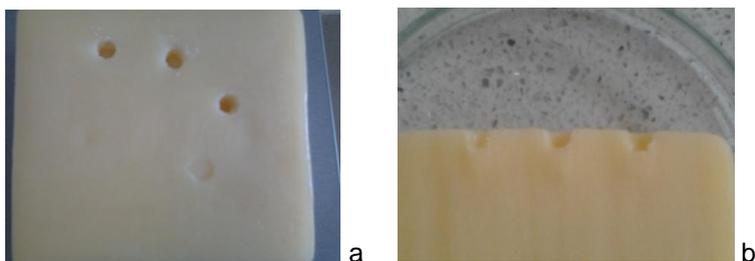


Figura 3.4 – Imagini ale probelor penetrate: a – vedere la exterior; b – vedere în secțiune

Pentru testele de penetrație s-a utilizat un analizor textural Guss Texture Analyser din dotarea Platformei Bioaliment din cadrul Facultății Știința și Ingineria Alimentelor, Universitatea Dunărea de Jos din Galați. Probele cu dimensiunile 100x100x100 mm au fost plasate pe suportul aparatului și au fost penetrate cu ajutorul unui ponson cilindric, cu diametrul de 8 mm (figura 3.4). Viteza de penetrare a fost de 5 mm/s. S-a măsurat forța necesară penetrării probelor până la o adâncime de 14,5 mm. S-au realizat câte cinci determinări pentru fiecare probă.

### 3.3.2.2. Analiza prin teste de compresiune uniaxială

Compresiunea uniaxială este una dintre cele mai utilizate metode de analiză a proprietăților reologice ale brânzeturilor datorită simplității preparării probelor și executării testelor (**Foegeding, 2011**). În testele de compresiune uniaxială probele cu formă de obicei cilindrică sau prismatică și dimensiuni cunoscute, sunt plasate între plăcile rigide ale unui echipament de testat universal (Universal Testing Machine), iar placa superioară este coborâtă cu o viteză constantă în timp ce se înregistrează forța de compresiune în funcție de timp sau de deformare.

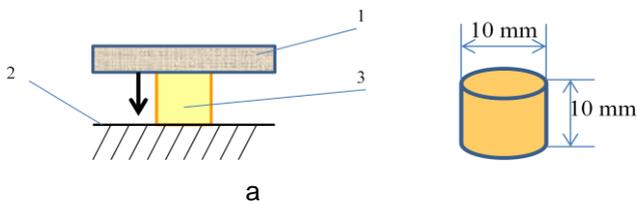


Figura 3.5 – Reprezentarea schematică a testului de compresiune: 1 – placă mobilă, 2- placă fixă, 3 – probă (a) și dimensiunile probelor analizate (b)

Probele au fost tăiate în bucăți de formă cilindrică având diametrul de 10 mm și înălțimea de 10 mm și au fost supuse testelor de comprimare cu ajutorul aparatului Testometric, modelul M350-5AT din dotarea Laboratorului pentru Testarea Proprietăților Mecanice, Optice și Termice a Materialelor Polimerice – LTPMOTMP, din cadrul Centrului de Excelență Cercetare și Dezvoltare în Modelare și Simulare Numerică al Facultății de Mecanică, Universitatea Dunărea de Jos, din Galați.

Probele au fost comprimate până la 54,5 % din înălțime, cu o viteză de 5mm/s. Fermitatea, exprimată ca forța de compresiune și modulul de elasticitate, exprimat ca raportul dintre tensiune și deformație, au fost determinate cu ajutorul soft-ului aparatului. S-au realizat câte cinci determinări pentru fiecare probă.

### 3.3.2.3. Analiza profilului textural

Pentru analiza profilului textural probele au fost tăiate în formă cilindrică, având diametrul de 9 mm și înălțimea de 20 mm. S-a utilizat un analizor textural Brookfield, CT3, cu ajutorul căruia probele au fost supuse unei compresiuni duble, până la 12 mm, cu viteza de 1mm/s și o încărcare a celulei de 1000g. Software-ul aparatului a înregistrat următorii parametri texturali: fermitatea, N, forța de aderență, N, coezivitatea, elasticitatea, mm, masticabilitatea, J.

### 3.2.2.4. Analiza reologică prin metoda SAOS (small amplitude oscillation stress)

Metoda oferă informații despre proprietățile mecanice ale materialelor analizate, ca răspuns la oscilațiile tensiunii aplicate. Cea mai importantă caracteristică a testelor oscilatorii este aceea că, datorită tensiunilor mici aplicate, pot fi considerate metode obiective și nedistructive, care se pretează pentru analiza structurii materialelor și dezvoltării structurii în timpul diferitelor procese (**Gunasekaran, 2003**).

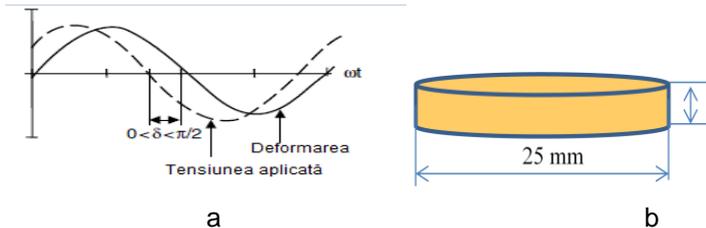


Figura 3.8 – Reprezentarea grafică a variației deformării ca răspuns la tensiunea aplicată sinusoidal, specifică materialelor vâscoelastice (a) și dimensiunile probelor analizate (b)

Analizele SAOS permit determinarea modulului de stocare (sau modulului de elasticitate) -  $G'$  și a modulului de pierdere (sau modulului de viscozitate) –  $G''$  ca funcție de frecvență ( $\omega$ ) în zona de vâscoelasticitate a materialului testat. Modulul de stocare măsoară energia stocată și recuperată într-un ciclu iar modulul de pierdere măsoară energia disipată într-un ciclu de deformare (**Ferry, 1980**). În consecință, unghiul de fază ( $\delta$ ) și tangenta lui (numită și tangenta de pierdere) (figura 3.8.), reprezintă o măsură relativă a raportului dintre componenta elastică și cea vâscoasă.

Pentru determinarea proprietăților vâscoelastice ale cașului s-a utilizat Reometrul AR 2000ex, din clasa TA Instruments. S-au măsurat modulul de stocare  $G'$  și modulul de pierdere  $G''$  pentru toate probele analizate. S-a utilizat un sistem de măsurare cu două plăci paralele cu diametrul de 25 mm și deschiderea de 1 mm (grosimea probei).

Probele au fost tăiate cu ajutorul unui cuțit special și au fost imediat acoperite cu pungi de plastic și lăsate la temperatura camerei cel puțin 2 ore. Proba a fost plasată pe placa inferioară iar placa superioară a fost coborâtă încet până când diferența de 1 mm a fost atinsă. Excesul de probă a fost îndepărtat cu ajutorul unei lame din plastic.

S-a utilizat un test de baleiaj de frecvență (frequency sweep test), aceasta variind între 0,015 și 10 Hz. S-au realizat câte cinci determinări pentru fiecare probă.

## **CAPITOLUL 4 – CERCETĂRI PRIVIND CARACTERIZAREA FIZICO-CHIMICĂ ȘI REOLOGICĂ A CAȘULUI ÎN TIMPUL PROCESULUI DE ACIDIFIERE**

Capitolul de față prezintă studiul caracteristicilor reologice ale cașului în timpul operației de acidifiere din cadrul procesului tehnologic de fabricare a cașcavalului, precum și stabilirea unor conexiuni între proprietățile fizico-chimice și caracteristicile reologice. Obiectivele derivate urmărite în cadrul capitolului au fost: 1) caracterizarea fizico-chimică a cașului; 2) caracterizarea reologică a

cașului; 3) stabilirea interdependenței dintre proprietățile fizico-chimice și caracteristicile reologice ale cașului.

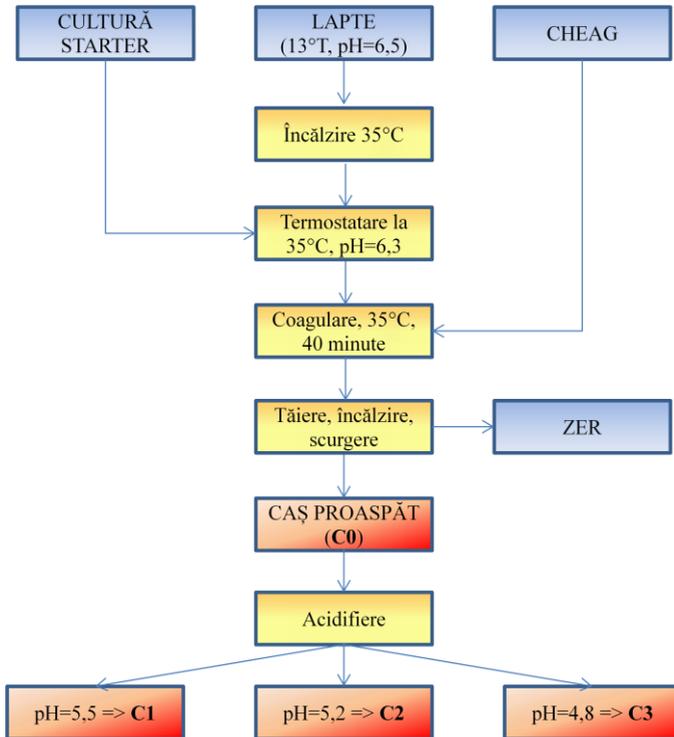


Figura 4.2. – Schema tehnologică de obținere a probelor și codificarea acestora

Pentru îndeplinirea obiectivelor propuse, probele au fost realizate și codificate conform schemei tehnologice din figura 4.2. Cele trei stadii de acidifiere a cașului au fost stabilite în funcție de valorile pH-ului 5,5, 5,2 și 4,8, valori considerate critice de către **Chintescu și Toma (2001)** și **Kindstedt ș.a. (2003)**, conform cărora cașul insuficient maturat nu se plasticizează corect (nu are capacitatea de a forma structura fibroasă), iar cel supramaturat formează fire scurte, lipsite de luciu și cu granulații de-a lungul firelor. Analizele fizico-chimice și cele reologice au fost realizate în triplicat, iar pentru analizele texturale au fost efectuate câte 5 determinări la fiecare probă. Datele rezultate au fost prelucrate statistic pentru identificarea diferențelor semnificative dintre ele (metoda ANOVA).

## 4.1. Caracterizarea fizico-chimică a caşului în cursul acidifierii

În tabelul 4.1. sunt prezentate principalele caracteristici fizico-chimice ale caşului în timpul operaţiei de acidifiere. Rezultatele prezentate reprezintă media aritmetică a trei determinări.

Tabelul 4.1. – *Principalii parametri fizico-chimici ai caşului în timpul operaţiei de acidifiere*

Parametrul determinat	C0	C1	C2	C3
Substanţa uscată, %	50,98±0,425*	51,89±0,151	52,29±0,467	52,61±0,120
Conţinut de grăsime, %	25,83±0,288	26,16±0,288	26,33±0,288	26,66±0,288
Conţinut de azot total, %	3,4±0,126	3,46±0,017	3,48±0,121	3,5±0,045
Conţinut de cenuşă, %	4,77±0,036	4,83±0,105	4,85±0,026	4,87±0,086
Aciditate, °T	24,66±0,577	134,66±0,577	160±1,732	185±1
pH	6,3±0,1	5,5±0,1	5,2±0,2	4,8±0
Conţinutul de calciu total, %	0,81±0,026	0,8±0,036	0,79±0,034	0,79±0,036
Conţinutul de calciu solubil, %	0,04±0,026	0,24±0,017	0,33±0,017	0,42±0,017

\* deviaţia standard

## 4.2. Modificarea proprietăţilor reologice ale caşului în timpul procesului de acidifiere

### **4.2.1. Teste penetrometrice**

Figura 4.6 cuprinde reprezentări grafice ale variaţiei forţei de penetrare în funcţie de adâncimea penetrării.

Pe parcursul procesului de acidifiere se remarcă o scădere a fermităţii probelor, în proporţii diferite dar nesemnificative. Astfel, cea mai mică scădere a fermităţii (cu 0,1%) se înregistrează în prima etapă de acidifiere. În următoarele etape fermitatea caşului descreşte cu 1%, respectiv cu 2,8%. În prima etapă de acidifiere are loc şi o scurgere mai accentuată a zerului, motiv pentru care umiditatea scade, fenomen însoţit de creşterea fermităţii. Pe de altă parte, tot în această primă etapă se înregistrează şi o creştere a acidităţii, fapt care duce la dizolvarea calciului şi scăderea fermităţii probelor. Rezultate similare au fost raportate de **Joshi ş.a. (2003)** şi de **Sheehan şi Guinee (2004)**

pentru brânza Mozzarella cu conținut redus de grăsime.

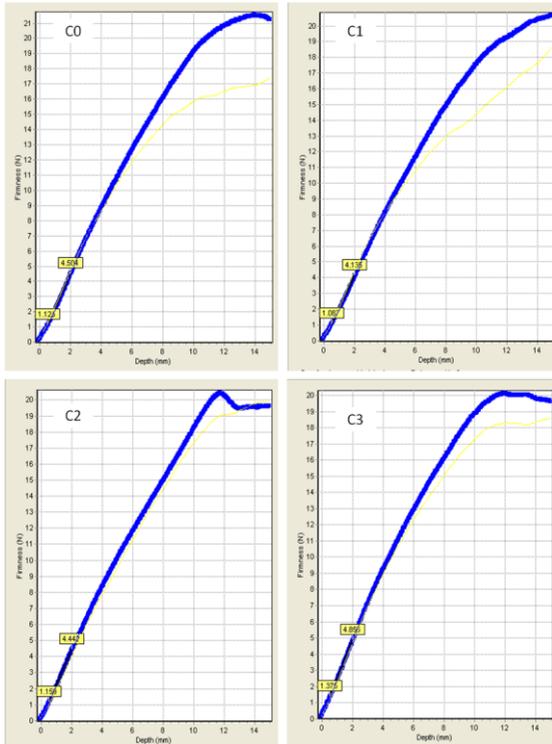


Figura 4.6. – Fermitatea în funcție de adâncimea penetrării

#### 4.2.2. Teste de compresiune

În tabelul 4.3. este prezentată evoluția modului de elasticitate (exprimat ca raport între tensiune și deformație, kPa) și fermității (exprimată ca forța necesară compresiunii probelor până la 30% din înălțimea lor, N).

Tabelul 4.3. – Forța de compresiune și modulul de elasticitate în timpul acidifierii

Proba	C0	C1	C2	C3
Fermitatea, N	5,357±0,15	4,780±0,424	4,423±0,184	3,907±0,525
Modulul de elasticitate, kPa	157,846 ±1,25	140,880 ±1,72	130,417 ±0,59	106,255±0,98

Evoluția fermității cașului în cele trei etape ale procesului de acidifiere este asemănătoare cu evoluția fermității determinată prin teste penetrometrice.

Se constata însă o diferență semnificativă între valorile fermității determinate prin testele de punctură și prin cele de compresiune. Astfel, în cazul testelor de punctură fermitatea înregistrează valori mai mari. Acest comportament este explicat de **Benedito ș.a. (2006)** prin aceea că forța totală înregistrată în timpul testului reprezintă suma a doua forțe – una direct proporțională cu aria frontală a poronului, fiind asociată efectului de comprimare a produsului, a doua proporțională cu perimetrul poronului, fiind asociată cu efectul de forfecare și de tensiune laterală.

Pentru a verifica relevanța valorilor fermității obținute prin cele două metode (penetrare și compresiune) s-a realizat graficul de corelație prezentat în figura 4.7. Întrucât coeficientul de corelație liniară are valoarea de 0,9966 se poate afirma faptul că între cele două seturi de valori există o corelație foarte bună (**Bower, 2009**).

Modulul de elasticitate determinat prin compresiune uniaxială (tabelul 4.3.) a scăzut de la 157,846 kPa pentru cașul proaspăt (proba C0), la 140,880 kPa pentru proba C1, 130,417 kPa pentru proba C2 și 106,255 kPa pentru proba C3. Scăderea modulului de elasticitate în timpul acidifierii se datorează ionilor de calciu care trec în forma solubilă, diminuând elasticitatea proteinelor.

### **4.2.3. Analiza profilului textural**

În tabelul 4.4 sunt trecute valorile medii și deviația standard.

Valorile fermității probelor de caș determinate prin metoda TPA sunt în concordanță cu valorile fermității determinate prin celelalte metode instrumentale. Astfel, pe durata acidifierii, fermitatea scade de la 5,08 N pentru coagul, la 3,37 N pentru proba C3 (proba cu cel mai înalt grad de acidifiere). Forța de aderență a scăzut pe parcursul acidifierii cașului, de la 0,5N pentru coagul, la 0,37N, 0,33N și, respectiv, 0,32N. Explicația scăderii forței de aderență este dată de **Bryant ș.a. (1995)**, citați de **Foegeding și Drake (2007)**. Autorii menționați consideră că scăderea forței de aderență, ca și a elasticității și coezivității, este determinată de creșterea conținutului de substanță uscată și, implicit, de scăderea conținutului de grăsime.

Tabelul 4.4. – Valorile parametrilor TPA pentru coagul și caș

Proba	C0	C1	C2	C3
Fermitatea, N	5,08±0,080	4,73±0,025	4,49±0,134	3,37±0,936
Forța de aderență, N	0,5±0,080	0,37±0,028	0,33±0,002	0,32±0,008
Coezivitaea, -	0,76±0,011	0,74±0,001	0,73±0,008	0,71±0,006
Elasticitatea, mm	2,48±0,028	2,44±0,025	2,43±0,002	2,22±0,047

În tabelul 4.4 se poate remarca, de asemenea, faptul că în urma acidifierii capacitatea de recuperare a deformației (elasticitatea) scade de la 2,48 mm la 2,22 mm. Acest comportament se datorează modificărilor chimice și structurale ale cașului care apar în timpul procesului de acidifiere. Cel mai afectat element structural este rețeaua de cazeină, care devine mai fermă și mai ușor deformabilă (**Banks, 2007**).

#### 4.2.4. Analiza prin forfecare oscilatorie de joasă amplitudine (small amplitude oscillatory shear – SAOS)

Pentru analiza probelor de caș în timpul procesului de acidifiere a fost efectuat un test de baleiaj de frecvență ale cărui rezultate sunt prezentate în figurile 4.9. și 4.10.

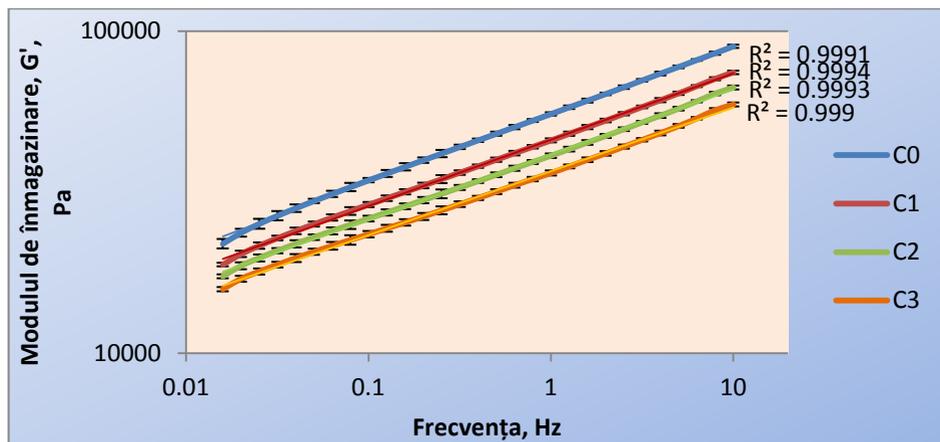


Figura 4.9. – Modulul de stocare  $G'$  în timpul acidifierii

Pentru toate cele patru probe analizate se poate constata creșterea modulului de stocare odată cu creșterea frecvenței. Această

evoluție poate fi explicată prin aceea că valorile mici ale frecvenței lasă elementelor structurale ale cașcavalului suficient timp pentru mișcare și rearanjare, ceea ce imprimă probei un caracter reologic fluid. Frecvențele mai mari nu lasă acest timp și de aceea caracterul reologic al probei este unul preponderent solid.

În figura 4.10. este prezentată variația modulului de pierdere pentru caș în timpul procesului de acidifiere. Ca și în cazul modulului de stocare se remarcă o creștere a valorilor modulului odată cu creșterea frecvenței și a pH-ului.

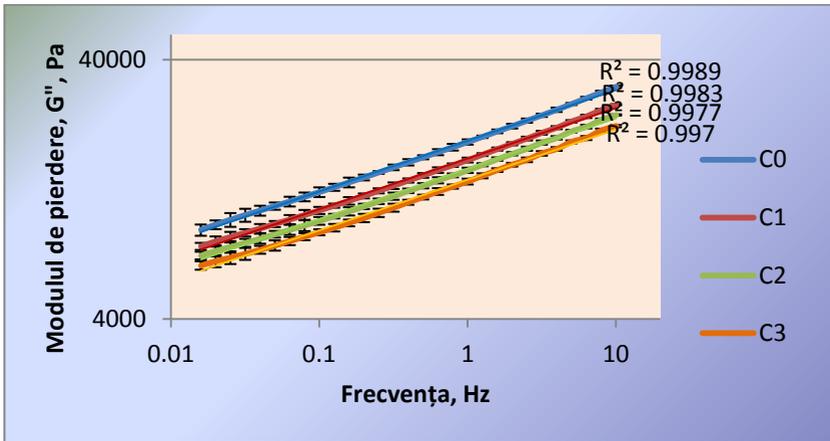


Figura 4.10. – Modulul de pierdere  $G''$  în timpul acidifierii

De asemenea, se pot remarca valori mai mici ale modulului de pierdere comparativ cu cele ale modulului de stocare, fapt care demonstrează caracterul preponderent elastic al coagulului și cașului. Valori asemănătoare ale modulelor de înmagazinare și de pierdere au fost remarcate și de **Lucey, 2003, Brown, 2003 și Foegeding și Drake, 2007** pentru brânza Monterey Jack. Coeficienții de regresie cu valori cuprinse între 0,997 și 0,9989 demonstrează, și în acest caz, o bună corelație a datelor cu modelul putere.

#### **4.3. Caracterizarea reologică a cașului în raport cu proprietățile fizico-chimice**

Pentru caracterizarea reologică a cașului în raport cu proprietățile fizico-chimice s-a utilizat metoda analizei suprafeței de răspuns. S-au ales, pe rând, ca variabile independente conținutul de proteine, %, conținutul de grăsime, %, substanța uscată, % și pH-ul. Ca variabile dependente au fost stabilite fermitatea, N, forța de aderență, N,

elasticitatea, mm și coezivitatea (tabelul 4.5).

Tabelul 4.5. – Protocolul de lucru pentru stabilirea unor relații matematice între proprietățile fizico-chimice și texturale ale coagulului și cașului în timpul procesului de acidifiere

Variabile dependente, UM	Fermitate, N	Forța de aderență, N	Elasticitate, mm	Coezivitate, -
Variabile independente, UM	pH și substanță uscată, %			
	conținut de proteine, % și conținut de grăsime, %			

Reprezentările grafice ale dependenței dintre parametrii texturali și fizico-chimici ai cașului s-au realizat cu ajutorul programului STAT SOFT STATISTICA 8.0. Același program a generat și modelul matematic, sub forma unei ecuații de tipul

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2,$$

în care Y reprezintă variabila dependentă iar  $X_1$  și  $X_2$  reprezintă variantele independente, considerate conform tabelelor 4.5.; 4.6. și 4.7. Datele au fost analizate prin metoda ANOVA în vederea stabilirii factorilor de încredere.

Tabelul 4.6. – Relațiile dintre parametrii texturali, pH și substanța uscată, coeficienții de regresie și factorii Fisher

Variabila dependentă, UM	Ecuția de regresie	R <sup>2</sup>	Factorul p
<i><math>X_1 = \text{pH}</math> ; <math>X_2 = \text{substanța uscată, \%}</math></i>			
Fermitatea, N	$-27,6 + 5,9 \cdot X_1 + 4,78 \cdot X_2$	0,831	0,04
Coezivitatea, -	$-2,01 + 0,0736 \cdot X_1 + 0,0447 \cdot X_2$	0,964	0,019
Elasticitatea, mm	$-6,2 + 1,28 \cdot X_1 + 1,1 \cdot X_2$	0,79	0,049
Forța de aderență, N	$1,42 - 0,142 \cdot X_1 - 0,252 \cdot X_2$	0,97	0,017

Coeficienții corespunzători conținutului de substanță uscată sunt mai mici (0,0447 pentru coezivitate și 1,1 pentru elasticitate) decât cei corespunzători pH-ului (0,0736 pentru coezivitate și 1,28 pentru elasticitate). Din aceste rezultate se poate constata că tăria legaturilor interne care dau consistența cașului este direct proporțională cu

conținutul de substanță uscată și cu pH-ul. În ceea ce privește forța de aderență, poate fi remarcată influența negativă a celor doi parametri considerați: -0,142 pentru pH și -0,252 pentru substanța uscată. Creșterea forței de aderență odată cu scăderea conținutului de substanță uscată a fost raportată și de **Bryant (1995)**. Pentru toate ecuațiile obținute se remarcă valori ale coeficienților de regresie cuprinse între 0,79 pentru elasticitate și 0,97 pentru forța de aderență.

Tabelul 4.7. – Relațiile dintre parametrii texturali, conținutul de grăsime și conținutul de proteine, coeficienții de regresie și factorii Fisher

Variabila dependentă, UM	Ecuția de regresie	R <sup>2</sup>	Factorul p
<i>X<sub>1</sub> = conținutul de grăsime, % ; X<sub>2</sub> = conținutul de proteine, %</i>			
Fermitatea, N	42,1 - 4,93·X <sub>1</sub> + 3,89·X <sub>2</sub>	0,991	0,009
Coezivitatea, -	2,32 - 0,06·X <sub>1</sub> - 0,0021·X <sub>2</sub>	0,999	0,005
Elasticitatea, mm	6,95 - 0,929·X <sub>1</sub> + 0,843·X <sub>2</sub>	0,961	0,019
Forța de aderență, N	8,59 - 0,242·X <sub>1</sub> - 0,619·X <sub>2</sub>	0,996	0,006

În tabelul 4.7 sunt prezentate relațiile dintre parametrii texturali, conținutul de grăsime și conținutul de proteine, precum și coeficienții de regresie pentru ecuațiile obținute și factorii Fisher. În ecuația dependenței liniare dintre fermitate, conținutul de proteine și conținutul de grăsime se poate remarca un coeficient negativ pentru conținutul de grăsime (-4,93), ceea ce arată variația invers proporțională dintre fermitate și parametrul menționat.

În ceea ce privește conținutul de proteine, el influențează direct fermitatea, fapt demonstrat prin coeficientul pozitiv (3,89). De asemenea, se remarcă o importanță ușor mai ridicată a conținutului de grăsime, coeficientul său fiind mai mare decât cel al conținutului de proteine. O relație asemănătoare între cei doi coeficienți a fost relatată și de **Gunasekaram și Ak (2003)**.

Coezivitatea este influențată negativ de conținutul de proteine și de conținutul de grăsime. Capacitatea cașului de a reveni la forma inițială după îndepărtarea solicitării este diminuată de conținutul de grăsime, al cărui coeficient este negativ (-0,929) și îmbunătățită de conținutul de proteine (0,843). Forța de aderență este influențată negativ atât de conținutul de grăsime cât și de conținutul de proteine.

Pentru fermitate, coezivitate și forța de aderență coeficienții de regresie indică o corelație foarte bună, valorile lor fiind mai mari de 0,99.

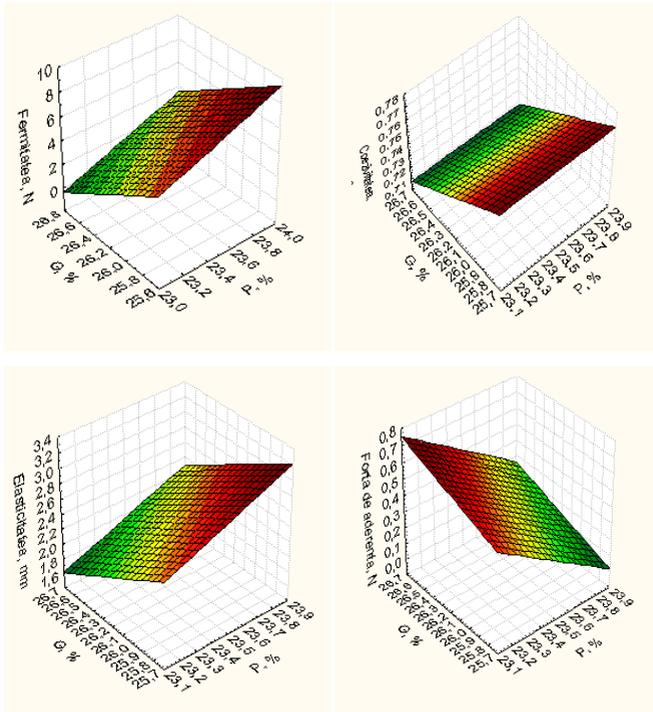


Figura 4.12. – Reprezentarea grafică a dependenței dintre parametrii texturali, conținutul de grăsime și conținutul de proteine

#### **4.4. Concluzii parțiale**

În urma studiului realizat se pot evidenția următoarele concluzii:

- conținutul în substanță uscată crește cu 3,2% pe parcursul acidifierii de la pH 6,3 la pH 4,8 datorită pierderilor de apă prin sinereză și evaporare la suprafața probelor;
- ritmul de creștere a substanței uscate variază, fiind mai accentuat în prima etapă de acidifiere, 1,8% apoi scade la 0,8% și 0,6%. Această

variație se datorează scăderii vitezei de migrare a apei din interiorul către exteriorul probelor de caș;

- conținutul de grăsime nu se modifică semnificativ pe parcursul acidifierii datorită faptului că intervalul de timp în care are loc procesul este prea scurt pentru declanșarea proceselor biochimice de hidroliză și oxidare a grăsimilor;
- conținutul de proteine scade ușor datorită pierderilor de proteine serice odată cu zerul eliminat din probe. Durata mică a procesului de acidifiere nu a permis o proteoliză profundă care să aibă ca rezultat formarea de compuși azotați neproteici;
- conținutul de calciu total scade ușor, cu aproximativ 4% pe toată durata procesului de acidifiere, această scădere datorându-se, în principal, pierderilor în zerul eliminat;
- conținutul de calciu solubil, în proporție de 0,04% în cașul proaspăt, înregistrează o creștere accentuată, ajungând la o concentrație de zece ori mai mare în cașul cu pH 4,8, creștere datorată scăderii pH-ului, fenomen care favorizează eliminarea calciului din paracazeinatul bicalcic;
- raportul Ca solubil/Ca total crește de la 5% în coagul (pH 6,4) până la 54% la sfârșitul perioadei de acidifiere (caș cu pH 4,8);
- fermitatea cașului scade pe toată durata acidifierii, cu valori diferite, în funcție de metoda de determinare. Testele de compresiune au relevat o scădere totală a fermității de 37,11%, comparativ cu analiza profilului textural, care a relevat o scădere de 50,74%;
- dependența dintre fermitatea determinată prin testul de punctură și cea determinată prin compresiune prezintă un coeficient de corelație mai mare de 0,99, ceea ce demonstrează că ambele metode pot fi utilizate cu succes pentru determinarea fermității brânzeturilor;
- modulul de elasticitate exprimat ca panta graficului tensiune-deformație rezultat în urma testelor de compresiune a înregistrat valori descrescătoare odată cu avansarea gradului de acidifiere a cașului: în prima etapă de acidifiere modulul de elasticitate a scăzut cu 12%, în a doua etapă de acidifiere cu 8% iar în ultima etapă cu 22%;
- scăderea elasticității cașului acidifiat comparativ cu cea a cașului proaspăt a fost observată și prin analiza profilului textural în care s-a examinat capacitatea cașului de a recupera deformația aplicată. Această capacitate a scăzut cu 1,6% (la pH 5,5), cu 1% (la pH 5,2) și, respectiv, cu 9% (la pH 4,8). Se remarcă scăderea mai accentuată a elasticității în ultimul interval de acidifiere, probabil datorită cantității mai mari de ioni de calciu eliminați din matricea proteică;
- forța de aderență scade în fiecare etapă a procesului de acidifiere cu 35,13%, cu 12,12% și, respectiv, cu 0,5%, scădere corelată cu

creșterea conținutului de substanță uscată. Se remarcă o scădere mai accentuată a forței de aderență în prima etapă de acidifiere datorită cantității mai mari de apă eliminată din caș în această etapă;

- coezivitatea înregistrează valori descrescătoare odată cu creșterea gradului de acidifiere: în prima etapă aceasta scade cu 2,7%, în a doua etapă cu 1,3% iar în ultima etapă cu 2,8%. Corelând valorile coezivității cu cele ale substanței uscate și ale conținutului de calciu dar și cu alte date din literatura de specialitate, se poate observa legătura directă dintre cei trei parametri;

- modulul de stocare crește odată cu creșterea frecvenței de testare, de 4,1 ori pentru cașul proaspăt, de 3,9 ori pentru cașul acidifiat până la pH 5,5, de 3,85 ori pentru cașul acidifiat până la pH 5,2 și de 3,74 ori pentru cașul acidifiat până la pH 4,8;

- modulul de stocare scade odată cu avansarea gradului de acidifiere a cașului: pentru valoarea minimă a frecvenței de testare (0,015 Hz) modulul de stocare scade cu 16,14% în prima etapă de acidifiere, cu 8,7% în a doua etapă de acidifiere, și cu 9,6% în a treia etapă de acidifiere iar pentru valoarea maximă a frecvenței (10 Hz) modulul de stocare scade cu 20,5%, 11,42% și, respectiv, 12,89% în cele trei etape de acidifiere;

- modulul de pierdere crește odată cu creșterea frecvenței de testare, de 3,56 ori pentru cașul proaspăt, de 3,51 ori pentru cașul acidifiat până la pH 5,5, de 3,48 ori pentru cașul acidifiat până la pH 5,2 și de 3,44 ori pentru cașul acidifiat până la pH 4,8;

- modulul de pierdere scade odată cu avansarea gradului de acidifiere a cașului: pentru valoarea minimă a frecvenței de testare (0,015 Hz) modulul de stocare scade cu 15,59% în prima etapă de acidifiere, cu 8,44% în a doua etapă de acidifiere, și cu 9,24% în a treia etapă de acidifiere iar pentru valoarea maximă a frecvenței (10 Hz) modulul de stocare scade cu 17,31%, 9,83% și, respectiv, 10,46% în cele trei etape de acidifiere;

- fermitatea este influențată pozitiv de pH, substanța uscată și conținutul de proteine și negativ de conținutul de grăsime. În ecuațiile de corelație dintre fermitate și parametrii enumerați, pH-ului îi corespunde coeficientul 5,6, substanței uscate 4,78, conținutului de grăsime -4,93 iar conținutului de proteine 3,89;

- coezivitatea este influențată pozitiv de pH și substanță uscată, în ecuația de corelație cei doi parametri având coeficienții 0,0736 și, respectiv, 0,0447 și negativ de conținutul de grăsime și conținutul de proteine, coeficienții lor având valorile de -0,06 și, respectiv, -0,0021;

- în ecuația de corelație dintre elasticitate, pH și substanță uscată, pH-ul are coeficientul 1,28 iar substanța uscată 1,1 iar în ecuația de

corelație dintre elasticitate, conținutul de grăsime și conținutul de proteine conținutul de grăsime are coeficientul -0,929 iar conținutul de proteine 0,843;

- forța de aderență este influențată negativ de toți parametrii considerați pentru ecuațiile de corelație: coeficientul corespunzător pH-ului este -0,142, cel corespunzător substanței uscate este -0,252, coeficientul corespunzător conținutului de grăsime este -0,242 iar cel corespunzător conținutului de proteine este -0,619.

## **CAPITOLUL 5 – CERCETĂRI PRIVIND STABILIREA CONDIȚIILOR OPTIME DE OPĂRIRE**

Obiectivul general al acestui capitol a fost *stabilirea condițiilor optime de realizare a operației de opărire prin studiul influenței pH-ului cașului, temperaturii de opărire și compoziției amestecului de opărire asupra proprietăților fizico-chimice, reologice și texturale ale pastei de brânză.*

Protocolul de lucru și codificarea probelor sunt prezentate în tabelul 5.1.

*Tabelul 5.1. – Protocolul de lucru și codificarea probelor*

<b>Obiectiv</b>	<b>Parametri constanți, UM</b>	<b>Valori parametri constanți</b>	<b>Parametru variabil, UM</b>	<b>Valori parametru variabil</b>	<b>Coduri probe</b>
Stabilirea influenței pH-ului cașului asupra proprietăților reologice și texturale ale pastei de brânză	Temperatura de opărire, °C	75	<b>pH</b>	5,5	<b>P1</b>
	Amestecul de opărire	12% NaCl, 62% apă, 26% zer		5,2	<b>P2</b>
				4,8	<b>P3</b>
Stabilirea influenței temperaturii de opărire asupra proprietăților reologice și texturale ale pastei de brânză	pH	5,2	<b>Temperatura, °C</b>	65	<b>T1</b>
	Amestecul de opărire	12% NaCl, 62% apă, 26% zer		75	<b>T2</b>
				85	<b>T3</b>

Stabilirea influenței amestecului de opărite asupra proprietăților reologice și texturale ale pastei de brânză	Temperatura de opărire, °C	75	Amestecul de opărire	10% NaCl, 90% apă	M1
	pH	5,2		12% NaCl, 88% apă	M2
				10% NaCl, 63% apă, 27% zer	M3
				12% NaCl, 62% apă, 26% zer	M4

## **5.2. Analiza reologică a cașului opărit**

### ***Influența pH-ului cașului***

Tabelul 5.11 prezintă valorile parametrilor TPA (fermitate, forță de aderență, coezivitate și elasticitate) în funcție de pH-ul cașului. Se poate remarca scăderea valorilor forței de aderență: cu 12,5% în cazul scăderii pH-ului cașului de la 5,5 (P1) la 5,2 (P2) și cu 60% în cazul scăderii pH-ului cașului de la 5,2 la 4,8 (P3). Elasticitatea scade cu 4,3% la scăderea pH-ului cașului de la 5,5 la 5,2 și cu 22,8% la scăderea pH-ului de la 5,2 la 4,8. De asemenea, fermitatea probei P2 crește cu 4,2% față de cea a probei P1 iar fermitatea probei P3 este cu 6% mai mare decât cea a probei P2. Coezivitatea probei cu 9,6% și 7%. Aceste rezultate pot fi explicate prin influența conținutului de substanță uscată, care este cu atât mai mare cu cât pH-ul cașului supus opăririi este mai mic. Așa cum s-a menționat anterior, studiile raportate în literatura de specialitate au relevat dependența direct proporțională dintre fermitate și conținutul de substanță uscată și dependența invers proporțională între forța de aderență și substanța uscată. Scăderea elasticității odată cu reducerea pH-ului cașului opărit este corelată cu scăderea concentrației ionilor de calciu.

*Tabelul 5.11 – Parametrii TPA în funcție de pH-ul cașului*

<b>Proba</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
Fermitate, N	9,41±0,172	9,81±0,067	10,4±0,096
Forță de aderență, N	0,9±0,008	0,8±0,002	0,5±0,003
Coezivitate, -	0,52±0,003	0,57±0,001	0,61±0,002
Elasticitate, mm	2,64±001	2,53±0,013	2,06±0,002

### ***Influența temperaturii de opărire***

În tabelul 5.12 sunt prezentați parametrii TPA în funcție de

temperatura soluției de opărire. Ca și în cazul metodelor anterioare de determinare a fermității, se poate observa că aceasta crește odată cu creșterea temperaturii apei de opărire. Dacă în urma opăririi la 65°C (T1) cașul a înregistrat o valoare a fermității de 8,75 N, creșterea cu 10°C a temperaturii a determinat creșterea fermității cu 1 N (T2) (creștere procentuală cu 12,11%) iar creșterea cu 20°C (T3) a determinat creșterea fermității cu 2,9%. O altă caracteristică texturală pentru care s-au înregistrat valori crescătoare la creșterea temperaturii de opărire a fost coezivitatea, care la 65°C a înregistrat valoarea de 0,5, la 75°C a crescut cu 14% iar la 85°C crescut cu 26% față proba opărită la 65°C (T1). Creșterea fermității și coezivității sunt rezultatul expulzării zerului în cantitate mai mare și dezvoltării microstructurii mai rigide a matricei proteice la creșterea temperaturii de opărire, așa cum a fost raportat de **Ma ș.a. (2013)** și de **Joshi ș.a. (2004)**.

*Tabelul 5.12 – Parametrii TPA în funcție de temperatura de opărire*

<b>Proba</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Fermitate, N	8,75±0,196	9,81±0,067	10,1±0,561
Forță de aderență, N	0,85±0,003	0,8±0,002	0,7±0,003
Coezivitate, -	0,5±0,004	0,57±0,001	0,63±0,001
Elasticitate, mm	2,59±0,008	2,53±0,013	2,46±0,023

### ***Influența compoziției amestecului de opărire***

În tabelul 5.13 sunt prezentați parametrii texturali obținuți prin TPA, în funcție de variația compoziției amestecului de opărire.

*Tabelul 5.13 – Parametrii TPA în funcție de compoziția amestecului de opărire*

<b>Proba</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
Fermitate, N	9,18±0,216	10,74±0,121	9,81±0,067	10,92±0,121
Forță de aderență, N	0,87±0,001	0,69±0,002	0,8±0,002	0,61±0,002
Coezivitate, -	0,5±0,002	0,69±0,009	0,57±0,001	0,69±0,005
Elasticitate, mm	2,48±0,011	2,36±0,005	2,64±0,013	2,53±0,009

Toți parametrii texturali considerați sunt influențați atât de adaosul zerului în amestecul de opărire cât și de cantitatea de sare adăugată. Astfel, la adaosul zerului fermitatea crește cu 6,8% atunci

când concentrația saramurii este de 10%, și cu 1,6% când concentrația saramurii este de 12%. La creșterea concentrației de sare de la 10% la 12% fermitatea crește cu 16,9% în cazul utilizării saramurii din apă și cu 11,3% în cazul utilizării saramurii din zer. Forța de aderență scade la adaosul de zer cu 8,7%, respectiv cu 13,11% iar la creșterea concentrației de sare forța de aderență scade cu 26%, în cazul probelor opărite în apă și cu 31,1% în cazul probelor opărite în apă cu zer.

### 5.3. Analiza senzorială a cașului opărit

Pe baza punctajelor medii ale analizei senzoriale s-a realizat graficul tip radar din figura 5.6.

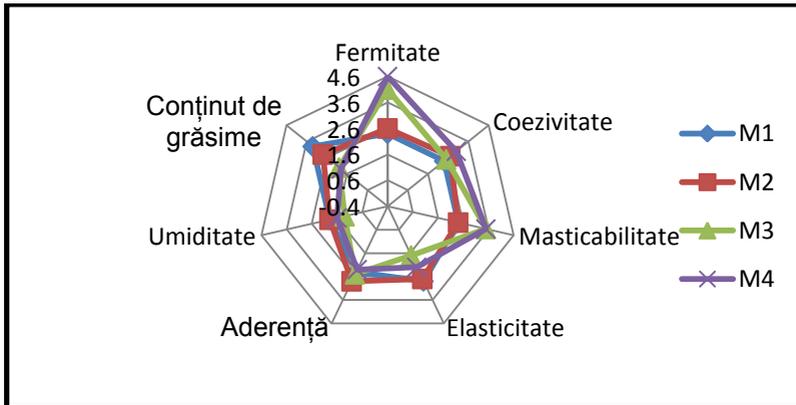


Figura 5.6 - Caracteristici de textură

Pentru toate probele de caș fermitatea a fost evaluată cu un număr de puncte cuprins între 2,4 – 4. Pentru coezivitate au fost acordate între 2,4 și 3 puncte, pentru masticabilitate între 2,4 și 3,1 puncte, pentru elasticitate între 2,1 și 2,8 puncte, pentru aderență între 2,1 și 2,4 puncte iar pentru conținutul de grăsime între 2,8 – 2,9 puncte.

Cea mai mare valoare a punctajului pentru fermitate s-a înregistrat pentru proba M4 (4 puncte), probă opărită într-un amestec format din 10% sare, 63% apă și 27% zer, iar valoarea cea mai scăzută a fost obținută de proba M1 (10% sare, 90% apă) - 2,4. Adaosul zerului în amestecul de opărire determină creșterea fermității, în condițiile utilizării aceleiași concentrații de sare. Se observă că fermitatea crește odată cu creșterea concentrației de sare.

Analiza senzorială a relevat o corelație directă între fermitate și coezivitate. Astfel, probele care au fost evaluate cu cel mai

mare punctaj pentru coezivitate au fost probele opărite în apă cu zer (M3) și cele care au fost opărite în apă cu adaos mai mare de sare (M4).

Degustătorii nu au remarcat nicio influență a concentrației de sare asupra masticabilității probelor opărite în saramură din apă. La adaosul de zer în apa de opărire se constată creșterea masticabilității față de probele opărite în saramură din apă dar și creșterea acestui parametru odată cu creșterea conținutului de sare (2,5 puncte la proba M3 și 3,1 puncte la proba M4).

Pentru elasticitate degustătorii au remarcat scăderea acesteia odată cu creșterea concentrației de sare, atât pentru probele opărite în saramură din apă cât și pentru cele opărite în saramură din zer. De asemenea, punctajele obținute de probele opărite în saramură din zer au fost mai mici decât cele opărite în saramură din apă, pentru aceleași valori ale concentrației de sare (2,4 puncte la proba M2 și 2,2 puncte la proba M4).

Aderența determinată prin analiza senzorială scade la creșterea conținutului de sare și la adaosul de zer în apa de opărire (2,1 puncte la proba M4 față de 2,3 puncte la proba M3).

Se poate remarca asemănarea dintre rezultatele obținute prin analiza senzorială și cele obținute prin TPA.

#### **5.4. Concluzii parțiale**

În urma analizei influenței condițiilor de opărire asupra proprietăților fizico-chimice, reologice, texturale și senzoriale ale cașului opărit, se pot concluziona următoarele:

##### **Influența pH-ului cașului**

- la menținerea constantă a temperaturii de opărire și a compoziției amestecului de opărire se poate constata o creștere cu aproximativ 2% a pH-ului tuturor probelor analizate comparativ cu cașul acidifiat, fenomen datorat trecerii acidului lactic în zer în urma operației de opărire;

- substanța uscată a cașului opărit crește odată cu scăderea pH-ului cașului supus opăririi, creșterea fiind cu 2,07% la scăderea pH-ului de la 5,5 la 5,2 și cu 1,7% la scăderea pH-ului cașului de la 5,2 la 4,8. Această evoluție demonstrează faptul că prin scăderea pH-ului cașului se elimină mai multă apă din caș în timpul opăririi, apa eliminată depășind cantitatea de sare înglobată în caș;

- dintre componentele substanței uscate, conținutul de grăsime variază cel mai mult la modificarea pH-ului cașului supus opăririi, în sensul creșterii cu 2,11% la modificarea pH-ului de la 5,5 la 5,2 și cu 4,42% la modificarea pH-ului de la 5,2 la 4,8. Creșterea este determinată de fapt de creșterea conținutului de substanță uscată prin eliminarea apei la opărire. Totodată se poate concluziona că la scăderea pH-ului cașului supus opăririi pierderile de grăsime în apa de opărire se diminuează;

- în ceea ce privește interdependența dintre conținutul de calciu total și pH-ul cașului, se poate remarca faptul că, la scăderea pH-ului are loc scăderea concentrației de calciu, în aceeași măsură, fapt explicabil prin solubilizarea ionilor de calciu și trecerea lor în apa de opărire;

- scăderea pH-ului cașului supus opăririi are ca rezultat creșterea fermității pastei de brânză, comportament relevant prin toate cele trei metode de analiză (penetrare, compresiune uniaxială și analiza profilului textural). La scăderea pH-ului cașului înainte de opărire de la 5,5 la 5,2 fermitatea crește cu 6,16% conform testelor penetrometrice, cu 18,8% conform testelor de compresiune și cu 4,2% conform analizei profilului textural. La scăderea pH-ului de la 5,2 la 4,8 creșterile de fermitate sunt de 20,6%, 23% și, respectiv, 6%. Diferențele procentuale dintre cele trei tipuri de testări provin din modul diferit în care probele au fost supuse solicitărilor mecanice.

- elasticitatea probelor de caș opărit scade odată cu scăderea pH-ului cașului supus opăririi, comportament relevat atât prin compresiune uniaxială și analiza profilului textural, cât și prin analiza oscilatorie. Dacă în urmă compresiunii uniaxiale se remarcă o scădere a modulului de elasticitate cu 7,22% la scăderea pH-ului de la 5,5 la 5,2 și cu 15,69% la scăderea pH-ului de la 5,2 la 4,8, în urma analizei oscilatorii se constată scăderea modulului elastic cu valori cuprinse între 7,27% și 21,28% în primul caz și între 7,66% și 16,74% în al doilea caz;

- scăderea pH-ului cașului înainte de opărire ca avut ca rezultat scăderea forței de aderență a cașului opărit cu 12,5%, la scăderea pH-ului de la 5,5 la 5,2, și cu 60% la scăderea pH-ului de la 5,2 la 4,8, fenomen datorat în primul rând scăderii umidității cașului;

- coezivitatea cașului opărit a crescut cu 9,61% la scăderea pH-ului cașului de la 5,5 la 5,2 și cu 7% la scăderea pH-ului de la 5,2 la 4,8.

## **Influența temperaturii de opărire**

- temperatura de opărire influențează în mod special conținutul de substanță uscată și pe cel de grăsime al probelor analizate. Datorită eliminării de zer în soluția de opărire și migrării sării în pasta de brânză, conținutul de substanță uscată crește cu 2,7% la creșterea temperaturii apei de opărire de la 65°C la 75°C și, respectiv cu 2,7% în cazul creșterii temperaturii de la 75 la 85°C. Creșterea temperaturii soluției de opărire determină creșterea cantității de zer eliminate din caș;

- deși există pierderi de grăsime în soluția de opărire, prin eliminarea de zer crește procentul de substanță uscată și, deci, și de grăsime din cașul opărit. În cașul opărit la 75°C conținutul de grăsime a crescut cu 3,6% față de cașul opărit la 65°C, iar în cel opărit la 85°C cu 2,7% față de cel opărit la 75°C;

- fermitatea cașului crește odată cu creșterea temperaturii de opărire, fapt demonstrat prin analiza penetrometrică (cașul opărit la 75°C este cu 6% mai ferm decât cel opărit la temperatura de 65°C, în timp ce cașul opărit la 85°C este cu 16% mai ferm decât cel opărit la 75°C) dar și prin compresiune (fermitatea cașului opărit la 75°C este cu 9% mai mare decât cea a cașului opărit opărit la temperatura de 65°C, în timp ce fermitatea cașului opărit la 85°C este cu 14% mai mare decât cea a cașului opărit la 75°C) și analiza profilului textural (cașul opărit la 75°C este cu 12% mai ferm decât cel opărit la temperatura de 65°C, în timp ce cașul opărit la 85°C este cu 16% mai ferm decât cel opărit la 75°C);

- creșterea temperaturii de opărire determină scăderea elasticității cașului opărit, cu valori diferite, în funcție de tipul de solicitare. Astfel, creșterea temperaturii de opărire de la 65°C la 75°C a avut ca rezultat scăderea modului de elasticitate determinat prin compresiune uniaxială cu 17,71% iar a celui determinat prin analiză oscilatorie cu valori cuprinse între 11,77% și 17,26%. La creșterea temperaturii de opărire de la 75°C la 85°C, modulul de elasticitate determinat prin compresiune uniaxială a scăzut cu 6,07% iar cel determinat prin analiza oscilatorie a scăzut cu valori cuprinse între 11,8% și 20,11%;

- forța de aderență a cașului opărit a scăzut cu 6,2% la creșterea temperaturii de opărire de la 65°C la 75°C și cu 14,2% la creșterea temperaturii de opărire de la 75°C la 85°C, fenomen explicabil

prin creșterea cantității de apă expulzată din caș la creșterea temperaturii de opărire;

- creșterea temperaturii de opărire ca avut ca efect creșterea coezivității cașului opărit cu 14% în primul interval de temperatură și cu 10,5% în al doilea interval de temperatură.

### **Influența compoziției amestecului de opărire**

- la varierea compoziției amestecului de opărire se constată valori ale pH-ului cașului opărit cuprinse între 5,1 și 5,3, mai crescute în cazul utilizării saramurii din zer;

- se remarcă faptul că la concentrațiile mai mari de sare ale amestecului de opărire substanța uscată a cașului opărit crește, ca urmare a migrării sării în pasta de brânză;

- creșterea concentrației de sare din amestecul de opărire cu 2% determină creșterea fermității cu 13,4 - 16,9%, în cazul saramurii din apă și cu 8,2 – 11,3%, în cazul saramurii din zer. Adaosul de zer în apa de opărire are ca efect creșterea fermității, ceea ce implică posibilitatea utilizării unei cantități mai mici de sare la prepararea amestecului de opărire atunci când acesta conține și zer;

- din punct de vedere senzorial, cașul cel mai ferm a fost cel opărit în amestec format din 10% sare, 63% apă și 27% zer iar cel mai moale a fost cel opărit în amestec format din 10% sare și 90% apă. Adaosul zerului în amestecul de opărire determină creșterea fermității, în condițiile utilizării aceleiași concentrații de sare. Se observă că fermitatea crește odată cu creșterea concentrației de sare;

- în cadrul analizei senzoriale degustătorii au remarcat o corelație directă între fermitate și coezivitate. Astfel, probele care au fost evaluate cu cel mai mare punctaj pentru coezivitate au fost probele opărite în apă cu adaos de zer și cele care au fost opărite în apă cu adaos mai mare de sare;

- elasticitatea cașului opărit determinată prin analiza senzorială a scăzut odată cu creșterea concentrației de sare, atât pentru probele opărite în saramură din apă cât și pentru cele opărite în saramură din zer. De asemenea, punctajele obținute de probele opărite în saramură din zer au fost mai mici decât cele opărite în saramură din apă, pentru aceleași valori ale concentrației de sare;

- masticabilitatea nu a înregistrat valori diferite în cazul probelor opărite în apă, indiferent de concentrația de sare. Adaosul de zer a crescut masticabilitatea probelor cu 4,1% în cazul amestecului cu 10% apă și cu 29,16% în cazul amestecului cu 12% apă. Creșterea masticabilității poate fi corelată cu creșterea fermității și a coezivității;

- aderența scade atât la adaosul de sare în soluția de opărire (cu 9% în cazul utilizării saramurii din apă și cu 9,5% în cazul utilizării saramurii din zer) cât și la adaosul de zer (cu 4,3% în cazul utilizării amestecului cu 10% sare și cu 4,7% în cazul utilizării amestecului cu 12% sare). Comportamentul aderenței se corelează cu conținutul de apă și de grăsime;

- umiditatea și conținutul de grăsime determinate senzorial se pot corela cu cele determinate prin analiza fizico-chimică ( $R^2=0,95$ , pentru umiditate și  $R^2=0,98$  pentru conținutul de grăsime);

- caracteristicile de aromă (intensitatea aromei, aroma de smântână, sulf, acid lactic, zer) și gust (acru, dulce și sărat) au fost resimțite cel mai intens după 10 secunde de masticăție iar intensitatea lor a fost proporțională cu fermitatea probelor;

- caracteristicile texturale determinate prin analiza instrumentală sunt corelate foarte bine cu cele determinate prin analiza instrumentală ( $R^2$  are valoarea 0,96 pentru fermitate, 0,77 pentru coezivitate, 0,99 pentru aderență și 0,92 pentru elasticitate);

- datele instrumentale coroborate cu preferințele degustătorilor recomandă, ca variantă optimă de opărire, varianta în care cașul este acidifiat până la pH de 5,2, amestecul de opărire este format din 10% clorură de sodiu, 63% apă și 27% zer iar temperatura amestecului de opărire este de 75°C.

## **CAPITOLUL 6 – CERCETĂRI PRIVIND PROCESUL DE MATURARE A BRÂNZETURILOR CU PASTĂ FILATĂ ÎN CORELAȚIE CU PROPRIETĂȚILE REOLOGICE**

Obiectivul principal al acestui capitol l-a constituit *optimizarea procesului de maturare și a calității brânzeturilor tip cașcaval prin stabilirea momentului optim de maturare în funcție de caracteristicile reologice determinate prin metode instrumentale*. Obiectivele specifice au fost: 1) Caracterizarea fizico-chimică a cașcavalului în timpul maturării; 2) Caracterizarea reologică a

cașcavalului în timpul maturării prin mai multe metode instrumentale; 3) Caracterizarea senzorială a texturii cașcavalului în timpul maturării și 4) Coroborarea rezultatelor analizelor fizico-chimice, reologice și senzoriale pentru stabilirea celei mai adecvate metode instrumentale pentru evidențierea momentului optim de maturare.

## **6.1. Caracterizarea fizico-chimică a cașului în timpul maturării**

Valorile obținute pentru principalii parametri fizico-chimici ai cașului în timpul maturării sunt prezentate în tabelul 6.1.

*Tabelul 6.1. – Principalii parametri fizico-chimici ai cașului în timpul operației de maturare*

Parametrul determinat	După opărire	Durata de maturare			
		14 zile	28 zile	42 zile	56 zile
Substanța uscată, %	51,45±0,09*	55,1±0,02	57,33±0,018	57,92±0,057	58,28±0,039
Conținut de grăsime, %	24,9±0,079	26,7±0,12	27,78±0,091	28,06±0,109	28,1±0,086
Conținut de proteine, %	21,6±0,126	22,7±0,16	23,03±0,098	22,84±0,132	22,77±0,143
Conținut de minerale, %	4,74±0,023	5,08±0,08	5,28±0,019	5,34±0,034	5,37±0,009
Concentrația de NaCl, %	2,62±0,210	2,8±0,165	2,94±0,743	2,86±0,381	3±0,492
Aciditate, °T	148±0,235	174±0,35	185±187	192±0,243	197±0,215
pH	5,4±0,004	5,1±0,017	5±0,008	4,9±0,011	5±0,024

\* deviația standard

Pentru evaluarea gradului de proteoliză s-au determinat fracțiunile azotoase, după cum urmează: pentru evidențierea debutului proteolizei s-a determinat concentrația de azot solubil în apă (NSA), pentru evidențierea avansării procesului de proteoliză manifestat prin formarea peptidelor s-a determinat concentrația de azot solubil în acid tricloracetic, denumit și azot neproteic (NNP) iar pentru evidențierea proteolizei avansate s-a azotul aminic (NA).

Pentru o evaluare mai precisă a maturării concentrația fracțiunilor azotoase a fost exprimată la 100g de substanță uscată.

Azotul solubil în apă crește pe toată durata maturării cu 158,53%, ritmul de creștere fiind mai accentuat în primele 14 zile de

maturare (creștere cu 73,17%), pentru ca în următoarele intervale de maturare acesta să scadă la 39,02% (între 14 și 28 zile de maturare), 24,03% (în intervalul 28 – 42 zile) și 22,31% în ultimul interval de maturare. Creșterea conținutului de azot solubil în apă raportat la substanța uscată se datorează procesului de proteoliză din timpul maturării, cu eliberarea de polipeptide și peptide simple – produși de hidroliză a proteinelor.

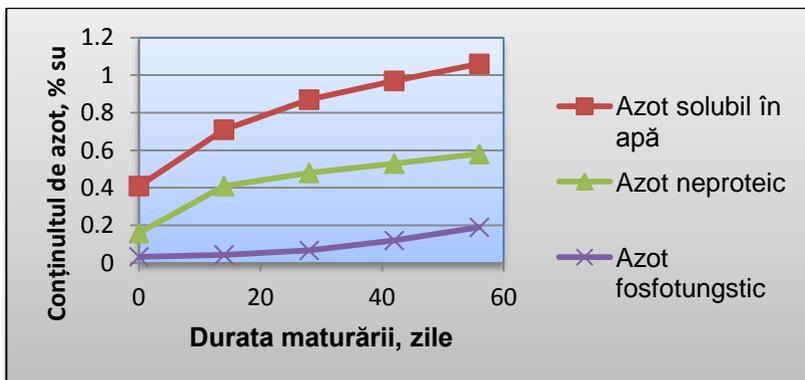


Figura 6.7. Variația conținutului fracțiunilor azotoase în timpul maturării

Azotul neproteic înregistrează o creștere totală de 262,5%, ritmul de creștere fiind, de asemenea, mai accentuat în primul interval de maturare.

Spre deosebire de celelalte fracțiuni azotoase, azotul aminic are o creștere mai lentă la începutul procesului de maturare (30,3% și 72,73% în primele două intervale de maturare), pentru ca în a doua jumătate a intervalului de maturare să crească cu 260,6%, respectiv, cu 269,70%, ajungând astfel la o creștere totală de 633,33%. Evoluția azotului aminic se explică prin avansarea procesului de proteoliză spre finalul perioadei de maturare.

Rezultatele obținute sunt comparabile cu cele prezentate în literatura de specialitate (*Hayaloglu ș.a., 2012, Zaharia și Rotaru, 2011*).

## **6.2. Caracterizarea reologică a cașului în timpul maturării**

Pentru a găsi o relație de interdependență între parametrii texturali (fermitate și modul de elasticitate) și proprietățile fizico-chimice

ale cașcavalului, s-a folosit programul STATISTICA 8.0 care a generat ecuațiile de interdependență dintre parametri vizati. Dintre proprietățile fizico-chimice ale cașcavalului au fost considerate conținutul de proteine și conținutul de grăsime, pe de o parte, și rapoartele azot solubil în apă/azot total și calciu solubil/calciu total, pe de altă parte. Este de menționat faptul că raportul azot solubil în apă/azot total este asimilat cu gradul de proteoliză.

Figura 6.10 prezintă variația dintre fermitate și modulul de elasticitate (modulul lui Young), conținutul de proteine și conținutul de grăsime. Ecuațiile rezultate sunt prezentate în relațiile 6.1 și 6.2.

$$F = 23.35 + 1.17 \cdot P - 2.84 \cdot Fa \quad (6.1)$$

$$YM = -13.6 + 4.79 \cdot P + 3.89 \cdot Fa \quad (6.2),$$

în care F reprezintă fermitatea, exprimată în Newtoni, YM reprezintă modulul lui Young, exprimat în kiloPascali, P reprezintă conținutul de proteine, % iar Fa conținutul de grăsime, %.

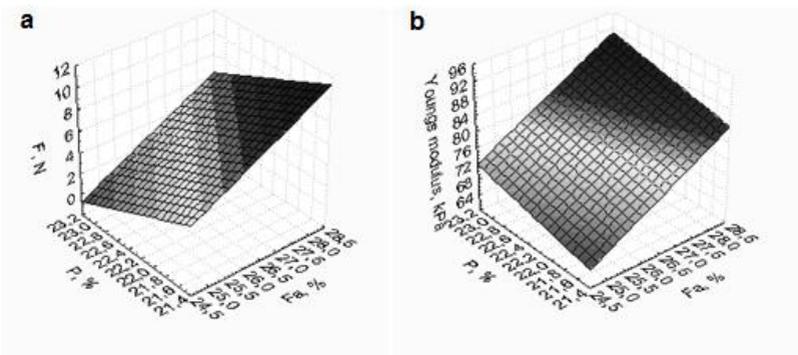


Figura 6.10. – Influența conținutului de grăsime (Fa) și a conținutului de proteine (P) asupra fermității (a) și asupra modulului de elasticitate (b)

În ecuația 6.1 se poate remarca faptul că fermitatea este influențată pozitiv de conținutul de proteine și negativ de conținutul de grăsime, rezultate similar cu cele raportate de **Kindstedt ș.a. (2003)**. Relația dintre coeficientul corespunzător conținutului de proteine (1,17) și cel corespunzător conținutului de grăsime (-2,48) arată faptul că fermitatea cașcavalului este influențată în măsură mai mare de conținutul de grăsime decât de conținutul de proteine. Modulul de

elasticitate (relația 6.2) crește atât cu creșterea conținutului de proteine cât și cu cea a conținutului de grăsime. Acest rezultat este în concordanță cu **Madadlou ș.a. (2006)** care au demonstrat că matricea proteică este cea care asigură caracterul elastic al texturii brânzeturilor. Poate fi remarcat, de asemenea, că modulul lui Young este influențat în măsură mai mare de conținutul de proteine decât de conținutul de grăsime (coeficientul conținutului de proteine este 4,79, comparativ cu 3.89, coeficientul conținutului de grăsime).

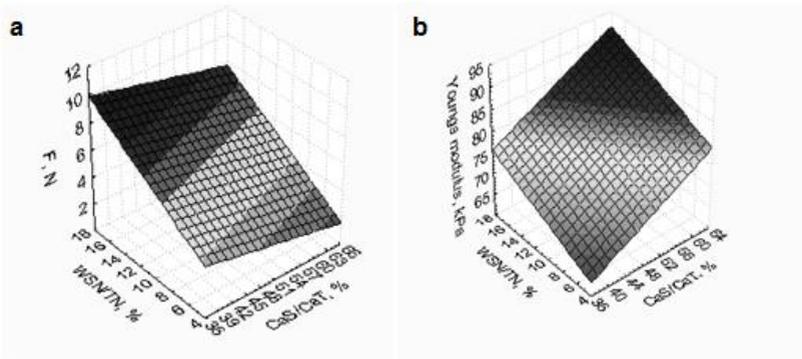


Figura 6.11. – Influența rapoartelor azot solubil în apă/azot total (WSN/TN) și calciu solubil/calciu total (CaS/CaT) asupra fermității (a) și modulului de elasticitate (b)

$$F = 4.69 - 0.07 \cdot \frac{CaS}{CaT} + 0.43 \cdot \frac{WSN}{TN} \quad (6.3)$$

$$YM = 39.15 + 0.56 \cdot \frac{CaS}{CaT} + 0.88 \cdot \frac{WSN}{TN} \quad (6.4)$$

Ecuția 6.3 prezintă corelația dintre fermitate, raportul calciu solubil/calciu total (CaS/CaT) și raportul azot solubil în apă/azot total (WSN/TN). Fermitatea crește odată cu scăderea raportului CaS/CaT, fapt remarcat și de **Gunasekaram și Ak (2003)** care explică această relație prin aceea că matricea proteică este destabilizată prin solubilizarea calciului. Creșterea fermității odată cu creșterea raportului WSN/TN demonstrează că gradul de proteoliză este mai mic decât gradul de evaporare a zerului din cașcaval.

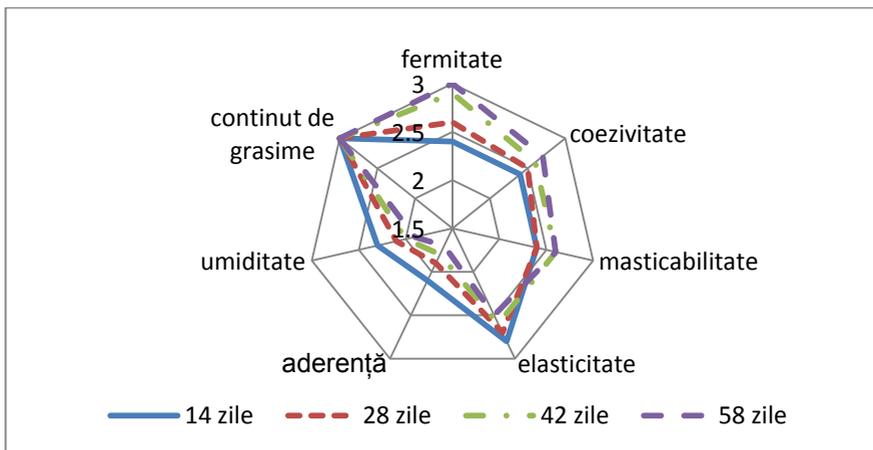
În ecuația 6.4 este prezentată corelația dintre modulul lui Young, raportul CaS/ CaT și raportul WSN/TN. Se poate remarca faptul că ambele rapoarte influențează pozitiv parametrul considerat. Raportului WSN/TN îi corespunde coeficientul 0,88, superior

coeficientului 0,56 corespunzător raportului CaS/CaT, ceea ce demonstrează că gradul de proteoliză are importanță mai mare pentru determinarea modului de elasticitate, comparativ cu gradul de solubilizare a calciului.

### **6.3. Caracterizarea senzorială a texturii cașului în timpul maturării**

Deoarece proprietățile reologice reprezintă caracteristici importante pentru aprecierea calității de către consumatori, s-a considerat utilă caracterizarea texturii prin analiza senzorială. Caracteristicile texturale vizate au fost fermitatea, coezivitatea, elasticitatea, aderența, masticabilitatea, umiditatea și conținutul de grăsime. Valorile punctajelor acordate de fircare degustător sunt prezentate în tabelul 6.6, pentru cașul maturat 14 zile, în tabelul 6.7 pentru cașul maturat 28 zile, în tabelul 6.8 pentru cașul maturat 42 zile și în tabelul 6.9.pentru cașul maturat 56 zile. Pentru fiecare set de date este prezentat și rezultatul analizei statistice prin metoda ANOVA.

În figura 6.15 este prezentat graficul radar obținut cu ajutorul mediilor punctajelor acordate de paneliști pentru fiecare caracteristică texturală în parte. Se constată creșterea punctajelor medii pe toată durata maturării pentru fermitate, coezivitate și masticabilitate. Celelalte atribute (elasticitatea, aderența și umiditatea) au fost evaluate cu punctaje în scădere pe toată durata maturării.



*Figura 6.15. Caracteristicile texturale ale cașului în timpul maturării determinate prin analiza senzorială*

#### **6.4. Concluzii parțiale**

Obiectivul cercetărilor prezentate în acest capitol l-a constituit stabilirea unor corelații între proprietățile fizico-chimice și proprietățile reologice ale cașcavalului, în vederea stabilirii unor metode precise și rapide de determinare a gradului optim de maturare.

În acest scop, s-au determinat conținutul de substanță uscată, grăsime, proteine, substanțe minerale, calciu, sare, fracțiuni azotoase (azot solubil în apă, azot neproteic, azot aminic) și comportamentul reologic al cașcavalului prin analiză oscilatorie, teste de penetrare, teste de compresiune și analiză senzorială.

Determinările s-au efectuat pe o durată de maturare de 56 de zile (la 7, 14, 28, 42 și 56 zile), fără ambalarea cașcavalului.

În ceea ce privește caracterizarea fizico-chimică a probelor se pot deduce următoarele concluzii:

- substanța uscată a probelor a înregistrat cea mai accentuată creștere (cu 7%) în primele 14 zile de maturare, apoi ritmul de creștere s-a diminuat ușor în următoarele 7 zile (cu 4% la 28 zile), pentru ca în ultimele zile să scadă până la 0,62%. Cașcavalul nefiind ambalat, pierderile de umiditate au fost mai ridicate la începutul maturării, după care, formându-se coaja brânzei, ele s-au diminuat considerabil;

- conținutul de proteine se reduce considerabil în primele 28 de zile de maturare, când predomină proteoliza primară, după care ritmul de scădere se reduce. Raportat la substanța uscată, conținutul de proteine a scăzut cu 7,6% pe întreaga perioadă de maturare;

- pe parcursul maturării, conținutul de grăsime scade ușor (cu 0,25% raportat la substanța uscată), mai accentuat în ultima perioadă datorită unor procese de lipoliză moderată, explicată prin inactivarea unor sisteme enzimatice în cursul operației de opărire a pastei;

- conținutul de substanțe minerale rămâne aproximativ constant pe toată durata maturării;

- aciditatea crește cel mai accentuat (cu 17,56%) în primele 7 zile de maturare datorită fermentării lactozei de către bacteriile lactice. În următoarele intervale de maturare ritmul de creștere a acidității scade (cu 6,3%, cu 3,78% și, respectiv, cu 2,6%) datorită scăderii concentrației de lactoză și consumării acidului lactic de către unele microorganisme prezente;

- pH-ul scade simultan cu creșterea acidității în primele patru intervale de maturare, pentru ca în ultimul interval să crească cu 2% datorită consumării acidului lactic și apariției compușilor de degradare a proteinelor cu efect de tamponare;

- raportat la substanța uscată conținutul de calciu total rămâne constant. Conținutul de calciu solubil crește în intervalul 0-14 zile cu 52,5%, fapt explicabil prin extragerea lui din paracazeinatul bicalcic sub acțiunea acidului lactic. În următoarele intervale se menține o ușoară tendință de creștere (cu 1%), pentru ca în ultima perioadă să rămână constant;

- concentrația fracțiunilor azotoase solubile (azotul solubil în apă este un indicativ al proteolizei primare) are o evoluție crescătoare, mai pronunțată în primele 14 zile de maturare (creștere cu 75%), după care rata de creștere este mai mică, concentrația de azot solubil în apă dublându-se față de începutul maturării;

- conținutul de azot neproteic crește cel mai accentuat în primele 14 zile, ritmul de creștere reducându-se ulterior, coroborat cu creșterea conținutului de azot solubil în apă.

Concluziile rezultate în urma analizei texturale sunt prezentate în cele ce urmează:

- modulul de stocare (modulul de elasticitate) crește odată cu creșterea frecvenței de deformare pentru toate probele analizate;

- modulul de stocare scade odată cu avansarea procesului de maturare, ceea ce presupune un caracter mai elastic al probelor spre sfârșitul perioadei de maturare, fapt explicabil prin creșterea hidratării moleculelor de paracazeinat;

- modulul de pierdere (modulul de vâscozitate) crește cu creșterea frecvenței și scade pe măsură ce procesul de maturare avansează, evoluție asemănătoare cu a modulului de stocare;

- comparativ cu modulul de stocare, modulul de pierdere are valori mai mici, ceea ce demonstrează caracterul preponderent elastic al cașului în timpul maturării;

- fermitatea, exprimată atât ca forță de penetrare cât și ca forță de compresiune, a crescut de aproximativ 1,16 ori în timpul maturării, într-un ritm variat, determinat atât de pierderea umidității cât și de procesul de proteoliză;

- fermitatea este influențată pozitiv de conținutul de proteine și de raportul azot solubil în apă/azot total și negativ de conținutul de grăsime și de raportul calciu solubil/calciu total. În ecuațiile de corelație a fermității cu parametri enumerați anterior se remarcă următorii coeficienți: 1,17 pentru conținutul de proteine, -2,84 pentru conținutul de grăsime, 0,43 pentru raportul azot solubil/azot total și -0,07 pentru raportul calciu solubil/calciu total;

- modulul de elasticitate este influențat pozitiv de toți cei patru parametri considerați: conținutul de grăsime, conținutul de proteine, raportul azot solubil/azot total și raportul calciu solubil/calciu total, coeficienții acestora din ecuațiile de corelație fiind, respectiv, 3,89, 4,79, 0,88 și 0,56;

- fermitatea determinată senzorial a primit punctaje crescătoare la avansarea gradului de maturare de la 2,4 imediat după opărire, la 3 la sfârșitul maturării;

- masticabilitatea a fost evaluată cu punctaje între 2,4 și 2,6, punctajul mai mic fiind obținut la începutul maturării și cel mai mare la sfârșitul maturării;

- punctajele acordate aderenței au înregistrat valori între 1,5 și 2,1, evoluția lor fiind opusă evoluției conținutului de substanță uscată (aderența s-a diminuat pe parcursul maturării);

- coezivitatea cașcavalului determinată senzorial crește direct proporțional cu durata de maturare a cașcavalului, astfel, cel mai mare grad al coezivității constatându-se la cașul maturat 58 zile;

- elasticitatea senzorială a cașului este strâns legată de perioada de maturare, cu cât perioada de maturare este mai scurtă, cu atât cașul este mai elastic;

- umiditatea percepută de către paneliști este în concordanță cu cea determinată prin analiza fizico-chimică, acest parametru înregistrând valori mai mari la începutul perioadei de maturare și mai mici spre sfârșitul acesteia;

- conținutul de grăsime este perceput constant pe durata maturării, fapt explicabil prin variația mult prea redusă a acestuia pentru a putea fi detectat la nivel senzorial;

- din punctul de vedere al preferințelor paneliștilor, durata optimă de maturare a cașcavalului este de 42 zile;

- rezultatele analizei senzoriale prezintă o foarte bună corelație cu cele ale analizelor instrumentale și fizico-chimice. Valorile coeficienților de corelație sunt: 0,9842 pentru fermitate, 0,9406 pentru coezivitate, 0,9466 pentru elasticitate, 0,9918 pentru aderență, 0,9102 pentru umiditate și 0,9082 pentru grăsime;

- pe baza rezultatelor înregistrate pentru caracteristicile fizico-chimice și reologice (instrumentale și senzoriale) s-a propus ca variantă optimă de maturare a cașcavalului din lapte de vacă varianta maturării timp de 48 de zile;

- se recomandă, ca metodă instrumentală de analiză a texturii calcavalului, metoda analizei profilului textural.

## **CAPITOLUL 7 – CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVE**

### **7. 1. Concluzii generale**

Cercetările întreprinse au vizat stabilirea unor corelații între proprietățile fizico-chimice, parametrii principalelor operații din schema tehnologică de fabricare (acidifiere caș, opărie și maturare) și caracteristicile senzoriale și reologice ale brânzeturilor cu pastă filată (cașcaval). S-a urmărit identificarea unor metode instrumentale precise, bazate pe proprietățile texturale, pentru stabilirea momentului optim de maturare a cașcavalului.

Pentru realizarea obiectivului propus au fost urmate trei direcții de cercetare și anume: 1) caracterizarea fizico-chimică și reologică a cașului în timpul procesului de acidifiere și stabilirea unor conexiuni între proprietățile fizico-chimice și proprietățile reologice; 2) studiul modificărilor fizico-chimice la opăria cașului în vederea identificării condițiilor optime de realizare a acestei operații și 3) studiul procesului de maturare a cașcavalului în corelație cu proprietățile reologice, pentru a stabili durata optimă de maturare din punctul de vedere al texturii.

În urma studiului privind caracterizarea fizico-chimică și reologică a cașului în timpul procesului de acidifiere și stabilirea unor conexiuni între proprietățile fizico-chimice și proprietățile reologice, se pot formula următoarele concluzii generale:

- pe durata acidifierii substanța uscată a cașului crește

datorită pierderilor de apă prin sinereză și evaporare la suprafață, ritmul de creștere fiind mai accentuat în prima etapă de acidifiere și mai lent spre sfârșitul procesului. Variația ritmului de creștere a substanței uscate se datorează vitezei de migrare a apei din interiorul către exteriorul probelor de caș;

- conținutul de grăsime rămâne aproximativ constant pe toată durata procesului de acidifiere, datorită duratei scurte a procesului care nu permite inițierea proceselor de degradare;

- conținutul de proteine scade ușor datorită pierderilor de proteine serice eliminate din probe la scurgerea zerului;

- conținutul de calciu variază diferit în funcție de forma acestuia: calciul total scade cu 4% pe toată durata acidifierii datorită pierderilor prin zerul eliminat, spre deosebire de calciul solubil, care, la sfârșitul acidifierii, are o concentrație de zece ori mai mare decât la începutul operației, fenomen datorat solubilizării paracazeinatului de calciu prin scăderea pH-ului;

- elasticitatea cașului scade odată cu creșterea duratei de acidifiere, fapt demonstrat prin toate cele trei metode de analiză utilizate (compresiune uniaxială, analiza profilului textural și analiza oscilatorie). Scăderea elasticității cașului se datorează pe de o parte creșterii conținutului de substanță uscată iar, pe de altă parte, solubilizării ionilor de calciu care destabilizează structura proteică;

- toate metodele de analiză utilizate au relevat scăderea fermității cașului pe durata acidifierii proporțional cu solubilizarea calciului dar această scădere este mascată de pierderea umidității prin evaporare și prin sinereză;

- în timpul acidifierii elasticitatea cașului scade datorită scăderii elasticității proteinelor în urma solubilizării ionilor de calciu. Scăderea elasticității cașului este relevată atât prin testul de compresiune, în urma căruia s-a remarcat o scădere totală cu 48,55% a modulului de elasticitate, pe întreaga durată a procesului de acidifiere, cât și prin analiza profilului textural, în urma căreia s-a constatat o capacitate de recuperare a deformației cașului acidifiat cu 11,7% mai mică în comparație cu cea a cașului proaspăt;

- forța de aderență înregistrează o scădere totală cu 56,25% pe toată durata acidifierii, fenomen corelat cu creșterea conținutului de substanță uscată;

- coezivitatea cașului în cel mai avansat grad de acidifiere

prezintă valori cu 7% mai mici decât coezivitatea cașului proaspăt. Aceasta presupune că tăria legăturilor interne care dau consistența produsului scade odată cu solubilizarea calciului din matricea proteică;

- modulul de stocare crește direct proporțional cu frecvența, pentru toate probele analizate;

- valorile modulului de stocare și cele ale modulului de pierdere scad odată cu creșterea duratei de acidifiere, ceea ce presupune un caracter mai elastic al cașului proaspăt comparativ cu cașul acidifiat;

- modulul de pierdere prezintă valori mai mici comparativ cu cele ale modulului de stocare, fapt care demonstrează caracterul preponderent elastic al cașului;

- conținutul de grăsime influențează negativ fermitatea cașului în timpul perioadei de acidifiere, spre deosebire de conținutul de proteine, care are o influență pozitivă asupra fermității;

- creșterea pH-ului și a substanței uscate au ca rezultat creșterea fermității;

- tăria legaturilor interne care dau consistența cașului este direct proporțională cu conținutul de substanță uscată și invers proporțională cu pH.

În urma studiului modificărilor fizico-chimice la opărire cașului în vederea identificării condițiilor optime de realizare a acestei operații pot fi formulate următoarele concluzii generale:

- substanța uscată a cașului opărit este influențată de pH-ul cașului, de temperatura apei de opărire și de concentrația de sare din apa de opărire. Această influență se manifestă prin expulzarea apei din cașul opărit, cantitatea de apă expulzată crescând cu scăderea pH-ului, creșterea temperaturii de opărire și creșterea concentrației de sare din apa de opărire;

- pierderile de grăsime la opărire pot fi reduse prin scăderea pH-ului cașului supus opăririi dar și prin creșterea temperaturii de opărire și adaosul de sare și zer în apa de opărire;

- conținutul de calciu total este influențat de pH-ul cașului în sensul diminuării lui la creșterea gradului de acidifiere, prin solubilizarea ionilor de calciu și trecerea lor în apa de opărire. Temperatura de opărire și compoziția amestecului de opărire nu

influențează semnificativ conținutul de calciu al cașului opărit;

- fermitatea cașului opărit este influențată de pH-ul cașului supus opăririi, de temperatura de opărire și de compoziția amestecului de opărire. Astfel, scăderea pH-ului de la 5,5 la 4,8 duce la creșterea fermității cașului opărit cu 28% în cazul determinării prin penetrare, cu 23,5% în cazul utilizării compresiunii uniaxiale și cu 10,5% în cazul utilizării metodei TPA. Creșterea temperaturii de opărire de la 65°C la 85°C a avut ca rezultat creșterea fermității cu 22,89%, în cazul penetrării, cu 24,5% în cazul compresiunii uniaxiale și cu 15,42% în cazul metodei TPA. Creșterea concentrației de sare și adaosul de zer în apa de opărire duc la creșterea fermității cașului opărit;

- prin acidifierea cașului supus opăririi de la pH 5,5 la pH 4,8 se obține un caș opărit cu elasticitate mai mică: compresiunea uniaxială a relevat scăderea modulului de elasticitate cu 24% în condițiile enunțate mai sus iar analiza profilului textural a relevat scăderea elasticității cu 5,2%. Un caș mai puțin elastic s-a obținut și în cazul creșterii temperaturii amestecului de opărire, dar și prin creșterea concentrației de sare din amestec;

- forța de aderență a înregistrat valori minime la avansarea gradului de acidifiere a cașului, la creșterea temperaturii de opărire și la adaosul de sare în amestecul de opărire. Aceste observații s-au realizat atât la analiza instrumentală prin metoda TPA, cât și la analiza senzorială;

- coezivitatea și masticabilitatea sunt influențate de condițiile de opărire în același sens ca și fermitatea, fapt explicabil prin strânsa dependență dintre acești parametri și substanța uscată și conținutul de grăsime;

- caracteristicile de gust și aromă se resimt mai intens pentru probele cu fermitate mai mare

- datele instrumentale coroborate cu preferințele degustătorilor recomandă, ca variantă optimă de opărire, varianta în care cașul este acidifiat până la pH de 5,2, amestecul de opărire este format din 10% clorură de sodiu, 63% apă și 27% zer iar temperatura amestecului de opărire este de 75°C.

În urma studiului modificărilor fizico-chimice la maturarea cașului în vederea identificării condițiilor optime de realizare a acestei operații pot fi formulate următoarele concluzii generale:

- concentrația fracțiunilor azotoase solubile are o evoluție

crescătoare pe durata maturării, datorată, pe de o parte, formării fracțiunilor polipeptidice ca produși de proteoliză iar, pe de altă parte, continuării proceselor de hidroliză, cu formare de produși cu masă moleculară mai mică;

- conținutul de azot neproteic crește cel mai accentuat în primele 14 zile, ritmul de creștere reducându-se ulterior, coroborat cu creșterea conținutului de azot solubil în apă;

- parametri reologici determinați prin analiza oscilatorie, modulul de stocare și modulul de pierdere, cresc odată cu creșterea frecvenței de deformare pentru toate probele analizate și scad odată cu avansarea procesului de maturare;

- fermitatea, exprimată atât ca forță de penetrare cât și ca forță de compresiune, a crescut de aproximativ 1,16 ori în timpul maturării, într-un ritm variat, determinat atât de pierderea umidității cât și de procesul de proteoliză;

- fermitatea este influențată pozitiv de conținutul de proteine și de raportul azot solubil în apă/azot total și negativ de conținutul de grăsime și de raportul calciu solubil/calciu total;

- modulul de elasticitate este influențat pozitiv de toți cei patru parametri considerați: conținutul de grăsime, conținutul de proteine, raportul azot solubil/azot total și raportul calciu solubil/calciu total;

- coezivitatea senzorială a cașcavalului crește direct proporțional cu durata de maturare a cașcavalului, astfel, cel mai mare grad al coezivității constatându-se pentru cașul maturat 58 zile;

- elasticitatea senzorială a cașului este strâns legată de perioada de maturare, cu cât perioada de maturare este mai scurtă, cu atât cașul este mai elastic;

- umiditatea percepută de către paneliști este în concordanță cu cea determinată prin analiza fizico-chimică, acest parametru înregistrând valori mai mari la începutul perioadei de maturare și mai mici spre sfârșitul acesteia;

- conținutul de grăsime este perceput constant pe durata maturării, fapt explicabil prin variația mult prea redusă a acestuia pentru a putea fi detectat la nivel senzorial;

- din punctul de vedere al preferințelor degustătorilor, durata optimă de maturare a cașcavalului este de 42 zile.

**Rezultatele studiilor privind modificările caracteristicilor reologice în timpul fabricării brânzeturilor cu pastă filată (cașcavalului), coroborate cu cele ale analizelor fizico-chimice și senzoriale, au permis identificarea metodei analizei profilului textural pentru îmbunătățirea calităților texturale ale acestor brânzeturi, prin stabilirea cu mai multă precizie a perioadei optime de maturare.**

## **7.2. Contribuții originale**

Contribuțiile personale aduse în cadrul tezei de doctorat sunt legate de analiza reologică a cașcavalului și a produșilor intermediari obținuți în trei etape importante ale procesului tehnologic de fabricare a acestui sortiment de brânză. Astfel, s-au realizat:

- Analiza reologică a cașului în diferite etape ale procesului de acidifiere, utilizând patru metode diferite: penetrarea (indentarea, punctura), compresiunea uniaxială, analiza profilului textural și analiza oscilatorie

- Stabilirea unor modele matematice care descriu dependența parametrilor texturali (fermitate, forță de aderență, elasticitate și coezivitate) de parametrii fizico-chimici ai cașului (pH, substanță uscată, conținut de proteine, conținut de grăsime)

- Utilizarea, la nivel de laborator, a 8 condiții diferite de realizare a operației de opărire și analiza caracteristicilor reologice ale cașului obținut în fiecare dintre cele 8 situații

- Stabilirea condițiilor optime de realizare a operației de opărire utilizând corelația dintre analiza instrumentală și cea senzorială

- Analiza reologică a cașcavalului în diferite etape ale procesului de maturare, utilizând patru metode diferite: penetrarea (indentarea), compresiunea uniaxială, analiza profilului textural și analiza oscilatorie

- Stabilirea unor modele matematice care descriu dependența parametrilor texturali (fermitate și modul de elasticitate) de parametrii fizico-chimici ai cașcavalului (conținut de proteine, conținut de grăsime, raport calciu solubil/calciu total și raport azot solubil/azot total)

- Stabilirea perioadei optime de maturare a cașcavalului corelând analiza instrumentală cu preferințele consumatorilor determinate prin analiza senzorială

- Identificarea metodei analizei profilului textural ca fiind cea mai relevantă și recomandarea ei pentru urmărirea maturării brânzeturilor cu pastă filată și stabilirea momentului optim de maturare.

### **7.3. Perspective**

În contextul preocupărilor, la nivel național și internațional, pentru explicarea mecanismelor prin care se definitivează textura brânzeturilor și a modului în care proprietățile mecanice ale brânzeturilor influențează percepția și aprecierea consumatorilor, studiile realizate în cadrul prezentei teze de doctorat deschid noi perspective cum ar fi:

- Studiul influenței altor factori, ca tratamentul termic al laptelui, reducerea conținutului de grăsime din laptele materie primă, viteza de acidifiere a laptelui, viteza de acidifiere a cașului, adaosul unor aditivi tehnologici (clorura de calciu, enzime proteolitice), texturizarea în regim mecanic a cașului asupra texturii cașcavalului

- Analiza instrumentală a texturii prin dezvoltarea altor metode decât cele utilizate: varierea dispozitivelor de deformare, varierea vitezei de deformare, varierea deformației.

- Analiza microstructurii cașcavalului utilizând metode microscopice avansate: microscopie cu scanare de electroni, microscopie laser confocală.

- Utilizarea unor metode avansate de modelare pentru stabilirea corespondenței dintre parametrii tehnologici și cei texturali ai cașcavalului.

## **LISTĂ LUCRĂRI PUBLICATE ȘI PREZENTATE ÎN DOMENIUL TEZEI DE DOCTORAT**

### **Articole ISI**

1. **Doina Georgeta Andronoiu**, Liliana Gîtin, Elisabeta Botez, Gabriel-Dănuț Mocanu, 2011. *Researches Concerning the Production and Characterisation of a Dessert Based on Fresh Cheese and Peach Pulp*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 12(2), 502-508, ISSN 1311-5065, factor de impact 2011: 0,102 <http://www.jepe-journal.info/vol-12-no2>

**2. Doina Georgeta Andronoiu**, Elisabeta Botez, Oana Viorela Nistor, Gabriel Dănuț Mocanu. *Ripening process of Cascaval cheese: compositional and textural aspects*. Journal of Food science and Technology, ISSN: 0975-8402, factor de impact 2012: 1,123 (în recenzie).

**3. Mocanu, G.D., Andronoiu, D.G., Nistor, O.V., Cușai, I., Angheloiu, M., Botez, E.,** *The reduction of sodium chloride in telemea cheese. Effect on textural and sensorial properties*, Bulgarian Chemical Communications, ISSN: 0324 – 1130, factor de impact 0,320 (în recenzie).

### **Articole BDI**

**1. Andronoiu Doina Georgeta**, Elisabeta Botez, Gabriel – Dănuț Mocanu, Oana Viorela Nistor, Corina Talida Ilie. 2011 *Influence of plasticisation conditions on the texture of Cascaval cheese*, Agricultura, agricultural practice and science journal, 1-2, 81-82, 2012, 194 – 200, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, ISSN 1221-5317, <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/agricultura/article/view/8143/6950>

**2. Doina Georgeta Andronoiu**, Georgian Gabriel Diaconu, Elisabeta Botez, Oana Viorela Nistor, Gabriel Dănuț Mocanu, 2010. *Research concerning the changes of curd texture along the cascaval cheese making process*, Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 16(2), 207-211, ISSN 1453 – 1399 ([http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/32627L44\\_Andronoiu\\_Georgeta\\_Vol.2\\_01-02\\_2010\\_207-211.pdf](http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/32627L44_Andronoiu_Georgeta_Vol.2_01-02_2010_207-211.pdf))

**3. Doina Georgeta Andronoiu**, Elisabeta Botez, Gabriel Dănuț Mocanu, Oana Viorela Nistor, 2010. *Textural characterisation of cascaval cheese during maturation process*, Agricultura, anul XIX, nr. 3-4, 44-48, ISSN 1221-5317. <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/agricultura/article/view/5673/5367>

**4. Andronoiu D.G., Botez E., Nistor O.V., Mocanu G.D.,** 2009. *Technological variants for obtaining of a dessert based on fresh probiotic chees*, Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, vol. XV, nr. 1, pag. 102 – 106, ISSN 1453 – 1399 ([http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/83724L18\\_Andronoiu\\_Georgeta\\_102\\_106.pdf](http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/83724L18_Andronoiu_Georgeta_102_106.pdf))

5. Botez E., Gîtin L., **Andronoiu D.G.**, Mocanu G.D., Ștefănescu A., 2008, *Research on production and description of fresh dairy, appetizer type*, Journal of Agroalimentary Processes and Technologies vol. XIV, nr.1, pag. 166-172, ISSN 1453-1399 ([http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/3141L37\\_Vol\\_XIV\\_2008\\_Andronoiu\\_G\\_eorgeta.pdf](http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/3141L37_Vol_XIV_2008_Andronoiu_G_eorgeta.pdf))

6. Botez E., Gîtin L., **Andronoiu D.G.**, Mocanu G.D., 2008, *Fresh Dairy, appetizer type: sensorial and rheological aspects*, Journal Scientific Study & Research – Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, vol. IX, no. 2, pag. 207 – 212 (<http://pubs.ub.ro/?pg=revues&rev=csc6&num=200809&vol=2> )

7. Rotaru, G., Mocanu, D., Uliescu, M., **Andronoiu, D.** (2008). *Research studies on brine cheese ripening*, Innovative Romanian Food Biotechnology, [www.bioaliment.ro/eJournal](http://www.bioaliment.ro/eJournal), nr. 2, ISSN 1843-6099

### **Conferințe**

1. Mocanu, G.D., Cușai, I., Angheloiu, M., **Andronoiu, D.G.**, Nistor O.V., Botez, E., 2014. *The reduction of sodium chloride in telemea cheese. Effect on textural and sensorial properties*, XI<sup>th</sup> International Conference of Food Physicists. Food Physics and Innovative Technologies, 10-12 iunie, Plovdiv, Bulgaria

<http://icfp.uni-plovdiv.net/en/preliminary-program>

2. Georgeta Andronoiu Doina, Elisabeta Botez, Gabriel Dănuț Mocanu, OanaViorela Nistor, Ionela Cusai. 2013. *Influence of ripening process on textural characteristics of cascaval cheese* – The 4<sup>th</sup> International Conference on Food Chemistry, Engineering and Technology, 30-31 mai, Timișoara, România

[http://www.usab-tm.ro/utilizatori/tpa/file/manifestari/Programme\\_Book%20of%20Abstract\\_Conference%20on%20Food%20Chemistry,%20Engineering%20&%20Technology%20G%C3%87%C3%B4%20Book%20of%20Abstract\\_30-31%20May-2013.pdf](http://www.usab-tm.ro/utilizatori/tpa/file/manifestari/Programme_Book%20of%20Abstract_Conference%20on%20Food%20Chemistry,%20Engineering%20&%20Technology%20G%C3%87%C3%B4%20Book%20of%20Abstract_30-31%20May-2013.pdf)

3. **Doina Georgeta Andronoiu**, Liliana Gîtin, Elisabeta Botez, Gabriel – Dănuț Mocanu. 2009. *Researches concerning the production and characterization of dessert with fresh cheese and peach*

*pulp*. International Workshop on environment, nutrition and health relationship in the frame of EU policy, 16-17 ianuarie, Galați, România <http://sia.ugal.ro/bena-workshop/participants1.html>

4. Botez E., Gîtin L., **Andronoiu D.G.**, Mocanu G.D., 2008, *Formage frais de type appetitif: aspects sensoriels est rheologiques*. Cinquieme Colloque Franco-Roumain De Chimie Applique – COFrRoCA, 25 – 29 iunie Bacau, Romania [http://www.cofroca.org/uploads/smartsection/19\\_Volum\\_COFRROCA\\_2008.pdf](http://www.cofroca.org/uploads/smartsection/19_Volum_COFRROCA_2008.pdf)

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Banks, J. M. (2007). What general factors affect the texture of hard and semi-hard cheeses In Mc Sweeney, L.H., *Cheese problems solved*, Ed. Woodhead, Boca Raton, FL: 200-201.
2. Benedito, J., Simal, S., Clemente, G., Mulet, A. (2006). Manchego cheese texture evaluation by ultrasonics and surface probes. *International Dairy Journal* 16 (5): 431-438.
3. Bower, J. A. (2009). Statistical methods for food science. John Wiley and Sons Ltd.
4. Brown, J. A., Foegeding E.A., Daubert, C. R., Drake, M. A. (2003). Changes in rheological and sensorial properties of young cheeses as related to maturation. *Journal of Dairy Science* 86: 3054-3067.
5. Breuil, P., Meullenet, J.F. (2001). A comparison of three instrumental tests for predicting sensory texture profiles of cheese. *Journal of Texture Studies* 32: 41–45.
6. Everett, D.W., Auty M.A.E. (2008). Cheese structure and current methods of analysis. *International Dairy Journal* 18: 759-773.
7. Foegeding, E. V. (2011). Dairy Systems. In I. S. Norton, *Practical Food Rheology: An Interpretive Approach*. Wiley Online Library, West Sussex, 133-167.
8. Foegeding, E. A., Drake, M.A. (2007). Invited review: Sensory and mechanical properties of cheese texture. *Journal of Dairy Science* 90: 1611-1624.

9. Grecu, Gh., Costin, G. M. (2002). The determination of the microstructure of pasta filata cheese through electronic microscopy. *The annals of Dunărea de Jos University, Fasc. VII, 10* .
10. Gunasekaran, S., Ak, M.M. (2003). Cheese rheology and texture. CRC Press LLC, Boca Raton
11. Harboe, M., Broe, M.L. și Qvist, K.B. (2010). The production, action and application of rennet and coagulants. In B. A. Law, *Technology of Cheesemaking*. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex: 98-130.
12. Hayaloglu, A. A., Bansal, N., McSweeney, P. L. H. (2012). Influence of brine immersion and vacuum packaging on the chemistry, biochemistry, and microstructure of Mihalic cheese made using sheep's milk during ripening. *Dairy Science and Technology* 92:671–689
13. Joshi, N.S., Muthukumarappan, K., Dave, R. I. (2003). Effect of Calcium on physicochemical properties of fat - free Mozzarella cheese. *Journal of Food Science* 7 (68): 2289-2294.
14. Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M., Rezaei, K., Safari, M. (2009). Changes in the rheological properties of iranian UF - Feta cheese during ripening. *Food chemistry* 112: 539 - 544.
15. Karoui, R., Dufour, E., De Baerdemaeker, J. (2006). Common components and specific weights analysis: a tool for monitoring the molecular structure of semihard cheese throught ripening. *Analytica Chimica Acta* 572: 125 - 133.
16. Kindstedt, P., Caric, M., Milanovic, S. (2003). Pasta-Filata Cheeses. In P. F. Fox, *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, vol II Oxford: Elsevier Academic Press: 251-277.
17. Kindstedt, P., Hillier, A., Mayes, J. (2010). Technology, Biochemistry and Functionality of Pasta Filata/Pizza Cheese. În: B. Law & A. Tamime, ed. *Technology of Cheesemaking*. West Sussex: Blackwell Publishing Ltd.
18. Lawless, H.T., Heymann, H. (2010). Sensrory evaluation of food – Principles and practices. Springer: 179-203, 259–283.
19. Lucey, J. A., Johnson, M. E., Horne, D. S. (2003). Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal of Dairy Science* 86: 2725-2743.
20. Ma, X., James, B., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E.A.C. (2013). Correlating mozzarella cheese properties to its production

processes and microstructure quantification. *Journal of Food Engineering* 115: 154–163.

21. Muliawan, E. B., Hatzikiriakos, S. G. (2008). Rheology of Mozzarella cheese: Extrusion and rolling. *International Dairy Journal*: 615-623.

22. Pappa, E. C., Kandarakis, I., Mallatou, H. (2007). Effect of different types of milks and cultures on the rheological characteristics of Teleme cheese. *Journal of Food Engineering* 79: 143-149.

23. Pereira, C. I., Gomes, A. M. P., Malcata, F. X. (2009). Microstructure of cheese: Processing, technological and microbiological considerations. *Trends in Food Science & Technology* 20: 213-219.

24. Pollard, A., Sherkat, F., Seuret, M. G., Halmos, A. L. (2003). Textural Changes of Natural Cheddar Cheese During the Maturation Process. *Journal of Food Science* 6 (68): 2011-2017.

25. San Martin-Gonzales, M. F., Rodriguez, J. J., Gurrarn, S., Clark, S., Swanson, B. G., Barbosa-Canovas, G. V. (2007). Yield, composition and rheological characteristics of Cheddar cheese made with high pressure processed milk. *LWT* 40: 697-705.

26. Sheehan, J. J., Guinee, T. P. (2004). Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *International Dairy Journal* 14: 161-172.

27. Sheehan, J. J., Hupertz, T., Hayes, M. G., Kelly, A. L., Beresforda, T. P., Guinee, T. P. (2005). High pressure treatment of reduced-fat Mozzarella cheese: Effects on functional and rheological properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6: 73-81.

28. Van Hekken, D. L., Tunick, M. H., Malin, E. L., Holsinger, V. H. (2007). Rheology and melt characterisation of low fat and full fat Mozzarella cheese made from microfluidized milk. *LWT* 40: 89-98.

29. Zaharia, N.S., Costin, G.M. (2008). Contribuții la determinarea microstructurii brânzeturilor cu pastă filată prin microscopie electronică. *Buletin informativ pentru industria laptelui* 23: 3-4.

30. Zaharia, N.S., Rotaru, G. (2011). Studies on acceleration of Penteleu pasta filata cheese ripening by exogenous enzymes. *Agricultura - Știință și practică agricolă* 77:126-132.

