



Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava
Facultatea de Inginerie Alimentară
Domeniul Ingineria Materialelor



REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător științific:
Prof. univ. dr. ing. Gheorghe GUTT

Doctorand:
ing. Sergiu PĂDUREȚ

**CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII LA CORELAREA
ȘI ARMONIZAREA ÎNCERCĂRILOR
MECANICE PRIVIND TEXTURA
ALIMENTELOR CU ÎNCERCĂRILE MECANICE
ALE MATERIALELOR**

Mulțumiri

Îi mulțumesc în mod deosebit domnului prof. univ. dr. ing. Gheorghe GUTT, conducătorul științific al lucrării, pentru sprijinul și îndrumarea acordată pe durata studiilor de doctorat și în activitatea mea științifică.

Mulțumesc întregului colectiv al Facultății de Inginerie Alimentară, în special doamnei decan prof. univ. dr. ing. Sonia AMARIEI și domnului decan prof. univ. dr. ing. Mircea OROIAN pentru sprijinul și încrederea acordată. Doresc să mulțumesc de asemenea comisiei de îndrumare, doamnei conf. univ. dr. Cristina HREȚCANU, doamnei conf. univ. dr. ing. Maria POROCH – SERIȚAN și domnului conf. univ. dr. ing. Marcel AVRAMIUC.

Mulțumesc întregii mele familii.

Cuvinte cheie: *caracteristici de textură, proprietăți mecanice, materiale alimentare vâscoelastice, dispozitiv pentru determinarea încercării la fluaj, duritate, modele mecanice maxwell și burger, dispozitiv pentru determinarea anizotropie, coeficient de anizotropie, modelare polinomială.*

CUPRINS

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	9
---	---

Capitolul I. Studiu privind stadiul actual al cercetărilor din domeniul texturii alimentelor cu accent asupra problematicii corelării și armonizării acestora cu încercările materialelor	11
1.1. Definirea texturii	11
1.2. Textura și calitatea	12
1.3. Culoarea. Influența culorii asupra texturii	13
1.3.1. Tipuri de sisteme colorimetrice	14
1.4. Structura materialelor alimentare și textura	15
1.5. Izotropia și anizotropia materialelor alimentare	18
1.6. Interacțiunea gură-aliment, procesul de masticăție și textura materialelor alimentare	20
1.7. Factorii care influențează textura	22
1.8. Proprietățile fizice ale materialelor alimentare	24
1.8.1. Solicitare uniaxială	25
1.8.1.1. Modulul lui Young	27
1.8.1.2. Coeficientul lui Poisson	27
1.8.2. Solicitarea la forfecare	28
1.8.3. Comprimarea Bulk	29
1.9. Clasificarea alimentelor solide în funcție de răspunsurile lor la solicitările mecanice	31
1.9.1. Tendința de fluaj	32
1.9.2. Tendința de relaxare	33
1.10. Evaluarea texturii produselor alimentare	33
1.10.1. Măsurarea subiectivă a texturii	33
1.10.2. Măsurarea obiectivă a texturii	35
1.10.2.1. Metode distructive pentru determinarea texturii produselor alimentare	36
1. Testul de punctură	36
2. Testul de forfecare	37
3. Testul de comprimare	38
4. Analiza Profilului de Textură (TPA)	39
5. Testul de încercare la încovoiere	40
6. Testul de torsiune/răsucire	41
7. Metode acustice	41
1.10.2.2. Metode nedistructive pentru determinarea texturii produselor alimentare	42
1. Tehnici spectroscopice	42
2. Metode mecanice nedistructive	43
1.11. Concluzii	43
Capitolul II. Concepția, proiectarea și realizarea de mijloace moderne pentru determinarea texturii alimentelor în strânsă corelare cu normele și cu mijloacele mecanice de încercare și caracterizare a materialelor	45
2.1. Dispozitiv pentru determinarea anizotropiei produselor alimentare	45
2.2. Metodă pentru determinarea unor parametri de textură la carne	49
2.3. Durimetru electronic modular pentru alimente	51
2.4. Utilizarea încercării la fluaj pentru studiul proprietăților de textură a materialelor alimentare	55
2.5. Concluzii	58

Capitolul III. Materiale și metode	59
3.1. Materiale	59
3.2. Metode.....	59
3.2.1. Determinarea umidității	59
3.2.2. Determinarea substanțelor proteice.....	59
3.2.3. Determinarea substanțelor grase	60
3.2.4. Determinarea concentrației de substanțe solubile	61
3.2.5. Determinarea activității apei	61
3.2.6. Determinarea culorii.....	62
3.2.7. Determinarea proprietăților de textură a epruvetelor alimentare	62
3.2.8. Metodă pentru determinarea unor parametri de textură la carne	63
3.2.9. Determinarea coeficientului de anizotropie	64
3.2.10. Determinarea tendinței de fluaj	64
3.3. Metode de analiză statistică	64
3.4. Concluzii	64
Capitolul IV. Determinarea caracteristicilor de textură a materialelor alimentare cu proprietăți vâscoelastice utilizând metode mecanice distructive specifice încercării materialelor	65
4.1. Influența prospețimii asupra caracteristicilor mecanice măsurate cu ajutorul dispozitivului conceput și realizat pentru încercarea la fluaj a materialelor alimentare	65
4.2. Studiu privind influența prospețimii asupra caracteristicilor mecanice măsurate prin metoda propusă pentru determinarea unor parametri de textură la carne	71
4.3. Aprecierea prospețimii materialelor alimentare prin Analiza Profilului de Textură (TPA).....	73
4.4. Studii privind aplicarea modelelor mecanice Maxwell și Burger pentru determinarea proprietăților vâscoelastice a materialelor alimentare.....	77
4.4.1. Modelul Maxwell	77
4.4.2. Modelul Burger	82
4.5. Concluzii	87
Capitolul V. Caracterizarea avansată a materialelor alimentare cu proprietăți anizotrope.....	89
5.1. Studii privind influența direcției de încercare asupra determinării proprietăților mecanice și de textură a materialelor alimentare anizotrope dure	89
5.2. Studii privind determinarea anizotropiei și a caracteristicilor de textură	96
5.2.1. Analiza componentei principale.....	107
5.2.2. Aplicarea modelului mecanic Burger cu 4 elemente Kelvin - Voigt	108
5.3. Concluzii	112
Capitolul VI. Studii privind influența compoziție chimice și a temperaturii asupra proprietăților de textură a materialelor alimentare semisolide izotrope.....	114
6.1. Modelarea cu rețele neuronale artificiale (RNA) a influenței compoziției chimice și a temperaturii asupra proprietăților de textură.....	120
6.2. Modelare polinomială de gradul III a influenței compoziției chimice și a temperaturii asupra proprietăților de textură	123
6.3. Concluzii	132
Capitolul VII. Concluzii generale	134
Bibliografie	137
Diseminarea rezultatelor cercetărilor	147

Teza de doctorat are ca scop corelarea încercărilor mecanice privind textura alimentelor cu încercările mecanice ale materialelor și realizarea de mijloace moderne pentru caracterizarea texturală avansată a materialelor alimentare în strânsă legătură cu normele și cu mijloacele mecanice de încercare a materialelor.

Lucrarea de doctorat cuprinde șapte capitole, fiecare capitol încheindu-se cu propriile concluzii.

În **primul capitol** s-a realizat un studiu critic al literaturii de specialitate privind stadiul actual al cercetărilor din domeniul texturii alimentelor cu accent asupra problematicii corelării și armonizării acestora cu încercările materialelor.

Din punct de vedere al științei materialelor produsele alimentare sunt considerate a fi amestecuri, sisteme disperse, recunoscute ca unele dintre cele mai complexe forme de materii moi, în structura cărora intră mai multe componente, polimerice (proteine, hidrați de carbon cu moleculă mare) sau monomerice, care formează un aranjament macroscopic și care definesc proprietățile mecanice ale materialului alimentar. Evaluarea materialelor alimentare din punct de vedere al proprietăților mecanice este destul de dificilă deoarece structura alimentelor variază în timpul depozitării și maturării, iar microstructura se modifică datorită activității metabolice (Aguilera, J., M., & Lillford, P., J., 2008; Pascua, Y., et al, 2013).

Textura ca și noțiune a fost definită de o serie de autori (Matz - 1962, Szczesniak - 1963, Potter - 1968, Corey - 1970, deMan - 1975, Jowitt - 1974) dar standardul SR ISO 11036:2007 este cel care prezintă cel mai bine noțiunea de textură a unui produs alimentar: "Textura reprezintă ansamblul proprietăților mecanice, geometrice și de suprafață ale unui produs alimentar, perceptibile prin receptori tactili sau mecanici și unde este cazul, vizuali și auditivi". Proprietățile mecanice ale produselor alimentare sunt determinate de reacția produsului la constrângere, fiind împărțite în cinci caracteristici primare (duritate, coeziune, viscozitate, elasticitate și adeziune) și trei caracteristici secundare (fracturabilitate, masticarea și gumozitatea).

Studierea texturii produselor alimentare este importată pentru:

- a evalua rezistența unui produs la șocuri mecanice, cum ar fi recoltarea mecanică a fructelor și legumelor;
- a determina rezistența la deformare a produselor supuse procesării, transportului și depozitării;
- a stabili comportarea mecanică a unui produs alimentar atunci când este consumat (deMAN, M., J., 1999).

Tehnicile utilizate pentru a studia proprietățile mecanice ale produselor alimentare nu sunt diferite de cele utilizate pentru alte tipuri de materiale, însă problemele apar în partea experimentală când multe alimente nu pot fi obținute în dimensiuni suficient de mari sau geometrii suficient de regulate pentru a satisface cerințele de validitate pentru anumite tipuri de teste. Un exemplu îl reprezintă testul de îndoire în trei puncte pentru determinarea modulului lui Young sau rezistență la încovoiere, dacă materialul este izotrop și omogen, chiar și un mic eșantion va da rezultate precise, atât timp cât lungimea epruvetei este de aproximativ zece ori mai mare decât grosimea, dar dacă materialul este moderat anizotrop și eterogen, raportul lungime/grosime va trebui să fie de 100 de ori sau chiar mai mare pentru a obține rezultate corecte. Același lucru este valabil și în cazul testului de fracturare (Vincent, J., F., V., & Lillford, P., J., 1991). Pentru produsele alimentare izotrope nu contează direcția de testare, dar pentru alimente anizotrope este esențial ca testarea epruvetei să se facă pe aceeași direcție (Bourne, M., 2002). Anizotropia structurală reprezintă tendința epruvetei de a manifesta diferite proprietăți fizice în funcție de poziția și orientarea acesteia (Bulancea, M., & Iordăchescu, G., 2006).

Cele mai utilizate metode pentru evaluarea texturii materialelor alimentare sunt metodele mecanice (metode distructive) prin care epruvetele alimentare sunt supuse încercărilor de: compresiune, tracțiune, încovoiere sau forfecare.

Neajunsurile stabilite în urma studiului teoretic sunt că:

- duritatea, una dintre cele mai utilizate caracteristici de textură a materialelor alimentare, este definită ca fiind o forță, în calcularea acesteia nu se ia în considerare adâncimea de pătrundere sau rata de comprimare a epruvetei;
- la determinarea caracteristicilor de textură nu se ține cont de anizotropia materialului alimentar testat și nici nu se iau în considerare erorile date de aceasta, chiar dacă majoritatea produselor și materiilor prime alimentare sunt anizotrope;
- curbele obținute în urma analizei profilului de textură sunt în coordonate forță – timp, prin înregistrarea timpului pe abscisă generându-se o serie de erori;
- dimensiunile epruvetelor alimentare utilizate pentru determinarea texturii nu sunt standardizate și conform cu literatura de specialitate specifică încercării materialelor dimensiunea epruvetei influențează rezultatele determinărilor;
- viteza de încărcare nu este nici ea standardizată, neexistând specificații privind selectarea unei anumite viteze în funcție de materialul alimentar supus testării.

Pe baza acestora s-a constatat posibilitatea proiectării, dezvoltării și realizării de mijloace moderne noi pentru a determina caracteristicile de textură a materialelor alimentare solide și semisolide în concordanță cu normele și mijloacele mecanice de încercare și caracterizare a materialelor.

În **capitolul II** *“Concepția, proiectarea și realizarea de mijloace moderne pentru determinarea texturii alimentelor în strânsă corelare cu normele și cu mijloacele mecanice de încercare și caracterizare a materialelor”*, sunt prezentate mijloacele și dispozitivele moderne propuse, brevetate și realizate pentru determinarea caracteristicilor de textură a materialelor alimentare.

În cadrul tezei de doctorat s-au propus, brevetat și realizat următoarele mijloace și dispozitive moderne pentru determinarea caracteristicilor de textură a materialelor alimentare:

- Dispozitiv pentru determinarea anizotropiei produselor alimentare;
- Metodă pentru determinarea unor parametri de textură la carne;
- Durimetru electronic modular pentru alimente.
- Un alt dispozitiv realizat și utilizat pentru a determina caracteristicile mecanice și cele vâscoelastice ale materialelor alimentare a fost dispozitivul pentru determinarea tendinței de fluaj prin compresiune.

2.1. Dispozitiv pentru determinarea anizotropiei produselor alimentare. Toate produsele alimentare precum și materiile prime alimentare au o anizotropie pronunțată. Ca atare, folosirea metodelor specifice încercării materialelor izotrope precum și validarea rezultatelor obținute duce la erori importante în definirea profilului de textură a alimentelor. Acest dispozitiv se așează pe masa unui texturometru și măsoară pe cale optoelectronică, în timpul solicitării epruvetei la compresiune, neuniformitatea deformării acesteia pe două direcții perpendiculare între ele și transformă printr-un soft specializat valorile acestei deformări într-un coeficient de anizotropie (K_a) cu ajutorul căruia sunt corectate valorile măsurate ale caracteristicilor texturale care definesc împreună profilul de textură a materialului alimentar încercat.

Pentru materiile alimentare anizotrope coeficientul de anizotropie K_a este un număr supraunitar cu ajutorul căruia se vor înmulți automat valorile măsurate ale caracteristicilor mecanice care definesc profilul de textură a unui aliment după cum urmează: duritate, fracturabilitate, coezivitate, elasticitate, gumozitate, excepție făcând deformabilitatea plastică,

a cărei valoare determinată se împarte la coeficientul de anizotropie, precum și masticabilitatea la care influența anizotropiei este mai complexă, valoarea măsurată neputându-se corecta printr-o simplă înmulțire sau împărțire cu coeficientului de anizotropie.

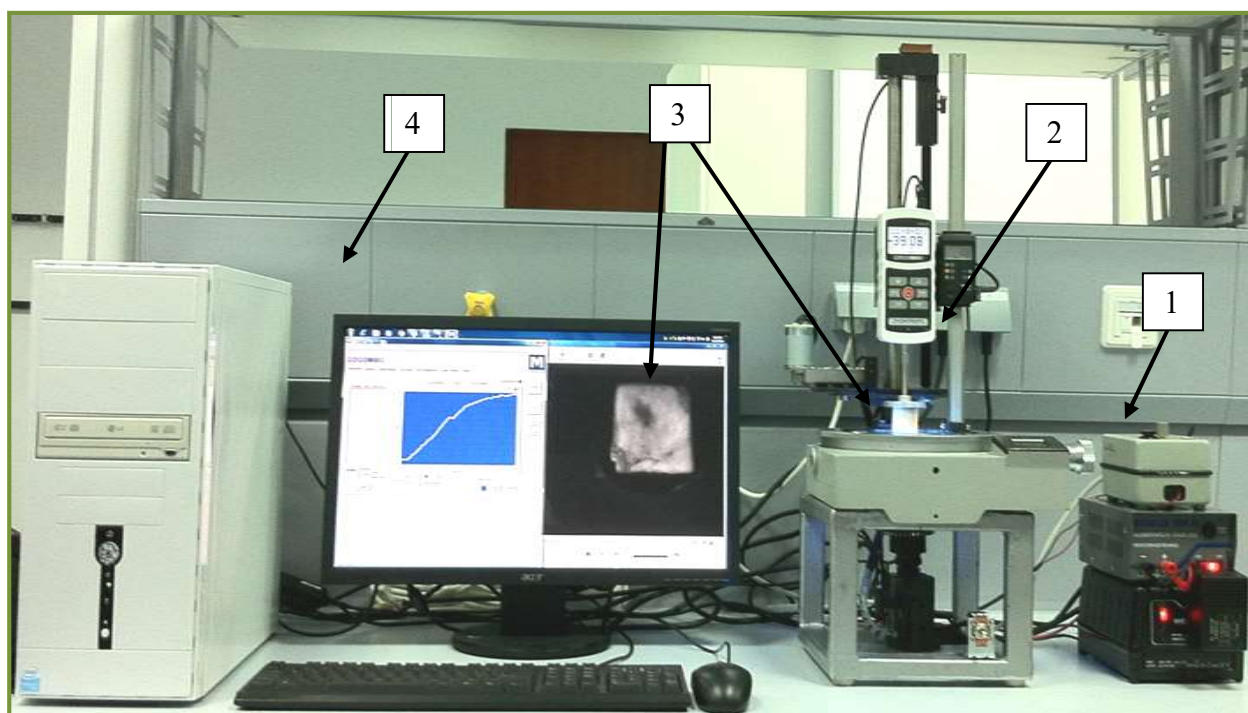


Fig. 2.4. Vedere generală a dispozitivului pentru determinarea anizotropiei produselor alimentare: 1 - surse de curent continuu, 2 - aparat pentru determinarea anizotropiei produselor alimentare, 3 - epruveta alimentară analizată, 4 - sistem de achiziție, prelucrare și afișare date

În figura 2.4 este prezentat dispozitivul realizat pentru determinarea anizotropiei materialelor alimentare. Prin intermediul sistemului electromecanic de încărcare - descărcare epruveta alimentară este comprimată, răspunsul acesteia este înregistrat de senzorul de forță (Mark 10 Digital Force Gauges – Series 5), deplasarea fiind înregistrată de senzorul de deplasare (Mitutoyo Digital Scale Unit - 572), iar deformarea epruvetei este captată de camera video alb negru (Sony XC-ST50).

Avantajul aplicării acestui dispozitiv constă în creșterea preciziei la determinarea caracteristicilor individuale de textură care definesc împreună profilul de textură a unui produs sau a unei materii prime alimentare (Amariei, S., et al., 2015).

2.2. Metoda pentru determinarea unor parametrii de textură la carne se referă la un procedeu pentru determinarea valorii relaxării și a valorii durității sub sarcină ca parametrii de textură a cărnii crude și preparată sub formă solidă, netocată. Problema tehnică pe care o rezolvă această metodă constă în fundamentarea și definirea a doi noi parametrii de textură importanți, respectiv valoarea durității sub sarcină și valoarea relaxării, parametrii folosiți în principal pentru caracterizarea comportării la solicitarea mecanică a unor probe de carne masivă crudă sau preparată, dar și a altor materii alimentare anizotrope.

În acest scop sunt folosite epruvete din carne crudă sau carne preparată masivă, care sunt solicitate la compresiune, cu o forță progresiv crescătoare, între discurile unui texturometru electronic până când înălțimea epruvetelor scade la o valoare prescrisă, după care se oprește aplicarea forței înregistrând în continuare, automat, evoluția scăzătoare a valorii acesteia în timp de 450 s. Prin aplicarea acestei metode se obține avantajul

caracterizării texturale a cărnii, cu profil anizotrop, prin parametrii de textură duritate sub sarcină și relaxare, valorile ambilor parametrii având o bună reproductibilitate.

2.4. Dispozitiv pentru determinarea tendinței de fluaj prin compresiune. Pentru a putea studia textura produselor alimentare prin testele de fluaj s-a construit un aparat (fig. 2.11) care are ca elemente constructive de bază un sistem electronic de măsurare a deplasării și a timpului.

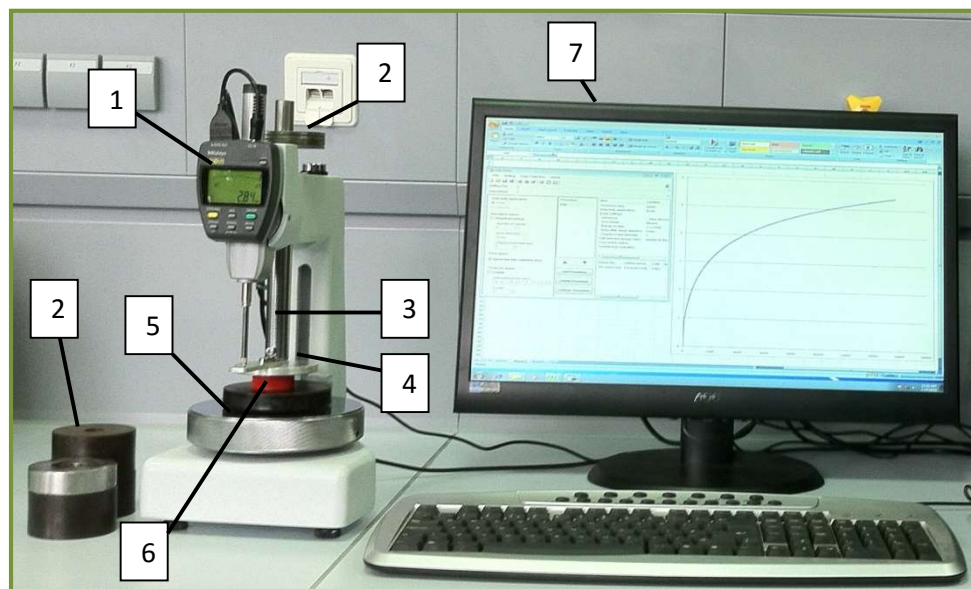


Fig. 2.11. Vedere generală a dispozitivului pentru determinarea tendinței de fluaj a materialelor alimentare: 1-ceas comparator, 2- greutăți, 3-ax, 4- disc de coprimare, 5-masă, 6-epruvetă, 7-sistem de prelucrare afișare date

Rezoluția aparatului este de 0.01 mm, acuratețea (20 °C) este de ± 0.006 sau mai mică, cu un domeniu de măsurare cuprins între 0-50.8 mm, diametrul tijei este de 8 mm, iar forța de apăsare este ≤ 2.3 N.

Încercările la fluaj prin compresiune oferă informații importante despre rezistența mecanică a materialelor alimentare supuse ambalării, manipulării, transportului și depozitării.

În **Capitolul III** sunt descrise *Materiale și metodele* utilizate. Pentru analiza compoziției chimice a materialelor alimentare s-au folosit metode de referință din literatura de specialitate (SR ISO 1442:2010, SR ISO 937: 2007, SR ISO 1444:2008), iar caracteristicile de textură s-au determinat atât cu aparatele clasice din dotarea laboratoarelor de cercetare din cadrul Facultății de Inginerie Alimentară, Suceava, cât și cu aparatele și dispozitivele realizate în perioada cercetărilor doctorale.

Materialele utilizate în cadrul studiilor au fost probe alimentare a căror textură este importantă pentru consumatori și anume produse solide și semisolide. Materialele alimentare solide au fost reprezentate de: probe de carne masivă, probe de carne tocată, câpșuni din diferite soiuri (*Elsanta*, *Darselect* și *Coral*) și probe de morcov. În cazul materialelor semisolide luate în studiu s-a numărat mierea de albine de diverse origini.

Tehnicile și echipamentele dezvoltate prezintă o importanță deosebită pentru caracterizarea texturală avansată a materialelor alimentare cu profil anizotrop, sunt simple și ușor de utilizat.

În **Capitolul IV** al tezei de doctorat (*Determinarea caracteristicilor de textură a materialelor alimentare cu proprietăți vâscoelastice utilizând metode mecanice distructive specifice încercării materialelor*) este prezentată variația proprietăților mecanice, fizico – chimice și de culoare a materialelor alimentare vâscoelastice în funcție de prospețimea acestora, iar pe baza modelelor mecanice s-au determinat proprietățile vâscoelastice.

Pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale epruvetelor de carne s-au utilizat aparate clasice de încercare a materialelor alimentare, dar și aparate și dispozitive concepute și realizate. Aparatul clasic utilizat a fost un texturometru Mark-10-ESM301 (Mark 10 Corporation, USA), iar dispozitivul conceput și realizat a fost aparatul pentru încercarea la fluaj a materialelor alimentare și metoda pentru determinarea unor parametri de textură la carne.

În tabelul 4.3 sunt prezentate caracteristicile curbelor de fluaj obținute în urma comprimării probelor de carne cu mase de solicitare de 1, 2 și 3 Kg.

Tabel 4.3. Caracteristicile curbelor de fluaj obținute cu mase de solicitare diferită

Masa de solicitare [Kg]	Comprimarea [mm]	Lucrul mecanic [mm·min]
1	3.26	298.1
2	4.65	474.6
3	11.02	1279

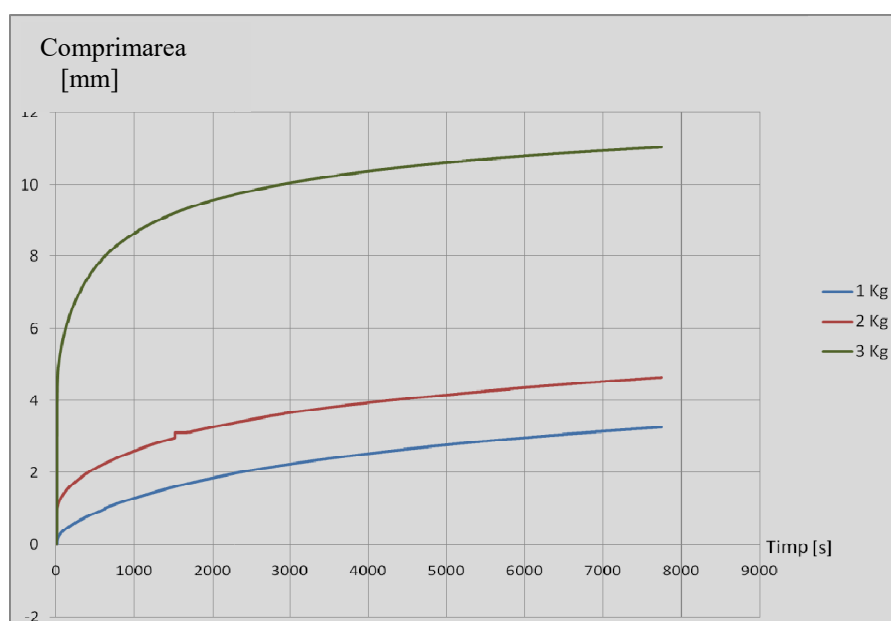


Fig. 4.1. Curbe de fluaj obținute cu masă de solicitare de 1 Kg, 2 Kg și 3 Kg

Pentru testul de fluaj s-a folosit masa de solicitare de 1 Kg deoarece produce o curgere laterală mai mică a epruvetei de carne.

Prospețimea cărnii exprimată în zile de depozitare, comprimarea respectiv lucrul mecanic de comprimare în cazul fluajului fără preîncărcare prezintă o tendință liniară ($R^2 = 0.987$, respectiv $R^2 = 0.986$). Acești doi parametri putând constitui un indicator instrumental de laborator pentru caracterizarea stării de prospețime a cărnii crude păstrate în condiții de refrigerare.

În tabelul 4.6 sunt redate valorile determinărilor zilnice pentru toți parametrii de textură studiați conform metodei propuse (metoda pentru determinarea unor parametri de textură la carne).

Tabel 4.6. Evoluția valorilor parametrilor fizici și de textură a cărnii în funcție de prospețimea acesteia (nr. zilelor de la sacrificarea animalului)

Ziua	Tensiunea σ [N/mm ²]	Duritatea H_s [N/mm]	Lucrul mecanic L_m [N·s]	Panta dreptei $F_{1N}-F_{max}$ [N/s]	Relaxarea R [N/s]
1	0.0259	2.332	202	0.495	0.0440
2	0.0208	1.876	175	0.397	0.0393
3	0.0188	1.697	165	0.376	0.0321
4	0.0166	1.496	156	0.302	0.0271
5	0.0156	1.408	140	0.374	0.0269
6	0.0153	1.378	121	0.368	0.0268
7	0.0148	1.336	121	0.305	0.0259
8	0.0135	1.218	120	0.295	0.0208
9	0.0106	0.958	99	0.254	0.0196
10	0.00646	0.582	41	0.225	0.0113

Avantajul aplicării metodei pentru determinarea unor parametri de textură la carne este acela că permite caracterizarea texturală a cărnii cu proprietăți anizotrope, prin parametri de textură duritate sub sarcină și relaxare, valorile ambilor parametri având o bună reproductibilitate. Duritatea sub sarcină (H_s), reflectă cel mai bine prospețimea cărnii, acest parametru putând constitui atât un indicator instrumental de laborator cât și un indicator pentru testări în situ în vederea caracterizării cărnii masive crude păstrate în condiții de refrigerare.

Pentru înțelegerea caracteristicilor mecanice sau de textură a materialelor alimentare vâscoelastice sunt folosite unele modele mecanice, care constau în utilizarea unor arcuri (resort) sau/și amortizoare legate în serie sau paralel, resortul exprimând deformare elastică (legea lui Hooke), iar amortizorul pe cea vâscoasă (legea lui Newton). Prin aplicarea modelelor mecanice Maxwell (fig. 4.12) pentru curbele de relaxare a probelor de carne și a modelului mecanic Burger cu 4, respectiv 6 elemente Kelvin-Voigt pentru curbele de fluaj s-a determinat comportamentul și parametrii vâscoelastici ai probelor de carne în funcție de starea de prospețime a acesteia.

În urma aplicării modelelor Maxwell și Burger s-a constatat că atât tensiunea de echilibru (σ_e) cât și valoarea modului de elasticitate Young (G_0) prezintă o evoluție descrescătoare în timp, iar complianța instantanee (J_0) și complianța întârziată (J_1) prezintă o evoluție crescătoare cu timpul de depozitare a cărnii ceea ce este asociat cu o scădere a fermității și a elasticității în materialul analizat. O creștere a complianței întârziate, componentă principală a comportamentului vâscoelastic, în materialul testat fiind asociată cu un comportament mai puțin solid și mai mult vâscoelatic.

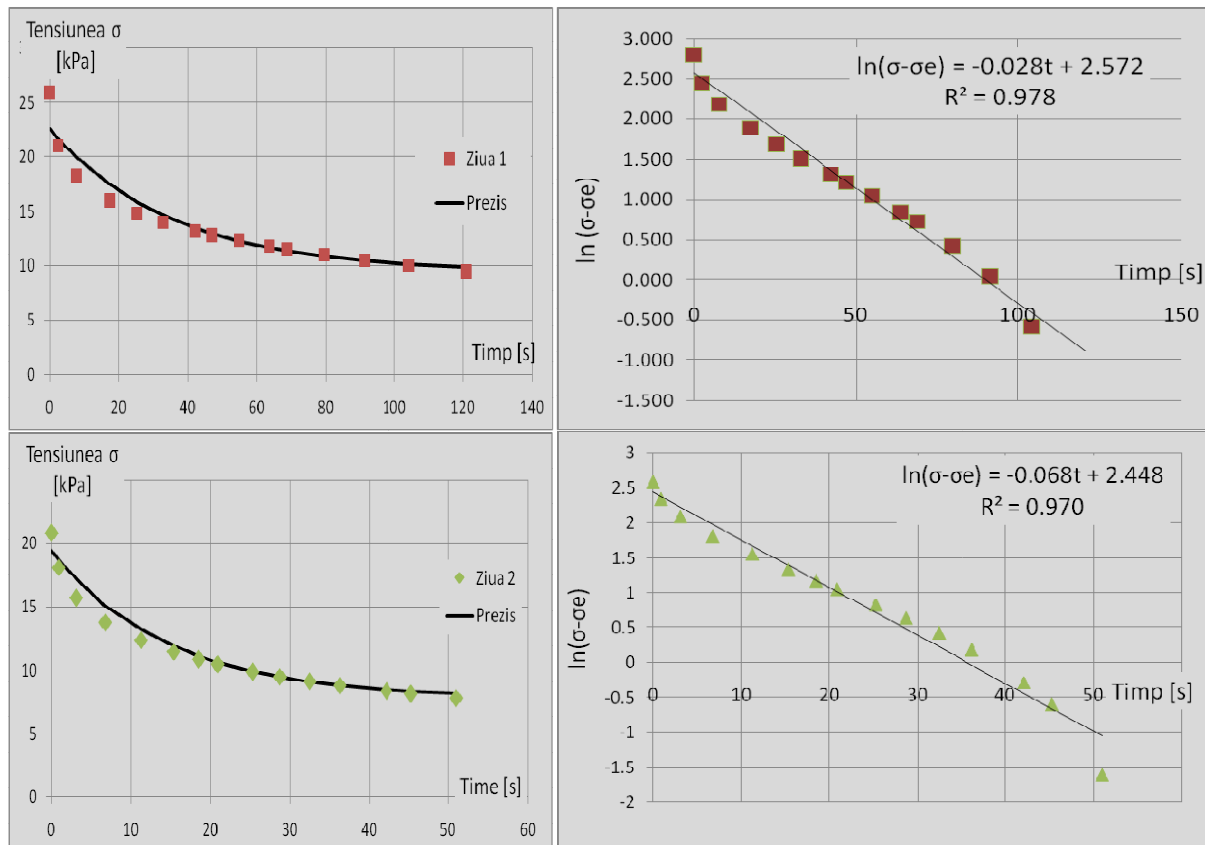


Fig. 4.12. Modelul Maxwell aplicat curbelor stres – relaxare a probelor de carne, ziua 1 și 2

Atât modelul Maxwell cât și modelul Burger prezintă valori mai mici ale ADD pentru caracteristicile vâscoelastice ale cărnii în funcție de starea de prospețime. Luând în considerare coeficienții de determinare (R^2) și valorile modulului deviațiilor mediilor relative (AAD) putem concluziona că modelul mecanic Burger cu 6 elemente Kelvin-Voigt prezintă o potrivire mai bună la curbele de încercare a probelor de carne analizate.

În cazul cărnii tocate tip Hamburger analiza profilului de textură (TPA) a evidențiat faptul că parametrii primari și secundari de textură sunt influențați de gradul de prospețime a cărnii, duritatea fiind parametrul cu cea mai mare relevanță pentru determinarea gradului de prospețime a acesteia, stabilită atât prin analiza Pearson ($p < 0.05$), cât și prin analiza regresiei liniare ($R^2 = 0.941$).

Un alt aspect important este acela că curbele TPA au fost obținute în coordonate forță – deplasare, eliminându-se astfel erorile cauzate de înregistrarea timpului pe abscisă și totodată crește și precizia determinărilor, iar în calcularea durității materialelor alimentare s-a ținut cont de adâncimea de pătrundere sau de distanța de comprimare, astfel duritatea a fost exprimată în unități de forță pe unități de deplasare (N/mm) și nu ca o forță.

Capitolul V (*Caracterizarea avansată a materialelor alimentare cu proprietăți anizotrope*) este centrat pe problematica anizotropiei materialelor alimentare și pe erorile date de aceasta în determinarea parametrilor primari și secundari de textură. Pentru caracterizarea avansată a materialelor alimentare anizotrope s-a utilizat dispozitivul pentru determinarea anizotropiei produselor alimentare și aparatul pentru încercarea la fluaj prin compresie. Obiectivul acestui studiu este acela de a evidenția importanța direcției de încercare a epruvetelor în măsurarea proprietăților mecanice și de textură și de a determina coeficientul de anizotropia a epruvetelor alimentare.

Valorile durității și a lucrului mecanic a probelor de morcov măsurate cu trei penetrometre diferite pe două direcții: perpendicular și paralel cu sensul de creștere sunt prezentate în tabelul 5.1. Cele mai mari valori ale durității s-au înregistrat cu sonda disc (52.78 N/mm), iar cele mai mici valori s-au măsurat cu penetrometrul tip con (0.84 N/mm).

Tabel.5.1. Variația durității și a lucrului mecanic în funcție de timpul de fierbere și direcția de încercare

Sonda	Timpul de fierbere	Duritatea		ANOVA	
		Perpendicular [N/mm]	Paralel [N/mm]	F	P
Con	15	2.006±0.23	1.942±0.268	2.29	0.2040
	20	1.532±0.109	1.684±0.28	0.09	0.7810
	25	1.332±0.18	1.328±0.116	0.34	0.5920
	30	1.15±0.186	1.008±0.29	1.76	0.2540
	35	0.928±0.39	0.84±0.102	4.36	0.1050
Bilă	15	10.226±0.628	6.498±0.767	102.72	0.0005
	20	4.448±0.582	3.646±0.806	10.34	0.0300
	25	3.218±0.215	2.242±0.626	44.56	0.0020
	30	2.024±0.311	1.748±0.282	64.63	0.0010
	35	1.635±0.77	1.228±0.205	22.56	0.0090
Disc	15	47.4±1.98	52.78±0.628	96.34	0.0006
	20	33.08±1.02	35.4±0.246	35.43	0.0040
	25	23.76±0.58	26.16±0.68	58.36	0.0010
	30	11.52±0.98	16.1±1.58	130.65	0.0003
	35	7.1±1.02	9.04±0.87	41.91	0.0020
	Timpul de fierbere	Lucrul mecanic		ANOVA	
		Perpendicular [N·mm]	Paralel [N·mm]	F	P
Con	15	16.26±1.92	12.25±1.54	7.96	0.0477
	20	11.51±1.01	8.759±1.91	4.86	0.0921
	25	8.96±0.92	6.98±0.52	10.53	0.0315
	30	7.15±0.82	5.23±0.62	10.46	0.0318
	35	5.68±1.53	3.42±0.95	4.72	0.0954
Bilă	15	91.13±2.25	79.61±1.38	57.15	0.0016
	20	48.2±1.99	46.36±1.71	2.03	0.2270
	25	32.27±0.85	29.37±1.35	12.92	0.0229
	30	22.82±0.53	23.25±1.37	0.26	0.6388
	35	15.69±1.12	13.78±0.95	5.07	0.0874
Disc	15	362.5±2.05	449.5±2.87	1825.41	0.0000
	20	251±0.99	263.7±1.53	145.70	0.0003
	25	207.2±0.87	212.3±1.02	43.42	0.0027
	30	100.48±1.21	174.9±1.35	5055.38	0.0000
	35	61.2±1.35	87.93±0.98	770.23	0.0000

(Paduret, S., & Gutt, G., 2015b)

În urma analizei ANOVA s-a constatat că $P > 0.05$, ceea ce indică faptul că sonda tip con nu poate fi utilizată pentru evidențierea anizotropiei morcovului. În cazul determinării durității cu sonda tip bilă și disc se observă o variație semnificativă a durității în funcție de timpul de fierbere cât și față de direcția de încercare. Pentru duritatea măsurată cu sonda tip bilă $P < 0.05$, iar pentru duritatea măsurată cu sonda tip disc $P < 0.01$, analiza de varianță ANOVA indică sonda disc ca fiind cea mai potrivită sondă pentru evidențierea caracterului anizotrop al materialelor alimentare.

Cel mai mare coeficient de anizotropie s-a măsurat la probele de morcov supuse fierberii timp de 30 minute ($K_a = 1.1365$). Se poate observa că valoarea coeficientului de anizotropie crește odată cu creșterea timpului de fierbere, iar corelația Pearson indică o corelație pozitivă semnificativă la un nivel $p < 0.05$. Coeficientul de anizotropie (K_a) este corelat puternic pozitiv cu vâscozitatea ($p < 0.01$) și negativ cu masticabilitatea ($p < 0.05$) probelor de morcov testate pe direcție perpendiculară. O altă corelație negativă există între coeficientul de anizotropie și duritatea ($p < 0.05$) probelor de morcov testate paralel, pe când între coezivitate și coeficientul de anizotropie s-a stabilit o corelație pozitivă ($p < 0.05$) (Paduret, S., & Gutt, G., 2015b).

Anizotropia celor trei soiuri de căpșuni analizate s-a măsurat cu ajutorul dispozitivului conceput și realizat, căpșunile din soiul *Darselect* (fig. 5.7 B) având cel mai pronunțat grad de anizotropie cuprins între 1.224 - 1.260.

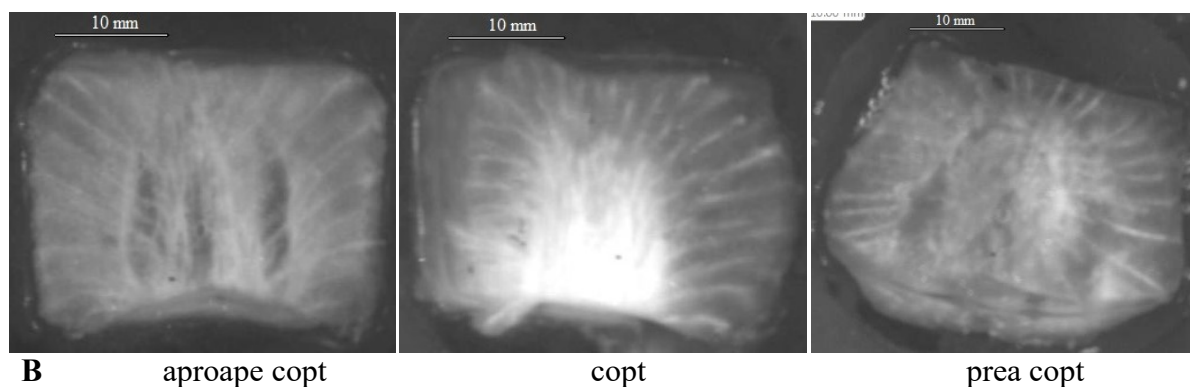


Fig. 5.7. Anizotropia căpșunilor din soiul *Darselect*

Coeficientul de anizotropie (K_a) al căpșunilor este corelat pozitiv cu duritatea, coezivitatea ($p < 0.01$) și deasemenea cu elasticitatea, gumozitatea și masticabilitatea ($p < 0.05$). Între proprietățile de textură a curbelor de fluaj (comprimarea și lucru mecanic) și coeficientul de anizotropie a căpșunilor este o corelație Pearson puternic negativă ($r = -0.948$; $p < 0.01$) (Pădureț, S., et al., 2016).

Căpșunile din cele trei soiuri studiate se încadrează în categoria materialelor alimentare vâscoelastice cu o duritate moderată, prezentând atât proprietăți elastice (deformare), cât și proprietăți vâscoase (curgere). În urma analizei profilului de textură s-a constatat că duritatea probelor de căpșuni este influențată de gradul de coacere al fructului, de soiul din care face parte și de conținutul de apă; elasticitatea fiind și ea influențată de umiditatea fructelor.

Parametrii primari și secundari de textură (duritate, vâscozitate, adezivitate, elasticitate, coezivitate, gumozitate, masticabilitate) sunt influențați pozitiv unii de alții, iar caracteristicile mecanice a căpșunilor obținute în urma testelor de fluaj sunt corelate negativ cu parametrii primari și secundari de textură.

În urma aplicării modelului mecanic Burger (fig. 5.13) s-a constatat că o valoare mare a intervalului de timp corespunzător deformării întârziate a unui material alimentar duce la un interval de timp mai mare pentru producerea unei anumite deformări, ceea ce implică un material alimentar mai rezistent la șocuri mecanice și mai puțin susceptibil de o deteriorare

rapidă. Atât modelul mecanic Burger, analiza profilului de textură cât și testele de fluaj indică soiul *Darselect* ca fiind cel mai rezistent soi la distrugeri mecanice, iar soiul *Coral* ca fiind soiul cu cea mai mică rezistență mecanică.

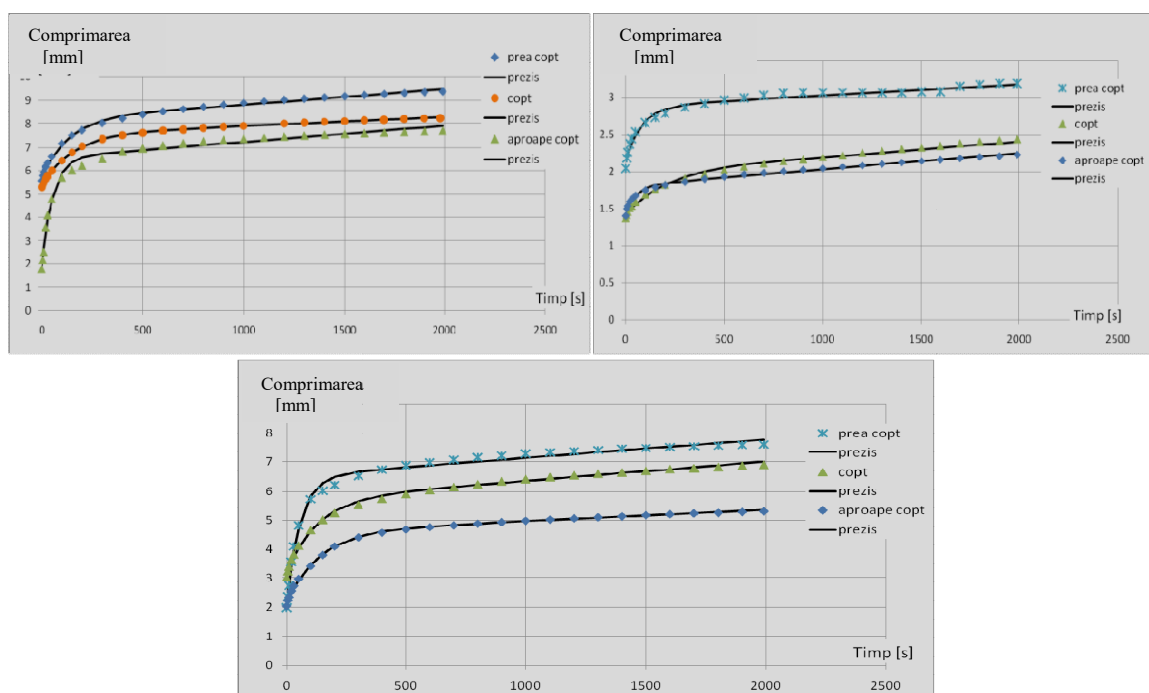


Fig. 5.13. Predicția curbelor de fluaj a căpșunilor utilizând modelu Burger cu 4 elemente Kelvin- Voigt

Dispozitivul realizat pentru determinarea anizotropiei prezintă o importanță deosebită în studierea texturii materialelor alimentare, coeficientul de anizotropie fiind un factor important utilizat în diferențierea sau clasificarea căpșunilor, iar încercarea la fluaj prin compresiune, determinată cu ajutorul dispozitivului realizat, oferă informații importante despre rezistența mecanică a acestora. Prin realizarea analizei componente principale, probele de căpșuni au fost împărțite în funcție de soiul din care făceau parte, coeficientul de anizotropie fiind un parametru cu influență mare în această clasificare.

În **Capitolul VI** (*Studii privind influența compoziției chimice și a temperaturii asupra proprietăților de textură a materialelor alimentare semisolidizate izotrope*) este evaluată influența compoziției chimice (fructoză, glucoză, sucroză, substanțe nonglucidice, celelalte glucide) și a temperaturii (20, 30, 40, 50 și 60 °C) asupra parametrilor primari și secundari de textură (duritate, vâscozitate, adeziune, coeziune, elasticitate, gumozitate, masticabilitate) a mierii de albine utilizând metode statistice (corelație Pearson, analiza componentelor principale), și prezentată modelarea parametrilor de textură a mierii în funcție de compoziția chimică și de temperatură, utilizând metodologia suprafeței de răspuns și rețelele neuronale artificiale.

În urma determinărilor fizico-chimice s-a constatat că probele de miere au respectat normele europene privind nivelul de umiditate (nivelul umidității a fost mai mic de 20 % la toate probele) și concentrația de zahăr invertit (conținutul total de glucoză și fructoză este mai mare de 60 g / 100 g miere de albine).

În figura 6.1 sunt prezentate curbele TPA a unei probei de miere de albine la temperaturile de 20, 30, 40, 50 și 60 °C. Se poate observa că răspunsul mierii la solicitarea mecanică de compresiune scade odată cu creșterea temperaturii, astfel putem concluziona că

profilul de textură, implicit parametrii primari și secundari de textură sunt influențați negativ de temperatură. Proprietățile de textură studiate pentru mierea de albine au fost: duritatea, vâscozitatea, adezivitatea, coezivitatea, elasticitatea, gumozitatea și masticabilitatea.

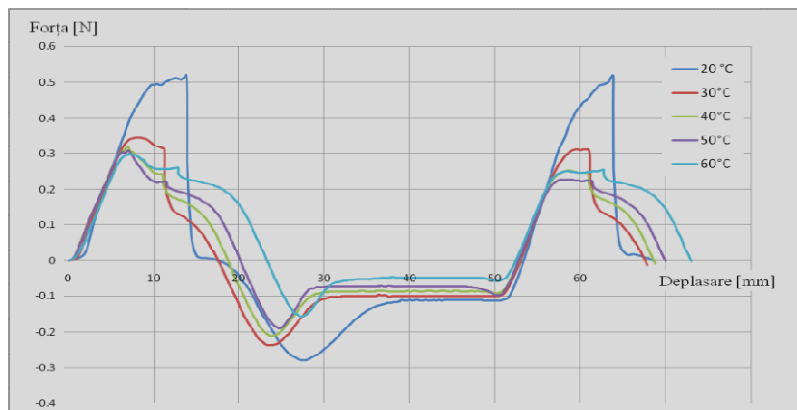


Fig. 6.1. Curba TPA a probei de miere - H3

Determinarea parametrilor de textură prin analiza profilului de textură s-a făcut cu o precizie ridicată datorită faptului că toate curbele TPA au înregistrat deplasarea pe abscisă, iar materialul solicitat la compresie a fost izotrop. Din cei șapte parametri de textură determinați, adezivitatea a prezentat cele mai mari valori în timp ce vâscozitatea a prezentat cele mai mici valori.

Modelarea parametrilor de textură s-a realizat cu ajutorul rețelei neuronale artificiale - RNA și modelul polinomului. Rețeaua neuronală artificială a prezis cel mai bine parametrul de textură primar – elasticitate. Importanța variabilelor independente pentru predicția RNA a durității, vâscozității, adezivității, coezivității, elasticității, gumozității și masticabilității sunt prezentate în figura 6.3, temperatura având cea mai mare influență asupra predicției RNA.

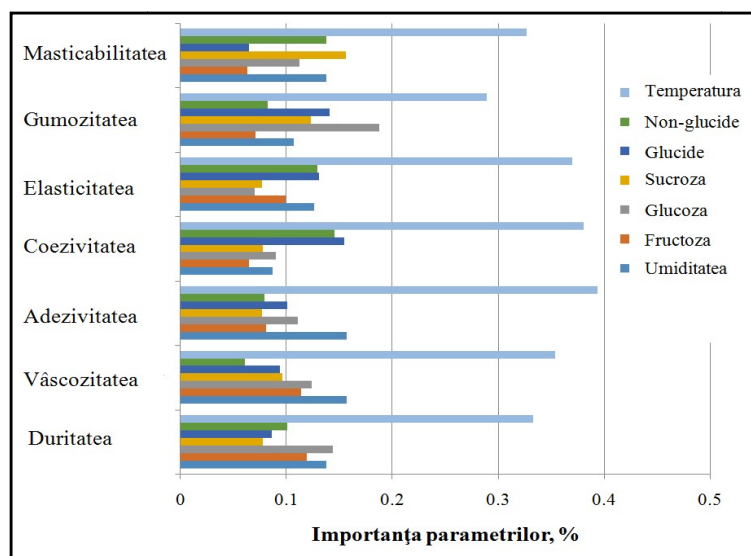


Fig. 6.3. Importanța parametrilor pentru modelul rețelelor neuronale artificiale (RNA)

Modelul polinomului a prezis mai bine parametrii de textură decât rețeaua neuronală artificială (RNA), modulul deviațiilor mediilor relative (AAD) a prezentat valori mai mici de 10.34, în timp ce coeficientul de regresie R^2 a prezentat valori mai mari de 0.9814.

În urma acestui studiu putem concluziona că metodele mecanice bazate pe dublă compresie pot fi utilizate pentru a determina caracteristicile de textură ale mierii de albine în condiții de bună reproductibilitate, iar dintre cele două modele utilizate pentru a prezice

parametrii primari și secundari de textură în funcție de compoziția chimică și de temperatură modelul polinomului de gradul III dă valorile cele mai apropiate de cele măsurate.

Capitolul VII prezintă concluziile generale. În cadrul tezei de doctorat **CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII LA CORELAREA ȘI ARMONIZAREA ÎNCERCĂRILOR MECANICE PRIVIND TEXTURA ALIMENTELOR CU ÎNCERCĂRILE MECANICE ALE MATERIALELOR** duritatea materialelor alimentare testate s-a exprimat ca raportul dintre forța aplicată asupra epruvetei și adâncimea de pătrundere a penetratorului sau deformarea realizată prin compresiune, fiind în conformitate cu definiția durității din punct de vedere al încercării materialelor. Epruvetele alimentare solide analizate au avut dimensiunile standardizate - cub cu dimensiunea laturei de 30 mm. Viteza de încărcare pentru probele solide s-a stabilit la $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, iar pentru probele semisolide izotrope la $150 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. În cazul analizei profilului de textură (TPA) pentru a elimina erorile date de înregistrarea timpului pe abscisă, care presupune o viteză absolut constantă de încărcare – descărcare a epruvetei alimentare, ceea ce este imposibil de realizat din punct de vedere tehnic, viteza fiind influențată atât de rezistența opusă de epruveta alimentară în timpul solicitării acesteia cât și de eventuale frecări necontrolabile din sistemul electromecanic de încărcare – descărcare, s-a realizat obținerea curbelor TPA în coordonate forță – depalsare, astfel crescând precizia determinărilor.

În vederea caracterizării texturale avansate a materialelor alimentare și totodată din necesitatea creșterii preciziei de măsurare s-au urmărit următoarele:

- dezvoltarea unor metode și dispozitive destinate caracterizării avansate a materialelor alimentare anizotrope în condiții de bună reproductibilitate;
- realizarea unor tehnici și echipamente pentru caracterizarea texturală in-situ a materialelor alimentare solide și semisolide;
- utilizarea unui dispozitiv realizat pentru determinarea încercării la fluaj a materialelor alimentare.

Prin realizarea dispozitivului pentru determinarea anizotropiei s-a creat posibilitatea determinării coeficientului de anizotropie a materialelor alimentare, prin intermediul caruia se crește precizia la determinarea parametrilor primari (duritate, elasticitate, adezivitate, vâscozitate și coezivitate) și secundari (fracturabilitate, gumozitate) de textură, iar prin dezvoltarea metodei pentru determinarea unor parametri de textură la carne, s-a creat posibilitatea caracterizării materialelor alimentare anizotrope prin doi parametri de textură noi duritate și relaxare sub sarcină. Utilizarea echipamentului realizat pentru determinarea încercării la fluaj prin compresiune a permis caracterizarea și din punct de vedere al parametrilor de fluaj (comprimarea, lucrul mecanic de comprimare) a materialelor alimentare solide, iar prin aplicarea modelelor mecanice Burger cu 4 respectiv 6 elemente Kelvin – Voigt s-au determinat caracteristicile vâscoelastice ale materialelor testate.

Dispozitivul pentru determinarea anizotropiei s-a utilizat atât pentru materialele alimentare caracterizate printr-o fermitare ridicată cât și pentru materialele alimentare mai moi, rezultatele obținute fiind concludente. În cazul materialelor alimentare caracterizate printr-o fermitate ridicată, reprezentate de probe de morcov, s-a concluzionat că anizotropia acestora este influențată de timpul de fierbere și este corelată cu vâscozitatea, coezivitatea, duritatea și masticabilitatea, iar în cazul materialelor mai moi, reprezentate de probe de căpșuni, coeficientul de anizotropie (K_a) este corelat cu duritatea, coezivitatea și deasemenea cu elasticitatea, gumozitatea și masticabilitatea. Dispozitivul realizat pentru determinarea anizotropiei prezintă o importanță deosebită în studierea texturii materialelor alimentare, iar coeficientul de anizotropie este un factor important utilizat în diferențierea sau clasificarea acestora.

BIBLIOGRAFIE

- Aguilera, J., M., & Lillford, P., J., (2008), *Food materials science principles and practice*, Springer Science+Business Media, New York.
- Aguilera, J., M., (2005), *Why food microstructure?*, Journal of Food Engineering 67, 3–11
- Ak, M., M., & Gunasekaran, S., (1997), *Anisotropy in Tensile Properties of Mozzarella Cheese*, Journal of Food Science volume 62, no. 5, pp 1031-1035.
- Alhamdan, A., Sorour, H., Abdelkarim, D., and Younis, M., (2014), Creep-recovery behavior for eight dates cultivars at two different maturity stages. International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 2, Issue 3, 73-80.
- Aliasgarian, S., Ghassemzadeh, H. R., Moghaddam, M., and Ghaffari, H., (2013), Mechanical damage of strawberry during harvest and postharvest operations. World Applied Sciences Journal, 22(7), 969-974.
- Altamirano-Fortoul, R., Hernando, I., and Rosell, C.M., (2013), *Texture of bread crust: puncturing settings effect and its relationship to microstructure*, Journal of texture studies 44, 85-94
- Amariei, S., Gutt, G., Oroian M., Sanduleac, E., **Pădureț, S.**, (2015), Device for determining anisotropy of food products, RO130707 (A2)
- Amariei, S., Gutt, G., Oroian, M., A., **Pădureț, S.**, Sanduleac, E., (2014), *Method for the determination of meat texture parameters*, OSIM file A00420/2014
- Amariei, S., Gutt, G., Oroian, M., A., **Pădureț, S.**, Sanduleac, E., (2015), *Durimetru electronic modular pentru alimente*, OSIM file A00165/2015
- Andrés-Bello, A., Barreto-Palacios, V., García-Segovia, P., Mir-Bel, J., and Martínez-Monzó, J., (2013), *Effect of pH on color and texture of food products*, Food Engineering Reviews, 5:158–170.
- Anklam, E., (1998), A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. Food Chem63:549–562
- Arana, I., (2012), *Physical properties of foods Novel measurement techniques and applications*, Printed by Taylor & Francis Group, LLC., New York.
- Azodanlou, R., Darbellay, C., Luisier, J. L., Villettaz, J. C., and Amadò, R., (2004), Changes in flavour and texture during the ripening of strawberries. European Food Research and Technology, 218(2), 167-172.
- Banu, C., Nour, V., and Vizireanu, C., (2007), *Calitatea și analiza senzorială a produselor alimentare*, Editura Agir, București.
- Bao, G Zhang, L., Sun, B., Xie, P., Wang, L., Niu, J., Ma, J., (2015), The Correlation research on yak meat texture profile analysis (TPA) and freshness parameters during refrigerated storage, MOJ Food Process Technol, 1(4): 00020.
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., and Shewfelt, R., (2010), Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. Critical reviews in food science and nutrition, 50(5), 369-389.
- Barrett, D., Somogyi, L. and Ramaswamy, H., (2005), Processing Fruits, Science and Technology, CRC Press LLC. ISBN 0-8493-1478-X.
- Barrett, M., D., (1998), *Textural modification of processing tomatoes*, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 38(3):173–258.
- Bertone, E., Venturello, A., Leardi, R., and Geobaldo, F., *Prediction of the optimum harvest time of 'Scarlet' apples using DR-UV-Vis and NIR spectroscopy*, Postharvest Biology and Technology 69, 15–23

- Betten, J., (2005), *Creep Mechanics*, 2nd Ed., Springer, Aachen.
- Bhandari B, D'Arcy B, Kelly C., (1999), Rheology and crystallization kinetics of honey: present status. *Int J Food Prop* 2(3):217–226.
- Bhandari, B., & Roos, H., Y., (2012), *Food Materials Science and Engineering*, Published by Blackwell Publishing Ltd, UK.
- Bogdanov, S., (2002), Harmonised methods of the international honey commission (Swiss bee research Centre, FAM, liebefeld, CH-3003 Bern, Switzerland)
- Bornhorst, M., G., & Singh, R., P., (2012), *Bolus Formation and Disintegration during Digestion of Food Carbohydrates*, Institute of Food Technologists, Vol.11.
- Bourne, C., M., (2002), *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*, An Elsevier Science Imprint, London.
- Budrewicz, G., Majewska, K., Borowska, E. J., and Zadernowski, R., (2005), Texture characteristics of selected carrot varieties for the processing industry. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 14(1), 57-61.
- Bulancea, M., & Iordăchescu, G., (2006), *Textura produselor alimentare*, Editura Aius, Craiova.
- Caine, W. R., Aalhus, J. L., Best, D. R., Dugan, M. E. R., and Jeremiah, L. E. (2003), Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat science*, 64(4), 333-339.
- Caner, C., Aday, M. S., and Demir, M., (2008), Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. *European food research and technology*, 227(6), 1575-1583.
- Castro, I., Gonçalves, O., Teixeira, J. A., and Vicentesc, A. A., (2002), Comparative study of Selva and Camarosa strawberries for the commercial market. *Journal of Food Science*, 67(6), 2132-2137.
- Castro, M., S., Van Loey, A., Saraiva, J. A., Smout, C., and Hendrickx, M., (2007), *Effect of temperature, pressure and calcium soaking pre-treatments and pressure shift freezing on the texture and texture evolution of frozen green bell peppers (Capsicum annuum)*, *European Food Research and Technology*, 226:33–43.
- Cayuela, J., A., & Weiland, C., (2010), *Intact orange quality prediction with two portable NIR spectrometers*, *Postharvest Biology and Technology*, 58 ,113–120.
- Celik, H., K., Rennie, A. E., and Akinci, I., (2011), *Deformation behaviour simulation of an apple under drop case by finite element method*, *Journal of Food Engineering* 104, 293–298.
- Chakespari, A. G., Rajabipour, A., and Obli, H. M., (2010), Anisotropic relaxation and creep properties of apple (cv. Shafi Abadi and Golab Kohanz). *Advanced Journal of Food Science and Technology*, 2, 200-205.
- Chen, J., & Engelen, L., (2012), *Food oral processing fundamentals of eating and sensory perception*, published by Blackwell Publishing Ltd, UK.
- Chen, J., (2009), *Food oral processing—A review*, *Food Hydrocolloids* 23, 1–25.
- Chen, J., Karlsson, C., and Povey, M., (2005), *Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits*, *Journal of Texture Studies* 36, 139–156.
- Chen, L., & Opara, U., L., (2013), *Texture measurement approaches in fresh and processed foods*, *Food Research International* 51, 823–835.
- Codex standard (2001), (Codex alimentarius) 12–1981, rev. 2 revised codex standard for honey.
- Coutouly, A., Riaublanc, A., Axelos, M., and Gaucher, I., (2013), *Effect of heat treatment, final pH of acidification, and homogenization pressure on the texture properties of cream cheese*, *Dairy Science & Technology*.

- Culver, A.C., Ronald E. and Wrolstad, E.R., (2008), *Color quality of fresh and processed foods*, American Chemical Society, USA.
- Dan, H., & Kohyama, K., (2007), *Interactive relationship between the mechanical properties of food and the human response during the first bite*, Archives Of Oral Biology 52, 455–464.
- Dan, H., Hayakawa, F., and Kohyama, K., (2008), *Modulation of biting procedures induced by the sensory evaluation of cheese hardness with different definitions*, Appetite 50 158–166.
- De Avila, M. D. R., Cambero, M. I., Ordonez, J. A., de la Hoz, L., Herrero, A. M., (2014), Rheological behaviour of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile analysis (TPA), *Meat Science*, 98(2), 310-315.
- De Huidobro, F. R., Miguel, E., Blázquez, B., and Onega, E. (2005), A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, 69(3), 527-536.
- deMan, M., J., (1999), *Principles of Food Chemistry*, Published by Aspen Publishers, Inc, USA.
- Engelen, L., & Van der Bilt, A., (2008), *Oral physiology and texture perception of semisolids*, Journal of Texture Studies, 39, 83–113.
- Ferreira, D., da Silva, J. A. L., Pinto, G., Santos, C., Delgadillo, I., and Coimbra, M. A., (2008), *Effect of sun-drying on microstructure and texture of S. Bartolomeu pears (Pyrus communis L.)*, European Food Research and Technology, 226:1545–1552.
- Figura, O., L., & Teixeira, A., A., (2007), *Food physics. Physical properties – Measurement and applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Foster, D., K., et al, (2011), *The role of oral processing in dynamic sensory perception*, Journal of Food Science, Vol. 76, Nr. 2.
- García-Ramos, J.F., Valero, C., Homer, I., Ortiz-Cañavate, J., and Ruiz-Altisent, M., (2005), *Non-destructive fruit firmness sensors: a review*, Spanish Journal of Agricultural Research 3(1), 61-73.
- García-Rey, R. M., García-Olmo, J., De Pedro, E., Quiles-Zafra, R., and de Castro, M. L., (2005), *Prediction of texture and colour of dry-cured ham by visible and near infrared spectroscopy using a fiber optic probe*, Meat Science 70, 357–363.
- Gliński, J., Horabik, J., and Lipiec, J., (2011), *Encyclopedia of Agrophysics*, Published by Springer, pp 407-414, Poland
- Gołacki, K., Stankiewicz, A., and Stropek, Z., (2007), *Elasticity and viscosity of carrot root tissue at different rate of deformation*, Polish Journal Of Food And Nutrition Sciences, Vol. 57, No. 2(A), pp. 63-66.
- Grad, M.E., Simu, G. M., Muntean, S. G., and Lupea, A. X., (2007), *Sinteza, caracterizarea și studiul de culoare în spațiul color CIELAB al unor coloranți disazoici simetrici derivați ai acidului 4,4-diaminostilben-2, 2'-disulfonic*, Revista de chime București, 58, Nr. 2.
- Gutt, G., (2000a), *Metode moderne pentru încercarea și caracterizarea materialelor vol II*, Editura Universității din Suceava, Suceava.
- Gutt, G., Palade, D. D., and Gutt, S., (2000b), *Încercarea și caracterizarea materialelor metalice*, Editura Tehnică, București.
- Gutt, G., **Pădureț, S.**, Amariei, S., and Plesca, M., (2014a), *Physical and texture parameters used in the analysis of meat freshness*. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 20(3), 257-262.
- Gutt, G., **Pădureț, S.**, Amariei, S., Chelaru, M., (2014b), *Chopped meat freshness assessment by texture profile analysis*, Lucrări Științifice - Seria Zootehnie, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Iasi, vol. 61, 87-91.

- Hamann, D.D., Zhang, J., Daubert, C. R., Foegeding, E. A., and DIEHL, K. C., (2006), *Analysis of compression, tension and torsion for testing food gel fracture properties*, Journal of Texture Studies, 37, 620–639.
- Herrero, A.M., Ordonez, J.A., de Avila, R., Herranz, B., de la Hoz, L., Cambero, M.I., (2007), Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. *Meat Science* 77 (3), 331–338.
- Hietaranta, T., and Linna, M. M., (1999), Penetrometric measurement of strawberry fruit firmness: device testing. *HortTechnology*, 9(1), 103-105.
- Holcroft, D. M., and Kader, A. A., (1999), Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 17(1), 19-32.
- Hosford, W. F. (2010), *Mechanical behavior of materials*. Cambridge University Press.
- Hui Y. H., (2012), *Handbook of meat and meat processing*, Second Edition, CRC Press/Taylor and Francis Group, New York.
- Hui, H., Y., (Ed.), (2012), *Meat and meat processing*, Published by Taylor & Francis Group, LLC, New York.
- Iborra-Bernad, C., Philippon, D., García-Segovia, P., and Martínez-Monzó, J., (2013), *Optimizing the texture and color of sous-vide and cook-vide green bean pods*, Food Science and Technology 51, 507-513.
- Ishihara, Y., Moreira, R., de Souza, G., Salviano, A., and Madruga, M., (2013), Study of the Warner-Bratzler shear force, sensory analysis and sarcomere length as indicators of the tenderness of sun-dried beef. *Molecules*, 18(8), 9432-9440.
- Iwatani, S.I., Yakushiji, H., Mitani, N., and Sakurai, N., (2011), *Evaluation of grape flesh texture by an acoustic vibration method*, Postharvest Biology and Technology, 62, 305–309.
- Jackman, P., Sun, D. W., and Allen, P., (2011), *Recent advances in the use of computer vision technology in the quality assessment of fresh meats*, Trends in Food Science & Technology 22 185-197.
- Jaworska, G., Bernas, E., (2010), Effects of pre-treatment, freezing and frozen storage on the texture of *Boletus edulis* (Bull: Fr.) mushrooms. *International Journal of Refrigeration* 33 (4), 877–885.
- Jaya, S., & Durance, T. D. (2008), Stress relaxation behavior of microwave-vacuum-dried alginate gels. *Journal of texture studies*, 39(2), 183-197.
- Jeon, S. S., Lee, S. J., Ganesan, P., and Kwak, H. S., (2012), *Comparative study of flavor, texture, and sensory in cream cheese and cholesterol-removed cream cheese*, Food Science and Biotechnology, 21(1): 159-165.
- Jha, N. J., (2010), *Nondestructive Evaluation of food quality theory and practice*, Published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Jha, S. N., Jaiswal, P., Narsaiah, K., Kaur, P. P., Singh, A. K., and Kumar, R., (2013), *Textural properties of mango cultivars during ripening*, Journal of Food Science and Technology, 50(6):1047–1057.
- Jones, G., (2008), *Advances in Texture Analysis for Dough and Baked Products*, ICSC 2008, 216-216.
- Joo S.T., Kim G.D., Hwang Y.H., and Ryu Y.C., (2013), Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics, *Meat Science*, 95, 828–836.
- Jůzl, M., Šulcerová, H., Gregor, T., Urban, T., Sláma, P., Chalupová, P., and Weisz, F., (2012), The relationship between colour and other meat quality traits in Czech Large White pigs.

- Kadowaki, R., Inou, N., and Kimura, H., (2013), *Measurement of microscopic young's modulus of crispy foods*, International Conference on Food Engineering and Biotechnology, IPCBEE vol.50, IACSIT Press, Singapore.
- Kälviäinen, N., (2002), *Texture modifications in semisolid and solid foods: sensory characterization and acceptance in different age groups*, Helsinki.
- Kilcast, D., (2004), *Texture in food, Volume 2: Solid foods*, Published by Woodhead Publishing Limited, England.
- Kilcast, D., (2013), *Instrumental assessment of food sensory quality*, Published by Woodhead Publishing Limited, USA.
- Koç, H., Çakir, E., Vinyard, C. J., Essick, G., Daubert, C. R., Drake, M. A., and Foegeding, E. A., (2014), *Adaptation of oral processing to the fracture properties of soft solids*, Journal of Texture Studies 45, 47–61.
- Kohyama, K., Masuda, T., Shimada, H., Tanaka, T., and Wada, Y., (2013), A simple mechanical index of storage quality of strawberry fruits. Rep. Nat'l Food Res. Inst No77 , 11 – 11.
- Lal Dar, Y., & Light, M. J., (2014), *Food Texture Design and Optimization*, IFT Press Wiley-Blackwell, pp 1-446,
- Lana, M. M., Tijskens, L. M., De Theije, A., Dekker, M., and Barrett, D. M., (2007), *Measurement of firmness of fresh-cut sliced tomato using puncture tests – studies on sample size, probe size and direction of puncture*, Journal of Texture Studies 38, 601–618.
- Lawless, H. T., & Heymann, H., (2010) *Sensory Evaluation of Food Principles and Practices, Second Edition*, Springer Science+Business Media, New York.
- Leo M. L., Terri B., Feng C., Coggins P., Gloria M., Hui H. Y., (2007), Handbook of meat, poultry and seafood quality, *Blackwell Publishing*, USA.
- Lien, C., C., & Ting, C., H., (2009), *Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity*, Journal of Food Engineering 91, 402–407.
- Lien, C., C., & Ting, C., H., (2013), *Slight free falling impact test for assessing guava*
- Liu, Y., Lyon, B. G., Windham, W. R., Realini, C. E., Pringle, T. D. D., and Duckett, S. (2003), Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy. A feasibility study. Meat Science, 65(3), 1107-1115.
- Lucas, P. W., Prinz, J. F., Agrawal, K. R., and Bruce, I. C., (2002), *Food physics and oral physiology*, Food Quality and Preference 13, 203–213.
- MacDougall, B., D., (2002), *Colour in food*, Published by Woodhead Publishing Limited, England.
- Markovic, I., Ilic, J., Markovic, D., Simonovic, V., and Kosanic, N., (2004) *Color measurement of food products using CIE L*a*b* and RGB color space*, Journal of Hygienic Engineering and Design, Agricultural Sciences 4, 21-27.
- Mărghitaș, L., Dezmirean, D., Moise, A., Bobis, O., Laslo, L., Bogdanov, S., (2009), Physico-chemical and bioactive properties of different floral origin honeys from Romania, *Food Chemistry* 112, 863–867.
- McKenna, M., B., (2003), *Texture in food Volume 1: Semi-solid foods*, Published by Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington Cambridge CB1 6AH, England.
- Mnkeni, A. P., Gierschner, K., and Maeda, E. E., (1999), *Effect of blanching time and salt concentration on pectolytic enzymes, texture and acceptability offermented green beans*, Plant Foods for Human Nutrition 53: 285–296.

- Moghaddam, M. G., Ahmad, F. B. H., Basri, M., and Rahman, M. B. A., (2010), Artificial neural network modeling studies to predict the yield of enzymatic synthesis of betulinic acid ester. *Electronic Journal of Biotechnology*, 13(3), 3-4.
- Montero-Calderon, M., Rojas-Grau, M.A., Martin-Belloso, O., (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananascomosus*). *Postharvest Biology and Technology* 50 (2–3), 182–189.
- Mossel B, Bhandari B, D'Arcy B., Caffin N., (2000), Use of an Arrhenius model to predict rheological behaviour in some Australian honeys. *LWT Food Sci Technol* 33(8):545–552.
- Muresan, A., (2014), *Note de curs Evaluarea culorii*, Iasi.
- Myers, R.H., Montgonery, D.C., (2002), *DC process and product optimization using designed experiments*. Montgomery Wiley, New York.
- Nadulski, R., (2000), *Methodological aspects of food texture measurements using TPA test*, *International Agrophysics*, 14, 207-213.
- Nielsen, L. F., (2006), Power-Law creep as related to adapted Burgers creep representation. *Note de curs Rezistența materialelor* (http://rm.utilajutcb.ro/curs_12.pdf (15.04.2014))
- Olivares, M. L., Zorrilla, S. E., and Rubiolo, A. C., (2009), Rheological properties of mozzarella cheese determined by creep/recovery tests: Effect of sampling direction, test temperature and ripening time. *Journal of texture studies*, 40(3), 300-318.
- Olivera, D. F., Bambicha, R., Laporte, G., Cárdenas, F. C., and Mestorino, N., (2013), *Kinetics of colour and texture changes of beef during storage*, *Association of Food Scientists & Technologists*, 50(4):821–825.
- Olivera, D. F., Bambicha, R., Laporte, G., Cárdenas, F. C., and Mestorino, N., (2013), *Kinetics of colour and texture changes of beef during storage*. *Journal of food science and technology*, 50(4), 821-825.
- Oroian, M., (2012), Physicochemical and rheological properties of Romanian honeys. *Food Biophys* 7(4):296–307
- Oroian, M., **Pădureț, S.**, Amariei, S., and Gutt, G., (2016), *Chemical composition and temperature influence on honey texture properties*. *Journal of food science and technology*, 53(1), 431-440.
- Oroian, M., **Pădureț, S.**, Gutt, G., (2014), *Influence of citrus fibre addition on textural and rheological properties of yogurt*, *Food and Environment Safety*, Volume XIII, Issue 4, 335-341.
- Pădureț, S.**, & Gutt, G., (2015a), *The use of texture destructive methods to assess the state of pork freshness*. *Food and Environment Safety*, Volume XIV, Issue 2, pag. 190 – 195.
- Pădureț, S.**, & Gutt, G., (2015b), Study regarding the measurement of carrots anisotropy, *Annals of the University of Craiova, Biology, Horticulture, Food produce processing technology, Enviromental engineering*, Vol. XX (LVI), 257-262.
- Pădureț, S.**, Oroian, M., Gutt, G., and Amariei, S., (2016), Evaluation of strawberry texture in close relation with their anisotropy. *International Journal of Food Properties*, (just-accepted).
- Pascua, Y., Koç, H., and Foegeding, E. A., (2013), *Food structure: Roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials*, *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 18, 324–333
- Pathare, B.P., Opara, U. L., and Al-Said, F. A. J., (2013), *Colour measurement and analysis in fresh and processed foods*, *Food Bioprocess Technol* 6:36–60.
- Pérez, A. G., Sanz, C., Ríos, J. J., Olías, R., and Olías, J. M., (1999), Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4), 1652-1656.

- Poroch-Seritan, M., Gutt, S., Gutt, G., Cretescu, I., Cojocaru, C., Severin, T., (2011), Design of experiments for statistical modelling and multiresposnse optimization of nickel electroplating process. *Chem Eng Res Des* 89:136–147.
- Prinz, J. F., Huntjens, L. A. H., de Wijk, R. A., Engelen, L., and Polet, I. A., (2007), *Is fat perception a thermal effect?* *Perceptual and Motor Skills* , 104 , 381 – 386.
- Rao, M. A., Rizvi, S. S., and Datta, A. K. (Eds.), (2005), *Engineering Properties of Foods*, Published by CRC Press Taylor & Francis Group, SUA.
- Rasing, F., Hulstein, J., Maas, R., (2003), Firmness of strawberry improvement of fruit quality through manipulation of texture, 3rd International Symposium on Food Rheology and Structure.
- Recondo, M.P., Elizalde, B.E., Buera, M.P., (2006), Modelling temperature dependence of honey viscosity and of related supersaturated model carbohydrate systems. *J Food Eng* 77(1):126–134.
- Rosenthal, A., J., (1999a), *Relation between instrumental and sensory measures of food texture*, Aspen Publishers, Inc., Maryland, pp.1-17.
- Rosenthal, A., J., (1999b), *Food texture measurement and perception*, Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland.
- Sacks, E. J., & Shaw, D. V., (1993), Color change in fresh strawberry fruit of seven genotypes stored at 0°C. *HortScience*, 28(3), 209-210.
- Sahin, S., & Sumnu, S., G., (2006), *Physical Properties of Foods*, Springer Science Business Media, LLC., USA.
- Sánchez, T. M., De la Haba, M. J., and Pérez-Marín, D., (2013), *Internal and external quality assessment of mandarins on-tree and at harvest using a portable NIR spectrophotometer*, *Computers and Electronics in Agriculture* 92, 66–74.
- Sanz, C., Perez, A. G., Olias, R., and Olias, J. M., (1999), Quality of strawberries packed with perforated polypropylene. *Journal of Food Science*, 64(4), 748-752.
- Sanz, T., Salvador, A., Baixauli, R., and Fiszman, S. M., (2009), *Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response*, *European Food Research and Technology*, 229:197–204.
- Shao, Y., He, Y., Gómez, A. H., Pereir, A. G., Qiu, Z., and Zhang, Y., (2007), *Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato Heatwave (Lycopersicum esculentum) quality characteristics*, *Journal of Food Engineering* 81, 672–678.
- Shirmohammadi, M., & Yarlagaadda, P., (2012), *Experimental study on mechanical properties of pumpkin tissue*, *Journal of Achivements in Materials and Manufacturing Engineering*, 54(1), pp. 16-24.
- Škrlep, M., & Čandek-Potokar, M. (2007), Pork color measurement as affected by bloom time and measurement location. *Journal of Muscle Foods*, 18(1), 78-87.
- Slaughter, D.,C., (2009), *Nondestructive Maturity Assessment Methods for Mango: A Review of Literature and Identification of Future Research Needs*, Biological and Agricultural Engineering University of California.
- Steffe, F., J., (1996), *Rheological methods in food process engineering*, second edition, Freeman Press, USA.
- Stokes, J., R., R., Boehm, M. W., and Baier, S. K., (2013), *Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond*, *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 18, 349–359.
- Subramanian, R., Muthukumarappan, K., and Gunasekaran, S., (2003), Effect of methocel as a water binder on the linear viscoelastic properties of mozzarella cheese during early stages of maturation. *Journal of texture studies*, 34(4), 361-380.

- Suciu, V., & Suciu M., V., (2008), *Studiu materialelor*, Editura Fair Parteners, București.
- Szczesniak, A., S., (2002), *Texture is a sensory property*, Food Quality and Preference 13 215–225.
- Taniwakia, M., & Sakurai, N., (2008), *Texture measurement of cabbages using an acoustical vibration method*, Postharvest Biology and Technology 50, 176–181.
- Tarancón, P., Sanz, T., Salvador, A., and Tárrega, A., (2013), *Effect of fat on mechanical and acoustical properties of biscuits related to texture properties perceived by consumers*, Food and Bioprocess Technology.
- Taylor, J., A., & Roberts, D., D., (2004), *Flavor Perception*, Published by Blackwell Publishing Ltd, UK.
- Teodorescu, P., P., & Ilie, V., (1976), *Teoria elasticității și introducerea în mecanica solidelor deformabile*, Editura DACIA, Cluj Napoca.
- Tilley, J., D., R., (2004), *Understanding solids: the science of materials*, Published by John Wiley & Sons Ltd, England.
- Tönutare, T., Keert, K., Szajdak, L., and Moor, U., (2014), Composition of commercially produced organic and conventional strawberries. Nutrition and Food Science, 44(6), 562-575.
- Truong, V., D., & Daubert, C., R., (2001), *Textural characterization of cheeses using vane rheometry and torsion analysis*, Journal of Food Science, 66(5), 716–721.
- Van Buggenhout, S., Messagie, I., Maes, V., Duvetter, T., Van Loey, A., and Hendrickx, M., (2006), Minimizing texture loss of frozen strawberries: effect of infusion with pectinmethylesterase and calcium combined with different freezing conditions and effect of subsequent storage/thawing conditions. European Food Research and Technology, 223(3), 395-404.
- Won, S. Y., Choi, W., Lim, H. S., Cho, K. Y., and Lim, S. T. (2000), *Viscoelasticity of cowpea starch gels*, Cereal Chemistry, 77(3), 309-314.
- Van der Bilt, A., Engelen, L., Pereira, L. J., Van der Glas, H. W., and Abbink, J. H., (2006), *Oral physiology and mastication*, Physiology & Behavior, 89(1), 22/27.
- Van Vliet, T., (2014), *Rheology and fracture mechanics of foods*, Taylor & Francis Group, LLC, pp 1-330, USA.
- Varela, P., Chen, J., Fiszman, S., and Povey, M. J. W., (2006), *Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure*, Journal of Chemometrics, 20: 311–320.
- Văcărescu, F., D., *Rezistența Materialelor Elemente Fundamentale*
- Vilgis, A., T., (2013), *Texture, taste and aroma: multi-scale materials and the gastraphysics of food*, Flavor, 2:12.
- Vincent, J., F., V., & Lillford, P., J., (1991), *Feeding and the texture of food*, Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge, New York.
- Wu, D., Sun, D. W., and He, Y. (2014), Novel non-invasive distribution measurement of texture profile analysis (TPA) in salmon fillet by using visible and near infrared hyperspectral imaging. Food chemistry, 145, 417-426.
- Xu, Y. L., Xiong, S. B., Li, Y. B., and Zhao, S. M., (2008), Study on creep properties of indica rice gel. Journal of food engineering, 86(1), 10-16.
- Zdunek, A., Cybulska, J., Konopacka, D., and Rutkowski, K., (2011), *Evaluation of apple texture with contact acoustic emission detector: A study on performance of calibration models*, Journal of Food Engineering 106 80–87.
- Zhu, B., Dong, X., Sun, L., Xiao, G., Chen, X., Murata, Y., and Yu, C., (2011), *Effect of Thermal Treatment on the Texture and Microstructure of Abalone Muscle (Haliotis discus)*, Food Science and Biotechnology, 20(6): 1467-1473.

Standarde

- XXX - ISO 5492 – 2008 Sensory analysis – Vocabulary.
- XXX - SR ISO 11036 – 2007 Analiza senzorială. Metodologie. Profil de textură.
- XXX - SR ISO 1442 – 2010 Carne și produse din carne. Determinarea umidității.
- XXX - SR ISO 937 – 2007 Carne și produse din carne. Determinarea conținutului de azot.
- XXX - SR ISO 2917 – 2007 Carne și produse din carne. Măsurarea pH-ului.
- XXX - SR ISO 1444 – 2008 Carne și produse din carne. Determinarea conținutului de grăsime liberă.

Site-uri

http://128.121.92.221/Probe_Catalog.html (accesat 18.12.2013)