

MATHEMATICAL MODEL BASED ON WARNER – BRATZLER ANALYSIS METHOD CONCERNING TENDERIZED PORK BONELESS LOIN IN ORDER TO PRODUCE ROMANIAN TRADITIONAL PRODUCT “COTLET PERPELIT” TYPE

MODEL MATEMATIC BAZAT PE METODA DE ANALIZĂ WARNER – BRATZLER PRIVIND FRĂGEZIREA COTLETULUI DE PORC ÎN VEDEREA PRODUCERII PRODUSULUI TRADIȚIONAL ROMÂNESC DE TIP “COTLET PERPELIT”

Ph.D.Stud.Eng. Simion A. D., Ph.D.Eng. Cârdei R. P.,
 Assist. Prof. Ph. D. Eng. Roșca A., Prof. Ph. D. Eng. Bădescu M., Prof. Ph. D. Eng. Roșca D.
 S.C. AVI – GIIS S.R.L. Stuparei, Valcea County / Romania
 E-mail: simion_aurel08@yahoo.com

Abstract: The paper presents a mathematical model to produce Romanian traditional cured-cooked-smoked pork boneless loin product “Cotlet Perpelit” type made after raw meat’s mechanical tenderizing. The tenderizing process performed to decrease the duration of cured marinating period consists in passing several times the raw meat among rollers with cutting prongs, and cyclic impulsive pressing of the meat, respectively. The mathematical model is based on force - extension diagrams obtained by using Werner-Bratzler testing method both for raw meat and final product, too, for no tenderized raw meat, and after raw meat mechanical tenderizing. The mathematical model consists in the geometric linear transforming of the characteristic diagrams obtained by using Werner-Bratzler method for the tenderized meat in comparison with the initial no tenderized meat. The model can be used to predict the mechanical characteristics of “Cotlet Perpelit”, after raw meat mechanical tenderizing.

Keywords: raw meat tenderizing, Cotlet Perpelit, Warner - Bratzler testing method, mathematical model, linear geometric transformation

INTRODUCTION

In principle, meat’s tenderization represents the resultant of dynamic interdisciplinary processes consisting in chemical, biochemical and mechanical phenomena, [8]. To estimate tenderizing machine’s and process’ performances, is necessary to determine tenderized meat’s mechanical characteristics, which could describe the meat qualitative transformations, [1, 18]. Thus, a mathematical model, expressed by a unified system of relationships and variables, could be used to analyze meat’s mechanical tenderizing, [1]. For example, Graiver proposed a mathematical model for the absorption of curing salts in pork’s meat, [2].

According to previous research papers, the variables parameters of the mathematical model have to be based on experimental research data of meat diagrams determined by using Warner-Bratzler testing method, [9, 10, 11, and 12].

According to Iacob [3], taking into account only the mechanical phenomena, a dynamic system involves different transformations of its internal parts under the action of given external forces. The mathematical models of the meat tenderizing process could be studied in further theoretical researches by applying the automatic systems theory, [4].

SC AVI-GIIS SRL Stuparei is a small enterprise for meat products in Valcea County, which was initially specialized in commercial cured-raw meats and cured - smoked products. In the last years SC AVI-GIIS SRL focused its effort to produce Romanian traditional cured-cooked-smoked pork boneless loin product “Cotlet Perpelit” type. In principle, the processing technology of this traditional cured-smoked-cooked product type consists in: wet curing

Rezumat: Lucrarea prezintă un model matematic privind prepararea produsului sărat - prăjit - afumat din cotlet de porc dezosat tip “Cotlet Perpelit”, după frăgezirea mecanică a materiei prime. Procesul de frăgezire efectuat pentru scăderea duratei de saramurare, constă în trecerea materiei prime de mai multe ori printre valțuri cu role dințate, respectiv prin presarea ciclică impulsivă a materiei prime. Modelul matematic are la bază diagramele forță-deformație determinate prin metoda de testare Warner-Bratzler atât pentru materia primă, cât și pentru produsul final, pentru carnea nefrăgețită, cât și după ce carnea a fost frăgețită. Modelul matematic constă în transformarea geometrică liniară a diagramei caracteristice obținute prin metoda Warner-Bratzler pentru carnea frăgețită, în comparație cu materia primă nefrăgețită. Modelul matematic poate fi utilizat pentru estimarea caracteristicilor mecanice ale “Cotlet-ului Perpelit”, după frăgezirea mecanică a materiei prime.

Cuvinte cheie: frăgezirea cărnii, Cotlet Perpelit, metoda de testare Warner-Bratzler, model matematic, transformarea geometrică liniară

INTRODUCERE

În principiu, frăgezirea cărnii reprezintă rezultanta unor procese dinamice interdisciplinare care constă în fenomene chimice, biochimice și mecanice, [8]. Evaluarea performanțelor mașinilor și proceselor de frăgezire este posibilă prin determinarea caracteristicilor mecanice ale cărnii după operația de frăgezire, care pot descrie transformările calitative ale cărnii, [1, 18]. Deci un model matematic reprezentat printr-un sistem unificat de relații și variabile, ar putea fi utilizat pentru analiza frăgezirii mecanice a cărnii, [1]. Spre exemplu, Graiver a propus un model matematic al absorbției de saramură în carnea de porc, [2].

Conform unor lucrări de cercetare anterioare, parametrii variabili ai modelului matematic trebuie să aibă la bază rezultate experimentale determinate prin testarea cărnii prin metoda Warner-Bratzler, [9, 10, 11, 12].

Conform Iacob [3], având în vedere numai fenomenele mecanice, un sistem dinamic presupune diferite transformări interne sub acțiunea unor forțe exterioare cunoscute. Modelul matematic pentru frăgezirea mecanică a cărnii ar putea fi studiat în viitoare cercetări teoretice prin aplicarea teoriei de control a sistemelor automate, [4].

SC AVI-GIIS SRL Stuparei din județul Valcea este o firmă mică specializată inițial pentru realizarea de produse din carne sărate, respectiv sărat - afumate. În ultimii ani, firma și-a concentrat eforturile pentru producerea sortimentului sărat - prăjit - afumat din cotlet de porc dezosat, tip “Cotlet Perpelit”. În principiu, procesul tehnologic al acestui produs tradițional constă în: sara-

phase of entire pieces of muscle meat in 15-20% curing salt concentration, during 2-3 weeks; drying / ripening phase in cold air ventilation for 6-8 hours; cold smoke phase (approx. 20°C) for 2-3 days, followed by a short sequence of hot smoke phase (approx. 20°C), for 4-6 hours, [12].

According to international and Romanian legislation, sodium nitrite, sodium or potassium nitrate (NaNO_2 ; NaNO_3 / KNO_3), are not permitted in traditional cured-cooked types products usual processing, and no brine injection is allowed, [5, 6, 7, 13].

In order to reduce the wet curing phase, SC AVI-GIIS SRL decided to realize and to test two types of tenderizing machines: *four roller tenderizer machine*, and *cyclic impulsive pressing machine*, [12, 13].

MATERIALS AND METHOD

Experimental method and equipment

In order to determine the influence of mechanical tenderizing method on raw meat (pork boneless loin) tenderness, two different machines were used: *four roller tenderizer machine* and *cyclic impulsive pressing machine*.

Four roller tenderizer machines are designed to increase the effective surface area for the extraction of meat proteins during subsequent compression and stretching processes. In its operation, the machine performs superficial or deep cuts in the piece of meat that passes through two pairs of tenderizer roller. In principle, the machine consists of two pairs of parallel tenderizing rollers (provided with a number of cutting prongs), located at a certain distance, that are rotated in opposite directions by an electro-mechanical transmission (fig. 1), [12, 13].

Cyclic impulsive pressing machine is a semi-continuous meat press machine for meat's pressing before marinating. If meat pieces are pressed with a significant amount of force applied more or less evenly throughout the piece of meat, it will tenderize the meat piece and condition the meat fibers so that marinade will be absorbed into the meat fibers *without the use of a vacuum*, [15, 16, 17, and 19].

Cyclic impulsive pressing machine consists in mechanical - pneumatic equipment, and automated programmable. In principle (fig. 2), the mechanical - pneumatic equipment consists in an electro-pneumatic system (air compressor, solenoid valve), and two pressing plates (a fixed lower plate, and mobile upper plate). To improve the tenderizing process, each of the two plates (covered food grade Teflon pad) has pyramidal ($6 \cdot 6 \cdot 6$ mm) prongs, [12, 13].



Fig. 1 - Four roller tenderizer machine (with pyramidal cutting prongs)

In order to determine the influence of tenderizing process on pork boneless loin used to produce traditional cured-smoked-cooked product "*Cotlet Perpelit*", 6 samples (raw

murarea umedă (12-15% concentrație) a bucăților de cotlet dezosat timp de 2-3 săptămâni; zvântarea în aer rece ventilat timp de 6-8 ore; afumarea rece (aprox. 20°C) timp de 2-3 zile, urmată de afumarea caldă (aprox. 20°C) timp de 4-6 ore, [12].

În conformitate cu legislația internațională și din România, la producerea produselor tradiționale este interzisă utilizarea nitriților, nitraților (NaNO_2 ; NaNO_3 / KNO_3), precum și saramurarea prin injectare, [5, 6, 7, 13].

În vederea reducerii duratei de saramurare umedă, firma SC AVI-GIIS SRL a realizat și testat a două tipuri de mașini de frăgezire mecanică: *mașina de frăgezire cu două perechi de cilindri profilați pentru perforare*, respectiv *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*, [12, 13].

MATERIALE ȘI METODĂ

Metodă și echipament experimental

În vederea determinării influenței metodei de frăgezire mecanică asupra materiei prime (cotlet de porc dezosat), au fost utilizate două tipuri de mașini: *mașina de frăgezire cu două perechi de cilindri profilați pentru perforare*, respectiv *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*.

Mașina de frăgezire cu două perechi de cilindri profilați pentru perforare este concepută pentru creșterea suprafeței de extragere a proteinelor din carne, în timpul unor procese succesive de compresune și perforare. În timpul acestei operații, carnea trece printre două perechi de valțuri rotative cu dinți profilați care realizează perforații de anumită adâncime în bucata de carne. În principiu, mașina constă din două perechi de valțuri paralele (prevăzute cu dinți de perforare), dispuse la o anumită distanță, care se rotesc în direcții opuse prin intermediul unei transmisii electromecanice (fig. 1), [12, 13].

Mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică este o mașină pentru presarea discontinuă a cărnii înainte de saramurare. Dacă bucata de carne este presată cu o anumită forță, aceasta se va frăgezi, iar saramura va fi absorbită de țesuturile cărnii fără să mai fie necesară vacuumarea, [15, 16, 17, 19].

Această mașină este compusă dintr-un echipament mecano-pneumatic, și un automat programabil.

În principiu (fig. 2), echipamentul mecano-pneumatic este compus dintr-un sistem electropneumatic (compresor, electroventile, cilindru pneumatic), și două plăci de presare (inferioară / fixă, respectiv superioară / mobilă). Pentru îmbunătățirea procesului de frăgezire, fiecare din cele două plăci (cu plăci food grade Teflon) sunt prevăzute cu dinți piramidali ($6 \cdot 6 \cdot 6$ mm), [12, 13].



Fig. 2 - Cyclic impulsive pressing machine (food grade Teflon pads with pyramidal prongs)

Pentru determinarea influenței procesului de frăgezire asupra cotletului de porc dezosat utilizat pentru realizarea produsului sărat-afumat-prăjit "*Cotlet Perpelit*", câte

meat, and "Cotlet Perpelit" final product) were processed according to four methods:

- no tenderized pork boneless loin (NO TEND);
- pork boneless loin tenderized by six times successive passing amongst the cutting prongs of the *Four roller tenderizer machine* (FRT 6x);
- pork boneless loin tenderized by *Cyclic impulsive pressing machine* in 5 pressing cycles, each consisting in 0.5s pressing periods, and 0.5s pauses periods (CIP 5-0,5);
- pork boneless loin tenderized by *Cyclic impulsive pressing machine* in 20 pressing cycles, each consisting in 0.5s pressing periods, and 0.5s pauses periods (CIP 20-0,5).

To produce "Cotlet Perpelit" by using no-tenderized pork boneless loin, there were followed certain traditional phases: wet curing phase of entire pieces of muscle meat (12% curing salt concentration), during 2 weeks; drying / ripening phase in cold air ventilation for 6 hours; cold smoke (approx. 20°C) for 10 hours, followed by 4 hours hot smoke (approx. 80°C).

To produce "Cotlet Perpelit" by using tenderized pork boneless loin, the tenderized meat was processed in following phases: wet curing (12% curing salt concentration), during 4 days; drying / ripening phase in cold air ventilation for 6 hours; cold smoke (approx. 20°C) for 10 hours, followed by 4 hours hot smoke (approx. 80°C), [12].

Tenderness evaluation by using Warner-Bratzler method

The most relevant and utilized methods to estimate meat's tenderness are compression test, and Warner - Bratzler shear test method. During Warner-Bratzler test the shear blade achieves simultaneously both compression and slicing / shearing of the product, [5, 7, 14, 15, 16, 17]. To perform interdisciplinary researches concerning general texture and tenderness analysis, universal testing machine *Lloyd Instruments LRXPlus 5* (Unconventional Technologies and Equipment for Agro-Food Industry Laboratory - UTEFIL, within Faculty of Agriculture and Horticulture in Craiova) was used. Due to collaboration between UTEFIL and Environmental Eng. Laboratory within Faculty of Electrical Engineering, a *Warner - Bratzler experimental equipment* was made: special rigid frame (food-grade Teflon) that permits fast fitting of inter-changeable Warner - Bratzler shear blades (DIN W1.4571), [9, 10, 11]. During these experiments, 100mm/min cutting speed was used.

Representative Warner - Bratzler test diagrams for pork boneless loin tenderized by using FRT 6x method, and for "Cotlet Perpelit" obtained by using this tenderized meat, are presented in fig. 3, and fig. 4, respectively.

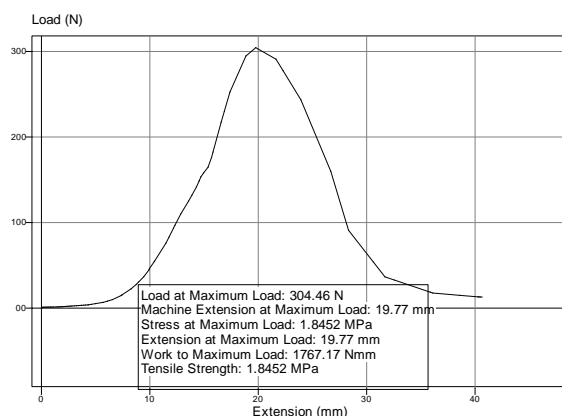


Fig. 3 - Warner-Bratzler test diagram for tenderized pork boneless loin by using FRT 6x

6 probe (carne crudă, și produs finit "Cotlet Perpelit") au fost procesate conform a patru metode:

- cotlet de porc dezosat nefrăgezit (NO TEND);
- cotlet de porc dezosat frăgezit prin trecerea succesivă de 6 ori printre valțurile profilate ale *mașinii de frăgezire cu două perechi de cilindri profilați pentru perforare* (FRT 6x);
- cotlet de porc dezosat frăgezit prin 5 cicluri de presare cu *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*, fiecare ciclu constând în: 0,5s presare, și 0,5s pauze (CIP 5-0,5);
- cotlet de porc dezosat frăgezit prin 20 cicluri de presare cu *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*, fiecare ciclu constând în: 0,5s presare, și 0,5s pauze (CIP 20-0,5).

Pentru producerea "Cotlet-ului Perpelit" din cotlet de porc dezosat nefrăgezit, au fost parcurse următoarele faze tradiționale: sărarea umedă a bucăților de carne în saramură (12% concentrație), timp de 2 săptămâni; zvântarea în aer rece ventilat, timp de 6 ore; afumarea rece (aprox. 20°C) timp de 10 ore, urmată de 4 ore de afumare fierbinte (aprox. 80°C).

Pentru producerea "Cotlet-ului Perpelit" din cotlet de porc dezosat frăgezit, au fost parcurse următoarele faze: sărarea umedă a bucăților de carne în saramură (12% concentrație), timp de 4 zile; zvântarea în aer rece ventilat, timp de 6 ore; afumarea rece (aprox. 20°C) timp de 10 ore, urmată de 4 ore de afumare fierbinte (aprox. 80°C), [12].

Evaluarea frăgezimii prin metoda Warner-Bratzler

Cele mai relevante și utilizate metode pentru evaluarea frăgezimii cărnii sunt testul la compresiune, și metoda de feliere/tăiere Warner-Bratzler. În timpul testului Warner - Bratzler lama de tăiere realizează simultan compresiunea și felierea/ tăierea produsului, [5, 7, 14, 15, 16, 17]. Pentru a efectua cerce țări interdisciplinare privind analiza texturii și frăgezimii a fost utilizată mașina universală de încercări *Lloyd Instruments LRXPlus 5* (din dotarea Laboratorului pentru Tehnologii și Echipamente Neconvenționale pentru Industria AgroAlimentară - UTEFIL, din cadrul Facultății de Agricultură și Horticultură din Craiova). În urma colaborării dintre UTEFIL și Laboratorul pentru Ingineria Mediului din cadrul Facultății de Inginerie Electrică, a fost realizat un echipament experimental Warner-Bratzler: suport rigid (food-grade Teflon) care permite asamblarea rapidă a lamelor interschimbabile de feliere/tăiere Warner-Bratzler (DIN W1.4571), [9,10,11]. În timpul acestor experimente, a fost folosită viteza de tăiere de 100mm/min.

Diagrame Warner - Bratzler reprezentative pentru cotlet de porc dezosat frăgezit prin metoda FRT 6x, și pentru "Cotlet -ul Perpelit" obținut din această carne frăgezită, sunt prezentate în fig. 3 și respectiv în fig. 4.

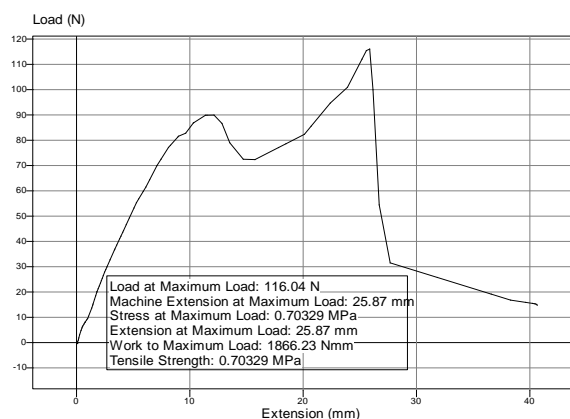


Fig. 4 - Warner-Bratzler test diagram for "Cotlet Perpelit" tenderized by using FRT 6x

RESULTS

Tenderizing mathematical model

The mathematical model for studying the tenderizing effect is based on the hypothesis that any meat's final product material can be characterized by numerical curves obtained by mechanical characteristics experimentally determined for each tenderizing method. Resulting numerical curves could differ more or less from those of no tenderized meat samples.

In fig. 3 and fig. 4 it can be observed the maximum shear force that characterizes each type of pork boneless loin, and "Cotlet Perpelit" tenderness'.

Due to the inhomogeneous character of the meat's tissues, the maximum shear force cannot describe all the cutting / shearing process.

Therefore for each un-tenderized / tenderized pork boneless loin sample, and for each "Cotlet Perpelit" obtained by using these meat pieces, too, average curves that describe all evolution of the shearing diagrams obtained by using Warner - Bratzler method were numerical determined (fig. 5 and fig. 6).

REZULTATE

Model matematic pentru frăgezire

Modelul matematic pentru studiul efectului frăgezirii are la bază ipoteza că materialul oricărui produs din carne poate fi caracterizat prin curbe numerice obținute din diagramele caracteristicilor mecanice determinate experimental pentru fiecare tip de metodă de frăgezire. Curbele numerice rezultate pot să difere mai mult sau mai puțin de cele obținute pentru probele nefrăgezite.

În fig. 3 și fig. 4 se pot observa valorile maxime ale forței de tăiere care caracterizează frăgezimea fiecărui tip de cotlet de porc dezosat, și de "Cotlet Perpelit".

Datorită caracterului neomogen al țesuturilor cărnii, valoarea forței maxime de tăiere nu poate descrie întregul proces de tăiere.

De aceea, pentru fiecare probă nefrăgezită / frăgezită de cotlet de porc dezosat, și pentru fiecare probă de "Cotlet Perpelit" obținut din aceste bucăți de carne, au fost determinate numeric curbele medii care descriu toată evoluția diagramei forței de tăiere obținută experimental prin metoda Warner - Bratzler (fig. 5 și fig. 6).

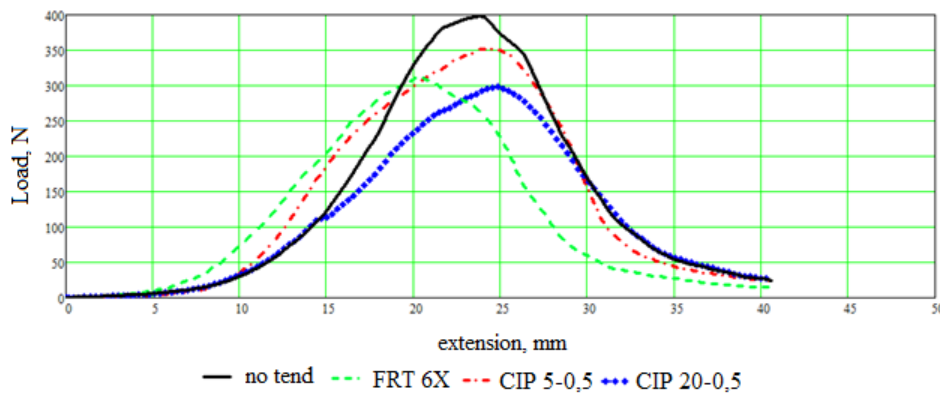


Fig. 5 - Numerical determined average curves of the four types of pork boneless loin samples NO TEND; CIP 5-0,5; CIP 20-0,5; FRT 6x

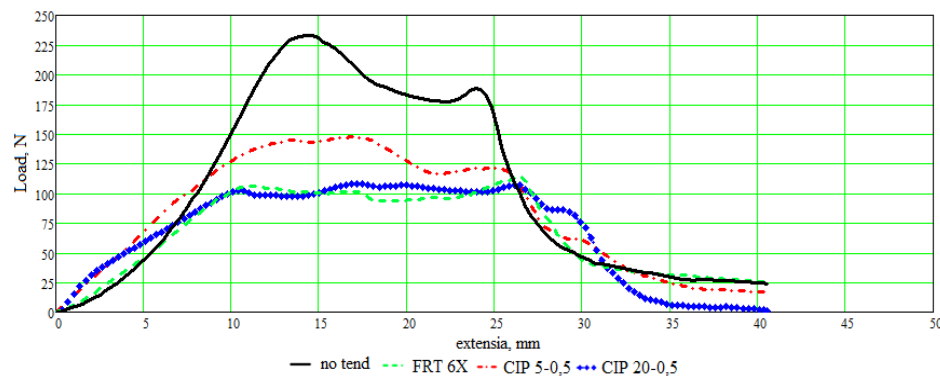


Fig. 6 - Numerical determined average curves of the four "Cotlet Perpelit" type samples CP-NO TEND; CP-CIP 5-0,5; CP-CIP 20-0,5; CP-FRT 6x

The proposed mathematical model is based on the hypothesis that the characteristic curve of the sample (no tenderized, or tenderized by using mechanical methods), is obtained as a linear transformation that can be described by the vector equation, [1, 3, 8]:

$$\begin{pmatrix} x' \\ F' \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} x \\ F \end{pmatrix} \tag{1}$$

where: F is the shear force in N, x is the cutting length / extension in mm, before tenderizing (characteristic curve

Modelul matematic propus se bazează pe ipoteza conform căreia curba caracteristică a fiecărei probe (nefrăgezită, sau frăgezită prin metode mecanice), este obținută ca o transformare liniară care poate fi descrisă de ecuația vectorială, [1, 3, 8]:

unde: F este forța de tăiere în N, x este cursa de tăiere / extensia în mm, înainte de frăgezire (coordonatele curbei

coordinates of the meat sample, before tenderizing); F' and x' represent the shear force and the cutting length / extension of the same meat sample type (characteristic curve coordinates, after tenderizing).

T is the linear transformation given by the matrix:

$$T = \begin{pmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} \\ t_{2,1} & t_{2,2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

where $t_{ij}, i=1,2; j=1, 2$ are real numbers.

It must be noticed that each force F is represented by a pair of coordinates $(x_i, F_i), i = 1, N$, and each force F' is represented by a pair of coordinates $(x'_i, F'_i), i=1, N$. The matrix elements T are calculated considering minimizing condition of the functional:

$$\mathfrak{J}(t_{1,1}, t_{1,2}, t_{2,1}, t_{2,2}) = \sum_{i=1}^N \left[(t_{1,1}x_i + t_{1,2}F_i - x'_i)^2 + (t_{2,1}x_i + t_{2,2}F_i - F'_i)^2 \right] \quad (3)$$

Based on described linear transformation, for pork boneless loin tenderized by using each method, the matrix T elements are:

- pork boneless loin tenderized by *Cyclic impulsive pressing machine* in 5 pressing cycles, each consisting in 0.5s pressing periods, and 0.5s pauses periods, (CIP 5 -0.5).

$$T = \begin{pmatrix} 0.998 & 0.000007079 \\ -0.048 & 0.986 \end{pmatrix} \quad (4)$$

- pork boneless loin tenderized by *Cyclic impulsive pressing machine* in 20 pressing cycles, each consisting in 0.5s pressing periods, and 0.5s pauses periods, (CIP 20-0.5).

$$T = \begin{pmatrix} 0.998 & 0.000003448 \\ 0.18 & 0.935 \end{pmatrix} \quad (5)$$

- pork boneless loin tenderized by passing 6 successive times amongst the cutting prongs of the *Four roller tenderizer machine*, (FRT 6x).

$$T = \begin{pmatrix} 0.989 & 0.00004522 \\ -0.326 & 0.773 \end{pmatrix} \quad (6)$$

The numerical tenderizing curves for pork boneless loin obtained by using the mathematical model are presented in fig. 7, fig. 8 and fig. 9, respectively.

In fig. 7, fig. 8 and fig. 9, respectively, it can be observed that the configurations and the maximum amounts of the numerical tenderizing curves are similar with the average curves experimentally determined (fig. 5). All these similarities validate the mathematical model based on proposed linear transformation.

caracteristică a probei, înainte de frăgezire); F' și x' reprezintă forța de tăiere și respectiv cursa de tăiere / extensia aceluiași tip de probă după frăgezire (coordonatele curbei caracteristice a probei, după frăgezire).

T este transformarea liniară dată de matricea:

în care $t_{ij}, i=1,2; j=1,2$ sunt numere reale.

Trebuie remarcat că fiecare forță F_i este reprezentată de o pereche de coordonate $(x_i, F_i), i = 1, N$, și fiecare forță F'_i este reprezentată de o pereche de coordonate $(x'_i, F'_i), i=1, N$. Elementele matricei T sunt calculate prin condiția de minim a funcției:

Pentru cotletul de porc dezosat frăgezit prin fiecare metodă, pe baza transformării liniare descrise, elementele matricei T sunt:

- cotletul de porc dezosat frăgezit prin 5 cicluri de presare cu *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*, fiecare ciclu constând în: 0,5s presare, și 0,5s pauze, (CIP 5 - 0,5).

- cotletul de porc dezosat frăgezit prin 20 cicluri de presare cu *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*, fiecare ciclu constând în: 0,5s presare, și 0,5s pauze, (CIP 20 -0,5).

- cotletul de porc dezosat frăgezit prin trecerea succesivă de 6 ori printre valțurile profilate ale *mașinii de frăgezire cu două perechi de cilindri profilați pentru perforare* (FRT 6x).

Curbele numerice de frăgezire pentru cotletul de porc dezosat, obținute prin utilizarea modelului matematic, sunt prezentate în fig. 7, fig. 8, și respectiv fig. 9.

În fig. 7, fig. 8, și respectiv fig. 9, se poate observa că atât configurația, cât și valorile maxime ale curbelor numerice de frăgezire, sunt similare cu diagramele medii determinate experimental (fig. 5). Toate aceste similități validează corectitudinea modelului matematic propus bazat pe transformarea liniară.

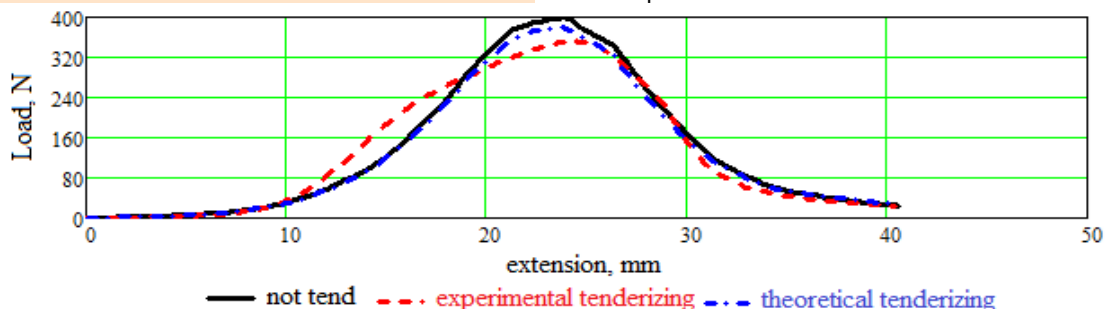


Fig. 7 - Numerical tenderizing CIP 5-0.5 curves obtained by using the mathematical model

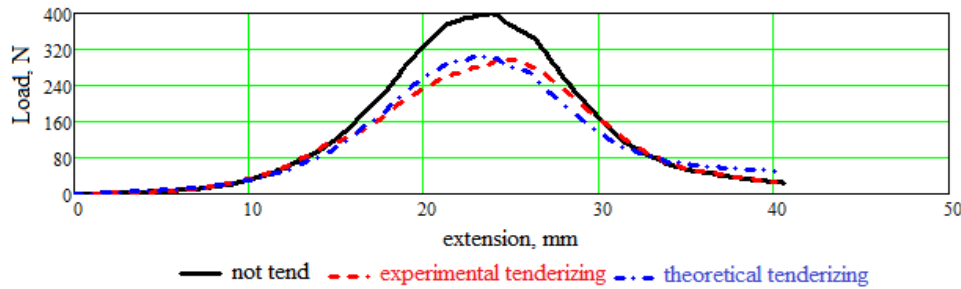


Fig. 8 - Numerical tenderizing CIP 20-0.5 curves obtained by using the mathematical model

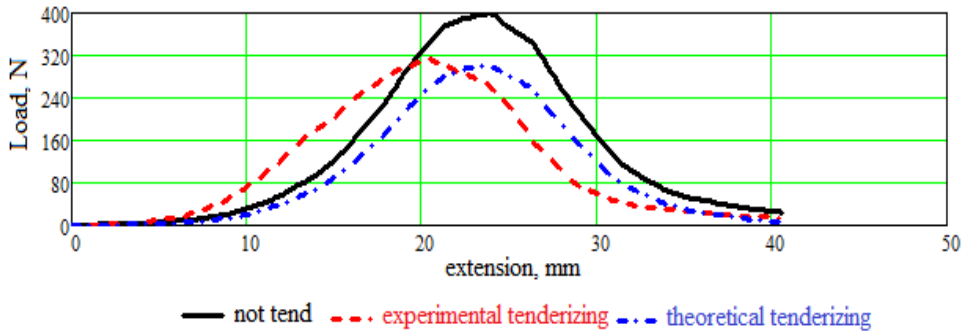


Fig. 9 - Numerical tenderizing FRT 6x curves obtained by using the mathematical model

Based on described linear transformation, for “Cotlet Perpelit” tenderized by using each method, the matrix T elements are:

- “Cotlet Perpelit” tenderized by using *Cyclic impulsive pressing machine* in 5 pressing cycles, each consisting in 0.5s pressing periods, and 0.5s pauses periods, (CP - CIP 5 - 0.5);

Pentru “Cotlet - ul Perpelit” obținut din cotlet de porc dezosat frăgezit prin fiecare metodă, pe baza transformării liniare descrise, elementele matricei T sunt:

- “Cotlet Perpelit” obținut după frăgezirea prin 5 cicluri de presare cu *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*, fiecare ciclu constând în: 0,5s presare, și 0,5s pauze, (CP- CIP 5 - 0,5);

$$T = \begin{pmatrix} 1.002 & -0.0002219 \\ -0.048 & 0.689 \end{pmatrix} \tag{7}$$

- “Cotlet Perpelit” tenderized by using *Cyclic impulsive pressing machine* in 20 pressing cycles, each consisting in 0.5s pressing periods, and 0.5s pauses periods, (CP - CIP 20 - 0.5);

- “Cotlet Perpelit” obținut după frăgezirea prin 20 cicluri de presare cu *mașina de frăgezire prin presare ciclică dinamică*, fiecare ciclu constând în: 0,5s presare, și 0,5s pauze, (CP-CIP 20 - 0,5);

$$T = \begin{pmatrix} 0.999 & -0.0005576 \\ 0.331 & 0.534 \end{pmatrix} \tag{8}$$

- “Cotlet Perpelit” tenderized by passing 6 successive times amongst the cutting prongs of the *Four roller tenderizer machine* (CP - FRT 6x).

- *Cotlet Perpelit* obținut după frăgezirea prin trecerea succesivă de 6 ori printre valțurile profilate ale *mașinii de frăgezire cu două perechi de cilindri profilați pentru perforare* (CP-FRT 6x).

$$T = \begin{pmatrix} 1.001 & -0.0005576 \\ 0.696 & 0.478 \end{pmatrix} \tag{9}$$

The numerical tenderizing curves for “Cotlet Perpelit” obtained by using the mathematical model are presented in fig. 10, fig. 11 and fig. 12, respectively.

In fig. 10, fig. 11 and fig. 12, respectively, it can be observed that the configurations and the maximum amounts of the numerical tenderizing curves are similar with the average curves experimentally determined (fig. 6).

All these similarities validate the correctness of mathematical model based on proposed linear transformation.

Curbele numerice de frăgezire pentru “Cotlet Perpelit”, obținute prin utilizarea modelului matematic, sunt prezentate în fig. 10, fig. 11, și respectiv fig. 12.

În fig.10, fig. 11, și respectiv fig. 12, se poate observa că atât configurația, cât și valorile maxime ale curbelor numerice de frăgezire, sunt similare cu diagramele medii determinate experimental (fig. 6).

Toate aceste similarități validează corectitudinea modelului matematic propus bazat pe transformarea liniară.

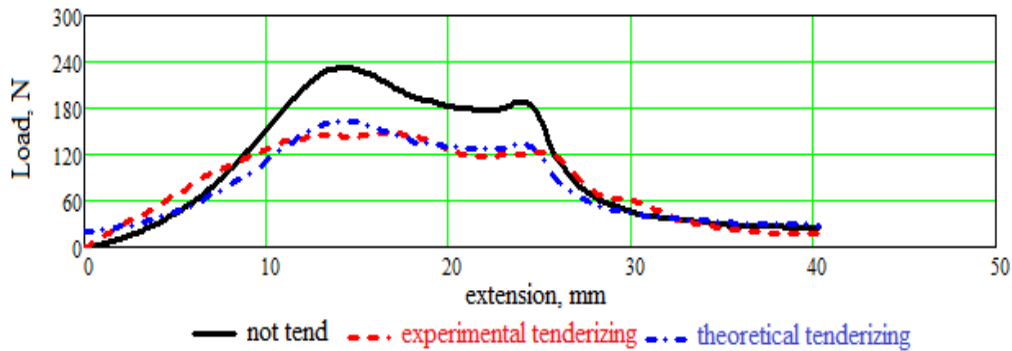


Fig. 10 - Numerical tenderizing CP-CIP 5-0.5 curves obtained by using the mathematical model

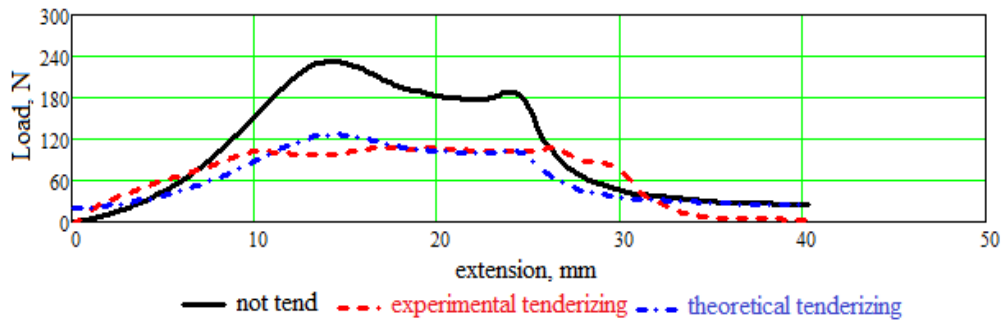


Fig. 11 - Numerical tenderizing CP-CIP 20-0.5 curves obtained by using the mathematical model

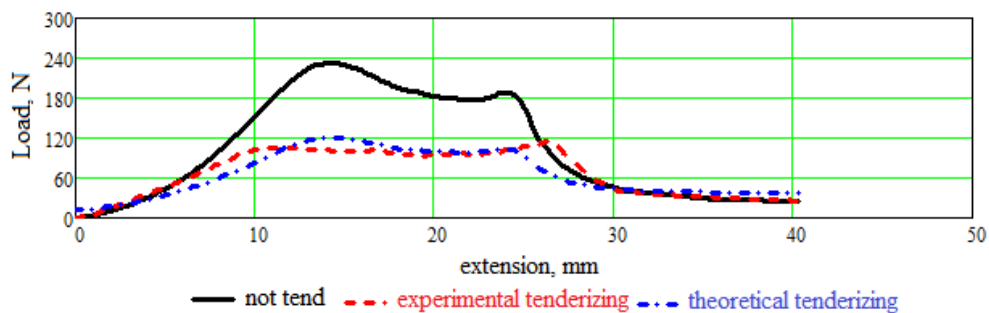


Fig. 12 - Numerical tenderizing CP-FRT 6x curves obtained by using the mathematical model

CONCLUSIONS

Considering physically issues, mechanical tenderizing is a process that has to reduce the meat's mechanical characteristics amounts of the final product. Each tenderizing method produces significant changes of specific strain within the meat's tissues, which determines the tenderness' improvement.

The main conclusion drawn in this paper refers to the correctness of the mathematical model based on proposed linear transformation, proved both by the curves' configurations and the maximum amounts similarities' between the numerical tenderizing curves, too, and the average curves experimentally determined, respectively.

Further general and specific conclusions could be draw after this mathematical model will be applied for other types of meat, before and after the same or other mechanical tenderizing methods.

The data presented in this paper can be important for all the specialists interested in decreasing the wet curing period of the traditional meat products.

REFERENCES

[1]. Bobancu V., Mihaileanu N., Gheorghita S., Brezuleanu A., Stefanescu A., Balanescu T. (1994) - *Dictionary of general mathematics*, Romanian Enciclopedic Publishing, pg. 292-293;

CONCLUZII

Din punct de vedere fizic, frăgezirea mecanică este un proces care trebuie să reducă valorile caracteristicilor mecanice ale produsului finit. Fiecare metodă de frăgezire produce modificări semnificative a tensiunii specifice din interiorul țesuturilor cărnii, care determină îmbunătățirea frăgezimii.

Concluzia principală a acestei lucrări se referă la corectitudinea modelului matematic bazat pe transformarea liniară propusă, dovedită atât prin configurația curbelor, și de asemenea prin similitudinea dintre valorile maxime dintre curbele de frăgezire numerice, și respectiv curbele medii determinate experimental.

Viitoare concluzii generale și specifice vor fi formulate după ce acest model matematic va fi aplicat pentru alte tipuri de carne, înainte și după alte metode de frăgezire mecanică.

Informațiile prezentate în această lucrare pot fi importante pentru toți specialiștii interesați în reducerea perioadei de sărare umedă a produselor tradiționale din carne.

BIBLIOGRAFIE

[1]. Bobancu V., Mihaileanu N., Gheorghita S., Brezuleanu A., Stefanescu A., Balanescu T. (1994) - *Dicționar general de matematică*, Editura Enciclopedică din România, pag. 292-293;

[2]. Graiver N., Pinotti A., Clifano A., Zaritzky N. (2009) - *Mathematical modeling of the uptake of curing salts in pork meat*, Journal Food Engineering, vol. 95 (4), pg. 533-540;

[3]. Iacob C., Gheorghita S. I., Soare M., Dragos L. (1980) - *Mechanical Dictionary*, Scientific and Encyclopedical Publishing House, Bucharest;

[4]. Ionescu V., Varga A. (1994) - *Systems Theory*, ALL Publishing House, Bucharest;

[5]. Institute of Food Technologists (1981) - *Sensory evaluation guide for testing food and beverage products*, Food Technology, 35 (11), pg. 50-59;

[6]. LAROUSSE *Gastronomie* (2000) - Hamlyn, pg. 1204 (ISBN 0-600-60235-4);

[7]. McGee H. (2004) - *On food and cooking, the science and lore of the kitchen*, Scribner, pg. 155 (ISBN 978-0-684-80001-1);

[8]. Roffel B., Betlem B. (2006) - *Process Dynamics and Control, Modelling for Control and Prediction*, John Wiley & Sons Ltd.;

[9]. Roșca A., Roșca D. (2011) - *Instrumental texture evaluation - An objective measuring method for quality assurance in food industry*, Annals of the University of Craiova, Biology, Horticulture, Food produce processing technology, Environmental engineering Series, vol. XLI (LII), Universitaria Publishing House Craiova, pg. 361-367;

[10]. Roșca A., Roșca D. (2013) - *Instrumental texture evaluation - An objective method to evaluate fresh vegetables quality*. Journal Progress of Cryogenics and Isotopes Separation, ICSI-ICIT Rm. Valcea, Vol. 16 (1), pg. 25 - 30;

[11]. Roșca A. (2014) - *Food industry equipment*. Course Support, Agriculture and Horticulture Faculty, University of Craiova;

[12]. Roșca A., Roșca D., Simion A. D. (2014) - *Tenderizing machines for traditional meat products processing*, Journal Progress of Cryogenics and Isotopes Separation, ICSI-ICIT Rm. Valcea, Vol. 18 (1), pg. 15 - 30;

[13]. Shewfelt R. L. (2000) - *Consumer - friendly specifications to meet the demands of a global market*, Food Australia, vol. 52, pg. 311-314;

[14]. Tyszkiewicz I., Klossowska B.M. (1996) - *Mechanical Tenderization of Pork Meat: Protein and Water Release due to Tissue Damage*. Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol. 73(2), pg. 179-185;

[15]. Xargayó M., Lagares J., Fernández E., Borrell D., Sanz D. (2012) - *The impact of tenderization on increased slicing yield*. (<http://en.metalquimia.com/upload/document/article>);

[16]. Xianzhong Xu, Shaofang Yuan (2011) - *An examination of the force generated from incisor penetration into foods with different textural properties. Part I: Experimental observation*, Journal of Texture Studies, Special Issue, Vol. 42 (3), pg. 228 -235;

[17]. www.lloyd-instruments.co.uk (2013);

[18]. US patent 7578732 B2.

[2]. Graiver N., Pinotti A., Clifano A., Zaritzky N. (2009) - *Modelarea matematică a infuzării saramurii în carnea de porc*, Jurnalul pt. Inginerie Alimentară, vol. 95 (4), pag. 533-540;

[3]. Iacob C., Gheorghita S. I., Soare M., Dragos L. (1980) - *Dictionar de mecanica*, Editura Stiintifica si Enciclopedica, Bucuresti.

[4]. Ionescu V., Varga A. (1994) - *Teoria sistemelor*, Editura ALL, București;

[5]. Institutul pentru Tehnologii Alimentare (1981) - *Ghid de evaluare senzorială a produselor alimentare și băuturilor*. Tehnologii Alimentare, 35 (11), pag. 50-59;

[6]. LAROUSSE *Gastronomie* (2000) - Hamlyn, pag. 1204 (ISBN 0-600-60235-4);

[7]. McGee H. (2004) - *Despre gătitul alimentelor din carne de pui*, Scribner, pag. 155 (ISBN 978-0-684-80001-1);

[8]. Roffel B., Betlem B. (2006) - *Controlul, modelarea și predicția proceselor dinamice*, John Wiley & Sons Ltd.;

[9]. Roșca A., Roșca D. (2011) - *Evaluarea instrumentală a texturii - metodă obiectivă a măsurării pentru asigurarea calității în industria alimentară*, Analele Universității din Craiova, Seriale Biologie, Horticultură, Tehnologia Pro-duselor Alimentare, Ingineria Mediului, vol. XLI (LII), Editura Universitaria Craiova, pag. 361-367;

[10]. Roșca A., Roșca D. (2013) - *Evaluarea instrumentală a texturii - metodă obiectivă a măsurării pentru asigurarea calității produselor vegetale proaspete*, Jurnalul Progrese in Criogenie și Separare Izotopică, ICSI-ICIT Rm. Valcea, Vol. 16 (1), pag. 25 - 30;

[11]. Roșca A. (2014) - *Utilaje pentru industria alimentară*. Suport de curs, Facultatea de Agricultură și Horticultură, Universitatea din Craiova;

[12]. Roșca A., Roșca D., Simion A. D. (2014) - *Mașini de frăgezire pentru procesarea produselor tradiționale din carne*. Jurnalul Progrese in Criogenie și Separare Izotopică, ICSI-ICIT Rm. Valcea, Vol. 18 (1), pag. 15 -30;

[13]. Shewfelt R. L. (2000) - *Îndeplinirea cerințelor specifice ale consumatorului din piața mondială*, Alimento Australia, vol. 52, pag. 311-314;

[14]. Tyszkiewicz I., Klossowska B.M. (1996) - *Frăgezirea mecanică a cărnii de porc: eliminarea apei și proteinelor datorită deteriorării țesuturilor*, Jurnalul de Științe pentru Alimentație și Agricultură, Vol. 73(2), pag. 179 - 185;

[15]. Xargayó M., Lagares J., Fernández E., Borrell D., Sanz D. (2012) - *Impactul frăgezirii asupra creșterii limitei de feliere*. (<http://en.metalquimia.com/upload/document/article>);

[16]. Xianzhong Xu, Shaofang Yuan (2011) - *Examinarea forței de penetrare a dinților incisivi în alimente cu diferite texturi. Partea I: Observații experimentale*, Jurnalul pentru Studii ale Texturii, Special Issue, Vol. 42 (3), pag. 228 -235;

[17]. www.lloyd-instruments.co.uk (2013);

[18]. US patent 7578732 B2.